Anexo 5. Estudo sobre a cota inundação para os tempos de recorrências (TR) de 10, 25, 50 e 100 anos.

ESTUDO HIDROLÓGICO DE SUSCEPTIBILIDADE À INUNDAÇÃO PARA O PORTO DE RIO GRANDE/RS

ESTUDO TÉCNICO

ESTUDO HIDROLÓGICO

EMISSÃO INICIAL

Hydrosolv
Engenharia e Recursos Hídricos

Hydrosolv
Engenharia e
Recursos Hídricos

Fernando Petersen Cardoso
Diretor e Responsável Técnico
51 98240 3273
contato@hydrosolvengenharia.com

QUADRO DE CODIFICAÇÃO

DESENVOLVIDO POR:
Hydrosolv Engenharia e Recursos Hídricos
Porto Alegre | Rio Grande do Sul

DESENVOLVIDO PARA:
Arvut Meio Ambiente
Porto Alegre | RS

DADOS DO EMPREENDIMENTO:

Denominação:	Dragagem Rio Grande
Endereço:	Av. Honório Bicalho, n° 4 – Getúlio Vargas, Rio Grande
Coordenadas Planas (UTM):	398460.4 m E; 6453640 m S – Zona 22 S
ID Documento:	EH_XX_2025_05_14_ARVUT_PORTO_RIOGRANDE_RS_V00

DADOS DO EMPREENDEDOR:

Razão Social:	Arvut Meio Ambiente LTDA
CNPJ:	27.805.836/0001-10

EQUIPE TÉCNICA:

Responsável Técnico:	Fernando Petersen Cardoso CREA/RS n° 237958
Engenheiro Ambiental:	Bernardo Pires Caron CREA/RS n° 244347

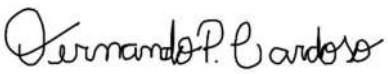
REPRESENTANTE DO EMPREENDEDOR:

Preposto:	Bio. Thais Morretes

QUADRO DE REVISÕES

Revisão	Data	Descrição das Alterações
V01	20/05/2025	Versão Inicial
V02	20/11/2025	Revisão
V03	25/02/2024	Revisão

ELABORADO POR:



FERNANDO P. CARDOSO

Engenheiro Hídrico

ISENÇÃO DE RESPONSABILIDADE
Este documento foi preparado por **HYDROSOLV ENGENHARIA E RECURSOS HÍDRICOS®** com observância das normas técnicas e legislação em vigor e em estrita observância aos termos do pedido/contrato com o cliente. Em razão disto, a **HYDROSOLV ENGENHARIA E RECURSOS HÍDRICOS ®** isenta-se de qualquer responsabilidade civil e criminal perante o cliente ou terceiros pela utilização deste documento, ainda que parcialmente, fora do escopo para o qual foi concebido.

DIREITOS DE AUTORIA
Este documento é uma obra de propriedade intelectual de **HYDROSOLV ENGENHARIA E RECURSOS HÍDRICOS ®**, conforme previsto no inciso XXVI, art. 5° da Constituição Federal e Lei Federal n° 9.610/1998, ficando proibida a contrafação integral ou parcial (reprodução não autorizada), sob pena de violação de direitos de propriedade autoral, podendo culminar na responsabilização penal, conforme previsto no Código de Processo Penal Brasileiro, Lei Federal n° 2.848/1940, art. 184, §1°. A reprodução parcial ou integral deste documento somente poderá ocorrer após a prévia autorização por escrito da **HYDROSOLV ENGENHARIA E RECURSOS HÍDRICOS ®.**

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS 9

2 REVISÃO TEÓRICA 10

2.1 Risco e Condicionantes de um Projeto 10

3 METODOLOGIA EMPREGADA 11

3.1 Premissas 11
3.2 Estudos de Vazões e Cotas Extremas 11

4 ÁREA DE ESTUDO 13

4.1 Localização da Área 13
4.2 Caracterização do Local e Região 13
4.3 Hidrodinâmica da Lagoa dos Patos e do Saco da Mangueira 15

5 MODELAGEM DIGITAL DO TERRENO 17

6 MEMORIAL DE CÁLCULOS 18

6.1 Levantamento de Dados e Justificativa 18
6.2 Cálculo dos Níveis Notáveis 20

7 SÍNTESE RESUMIDA DOS RESULTADOS OBTIDOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS 28

7.1 Limitações do Método 28

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 30

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: Mapa de Localização do Empreendimento – Porto Organizado de Rio Grande. 13
FIGURA 2: Bacias Hidrográficas da Laguna dos Patos 14
FIGURA 3: Modelo Digital de Terreno Gerado. 17
FIGURA 4: Mancha de Inundação com Tempo de Retorno de 100 Anos - cota 1,60 metro. 27
FIGURA 5: Mapeamento da Inundação de acordo com os Respectivos Tempos de Retorno. 26

contato@hydrosolvengenharia.com | Fone: (55)-(51)9 8240-3273

SUMÁRIO EXECUTIVO

A **ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA** contratou a **HYDROSOLV ENGENHARIA E RECURSOS HÍDRICOS** para conduzir um **ESTUDO HIDROLÓGICO DE SUSCEPTIBILIDADE À INUNDAÇÃO PARA O PORTO DE RIO GRANDE/RS.** A área sob investigação está localizada na Avenida Hónorio Bicalho, S/N, Bairro Getúlio Vargas, no município de Rio Grande, RS. No **MAPA 1** está demonstrada a localização da área em estudo, a qual está inserida exatamente nas coordenadas: 398460.4 m E; 6453640 m S – Zona 22 S (Sistema de Coordenadas Planas UTM – Universal Transversa de Mercator; datum SIRGAS2000).

A finalidade central desse estudo é estabelecer a cota segura para a construção do projeto, considerando possíveis alagamentos e inundações. As análises hidrológicas e hidrodinâmicas foram feitas tendo como base Tempos de Retorno (Tr) de 10, 25, 50 e 100 anos. A partir disso, foi possível determinar o mapeamento da planície inundável e as áreas de risco associadas ao sistema estuário do Saco da Mangueira, foz da Lagoa dos Patos, dentro do trecho impactado pelo fenômeno na região do projeto em análise.

O estudo foi conduzido entre 07 e 20 de maio de 2025 e abrangeu uma revisão teórica para suporte das justificativas técnicas, a descrição da área e suas adjacências, as análises hidrológicas, oceânicas e hidráulicas, bem como as conclusões e orientações para a execução do projeto.

Em relação a área de estudo:

- Não há restrições para o uso pretendido (Estação Portuária), desde que respeitados os limites da mancha apresentada no **MAPA 3**, os limites do Zoneamento e o pleno atendimento aos critérios de ocupação definidos neste estudo;
- Ao término dos estudos, é possível verificar que a área é atingida pela mancha de inundação de todos os tempos de retorno na porção central da gleba.
- Os resultados do estudo e seus respectivos tempos de retorno são mostrados na FIGURA 4 deste relatório.
- É importante ressalvar que, de acordo com a avaliação dos dados medidos na estação regatas, é bem possível que houve cotas superiores aos Tempo de Retorno do Termo de Referência do presente estudo, principalmente nos anos de 2015 (1,61 m) e 2024 (1,85 m), anos em que o Estado do Rio Grande do Sul sofreram com os maiores eventos de inundação já observados.
- Levando em consideração que no estudo não são modelados fenômenos mais complexos da hidrodinâmica local como efeitos de maré e o risco econômico atrelado às operações portuárias em eventos de extremos de maior magnitude como os supracitados, estudo recomenda a sobreposição de um *Freeboard* de 1,0 m acima da cota do Tempo de Retorno de 100 anos (1,60m)
- Portanto, o estudo estabelece como cota segura para as operações do empreendimento a cota de 2,60 metros.

SIGLAS E ABREVIAÇÕES

ANA	Agência Nacional de Águas
COBRADE	Código Brasileiro de Desastres
CONSEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
ELETROBRAS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
FEMA	Federal Emergency Management Agency
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler
GNSS	Global Navigation Satellite System (Sistema Global de Navegação por Satélite)
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Center's River Analysis System (Software de modelagem hidráulica)
HGE	Grupo de pesquisa em Hidrologia em Grande Escala (do IPH)
HIDROWEB	Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas
IPH	Instituto de Pesquisas Hidráulicas (da Universidade Federal do Rio Grande do Sul)
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IST	Instituto Superior Técnico (Lisboa)
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital de Terreno
NE	Nordeste (direção do vento)
SEMA	Secretaria Estadual de Meio Ambiente (referenciada em conjunto com a FEPAM)
SGB-CPRM	Serviço Geológico do Brasil (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais)
SIRGAS2000	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas, versão do ano 2000 (Datum geodésico)
SO	Sudoeste (direção do vento)
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission (Missão topográfica por radar embarcado em ônibus espacial)
TR	Tempo de Retorno (Período de recorrência estatístico de um evento)
UTM	Universal Transversa de Mercator (Sistema de projeção de coordenadas planas)

DEFINIÇÕES

ÁREA DE DRENAGEM

Superfície de terra que coleta e contribui com o escoamento superficial da água da chuva para um ponto específico em um curso d'água, como a foz de um rio ou a localização de uma estação de medição.

ASSIMETRIA (COEFICIENTE DE)

Medida estatística que caracteriza o grau de desvio ou afastamento da simetria de uma distribuição de dados em torno de sua média. Um valor zero indica simetria perfeita.

BACIA HIDROGRÁFICA

Unidade territorial definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou um sistema conectado de cursos d'água, tal que todo o escoamento gerado na área seja descarregado através de uma única saída.

BATIMETRIA

Conjunto de dados que descreve a topografia do leito de corpos d'água, como lagos, rios ou oceanos, representando as profundidades em relação a um nível de referência.

CANAL

Leito natural ou artificial por onde escoam as águas, podendo ser o canal principal de um rio ou canais de navegação e acesso.

COTA (HIDRÁULICA/DE INUNDAÇÃO)

Elevação vertical do nível da superfície da água ou do terreno em relação a um plano de referência (datum). A cota de inundação refere-se ao nível máximo atingido pelas águas durante uma cheia para um determinado tempo de retorno.

COTAGRAMA

Gráfico que representa a variação temporal dos níveis (cotas) de água registrados em uma estação fluviométrica.

DATUM

Superfície de referência ou um conjunto de parâmetros que define um sistema de coordenadas, utilizado para medir elevações (datum vertical) ou posições geográficas (datum horizontal).

DRAGAGEM

Ato de remover material (como areia, lodo, rochas) do fundo de rios, canais, portos ou outras áreas aquáticas, geralmente para aumentar a profundidade, facilitar a navegação ou obter material de construção. No contexto deste estudo, refere-se ao empreendimento "Dragagem Rio Grande".

ENCHENTE/CHEIA

Fenômeno natural caracterizado pela elevação do nível d'água de um curso d'água, lago ou mar, que pode levar ao transbordamento e inundação das áreas marginais.

ESCOAMENTO (HÍDRICO/SUPERFICIAL)

Movimento da água sobre a superfície do terreno (escoamento superficial) ou através de canais e condutos, resultante da precipitação que não se infiltra no solo nem evapora.

ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA

Local em um curso d'água onde são realizadas medições sistemáticas de níveis (cotas), vazões e outros parâmetros hidrológicos.

ESTIAGEM

Período prolongado de baixas precipitações, resultando em vazões e níveis d'água em rios e reservatórios significativamente abaixo do normal.

ESTUÁRIO

Ambiente de transição entre um rio e o mar, caracterizado pela mistura de água doce e água salgada e influenciado pelas marés.

FREEBOARD (BORDA LIVRE)

Margem de segurança vertical adicionada à cota máxima de água esperada (e.g., cota de inundação para um dado Tr) na definição da cota de implantação de um empreendimento, para protegê-lo contra ondas, elevações inesperadas do nível d'água ou incertezas nas estimativas.

GEOPROCESSAMENTO

Utilização de técnicas e ferramentas computacionais para coletar, armazenar, processar, analisar e apresentar dados georreferenciados, ou seja, dados com localização geográfica conhecida.

HIDRODINÂMICA

Estudo do movimento dos fluidos (líquidos e gases) e das forças que atuam sobre eles. No contexto do estudo, refere-se à circulação da água na Lagoa dos Patos e seu estuário.

HIDROLOGIA

Ciência que estuda a água na Terra, abrangendo sua ocorrência, distribuição, circulação e propriedades físicas e químicas, bem como sua relação com o meio ambiente e os seres vivos.

INFILTRAÇÃO

Processo pelo qual a água da superfície do solo penetra no perfil do solo.

INUNDAÇÃO

Submersão de áreas terrestres que usualmente não estão cobertas por água, devido ao transbordamento de rios, lagos, oceanos ou acúmulo de águas pluviais.

JUSANTE

Termo que se refere à direção do fluxo da água em um curso d'água, ou seja, "rio abaixo" a partir de um ponto de referência.

LAGOA/LAGUNA

Corpo de água costeiro, geralmente raso, separado do oceano por uma barreira (como restingas ou ilhas-barreira) e conectado a ele por um ou mais canais. A Lagoa dos Patos é classificada como uma laguna.

LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO

Conjunto de medições topográficas destinadas a determinar as coordenadas horizontais (planimetria) e as elevações verticais (altimetria) de pontos na superfície do terreno, resultando em uma representação tridimensional da área.

MACRODRENAGEM

Parte do sistema de drenagem urbana responsável pela coleta e condução de grandes volumes de águas pluviais, geralmente através de canais abertos, galerias de grande porte e reservatórios.

MANCHA DE INUNDAÇÃO/PLANÍCIE INUNDÁVEL

Área adjacente a um curso d'água ou corpo d'água que é suscetível à inundação durante eventos de cheia com um determinado tempo de retorno.

MARÉ (ASTRONÔMICA/METEOROLÓGICA)

Oscilação periódica do nível do mar (e de grandes corpos d'água conectados a ele) devido à atração gravitacional da Lua e do Sol (maré astronômica) ou a variações atmosféricas como vento e pressão (maré meteorológica ou de tempestade).

MICRODRENAGEM

Parte do sistema de drenagem urbana que coleta as águas pluviais diretamente das superfícies e as conduz para o sistema de macrodrenagem, incluindo sarjetas, bocas de lobo e galerias de menor diâmetro.

MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE)

Representação digital da topografia da superfície terrestre, geralmente referindo-se ao terreno nu, sem cobertura vegetal ou construções.

MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT)

Representação tridimensional da superfície terrestre em formato digital, podendo incluir informações sobre o relevo, batimetria e, em alguns casos, objetos sobre a superfície.

MONTANTE

Termo que se refere à direção oposta ao fluxo da água em um curso d'água, ou seja, "rio acima" a partir de um ponto de referência.

NAVALHA DE OCKHAM (EM MODELAGEM HIDROLÓGICA)

Princípio filosófico e científico que preconiza a escolha da explicação ou modelo mais simples entre várias alternativas igualmente válidas para descrever um fenômeno. Em modelagem hidrológica, sugere preferir modelos menos complexos se eles explicarem adequadamente os dados.

NÍVEIS NOTÁVEIS

Valores específicos de cota (nível d'água) ou vazão em uma seção de um curso d'água, associados a determinadas probabilidades de ocorrência ou tempos de retorno (e.g., nível de cheia para Tr de 100 anos, nível médio, nível mínimo).

PERCOLAÇÃO

Movimento descendente da água através das camadas do solo e subsolo, sob a ação da gravidade, após a infiltração.

PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA (p)

Chance percentual ou decimal de um evento hidrológico de uma certa magnitude ser igualado ou excedido em qualquer ano. É o inverso do Tempo de Retorno (p = 1/Tr).

TEMPO DE RETORNO (TR)

Intervalo médio de tempo, em anos, dentro do qual se espera que um evento hidrológico de uma determinada

magnitude (e.g., cheia, precipitação intensa) seja igualado ou superado pelo menos uma vez. É o inverso da probabilidade de ocorrência anual.

VAZÃO

Volume de fluido (neste caso, água) que passa através de uma seção transversal de um conduto ou curso d'água por unidade de tempo, comumente expresso em metros cúbicos por segundo (m^3/s).

ZONEAMENTO (DE ÁREAS RIBEIRINHAS/INUNDÁVEIS)

Instrumento de planejamento urbano e gestão territorial que estabelece regras de uso e ocupação do solo para áreas sujeitas a inundações, com base nos riscos identificados, visando reduzir danos e prejuízos.

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A Lagoa dos Patos, apesar do nome, é uma laguna formada por águas salobras, localizada no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, e é considerada uma das maiores lagunas do mundo. Ela possui mais de 250 km de comprimento e largura média de 45 km de largura. Sua superfície abrange cerca de 10360 km², estendendo-se na direção nordeste-sudeste, paralela ao Oceano Atlântico. Possui uma profundidade média de 5 metros, e portanto, é classificada como uma lagoa rasa. A Lagoa está conectada com o oceano através de um canal localizado em sua extremidade sul. Esta região é definida como estuário da Lagoa dos Patos cujo canal possui 22 km de comprimento, 2 km de largura e aproximadamente 12m de profundidade.

A Lagoa é responsável por drenar uma bacia hidrográfica de cerca de 200000 km. Ao Nordeste está a lagoa do Casamento e a noroeste o lago Guaíba, que banha a cidade de Porto Alegre. Já ao sul, perto do seu estuário, encontram-se as cidades de Rio Grande e São José do Norte que delimitam o Canal do Norte, na barra de Rio Grande, onde está a sua conexão com o mar. Ao noroeste da região estuarina, ainda, comunica-se com a Lagoa Mirim através do canal de São Gonçalo, que passa pela cidade de Pelotas.

A Lagoa dos Patos é navegável por embarcações fluviomarítimas de até 10 metros de calado, de Rio Grande a Porto Alegre. Na barra de Rio Grande, canal que a liga com o mar, estão localizadas as zonas portuárias do Porto de Rio Grande, considerado o segundo maior porto do país. Além disso, em torno da Lagoa são desenvolvidas atividades socioeconômicas tradicionais como a agricultura e a pecuária extensiva, importantes para o sustento e o desenvolvimento local.

Neste contexto, estudos sobre a circulação hidrodinâmica e taxa de renovação da água nesta região podem auxiliar na definição de áreas críticas. Como por exemplo, estes são capazes de identificar onde a circulação hidrodinâmica é favorável a renovação de suas águas ou pontos de estagnação. Além disso, na região estuarina, é possível apontar lugares onde pode haver maior influência de águas salgadas que podem afetar estas atividades socioeconômicas.

O presente documento detalha os procedimentos do estudo para a identificação das cotas de inundação para os tempos de recorrências (TR) de 10, 25, 50 e 100 anos da área de influência e operação do Porto de Rio Grande/RS

As etapas para elaboração deste estudo são elencadas a seguir:

Etapa 1 – descrição da metodologia, justificativa e descrição das incertezas;

Etapa 2 – memória de cálculos para os TRs 10, 25, 50 e 100 anos;

contato@hydrosolvengenharia.com | Fone: (55)-(51)9 8240-3273

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 Risco e Condicionantes de um Projeto

O risco associado a uma vazão ou precipitação de projeto refere-se à probabilidade (p) de ocorrência de um valor igual ou superior em um dado ano. O tempo de retorno (Tr) é o recíproco da probabilidade e indica o período médio no qual se espera que esse evento possa se repetir. Esse conceito é ilustrado pela EQUAÇÃO 1:

EQUAÇÃO 1:

$$p = \frac{1}{Tr}$$

Onde:
p = Probabilidade de ocorrência igual ou superior de um evento (%)
Tr = Tempo de Retorno em anos

O risco definido para um projeto determina o montante dos investimentos necessários e a segurança em relação às enchentes. A avaliação apropriada requer um estudo econômico e social dos impactos das enchentes para estabelecer os riscos. Contudo, a realização desse estudo é muitas vezes impraticável devido aos seus elevados custos, especialmente para áreas menores. Assim, através da TABELA 1 é possível verificar os riscos comumente utilizados em projetos de drenagem, conforme a escala do sistema em questão, propostos pelo Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre.

TABELA 1: Tempo de Retorno para Projetos de Drenagem Urbana.

Sistema	Característica	Intervalo Tr (anos)	Valor Frequente (anos)
Microdrenagem	Residencial	2 – 5	2
	Comercial	2 – 5	5
	Área de prédios públicos	2 – 5	5
	Aeroportos	5 – 10	5
	Áreas comerciais e Avenidas	5 – 10	10
Macrodrenagem	-	10 – 25	10
Zoneamento de áreas ribeirinhas	-	5 – 100	100*

Fonte: Adaptado do Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre.

O planejamento faz parte de um conjunto de ações categorizadas como não estruturais, e o zoneamento, dentro desse escopo, tem a finalidade de dividir áreas conforme seu grau de risco e susceptibilidade a inundações. Estudos com esta abordagem visam priorizar a alocação de recursos públicos em investimentos estratégicos, como construção de hospitais e escolas, e fornecem fundamentos para a criação de medidas protetivas e de alerta. Usualmente, estes trabalhos adotam tempos de retorno de 100 anos ou mais.

3 METODOLOGIA EMPREGADA

3.1 Premissas

A Navalha de Ockham, na modelagem hidrológica, é um princípio que defende a preferência por modelos mais simples e menos complexos para explicar os fenômenos hidrológicos, quando estes modelos forem igualmente capazes de explicar os dados observacionais. Em outras palavras, em vez de adicionar complexidade desnecessária ao modelo, é preferível manter a abordagem mais direta e intuitiva, desde que essa abordagem seja eficaz.

A Navalha de Ockham, também conhecida como Lei da Parcimônia, sugere que, entre várias explicações ou modelos, a mais simples é geralmente a mais precisa e confiável. Em modelagem hidrológica, isso significa que, ao desenvolver um modelo para simular o ciclo da água, é preferível optar por um modelo com o menor número de parâmetros e suposições, desde que esse modelo ainda seja capaz de reproduzir de forma adequada os processos hidrológicos observados.

Dessa forma, levando em consideração em consideração a complexidade da física da representação fidedigna de um modelo hidrodinâmico que represente o fenômeno de inundação na área de interesse e a necessidade do atendimento pleno dos objetivos principais do estudo nesta etapa, buscou-se avaliar a inundação através de um estudo estatístico das cotas máximas que atingem o porto através da manipulação dos dados consistidos de uma estação fluviométrica de cotas da rede de monitoramento hidrológico do Brasil (HIDROWEB) sob responsabilidade da agência nacional das águas (ANA).

O estudo também não deixou de avaliar, através dos dados observados da estação, os últimos eventos hidrológicos extremos que acometeram o estado em 2015, 2023 e 2024.

3.2 Estudos de Vazões e Cotas Extremas

Todos os processos resultados dos complexos processos hidróligocos da região hidrográfica da Lagoa dos Patos e da Bacia Hidrográfica do rio Camaquã resultarão em cotas hidráulicas na região estuarina da lagoa dos Patos, onde localiza-se a área de interesse da investigação. Os estudos de vazões e cotas extremas devem ser realizados conforme a disponibilidade de dados na bacia e na região do estudo. Desta forma, existirão duas possibilidades de ocorrência: o local dispõe de uma série de vazões e/ou cotas médias diárias ou o local não dispõe de dados diários para serem investigados de acordo com a sua frquência e consequentemente o melhor ajuste probabilístico.

A análise de freqüência de cheias tem como objetivo estabelecer a relação entre os valores de vazões e cotas máximas e os tempos de retorno ou de recorrência a elas associados. Esta análise baseia-se no exame probabilístico dos máximos registros fluviométricos anuais. Desta forma, a cada ano está associado um máximo anual resultando num conjunto { y1, y2, ..., yn }, que pode ser interpretado como sendo uma amostra de variável aleatória Y, máxima vazão/cota anual.

Assim, o problema será o de determinar o valor de xT tal que P[Y > xT] = , onde xT é a vazão/cota correspondente a um período de retorno em anos (T). Para tanto, é necessário ajustar uma distribuição de probabilidades à amostra {y1, y2, ..., yn}, o que permitirá a definição de xT, para qualquer T.

Para a definição das cheias de projeto, serão utilizadas duas distribuições: exponencial de dois parâmetros (estimada pelo método dos momentos), sempre que a assimetria da amostra for superior a 1,5, e Gumbel (extremos do tipo I), para assimetrias amostrais inferiores a 1,5 (ELETROBRÁS, 1985).

A estimativa da probabilidade de eventos extremos máximos pode ser realizada por distribuições probabilísticas

teóricas, as quais possibilitam a extrapolação desta para eventos não observados (Naghettini e Pinto, 2007). A distribuição de Gumbel considera que os dados possuem distribuição exponencial e a função de probabilidade de excedência.

Levantamento de Dados Primários – Dados de Campo

O levantamento de dados primários de campo constituiu uma etapa fundamental para a representação acurada das condições físicas da área de interesse do projeto. A contratante, Arvut Meio Ambiente LTDA, foi responsável por fornecer o levantamento topográfico detalhado da área específica do empreendimento. Essas informações planialtimétricas foram cruciais para a realização do estudo hidrológico, pois permitiram a recriação precisa da topografia do local.

A topografia detalhada, derivada desses dados primários, serviu como um dos principais dados de entrada para a modelagem hidrodinâmica. A partir dela, foi possível construir um Modelo Digital de Terreno (MDT) representativo das condições atuais, essencial para a simulação dos escoamentos, a delimitação das áreas de inundação e a subsequente análise dos resultados nos cenários de cheias estabelecidos com diferentes Tempos de Retorno (TR). Conforme detalhado no estudo, o levantamento planialtimétrico fornecido pela contratante foi realizado através do método topográfico de transporte de coordenadas, empregando um receptor GNSS geodésico para transferência de altitude e nivelamento trigonométrico, tendo como marco de referência altimétrico o marégrafo de Imbituba/SC

Levantamento de Dados Secundários

Paralelamente à coleta de dados primários, realizou-se um extensivo levantamento de dados secundários, compreendendo informações de domínio público e estudos prévios relevantes para a caracterização hidrológica e hidrográfica da região do Porto de Rio Grande e da Lagoa dos Patos. Foram obtidos dados essenciais, incluindo planos e diretrizes municipais que orientam o uso e ocupação do solo e a infraestrutura de drenagem na região.

Pesquisas anteriores e estudos técnicos foram consultados, como o "Estudo de Alternativas e Projetos para Minimização do Efeito das Cheias e Estiagens na Bacia do Rio dos Gravataí (Metroplan, 2018)" e o "Manual de Drenagem Urbana da Região Metropolitana de Porto Alegre/RS", que, embora focados em outras áreas, fornecem diretrizes metodológicas e conceituais aplicáveis. O levantamento incluiu também informações de infraestrutura existente e bases cartográficas (vetores, Modelos Digitais de Terreno - MDT, e imagens de satélite) provenientes do acervo digital da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler (FEPAM).

Para a análise de frequência de cheias e cotas extremas, foram utilizados dados fluviométricos da estação Rio Grande/Regatas (código 87980000), pertencente à rede de monitoramento hidrológico da Agência Nacional de Águas (ANA), disponíveis na plataforma HIDROWEB. Estes dados de cotas máximas anuais foram fundamentais para o ajuste estatístico e a determinação dos níveis notáveis para os Tempos de Retorno analisados.

Adicionalmente, para a construção do Modelo Digital de Terreno (MDT) em uma escala mais ampla, que abrange a área de influência hidrodinâmica, foram utilizados dados do Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido através do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) e dados de batimetria das Cartas Náuticas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) para a Lagoa dos Patos e o Oceano Atlântico adjacente.

4 ÁREA DE ESTUDO

4.1 Localização da Área

O empreendimento está localizado na Avenida Honório Bicalho, S/N , Bairro Getúlio Vargas, no município de Rio Grande, Estado do Rio Grande do Sul. As coordenadas geográficas centrais da área de intervenção direta são aproximadamente 398460.4 m E; 6453640 m S (UTM, Zona 22S, datum SIRGAS2000).

Esta localização insere o empreendimento na porção sul do estuário da Lagoa dos Patos, uma área portuária e industrial de grande importância. A área está adjacente ao Canal do Rio Grande, que é o principal canal de navegação e ligação entre a Lagoa dos Patos e o Oceano Atlântico, e nas proximidades de importantes enseadas rasas como o Saco da Mangueira. A localização exata do empreendimento pode ser visualizada na FIGURA 1 do presente estudo.

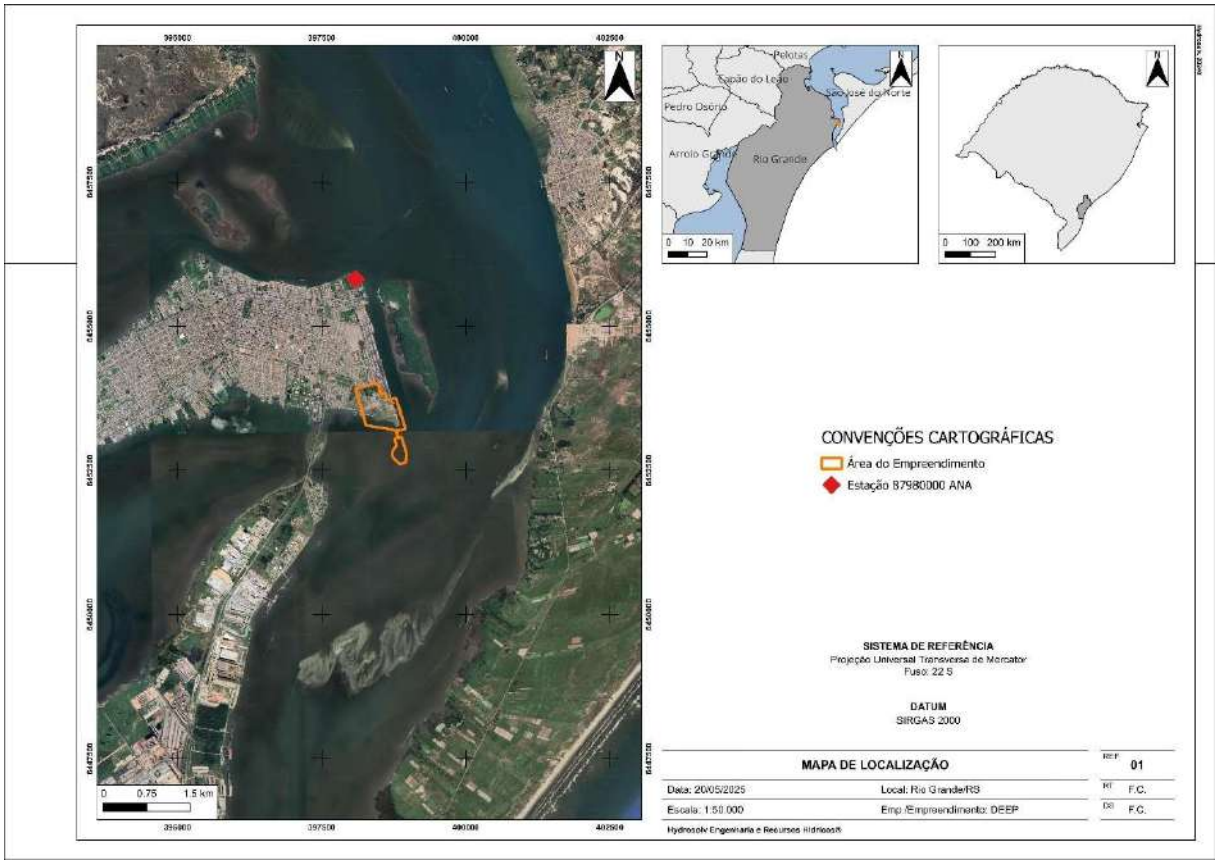


FIGURA 1: Mapa de Localização do Empreendimento – Porto Organizado de Rio Grande.
Fonte: Modificado de GoogleEarth.

4.2 Caracterização do Local e Região

A Lagoa dos Patos está localizada entre as latitudes 30◦S e 32◦S e longitudes 50◦W e 52◦W, é a maior laguna costeira estrangulada do mundo. Com uma orientação predominante NE-SW, paralela à linha da costa do Oceano Atlântico, estende-se por aproximadamente 250 km de comprimento e possui uma largura média de 40-45 km, resultando em uma área superficial de cerca de 10.360 km². Sua única conexão com o Oceano Atlântico Sul ocorre em sua extremidade sul, através de um canal com aproximadamente 22 km de comprimento e largura

média de 2 km. Na região do Porto de Rio Grande, este canal apresenta profundidades da ordem de 12 metros, podendo alcançar até 18 metros em alguns trechos (Giordano, 2008). Esta região de conexão define o estuário da Lagoa dos Patos, uma área de intensa atividade portuária e de complexas interações hidrodinâmicas.

O domínio de interesse para a análise hidrodinâmica deste estudo abrange não apenas a área imediata do Porto, mas também as porções adjacentes do Saco da Mangueira e do canal de acesso ao porto, que podem ser hidrodinamicamente influenciadas pelo empreendimento ou que exercem influência sobre as condições locais (FIGURA 2).

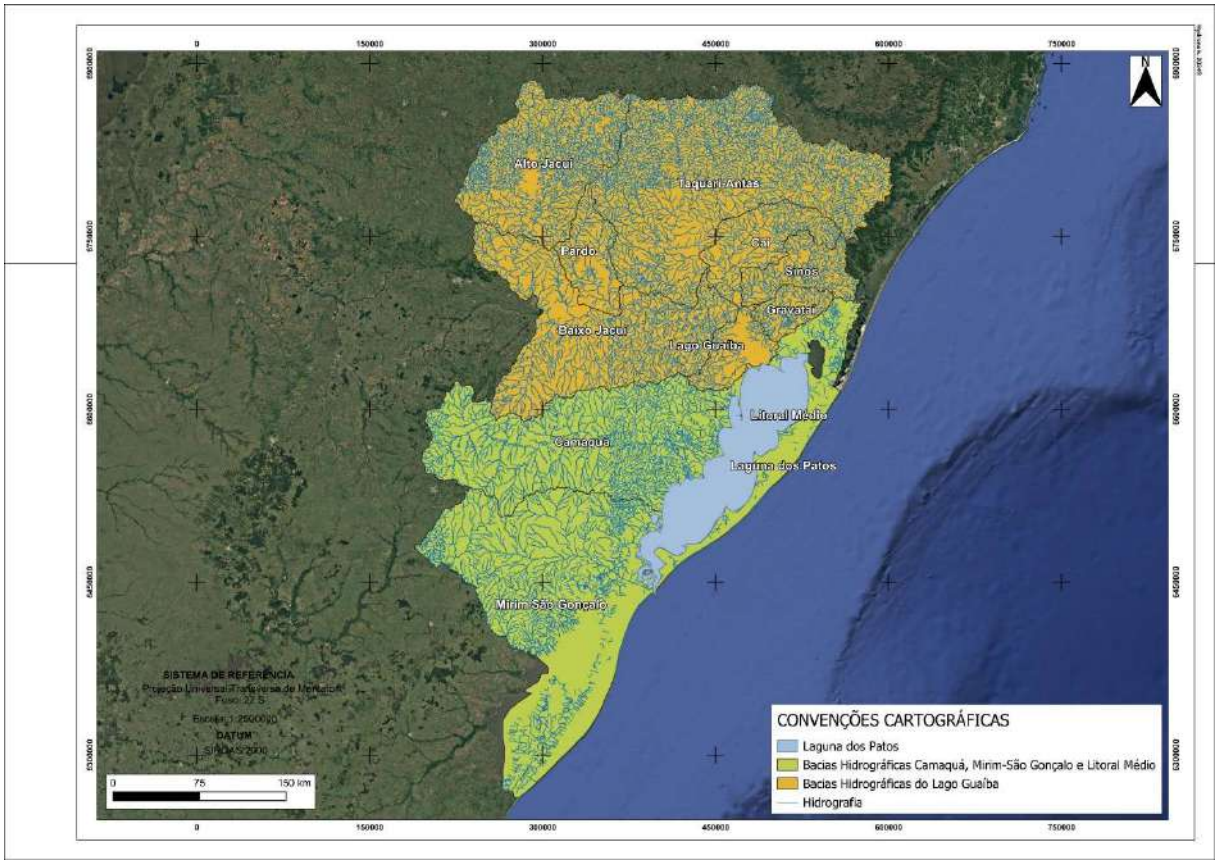


FIGURA 2: Bacias Hidrográficas da Laguna dos Patos
Fonte: Base Cartográfica 1:25.000 (SEMA/FEPAM, 2018).

4.2.1 Vazões Afluentes

As vazões que afluem para a Laguna dos Patos são prvenientes da região hidrográfica do Lago Guaíba que por sua vez afluem para o Lago Guaíba somadas a vazão do Rio Camaquã. A vazão do Rio Guaíba compõe-se por 85% das afluências dos rios Jacuí e Taquari. O Rio Camaquã tem uma própria estação perto de sua foz. á para o Canal de São Gonçalo a literatura indicou um valor de vazão média anual de 700m3/s (BORDAS et al., 1984, apud VAZ et al, 2006, HARTMANN E HARKOT (1990).

4.2.2 Sistema Lagoa dos Patos - Estuário

A Lagoa dos Patos é um sistema lagunar predominantemente raso, com uma profundidade média de cerca de 5 metros. Sua gênese está associada a múltiplos eventos transgressivos e regressivos marinhos durante o período Quaternário, que levaram à formação de uma complexa barreira múltipla arenosa paralela à costa.

O estuário da Lagoa dos Patos, onde se localiza o empreendimento, representa aproximadamente 10% da área total da lagoa. Sua morfologia é caracterizada por uma rede de canais principais e secundários, extensos bancos de areia, ilhas (como a Ilha dos Marinheiros no Saco da Mangueira) e diversas enseadas rasas. A construção dos molhes da Barra de Rio Grande, finalizada em 1915, teve como objetivo fixar e aprofundar o canal de acesso, alterando profundamente a dinâmica sedimentar e os processos erosivos e deposicionais na região estuarina (Möller & Castaing, 1999)

4.2.3 Enseada Adjacente: Saco da Mangueira

As enseadas rasas são feições distintivas e ecologicamente vitais do estuário.

- **Saco da Mangueira:** É a maior enseada rasa do estuário, com profundidade média de 1,5 m. É delimitado pela Ilha dos Marinheiros e pela península da cidade de Rio Grande. Os sedimentos são predominantemente constituídos por areia fina, indicando uma dinâmica hidrodinâmica moderada. Esta área é de fundamental importância ecológica, funcionando como berçário, área de alimentação e refúgio para uma variada ictiofauna e invertebrados, muitos dos quais com relevância comercial.

4.3 Hidrodinâmica da Lagoa dos Patos e do Saco da Mangueira

A circulação hídrica no sistema da Lagoa dos Patos e seu estuário é um fenômeno complexo, tridimensional e variável no tempo. É impulsionada por gradientes de densidade, originados por variações de salinidade e temperatura, e por gradientes de pressão barotrópica, devido a oscilações da superfície livre induzidas por marés, ventos e descargas fluviais. Tensões de vento na superfície e tensões de atrito no fundo também são cruciais.

Em escala lagunar, a descarga fluvial e a ação do vento modulam intensamente a circulação. Períodos de alta vazão fluvial direcionam um fluxo predominante para a embocadura sul. Ventos de Nordeste (NE), que são predominantes, tendem a induzir correntes superficiais para Sudoeste, auxiliando o escoamento para o mar e podendo gerar fluxos de retorno em profundidade. Estes ventos também contribuem para o rebaixamento dos níveis na região estuarina. Em contrapartida, ventos de Sul (S) e Sudoeste (SO) represam as águas, elevando os níveis no estuário, podendo inverter o fluxo e facilitar a intrusão salina. Modelagens hidrodinâmicas regionais indicam que, embora grande parte da lagoa apresente baixa dinâmica, com velocidades geralmente inferiores a 0,2m/s, estas se intensificam nas desembocaduras fluviais, em estrangulamentos e, principalmente, no estuário e canal de acesso, onde podem exceder 1,4m/s.

No estuário e em enseadas como o Saco da Mangueira, a circulação é adicionalmente influenciada pela maré oceânica e pela morfologia detalhada. As correntes de maré, de enchente e vazante, são componentes fundamentais. No Saco da Mangueira, as velocidades de corrente são consideravelmente menores que no eixo estuarino principal, com a componente zonal (leste-oeste) geralmente mais intensa que a meridional.

- **Sob alta descarga fluvial**, observa-se uma intensificação das velocidades zonais na enseada. Os fluxos em suas porções norte e sul podem se tornar independentes, possibilitando circulações residuais ao redor de feições como a Ilha dos Marinheiros.
- **Sob baixa descarga**, os fluxos tendem a ser mais uniformes. As velocidades médias no Saco da Mangueira são estimadas em 0,1m/s (alta descarga) e 0,01m/s (baixa descarga). A estratificação por salinidade, resultante da intrusão de água marinha, pode gerar circulações baroclínicas e influenciar a mistura vertical.

4.3.1 Influência de Ventos e Marés nos Níveis d'Água e Circulação

Ventos e marés são forçantes primárias na região estuarina. O vento local sobre o Saco da Mangueira induz gradientes de pressão: ventos de NE tendem a empurrar a água para o interior da enseada, enquanto ventos de SO a empilham em direção ao estuário principal. A ação dos ventos pode gerar desníveis da ordem de 0,3 a 0,4 metros ao longo da lagoa, com sobrelevações extremas de até 80 centímetros em condições combinadas de ventos fortes de sul e altas descargas fluviais.

A maré astronômica na região é do tipo micromaré, mista com predomínio diurno, e amplitude média de 0,47 metros na entrada do estuário. Sua principal influência é a oscilação periódica dos níveis e a geração de correntes de maré. No Saco da Mangueira, a propagação da maré pode ser modificada, com possível amplificação de componentes durante períodos de alta descarga fluvial, devido à interação com o fluxo e à fricção de fundo em áreas rasas. A maré meteorológica, induzida por vento e, em menor grau, pela pressão atmosférica, é a principal causa de inundações costeiras em Rio Grande, podendo exceder significativamente a amplitude da maré astronômica. Adicionalmente, ondas geradas pelo vento, embora geralmente de curto período e fetch limitado, podem remobilizar sedimentos finos em áreas rasas e aumentar a tensão de cisalhamento no fundo, influenciando a dinâmica local.

4.3.2 Interação Hidrodinâmica Lagoa dos Patos – Saco da Mangueira e Impactos no Empreendimento

A hidrodinâmica de enseadas como o Saco da Mangueira está intrinsecamente acoplada à da Lagoa dos Patos e seu estuário principal. As oscilações de nível d'água no Saco da Mangueira geralmente acompanham as do estuário, embora modificações de amplitude e fase possam ocorrer devido à geometria e profundidade da enseada. A intensidade da descarga fluvial atua como um importante modulador dessa relação.

Esta interação governa os tempos de residência da água e as taxas de renovação dentro das enseadas. Áreas mais confinadas e com menor dinâmica, como o Saco da Mangueira, tendem a apresentar tempos de residência da água mais longos em comparação com o canal principal do estuário. A renovação da água nessas enseadas é um processo complexo, influenciado tanto pela entrada de água marinha durante as enchentes de maré quanto pelo aporte de água doce fluvial. Regiões mais internas e distantes das principais fontes de renovação tendem a apresentar águas com "idade" mais elevada. A penetração de água salgada no Saco da Mangueira é outro fenômeno relevante, fortemente controlado pela combinação da maré e, de forma mais acentuada, pelos ventos de SO, especialmente durante períodos de baixa descarga fluvial.

5 MODELAGEM DIGITAL DO TERRENO

O primeiro passo para análises de hidrodinâmica ambiental em uma região é a modelagem digital do terreno. Essa etapa, no contexto de modelagem, inclui a definição do domínio de interesse, discretização desse domínio e caracterização do terreno com dados de batimetria.

A construção do Modelo Digital de Terreno consistente para avaliação dos resultados de cotas obtidas para a área de estudo foi realizada utilizando técnicas de geoprocessamento com base no Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido através do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), e dados de batimetria das Cartas náuticas da DHN ao largo do porto, na Lagoa dos Patos e Oceano Atlântico.

Os dados foram consistidos em arquivos Geotiff e interpolados através do interolador *TopotoRaster* adotando a resolução espacial de 30 metros.

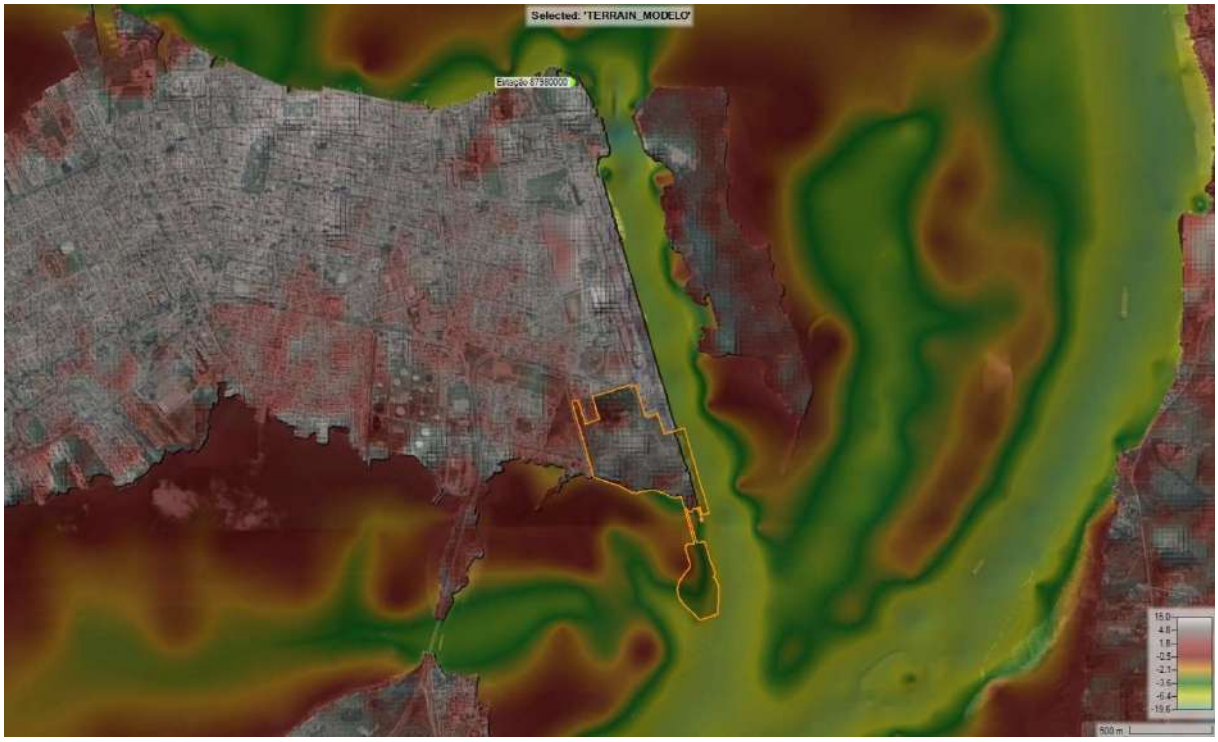


FIGURA 3: Modelo Digital de Terreno Gerado.
Fonte: Adaptado de HEC-RAS, 2025.

6 MEMORIAL DE CÁLCULOS

6.1 Levantamento de Dados e Justificativa

A estação utilizada para o referente estudo foi escolhida pela proximidade com a área e pela disponibilidade de dados de cotas da estação Regatas. A referida estação possui uma série de dados disponiveis do ano de 1984 a 2024, sendo que a série de **dados consistidos** de 198 a 2023.

A TABELA 2 apresenta os dados da estação Rio Grande/Regatas (87980000) utiizada no estudo.

TABELA 2: Dados Da Estações Fluviométrica Utilizada.

Dados da Estação	
Código	87980000
Nome	RIO GRANDE / REGATAS
Código Adicional	-
Bacia	8 - ATLÂNTICO, TRECHO SUDESTE
Sub-bacia	87 - LAGOA DOS PATOS
Rio	LAGOA DOS PATOS
Estado	RIO GRANDE DO SUL
Município	RIO GRANDE
Responsável	ANA
Operadora	SGB-CPRM
Latitude	-32
Longitude	-52
Altitude (m)	0
Área de Drenagem (km²)	170000

Fonte: Adaptado de HIDROWEB (ANA).

Para a plotagem contínua dos dados e análise da disponibilidade, foi utilizado o software *Super Manejo de Dados*, desenvolvido pelo grupo de pesquisa em Hidrologia em Grande Escala (HGE) do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH). O software possui uma interface amigável e de uso prático, que auxilia no processamento e análise de dados em estudos hidrológicos.

O GRÁFICO 1 apresenta a disponibilidade tempora da estação utilizada.

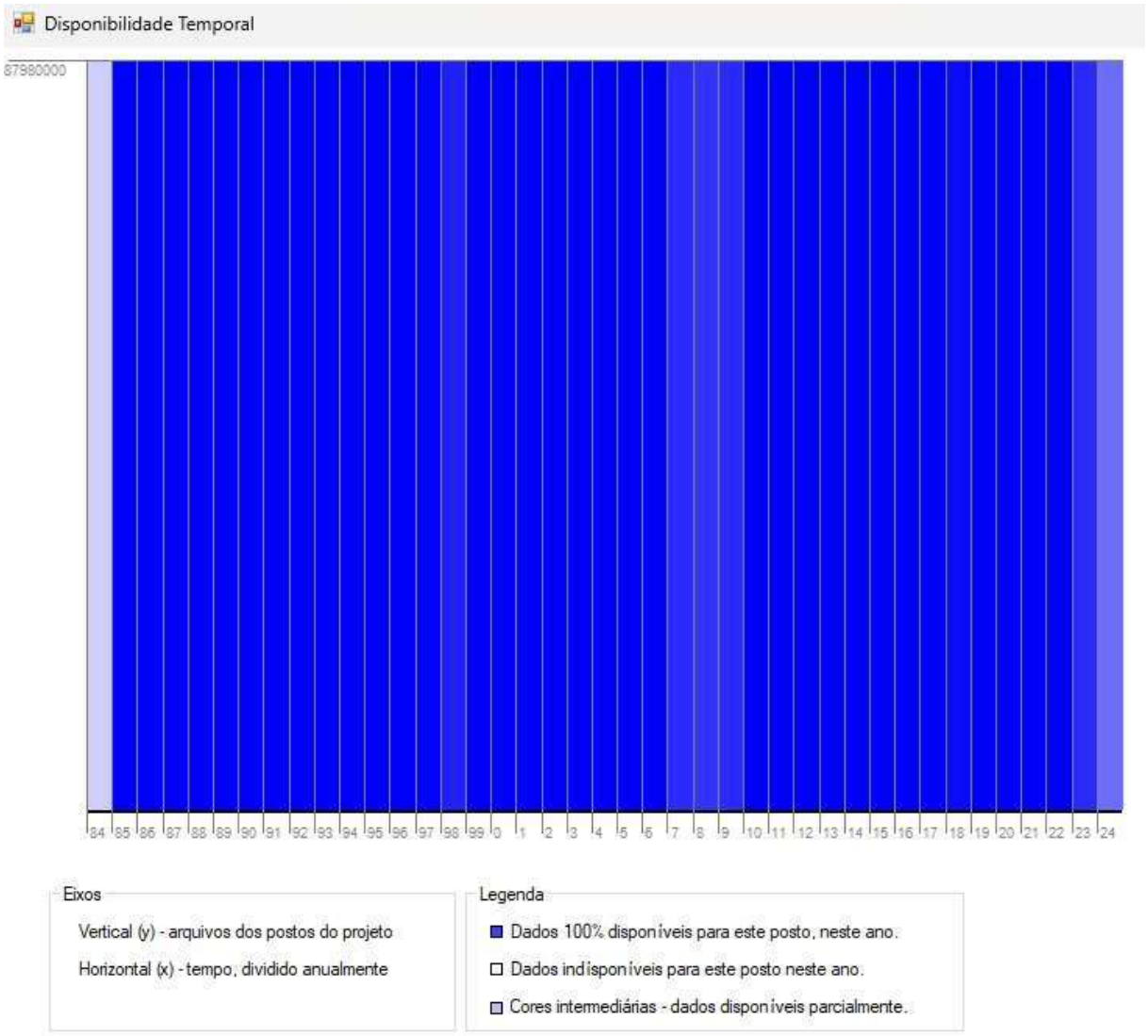


GRÁFICO 1: Disponibilidade Temporal dos Dados.
Fonte: Adaptado de SuperManejoDeDados (IPH).

O GRÁFICO 2 a seguir apresenta o cotagrama da estação Rio Grande/ REGATAS.

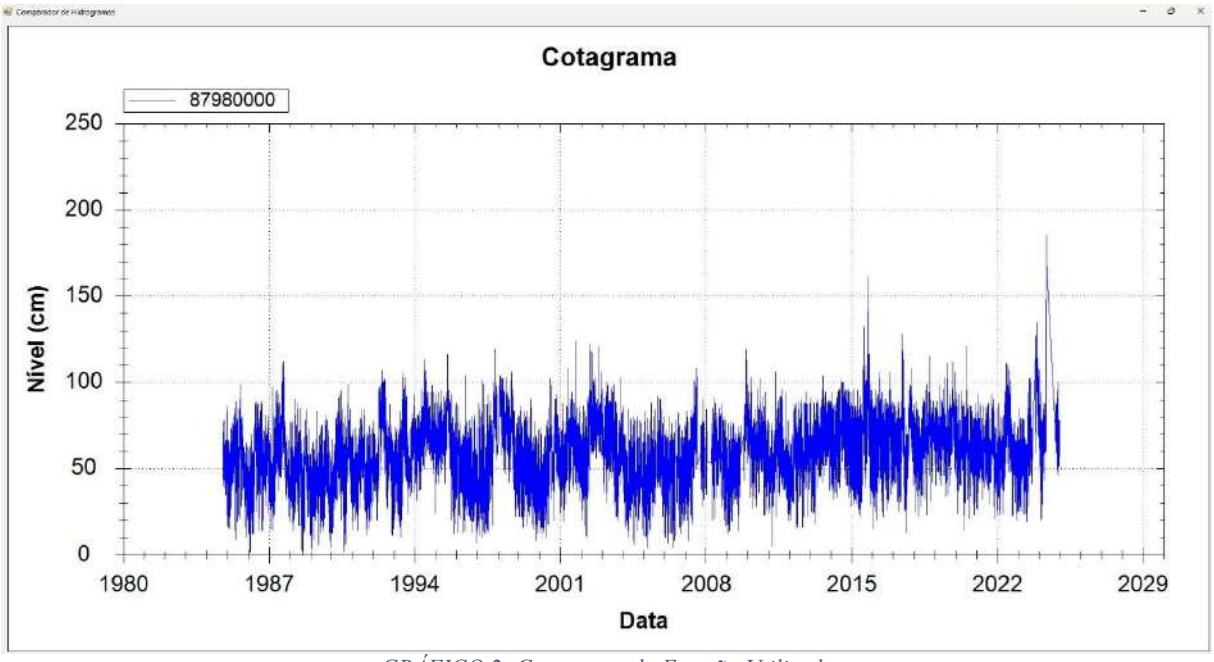


GRÁFICO 2: Cotagrama da Estação Utilizada
Fonte: Adaptado de SuperManejoDeDados (IPH).

A partir dos dados consistidos da estação, foi gerado o gráfico dos níveis médias, mínimas e máximas mensais da régua para caracterização da estação (GRÁFICO 3**)**.

A estação apresenta os maiores níveis em nos meses de junho, julho e agosto, período mais chuvoso na região sul do país que coincide com as chegadas de frentes frias, resultando também em maiores níveis de maré.

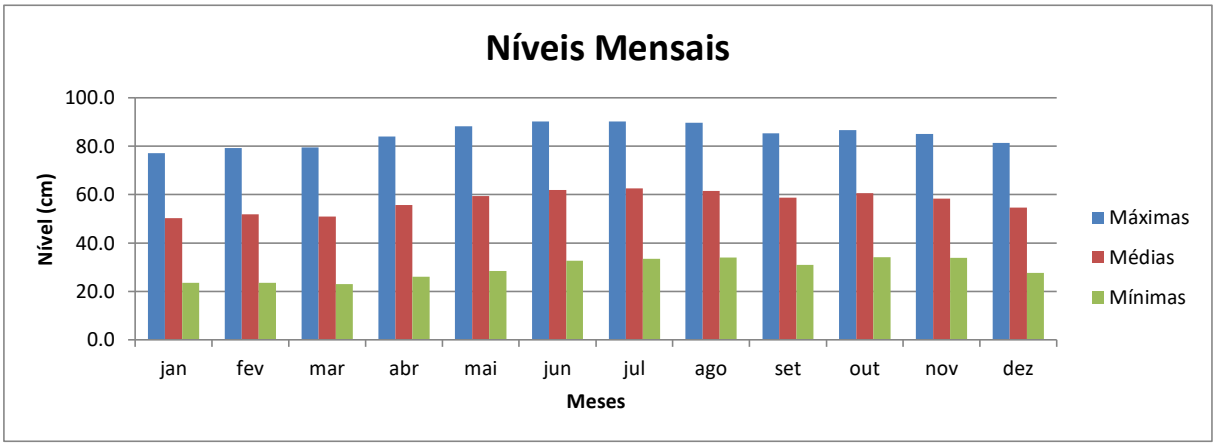


GRÁFICO 3: Médias, Mínimas e Máximas Mensais.
Fonte: Autor.

6.2 Cálculo dos Níveis Notáveis

De posse da série de vazões médias diárias, seleciona-se o maior valor ocorrido anualmente. Da série estabelecida de máximos anuais e calcula-se a média, o desvio-padrão e assimetria. Da análise do valor da assimetria escolhe-se a distribuição, Gumbel ou Exponencial de 2 Parâmetros, conforme recomendações técnicas (ELETROBRÁS, 1985).

As cotas máximas obervadas da estação foram organizadas de acordo com seus respectivos anos de ocorrência

(n_1+n_2+n_3....N) e por conseguinte foram calculados os Tempos de Retorno de cada evento na ordem descrescente como é mostrad na TABELA 3.

N = 40 anos

TR = (N+1)/n

Os dados então foram reorganizados e os Tempos de Retorno foram correlacionados com os eventos de maior magnitude observados (Xi = X_1.+ X_2 + X_3....X_N).

TABELA 3: Máximas Observadas e seus respectivos Tempos de Retorno

SÉRIE HISTÓRICA (N = 40 ANOS)				
Observados		n	Tr	Observados
ano	Cota		(N+1)/n	Xi
1984	86.0	1	41.00	161.0
1985	98.0	2	20.50	135.0
1986	89.0	3	13.67	128.0
1987	112.0	4	10.25	124.0
1988	90.0	5	8.20	122.0
1989	83.0	6	6.83	121.0
1990	99.0	7	5.86	119.0
1991	84.0	8	5.13	119.0
1992	107.0	9	4.56	116.0
1993	105.0	10	4.10	115.0
1994	113.0	11	3.73	113.0
1995	116.0	12	3.42	112.0
1996	104.0	13	3.15	112.0
1997	119.0	14	2.93	111.0
1998	106.0	15	2.73	108.0
1999	90.0	16	2.56	107.0
2000	102.0	17	2.41	106.0
2001	124.0	18	2.28	106.0
2002	122.0	19	2.16	106.0
2003	103.0	20	2.05	105.0
2004	84.0	21	1.95	104.0
2005	92.0	22	1.86	104.0
2006	82.0	23	1.78	103.0
2007	108.0	24	1.71	103.0
2008	91.0	25	1.64	102.0
2009	119.0	26	1.58	101.0
2010	103.0	27	1.52	99.0
2011	106.0	28	1.46	98.0
2012	94.0	29	1.41	94.0
2013	104.0	30	1.37	93.0
2014	101.0	31	1.32	92.0
2015	161.0	32	1.28	91.0
2016	106.0	33	1.24	90.0
2017	128.0	34	1.21	90.0
2018	115.0	35	1.17	89.0
2019	112.0	36	1.14	86.0
2020	121.0	37	1.11	84.0
2021	93.0	38	1.08	84.0
2022	111.0	39	1.05	83.0
2023	135.0	40	1.03	82.0

Fonte: Autor.

6.2.1 Cálculo do Coeficiente de Assimetria g.

O coeficiente de assimetria é um valor fixo e o contrário de outras medidas de assimetria, o coeficiente de assimetria da distribuição de Gumbel é uma constante teórica, definida como aproximadamente 1,14. Usado na

escolha da distribuição: Ele é utilizado como um critério para decidir se a distribuição de Gumbel é um modelo adequado para os seus dados. Se o coeficiente de assimetria amostral for menor que 1,5, a distribuição de Gumbel é frequentemente recomendada para séries de valores extremos, como precipitações ou vazões máximas.

pode ser calculado usando a seguinte fórmula:

EQUAÇÃO 2

$$g = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{Xi - \overline{X}}{s}\right)^3$$

Sendo:
g= coeficiente de assimetria amostral
n= número de observações
X_i= valor observado
$\bar{X}$= média dos valores observados
s= desvio padrão amostral

TABELA 4: Cálculo do: Coeficiente de Assimetria.

Observ,	Coeficiente de Assimetria	
Xi	Xi-med	((Xi-med)/DesvPad)³
161	55,55	43,353
135	29,55	6,526
128	22,55	2,900
124	18,55	1,614
122	16,55	1,146
121	15,55	0,951
119	13,55	0,629
119	13,55	0,629
116	10,55	0,297
115	9,55	0,220
113	7,55	0,109
112	6,55	0,071
112	6,55	0,071
111	5,55	0,043
108	2,55	0,004
107	1,55	0,001
106	0,55	0,000
106	0,55	0,000
106	0,55	0,000
105	-0,45	0,000
104	-1,45	-0,001
104	-1,45	-0,001

Observ,	Coeficiente de Assimetria	
Xi	Xi-med	((Xi-med)/DesvPad)³
103	-2,45	-0,004
103	-2,45	-0,004
102	-3,45	-0,010
101	-4,45	-0,022
99	-6,45	-0,068
98	-7,45	-0,105
94	-11,45	-0,380
93	-12,45	-0,488
92	-13,45	-0,615
91	-14,45	-0,763
90	-15,45	-0,933
90	-15,45	-0,933
89	-16,45	-1,126
86	-19,45	-1,861
84	-21,45	-2,496
84	-21,45	-2,496
83	-22,45	-2,862
82	-23,45	-3,261
Soma	2,98428E-13	40,138

Fonte: Autor.

O Coeficiente de Assimetria calculado para os dados amostrais resultou em *1.* Portanto utilizou-se a distribuição de probabilidades de Gumbel para máximos.

6.2.2 Distribuição de Gumbel

Os tempos de retorno associados às vazões máximas anuais são estimados com a distribuição de Gumbel, conforme descrito na equação:

EQUAÇÃO 3

$$N = m - s * \left\{0,45 + 07797 * ln\left[ln\left(\frac{TR}{TR-1}\right)\right]\right\}$$

Sendo:
N = valor da vazão desejada (m³/s)
m = média das vazões máximas anuais
s = desvio padrão das vazões máximas anuais
TR = tempo de retorno em anos

TABELA 5: Ajuste Às curvas teóricas de probabilidades para eventos hidrológicos extremos.

Gumbel Teórico			Observados
Calculados	Diferença	k	
143.9666	-17.0334	2.435774	161.0
135.2655	0.265527	1.88552	135.0
130.108	2.107995	1.55936	128.0
126.3991	2.399135	1.324814	124.0
123.4823	1.48231	1.140355	122.0
121.0649	0.064928	0.987481	121.0
118.9908	-0.00919	0.856315	119.0
117.1666	-1.83337	0.740954	119.0
115.5321	-0.4679	0.637587	116.0
114.046	-0.95405	0.543604	115.0
112.6787	-0.32133	0.457138	113.0
111.4083	-0.59166	0.376803	112.0
110.2182	-1.78176	0.301541	112.0
109.0952	-1.90476	0.230523	111.0
108.0288	0.028829	0.163084	108.0
107.0104	0.010408	0.098679	107.0
106.0328	0.032808	0.036857	106.0
105.0899	-0.91005	-0.02277	106.0
104.1766	-1.82344	-0.08053	106.0
103.288	-1.71197	-0.13672	105.0
102.4202	-1.57981	-0.1916	104.0
101.5693	-2.43074	-0.24542	104.0
100.7317	-2.26834	-0.29839	103.0
99.904	-3.096	-0.35073	103.0
99.08292	-2.91708	-0.40265	102.0
98.26504	-2.73496	-0.45437	101.0
97.44684	-1.55316	-0.50612	99.0
96.62455	-1.37545	-0.55812	98.0
95.79399	1.793988	-0.61064	94.0
94.95039	1.950387	-0.66399	93.0
94.0881	2.088101	-0.71852	92.0
93.20021	2.200209	-0.77467	91.0
92.2779	2.277901	-0.833	90.0
91.30948	1.309476	-0.89424	90.0
90.27861	1.278614	-0.95943	89.0
89.16115	3.161148	-1.0301	86.0
87.91842	3.918418	-1.10869	84.0
86.48145	2.481449	-1.19956	84.0
84.7042	1.704201	-1.31195	83.0
82.15702	0.157017	-1.47304	82.0

Fonte: Autor.

Para uma melhor visualização, os níveis calculados foram plotados no gráfico do ajuste da distribuição com coeficiente de correção **R^2 de 0,983** e então extrapolados para os valores de acordo com o tempo de retorno de interesse no estudo (GRÁFICO 4).

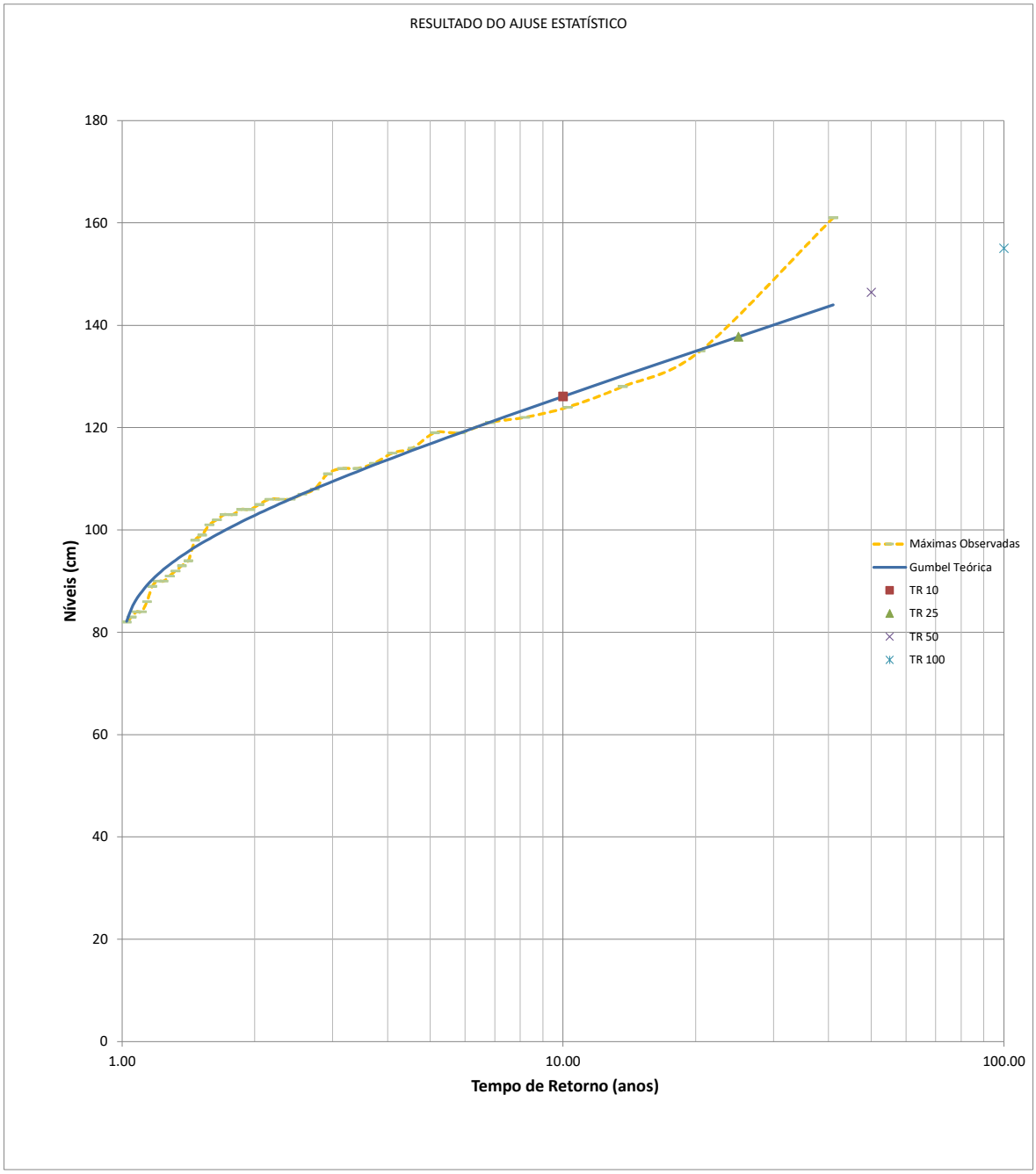


GRÁFICO 4: Ajuste Dados Observados à Distribuição Gumbel Teórica e Extrapolação obtenção dos Tempos de Retorno. Fonte: Autor.

A partir do ajuste da melhor distribuição teórica para os dados amostrais da estação, foram calculados os níveis notáveis objetos deste estudo (TABELA 6).

TABELA 6: Níveis Notáveis Calculados

TR (anos)	Níveis Quantis Notáveis (cm)	Somado ao Erro Padrão
10	126.1	128.3
25	137.8	140.0
50	146.4	148.7
100	151.6	157.3

Fonte: Autor.

FIGURA 4: Mapeamento da Inundação de acordo com os Respectivos Tempos de Retorno.
Fonte: Modificado de GoogleEarth.

A partir do modelo digital de terreno gerado e descrito anteriormente neste relatório, foram geradas as manchas de inundação para seus respectivos tempos de retorno.

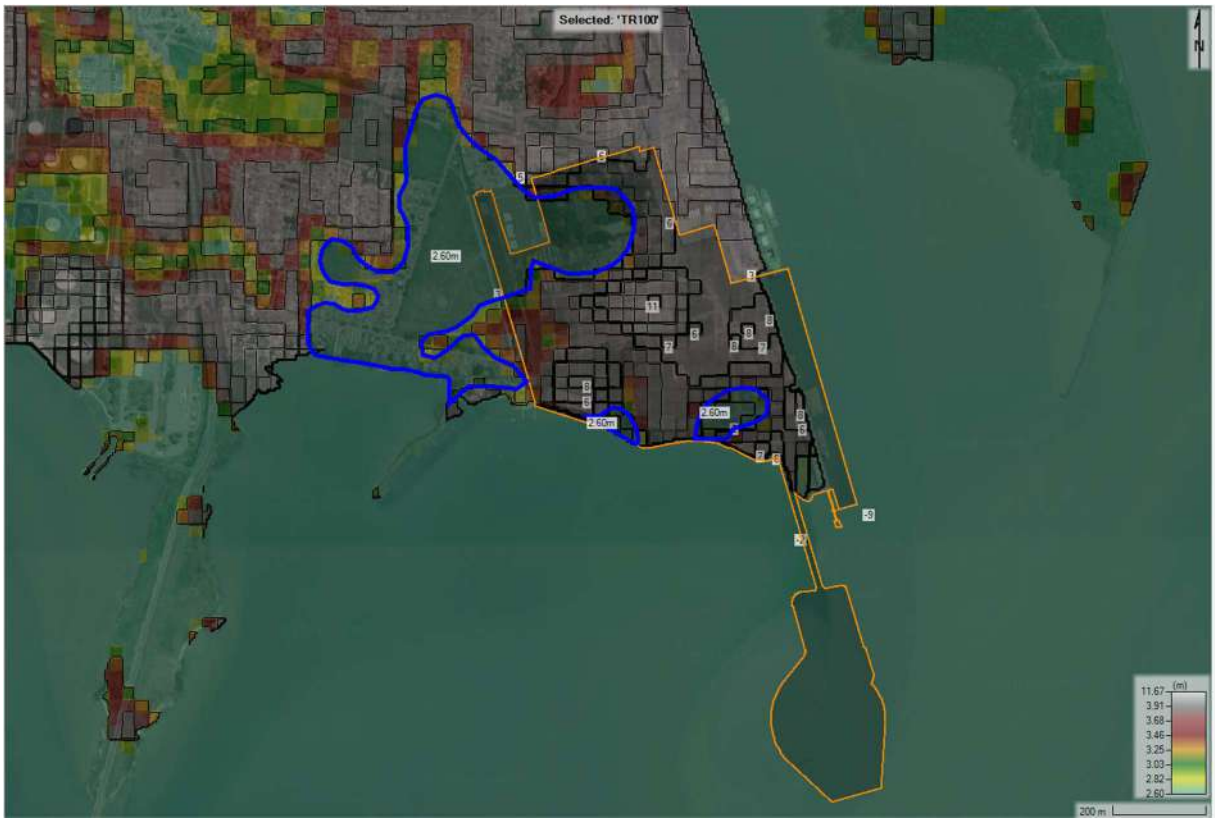


FIGURA 5: Mancha de Inundação com Tempo de Retorno de 100 Anos - cota 2,60 metro.
Fonte: Adaptado de HEC-RAS, 2025.

No caso de haver necessidade aterrar uma área inundada for considerado necessário, é essencial que seja feito um planejamento adequado. Isso inclui a avaliação cuidadosa dos impactos ambientais e sociais, bem como a implementação de medidas de mitigação e compensação, se possível.

Para a regulamentação e licenciamento, a aterragem de áreas inundadas geralmente está sujeita a regulamentos e requisitos de licenciamento rigorosos. É importante seguir todas as leis e regulamentos locais, estaduais e federais relacionados à alteração de áreas inundadas.

Antes de decidir aterrar uma área inundada, é importante considerar alternativas, como a implementação de medidas de gerenciamento de águas pluviais, a construção de reservatórios de retenção de água, a elevação de estruturas ou a realocação de edifícios em áreas de risco de inundação.

Em resumo, o aterramento de áreas inundadas pode ser uma estratégia viável em alguns casos, mas deve ser considerado com cuidado devido aos impactos ambientais e sociais potenciais. É importante realizar estudos e avaliações adequadas, envolver a comunidade afetada e seguir todas as regulamentações aplicáveis antes de tomar decisões relacionadas ao aterramento de áreas inundadas. Além disso, é fundamental buscar soluções de gerenciamento de enchentes sustentáveis e de longo prazo para mitigar os riscos de inundações.

7 SÍNTESE RESUMIDA DOS RESULTADOS OBTIDOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação a área de estudo:

- Não há restrições para o uso pretendido (Estação Portuária), desde que respeitados os limites da mancha apresentada no **MAPA 3**, os limites do Zoneamento e o pleno atendimento aos critérios de ocupação definidos neste estudo;
- Ao término dos estudos, é possível verificar que a área é atingida pela mancha de inundação de todos os tempos de retorno na porção central da gleba.
- Os resultados do estudo e seus respectivos tempos de retorno são mostrados na FIGURA 4 deste relatório.
- É importante ressalvar que, de acordo com a avaliação dos dados medidos na estação regatas, é bem possível que houve cotas superiores aos Tempo de Retorno do Termo de Referência do presente estudo, principalmente nos anos de 2015 (1,61 m) e 2024 (1,85 m), anos em que o Estado do Rio Grande do Sul sofreram com os maiores eventos de inundação já observados.
- Levando em consideração que no estudo não são modelados fenômenos mais complexos da hidrodinâmica local como efeitos de maré e o risco econômico atrelado às operações portuárias em eventos de extremos de maior magnitude como os supracitados, estudo recomenda a sobreposição de um *Freeboard* de 1,0 m acima da cota do Tempo de Retorno de 100 anos (1,60m)
- Portanto, o estudo estabelece como cota segura para as operações do empreendimento a cota de 2,60 metros.

7.1 Limitações do Método

É fundamental reconhecer que toda modelagem e análise hidrológica, por mais detalhada que seja, carrega consigo um conjunto de limitações e incertezas inerentes aos métodos empregados, aos dados disponíveis e às simplificações necessárias para representar processos naturais complexos.

No que tange à **modelagem digital do terreno (MDT)**, utilizada como base para a compreensão da topografia e batimetria da área de estudo, é importante destacar que podem haver imprecisões. Estas podem surgir devido às interpolações realizadas entre pontos cotados, especialmente em áreas onde a densidade de dados do levantamento topográfico fornecido pela contratante ou dos dados batimétricos das cartas náuticas da DHN e do SRTM é variável. Em regiões com menor densidade de pontos, o processo de interpolação pode suavizar feições importantes do relevo ou introduzir artefatos, potencialmente afetando a exatidão na delimitação de áreas inundáveis e na propagação do escoamento em uma eventual simulação hidrodinâmica detalhada. Embora um MDT consistente tenha sido construído, a resolução espacial de 30 metros e a natureza dos dados de origem (SRTM para áreas emersas e cartas náuticas para áreas submersas) implicam um nível de detalhe que pode não capturar todas as microtopografias relevantes.

A **análise de frequência de cotas extremas**, baseada no ajuste de distribuições estatísticas (como a de Gumbel, utilizada neste estudo para cotas máximas anuais) aos dados históricos da estação fluviométrica Rio Grande/Regatas (87980000), também possui limitações. Estas incluem:

- A pressuposição de que o regime hidrológico da série histórica (1984-2023 para dados consistidos) permanecerá estacionário no futuro, ou seja, que as condições climáticas e hidrológicas passadas serão representativas das futuras. Alterações climáticas e outras mudanças ambientais de longo prazo na bacia hidrográfica da Lagoa dos Patos podem alterar a frequência e magnitude de eventos extremos de formas não capturadas pela série histórica.

- A extensão da série de dados (40 anos de dados consistidos) influencia a confiabilidade das estimativas para tempos de retorno elevados, como o de 100 anos. Extrapolações para períodos muito além do comprimento da série observada são inerentemente mais incertas.
- A escolha de uma distribuição de probabilidade específica (Gumbel, neste caso) é uma aproximação do comportamento real dos eventos extremos. Embora a seleção tenha sido baseada em critérios técnicos (coeficiente de assimetria), outras distribuições poderiam fornecer resultados ligeiramente diferentes.

O estudo optou por uma abordagem estatística para a avaliação da inundação através das cotas máximas na estação fluviométrica, considerando a complexidade de uma representação hidrodinâmica totalmente fidedigna para a área. Embora esta abordagem seja robusta para os objetivos propostos e siga o princípio da Navalha de Ockham (preferência por modelos mais simples e eficazes), ela não detalha os padrões de fluxo bidimensionais ou tridimensionais na planície de inundação que uma modelagem hidrodinâmica completa poderia oferecer.

Ademais, a avaliação de risco hidrológico não incorporou um estudo econômico e social detalhado dos impactos das enchentes, o que seria impraticável devido aos custos, focando-se em Tempos de Retorno comumente utilizados em projetos de drenagem e zoneamento.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBOTT, M., & BASCO, D. (1989). Computational fluid dynamics. An introduction for engineers. Logman Scientific and Technical.

DNIT, 2007, EIA-RIMA para as Obras de Dragagem de Aprofundamento do Canal de Acesso ao Porto de Rio Grande Volume II – Caracterização do Meio Físico.

FURG, 2008, Relatório das Sondagens Geológicas para o EIA/RIMA Dragagem de aprofundamento dos canais de acesso e bacias de evolução do Porto Novo(RS) e Porto de São José do Norte.

HARTMANN, C., HARKOT, P. F. C., 1990, Influência Do Canal São Gonçalo No Aporte De Sedimentos Para O Estuário Da Laguna Dos Patos – RS, Revista Brasileira de Geociências Vol. 20: p329-332.

INPH / SEP, 2014, Modelo Matemático aprimorado de quantificação de assoreamento nos acessos aquaviários nos Portos Contemplados. Porto de Rio Grande – RS. 2015

INPH / SEP, 2015, Estudo de Sedimentação no Canal de Acesso ao Porto de Rio Grande – RS, INPH: 05/2015, Código: RG-600/03.

MARTINS, I. R., VILLWOCK, J. A., MARTINS, L. R., BEMVENUTI, C. E. The Lagoa dos Patos Estuaine Ecosystem (RS, Brazil). Pesquisas em Geociências, 22 (22): 5-44, jan./abr., 1989. Versão online disponível em: http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/21454.

MÖLLER Jr., O.O, CASTAING, P., SALOMON, J., LAZURE, P., 2001, The Influence of Local and Non-Local Forcing Effects on the Subtidal Circulation of Patos Lagoon, Estuaries Vol. 24, No. 2, p. 297–311.

ROSMAN, P.C.C., 2018. Referência Técnica do SisBaHiA - Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental. Engenharia Costeira e Oceanográfica. COPPE/UFRJ., Rio de Janeiro. Fonte: http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br/SisBAHIA_RefTec_V9c_.pdf

SAHA, S., et al., 2011, updated monthly. NCEP Climate Forecast System Version 2 (CFSv2) Selected Hourly Time-Series Products. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. http://rda.ucar.edu/datasets/ds094.1/, Acesso em 12.03.2015.

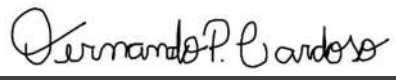
VAZ, A.C., MÖLLER Jr., O.O., ALMEIDA, T.L., 2006, Análise Quantitativa Da Descarga Dos Rios Afluentes Da Lagoa Dos Patos, Revista Atlântica, 28(1): p13-23.

ELETROBRAS. Centrais Elétricas Brasileira S.A. Metodologia para regionalização de vazões. Rio de Janeiro. 2v, 1985.

TUCCI, C. E. M. 1993. Hidrologia, Ciências e Aplicação. Porto Alegre: Ed da Universidade: ABRH: 680 p.

_____. 2007. Hidrologia Aplicação e Ciência. 2ª Edição, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Capítulo 21, p. 805 – 842.

Submete-se o laudo para aprovação à FEPAM.



Fernando P. Cardoso

CREA RS 237958

Engenheiro Hídrico Consultor

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul

CREA-RS

ART Número
14136146

Tipo: OBRA OU SERVIÇO
Participação Técnica: INDIVIDUAL/PRINCIPAL
Convênio: NÃO É CONVÊNIO
Motivo: NORMAL

Contratado

Carteira: RS237958 **Profissional:** FERNANDO PETERSEN CARDOSO **E-mail:** nando.petersen@outlook.com
RNP: 2218624877 **Título:** Engenheiro Hídrico
Empresa: NENHUMA EMPRESA **Nr.Reg.:**

Contratante

Nome: ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA **E-mail:**
Endereço: RUA WASHINGTON LUIZ 1010 **Telefone:** **CPF/CNPJ:** 27805836000110
Cidade: PORTO ALEGRE **Bairro:** CENTRO HISTÓRICO **CEP:** 90010460 **UF:** RS

Identificação da Obra/Serviço

Proprietário: CMPC CELULOSE RIOGRANDENSE LTDA
Endereço da Obra/Serviço: Avenida ALMIRANTE MAXIMILIANO DA FONSECA **CPF/CNPJ:** 11234954000185
Cidade: RIO GRANDE **Bairro:** ZONA PORTUÁRIA **CEP:** **UF:** RS
Finalidade: AMBIENTAL **Vlr Contrato(R$):** 1.400,00 **Honorários(R$):** 1.400,00
Data Início: 27/11/2025 **Prev.Fim:** 27/11/2026 **Ent.Classe:**

Atividade Técnica	Descrição da Obra/Serviço	Quantidade	Unid.
Estudo	Hidrologia - Dimensionamento de Cheias	0,50	KM²
Laudo Técnico	COTA MÍNIMA SEGURA PARA IMPLANTAÇÃO DE EMPREENDIMENTO	0,50	KM²
Elaboração	ESTUDO DE SUSCEPTBILIDADE À INUNDAÇÃO DE ÁREA PORTUÁRIA	0,50	KM²

ART registrada (paga) no CREA-RS em 27/11/2025

Porto Alegre/RS
27 de novembro de 2025
Local e Data

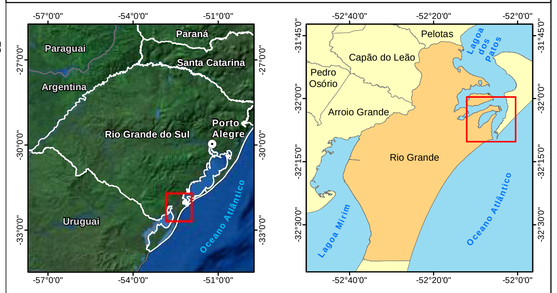
Documento assinado digitalmente
gov.br
FERNANDO PETERSEN CARDOSO
Data: 27/11/2025 15:29:36-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br
FERNANDO PETERSEN CARDOSO
Profissional

De acordo
ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA

A AUTENTICIDADE DESTA ART PODE SER CONFIRMADA NO SITE DO CREA-RS, LINK SOCIEDADE - ART CONSULTA.

Anexo 6. Mapa de hidrografia das áreas de influência do meio físico.

Localização



Legenda

- Rodovia Federal
- Rodovia Estadual
- Hidrografia
- Canal
- Vala
- Fluxo da Água Superficial
- Banhado
- Terreno Sujeito a Inundação
- Ilha
- Limite Municipal
- Área Diretamente Afetada
- Área de Influência Indireta do Meio Físico - Meio Terrestre
- Área de Influência Indireta do Meio Físico - Meio Aquático

Nota Explicativa I

Parâmetros Cartográficos:

Sistema de Coordenadas Geográficas
Graus Decimais
Datum Horizontal: SIRGAS2000

km
0 0,5 1

Nota Explicativa II

Fonte das Informações:

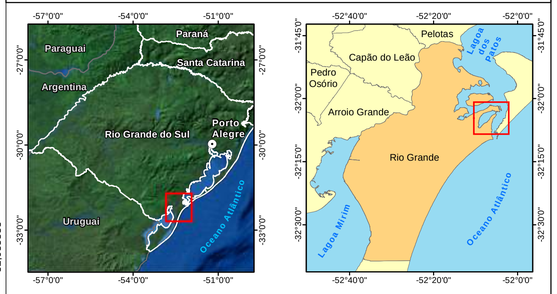
- Trecho de Drenagem, Rodovia, Limite Municipal: Base Cartográfica do Estado do RS, Escala: 1:25.000 - BCRS25, Versão 1.0 - 2018.
- Localidade e Divisão Estadual: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2018.
- Trecho de Drenagem, Massa D'água, Banhado, Terreno Sujeito a Inundação e Ilhas: Arvut Meio Ambiente. Aquisição de Vetores por Meio de Vetorização de Ortoimagem, 2022.
- Áreas de Influência: Arvut Meio Ambiente, 07/04/2025.
- Imagem Base: Aplicativo Google Satellite.

Projeto: Estudo de Impacto Ambiental com Vistas à Obtenção de Licença Prévia de Eia/Rima para Terminal Portuário Privado no Complexo Portuário do Rio Grande			Local: Rio Grande - RS
Título: Mapa de Hidrografia			
Responsável Técnico: Eng. Civ. Kayo C. F. Soares CREA/RS 225372	Elaborado por: Geógrafo Eduardo Farina CREA/RS 177016	Aprovado por: Bióloga Thaís Ascoli Morrete CRBio 110870/03D	Executora: ARVUT SINERGIA EM MEIO AMBIENTE
Parâmetros Cartográficos: Ver nota explicativa I	Fonte de Dados: Ver nota explicativa II	Escala: 1:35.000	Prancha: 001/001 / Data: maio/2025
Documento Digital: 241_EIA_FISICO_AII_HIDROGRAFIA_A1		Contratante: TERMINAL RIO GRANDE DO SUL S.A.	

-52,166667° -52,133333° -52,1° -52,066667°

-32,033333° -32,066667° -32,1° -32,133333°

Localização



Legenda

- Ponto de Referência
- Bairro
- Rodovia Federal
- Rodovia Estadual
- Ferrovia
- Fluxo da Água Superficial
- Hidrografia
- Canal
- Vala
- Terreno Sujeito a Inundação
- Banhado
- Ilha
- Limite Municipal
- Área Diretamente Afetada
- Área de Influência Direta do Meio Físico - Meio Terrestre
- Área de Influência Direta do Meio Físico - Meio Aquático

Nota Explicativa I

Parâmetros Cartográficos:

Sistema de Coordenadas Geográficas
Graus Decimais
Datum Horizontal: SIRGAS2000

0 0,5 1 km

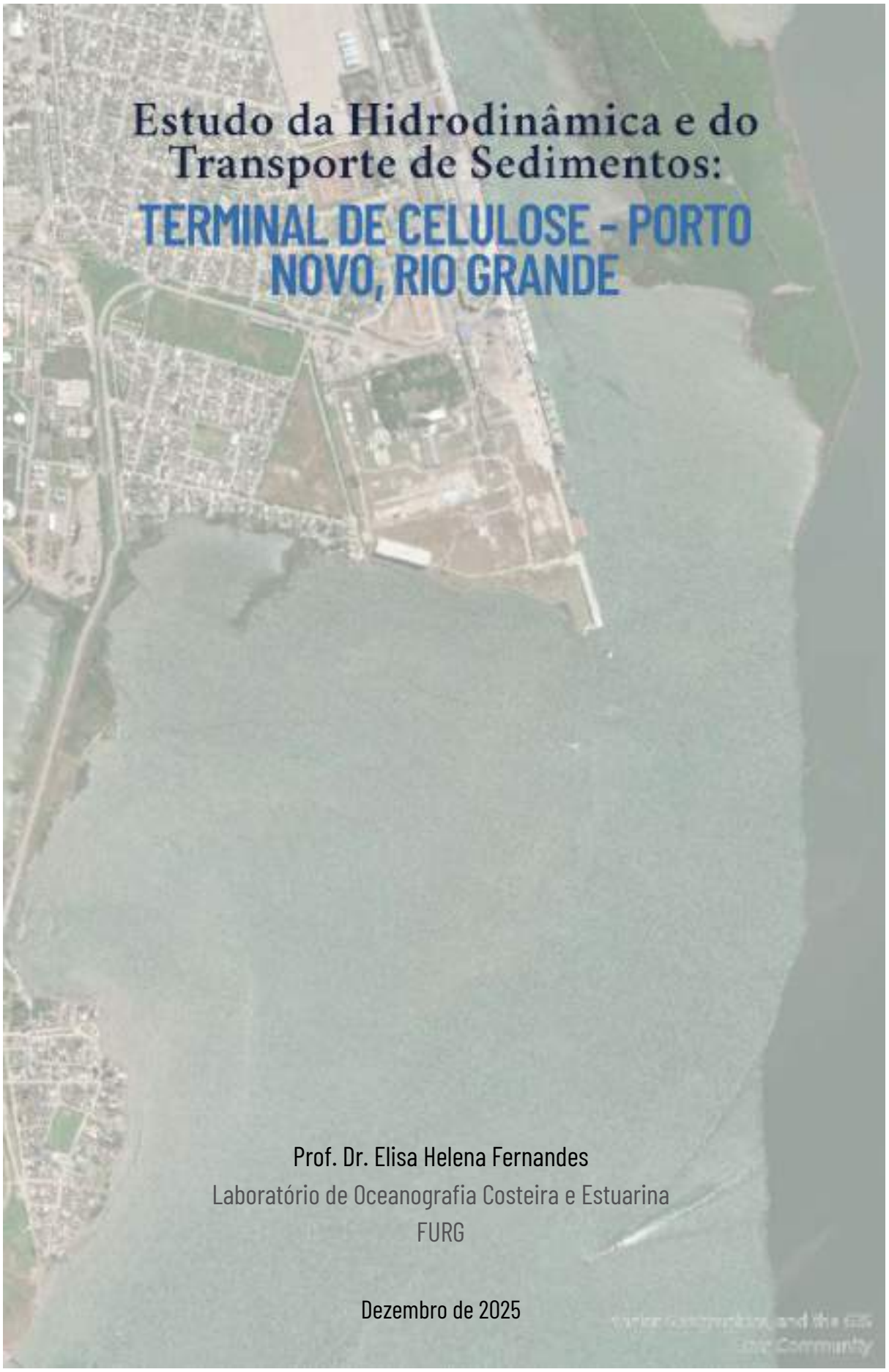
Nota Explicativa II

Fonte das Informações:

- Rodovia, Limite Municipal: Base Cartográfica do Estado do RS, Escala: 1:25.000 - BCRS25, Versão 1.0 - 2018.
- Localidade e Divisão Estadual: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2018.
- Trecho de Drenagem, Massa D'água, Banhado, Terreno Sujeito à Inundação e Ilhas: Arvut Meio Ambiente. Aquisição de Vetores por Meio de Vetorização de Ortoimagem, 2022.
- Áreas de Influência: Arvut Meio Ambiente, 07/04/2025.
- Imagem Base: Aplicativo Google Satellite.

Projeto: Estudo de Impacto Ambiental com Vistas à Obtenção de Licença Prévia de Eia/Rima para Terminal Portuário Privado no Complexo Portuário do Rio Grande			Local: Rio Grande - RS
Título: Mapa de Hidrografia - Área de Influência Direta do Meio Físico			
Responsável Técnico: Eng. Civ. Kayo C. F. Soares CREA/RS 225372	Elaborado por: Geógrafo Eduardo Farina CREA/RS 177016	Aprovado por: Bióloga Thaís Ascoli Morrete CRBio 110870/03D	Executora: ARVUT SINERGIA EM MEIO AMBIENTE
Parâmetros Cartográficos: Ver nota explicativa I	Fonte de Dados: Ver nota explicativa II	Escala: 1:25.000	Prancha: 001/001 / Data: maio/2025
Documento Digital: 241_EIA_FISICO_AID_HIDROGRAFIA_A1		Contratante: TERMINAL RIO GRANDE DO SUL S.A.	

Anexo 7. Estudo Hidrodinâmico e de Transporte de Sedimentos.



Estudo da Hidrodinâmica e do Transporte de Sedimentos:

TERMINAL DE CELULOSE - PORTO NOVO, RIO GRANDE

Prof. Dr. Elisa Helena Fernandes
Laboratório de Oceanografia Costeira e Estuarina
FURG

Dezembro de 2025

Sumário

Capítulo 1: Análise da Dinâmica Sedimentar na Área de Interesse de Instalação do Terminal de Celulose..... 4
1.1 Equipe Técnica..... 4
1.2 Apresentação..... 4
1.3 Introdução – movimentação de sedimentos..... 4
1.4 Problema – movimentação de sedimentos no Canal de Rio Grande..... 5
1.5 Material e Métodos..... 6
1.5.1 LA1: Monitoramento de Longo Período..... 7
1.5.2 LA2: Experimentos de Curta Duração..... 11
1.5.2.1 Dados Hidrodinâmicos e Propriedades da Água..... 12
1.5.2.2 Taxa de Deposição Potencial..... 14
1.5.2.3 Velocidade de Decantação do Sedimento em Suspensão..... 15
1.6 Resultados..... 16
1.6.1 Monitoramento de Longa Duração..... 16
1.6.2 Experimentos de Curta Duração..... 21
1.6.2.1 Condições Hidrodinâmicas no Canal..... 23
1.6.3 Condições Hidrodinâmicas no Baixio..... 30
1.6.4 Velocidade de Decantação do Sedimento em Suspensão..... 37
1.6.5 Taxa de Deposição Potencial..... 40
1.7 Discussão..... 42
Capítulo 2: Modelagem numérica..... 45
2.1 Equipe Técnica..... 45
2.2 Objeto..... 45
2.3 Metodologia..... 45
2.3.1 Modelo Numérico - O Sistema TELEMAC..... 45
A. Domínio e grade computacional..... 47
B. Condições iniciais e de contorno do Modelo Hidrodinâmico..... 51
2.3.3 Análise da hidrodinâmica e do transporte de sedimento..... 55
2.3.4. Simulação das condições de inundação..... 56
A. O gêmeo digital do Porto Organizado do Rio Grande (DT - PORTO)..... 56
B. Base cartográfica específica da região do Terminal da CMPC..... 57
2.4. Resultados..... 59
2.4.1 Cenário atual (Cenário 1): Hidrodinâmica da Lagoa dos Patos e seu estuário..... 59
2.4.2 Cenário atual (Cenário 1): Hidrodinâmica da área do AWT..... 63
A. Condição de alta descarga..... 63
B. Condição de baixa descarga..... 66
2.4.3 Cenário 2: Hidrodinâmica da área do AWT..... 69
A. Condição de alta descarga..... 69
B. Condição de baixa descarga..... 72
2.4.4 Cenário 3: Hidrodinâmica da área do AWT..... 75
A. Condição de alta descarga..... 75
B. Condição de baixa descarga..... 78
2.4.5 Comparação entre Cenários - Campo médio de velocidade da corrente..... 81

2.4.6 Comparação entre Cenários - Séries Temporais....85
2.4.7 Comportamento do transporte de sedimentos na área do Terminal - Cenário atual (Cenário 1):....96
2.4.8 Comportamento do transporte de sedimentos na área do Terminal: Comparação entre cenário atual e cenários de intervenção....97
2.4.9 Simulação de validação com os dados de campo (2025)....100
2.4.10 Simulação das condições de inundação....103
Capítulo 3: Análise de impactos e propostas de mitigação....106
Capítulo 4: Conclusões - Etapa 1....110
Capítulo 5: Detalhamento do Cenário 3 - Etapa 2....112
5.1 Metodologia....112
5.1.1 Domínio e configuração da nova grade computacional....112
5.1.2 Análise da hidrodinâmica e do transporte de sedimentos....115
5.2 Resultados....115
5.2.1 Cenário 3*: Hidrodinâmica da área do AWT....115
A. Condição de alta descarga....115
B. Condição de baixa descarga....119
5.2.2 Comparação entre Cenários - Campo médio de velocidade da corrente....122
5.2.3 Comparação entre Cenários - Séries Temporais....124
5.2.4 Comportamento do transporte de sedimentos na área do Terminal: Comparação entre cenário atual e cenário de intervenção de alta resolução....131
5.3 Conclusões - Etapa 2....133
Capítulo 6: Referências bibliográficas....135
Capítulo 7: Material Suplementar....138

Capítulo 1: Análise da Dinâmica Sedimentar na Área de Interesse de Instalação do Terminal de Celulose

1.1 Equipe Técnica

Carlos Augusto França Schettini
Luís Carlos Oliveira do Lago
Gabriel Pereira de Oliveira

1.2 Apresentação

O presente relatório apresenta o estudo da dinâmica sedimentar na área de interesse de instalação do Terminal de Celulose (All Weather Terminal – AWT) da Neltume/Sagres, em Rio Grande, RS, Brasil. Este empreendimento prevê a ocupação da porção sul do atual Porto Novo, considerando a adequação batimétrica de uma área que atualmente é um baixio (profundidade < 1,5 m) que margeia o canal de acesso ao Porto Novo. A área está inserida dentro do escopo do Canal de Rio Grande, que interconecta a Lagoa dos Patos e o Oceano Atlântico, onde ocorre intensa movimentação de sedimentos. A presente análise visa fornecer o diagnóstico da dinâmica atual com base em observações das condições hidrodinâmicas, propriedades da água (principalmente salinidade e turbidez), da velocidade de decantação do sedimento em suspensão, e da taxa de deposição potencial.

1.3 Introdução – movimentação de sedimentos

Sedimentos são constituídos de material granular que decantam sob a ação da gravidade. Sedimentos inorgânicos são formados pelo intemperismo das rochas, sendo erodidos a partir do local de formação pela ação da água (líquida ou gelo) ou do vento. A maior parte dos sedimentos é transportada pelo escoamento da água líquida no seu trânsito das áreas de formação, nos continentes, até chegarem nos oceanos.

Os sedimentos, em função da sua gênese, são distintos entre coesivos e não-coesivos. Sedimentos não-coesivos são gerados pelo intemperismo físico, enquanto que os sedimentos coesivos são gerados pelo intemperismo químico. A gênese está diretamente relacionada com o tamanho do grão de sedimento. Os sedimentos não coesivos são geralmente maiores, e são

formados principalmente por ‘areia’. Os sedimentos coesivos são geralmente menores, e são formados pelas frações granulométricas de silte a argila, também denominados de ‘finos’. Além da distinção do tamanho, os sedimentos coesivos também apresentam carga elétrica residual, enquanto que os sedimentos não-coesivos são eletricamente inertes. A carga elétrica residual é o que resulta na ‘coesividade’, e sedimentos coesivos no ambiente são comumente chamadas ‘lama’ ou ‘barro’.

Sedimentos são transportados por fluidos (ar ou água) por tração, saltação ou suspensão. O modo de transporte será determinado pela velocidade do escoamento, pela diferença de densidade entre o fluido e o sedimento, e pelo tamanho do grão. De forma geral, considerando a escala de velocidade do escoamento da água, a areia é transportada principalmente por tração e saltação, e os sedimentos finos são transportados principalmente por suspensão. Para sedimentos arenosos o transporte pode ser modelado de maneira relativamente objetiva, ponderando-se sobre a força aplicada sobre os grãos e o trabalho executado. Porém, para os sedimentos finos, em função da propriedade coesiva, a sua dinâmica torna-se muito mais complexa (Winterwerp & van Kesteren, 2004; Schettini, 2022). Isto se deve, entre outros fatores, ao fato de que sedimentos finos quando em suspensão ocorrem formando flocos e agregados (Burban et al., 1989). Embora uma unidade sedimentar tenha densidade da ordem de 2650 kg/m^3, flocos contém alto teor de água e matéria orgânica. Embora os flocos tenham tamanho (50-200 μm) muito maior do que os grãos individuais (< 5 μm), a sua densidade é muito menor, o que afeta significativamente sua velocidade de decantação (Manning et al., 2010).

A velocidade de decantação de sedimentos finos floculados é da ordem de 0,1 a 2 mm/s (Winterwerp, 2002) em condições de água em repouso. Estes valores equivalem a 0,4 e 7 m por hora. Porém, quando há escoamento, parte da energia cinética é convertida em turbulência no fundo. Isto que gera um efeito de dispersão com sentido para cima, contrabalançando a força peso, e mantendo estas partículas em suspensão. Assim, é esperado que sedimentos arenosos se depositem próximo da desembocadura de rios, enquanto que sedimentos finos permanecem por muito mais tempo em suspensão e podem ocorrem em distâncias muito maiores.

1.4 Problema – movimentação de sedimentos no Canal de Rio Grande

O Canal de Rio Grande conecta a Lagoa dos Patos ao Oceano Atlântico (Figura 1.1). Os principais tributários e fontes de sedimento da Lagoa dos Patos são os rios que desaguam no Complexo Guaíba, sendo o Jacuí o principal, que estão localizados na extremidade norte da lagoa. Na porção mediana ocorre o Rio Camaquã, porém de dimensões muito menores do que o Jacuí. Na porção sul ocorre o Canal do São Gonçalo, que conecta a Lagoa Mirim com a Lagoa dos Patos. Desaguam na Lagoa Mirim alguns rios de dimensões da mesma ordem que do Camaquã. Porém, todos estes rios aportam em um corpo lagunar, o que propicia a deposição de areia próximo de suas desembocaduras. Somente a fração fina dos sedimentos poderá permanecer em suspensão e ser transportada até o Canal de Rio Grande.

Contudo, o escoamento do Canal de Rio Grande não é unidirecional com sentido do oceano. Esta condição ocorre em períodos de alta descarga fluvial dos rios tributários. Em períodos de vazão moderada ou baixa, que ocorrem na maior parte do tempo, o sentido do escoamento do canal é determinado pelo vento (Moller et al., 2001). Em condições de vento

de nordeste, o escoamento ocorre no sentido do oceano. Em condições de vento de sul/sudeste, o escoamento ocorre no sentido da lagoa. Esta última condição está associada com passagens de frentes frias, com ventos intensos que geram correntes intensas na plataforma continental adjacente, bem como a atuação de ondas. Este quadro acarreta na ressuspensão de sedimentos na região costeira (Cruz & Schettini, 2025), o que permite que estes sedimentos sejam transportados para o canal em condições favoráveis (Santa-Rosa & Schettini, 2024).

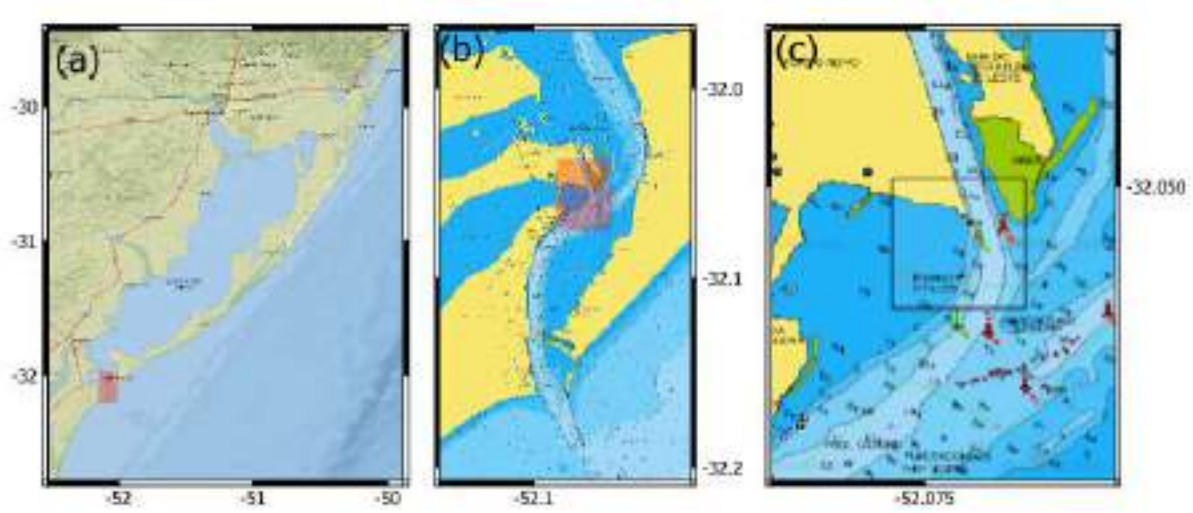


Figura 1.1: Localização da área de estudo. (a) a Lagoa dos Patos, (b) o Canal de Rio Grande, e (c) detalhe do canal de acesso ao Porto Novo onde foram realizados os levantamentos.

Temos então que a fonte de sedimentos em suspensão que transitam no Canal de Rio Grande pode ser da drenagem continental que atravessa a lagoa e chega no canal, bem como material que pode ser importado da plataforma adjacente em determinadas condições de vazão e vento. Uma terceira fonte de sedimentos pode ser pelo retrabalhamento interno. Em períodos de vento intenso ocorre a formação de ondas, e estas podem acarretar a remobilização de sedimentos em áreas rasas. Os ventos também geram correntes, acarretando a advecção do material. Contudo, em termos de escala, é esperado que este processo seja menos importante do que os dois citados acima.

Considerando o racional exposto, a avaliação da dinâmica sedimentar é focada considerando que os sedimentos são compostos essencialmente por material fino (coesivo) transportado em suspensão. Isto é corroborado pela característica granulométrica de amostras de sedimentos de fundo coletadas na área de interesse (Arvut, 2024). Baseando-se em sete amostras de sedimentos, quatro amostras apresentaram dominância da fração fina (silte + argila).

1.5 Material e Métodos

A presente análise da dinâmica sedimentar se baseia em duas linhas de ação: (LA1) monitoramento da variabilidade hidrodinâmica e propriedades da água para avaliação para períodos longos (meses) para captura de eventos aleatórios; e (LA2) experimentos de curta duração para avaliação espacial dos padrões locais, procurando identificar a variabilidade espacial.

A LA1 tem como objetivo a geração de séries temporais com dados de nível da água, velocidade e direção de correntes, salinidade, temperatura e turbidez, na interface entre o canal e a área rasa (indicado como 'ADCP' na Figura 1.2).

A LA2 tem como objetivo obter dados de velocidade e direção de correntes, salinidade, temperatura e turbidez com o monitoramento destas variáveis em diferentes locais (#1, #2 e #3, na Figura 1.2), por períodos de 6 horas. A duração destes experimentos é especialmente por questões de segurança, onde instrumentos são instalados e recuperados no mesmo dia. Durante estes experimentos é quantificado também: (1) a taxa de deposição potencial de sedimentos com uso de armadilhas de sedimento; (2) a concentração de material particulado em suspensão; (3) a velocidade de decantação do material particulado em suspensão (MPS) com um tubo de decantação; e as condições de correntes e distribuição de propriedades físicas no canal adjacente através de uma seção transversal (Figura 1.2).

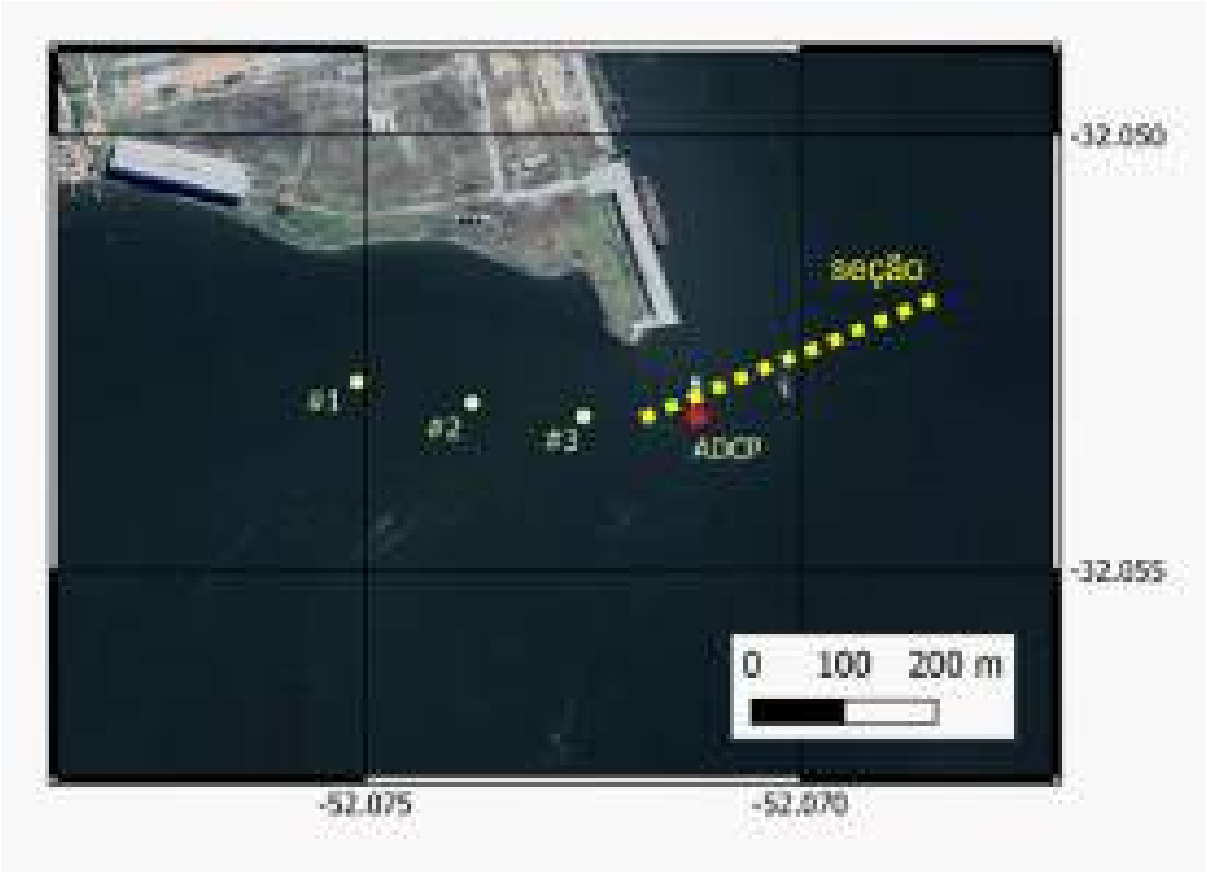


Figura 1.2: Localização dos pontos de coleta de dados e da seção transversal através do canal.

1.5.1 LA1: Monitoramento de Longo Período

O regime hidrodinâmico local é determinado principalmente pelo regime de vento, e este apresenta uma variabilidade temporal cíclica determinada por passagens de frentes frias, com intervalos de 6 a 11 dias (Stech & Lorenzzetti, 1992). O termo 'Longo Período' aqui se refere a um período muito maior do que o intervalo de passagens de frentes frias.

Dados de nível da água (marés), velocidade e direção de correntes, salinidade, temperatura e turbidez foram monitorados em intervalos de 0,5 hora na área de transição

entre o canal de navegação do porto e o baixio, em local com profundidade de cerca de 4 m (longitude -052.07119, latitude -32.05324). O período de monitoramento foi do dia 23 de janeiro até o dia 25 de março de 2025.

Dados de nível da água, velocidade e direção de correntes, e retroespalhamento acústico (REA) foram registrados com um perfilador de correntes por efeito Doppler (ADCP, do acrônimo em inglês) da marca Nortek modelo Aquadopp Profiler de 2000 kHz. O ADCP foi configurado para realizar medições de correntes com células verticais de 0,2 m, distância de branco de 0,2, e considerando o nível do instrumento em relação ao fundo, o primeiro nível de medição é cerca de 0,5 m acima do fundo. Cada perfil registrado é uma média de 60 segundos de medições com taxa amostral de 2 Hz, o que remove os efeitos de ondas e variabilidade de alta frequência.

Dados de condutividade elétrica e temperatura da água foram registrados com um registrador de dados da marca JFE Advantech modelo CTW. O sensor de condutividade do tipo indutivo com um sistema de limpeza para evitar incrustação. Dados de turbidez por retro-espalhamento ótico (REO) foram registrados com um registrador de dados da marca JFE Advantech modelo EPSA-Turbi, com sistema de limpeza para evitar incrustação. Ambos os registradores de dados foram configurados para registrarem dados em intervalos de 0,5 hora a partir de médias de 30 segundos com taxa amostral de 1 Hz. Valores de salinidade foram calculados em função da condutividade e temperatura usando equações de conversão para a água do mar (UNESCO, 1983).

A Figura 1.3 apresenta uma fotografia do conjunto de equipamentos. O ADCP fica o mais próximo do fundo possível, enquanto que os registradores de dados ficam presos em uma haste. O sensor CTW ficou cerca de 0,5 m acima do fundo, e o sensor de turbidez ficou cerca de 0,7 m acima do fundo.

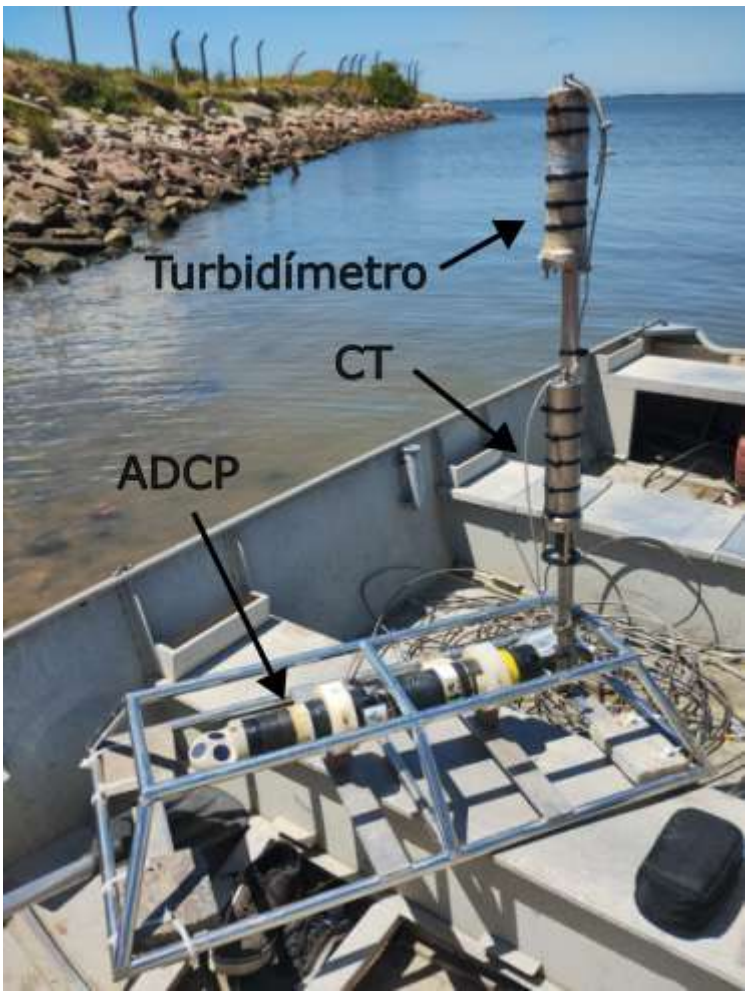


Figura 1.3: Estrutura de instalação de instrumentos para análise de variabilidade espacial.

Os dados dos instrumentos foram descarregados utilizando seus respectivos programas proprietários, e convertidos em arquivos ASCII para processamento. Os dados de corrente registrados pelo ADCP foram selecionados para os valores registrados abaixo da superfície da água abaixo de um nível de tolerância para evitar contaminação da superfície. Posteriormente os dados foram rotacionados para as componentes longitudinal e transversal através de análise de componentes principais. A componente principal (longitudinal) contabilizou 88% da variância das correntes, e indicando um ângulo de rotação de 20 graus. Este ângulo coincide com a orientação do canal obtida pela orientação do cais do porto.

Os dados registrados pelo turbidímetro, em Formazin Turbidity Unit (FTU) foram convertidos em concentração de sedimentos em suspensão (mg/L) através da equação

$$SSC(FTU) = 7,574 + 0,529FTU, \qquad (1)$$

Essa equação foi obtida a partir de um procedimento de calibração realizado em laboratório. O registrador de dados de turbidez foi acondicionado em um tanque de 30 litros, preenchido com água do mar, e com uma bomba para manter a água em circulação e evitar a deposição de sedimentos. Em intervalos de 5 minutos, foi adicionada uma alíquota de uma suspensão de alta concentração para produzir o aumento da concentração no tanque. Antes de cada acréscimo desta suspensão, foram retiradas 3 amostras de 100 ml para determinação da

CSS por método gravimétrico. A Figura 1.4 apresenta a relação entre os valores de turbidez e CSS obtidos durante o procedimento de calibração.

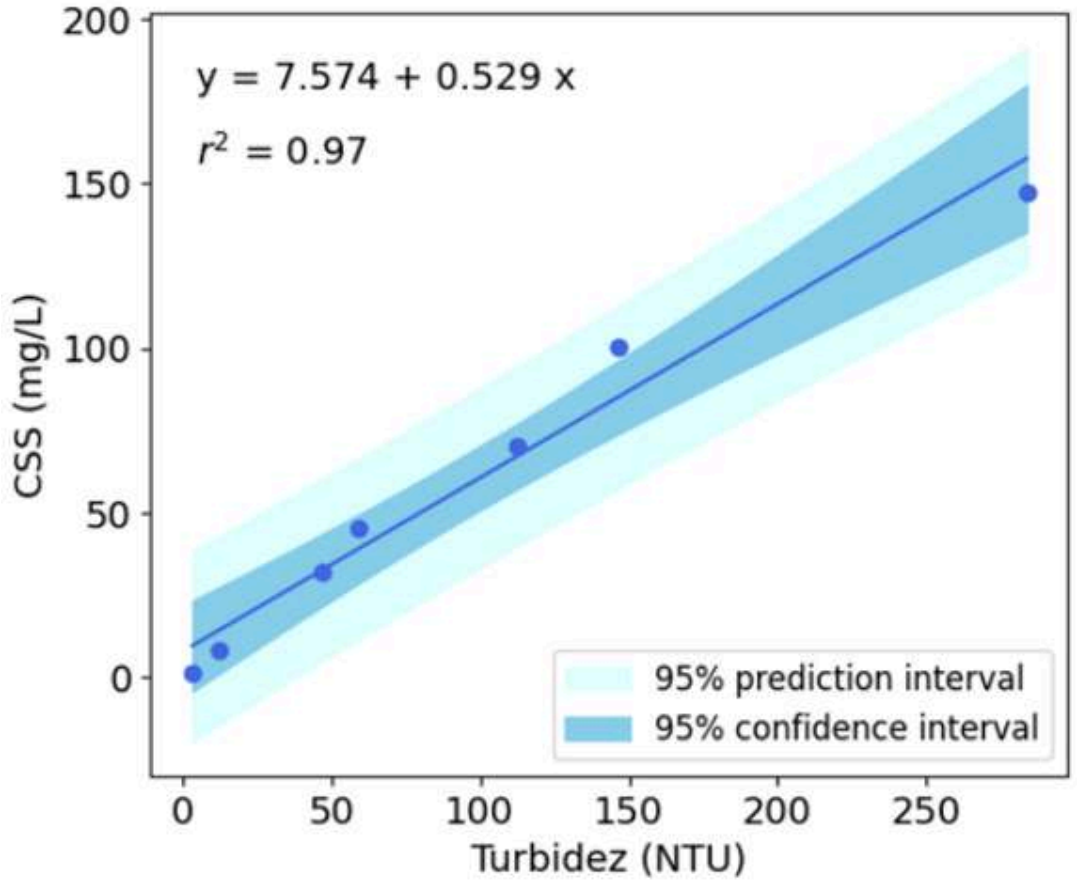


Figura 1.4: Relação entre valores de turbidez (NTU) e concentração de sedimentos em suspensão (CSS, em mg/L), obtidos para a calibração do sensor de turbidez utilizado no fundeio.

Os dados de SSC(FTU) foram utilizados então para calibrar o sinal de retroespalhamento acústico (REA) registrado pelo ADCP. Os ADCPs registram os dados de intensidade acústica em unidades 'counts' para fins de verificação da qualidade dos dados de velocidade, que é o principal propósito deste tipo de equipamento. Contudo, este produto secundário dos ADCPs vem sendo utilizado com muito sucesso para investigação do SPM em áreas costeiras (Gartner, 2004; Schettini et al., 2013). Porém a conversão dos dados de ABS em SPM é mais complexa do que no caso do uso de OBS, uma vez que a relação é não-linear. Os dados de intensidade acústica são convertidos em ABS utilizando a equação do sonar (Deines, 1999)

$$REA = K_C(E - E_r) + 20log_{10}R + 2\alpha_w R + TS, \quad (2)$$

onde E é a intensidade do eco (em contagens), da qual deve ser subtraído o ruído de fundo do instrumento (E_r), que é o valor registrado pelo instrumento quando está fora da água. Esse valor é então convertido para ABS (em decibéis = dB) multiplicando-se por um fator de escala KC = 0,43. O segundo termo do lado direito é a correção para a atenuação do sinal acústico devido à propagação, e o terceiro termo é a correção para a absorção da energia

sonora pela água, onde α_w é o coeficiente de absorção da água, que depende da frequência do som e da densidade da água. R é a distância em relação ao instrumento. TS é a força do alvo (target strength), relacionada às propriedades dos refletores, a qual normalmente é desconhecida e, por isso, desconsiderada.

Uma vez tendo o sinal de REA, a relação com o SPM é obtida a partir da comparação de pares amostrais das duas quantidades. No presente caso, a disponibilidade dos dados de turbidez permite ampliar consideravelmente o número de observações sinóticas, tornando o modelo de conversão mais robusto. A conversão de ABS para SPM é feita em dois passos. Primeiro, os dados são convertidos de REA, em dB, para OBS, em FTU, utilizando o modelo

$$CSS(ABS) = 9,8 \times 10^{-11} e^{0,41ABS} + 14, \quad (3)$$

que tem um coeficiente de explicação $r^2 = 0.55$, e depois são convertidos de OBS para SPM utilizando a Equação 1. A Figura 1.5 apresenta a relação entre o REA e a CSS obtida.

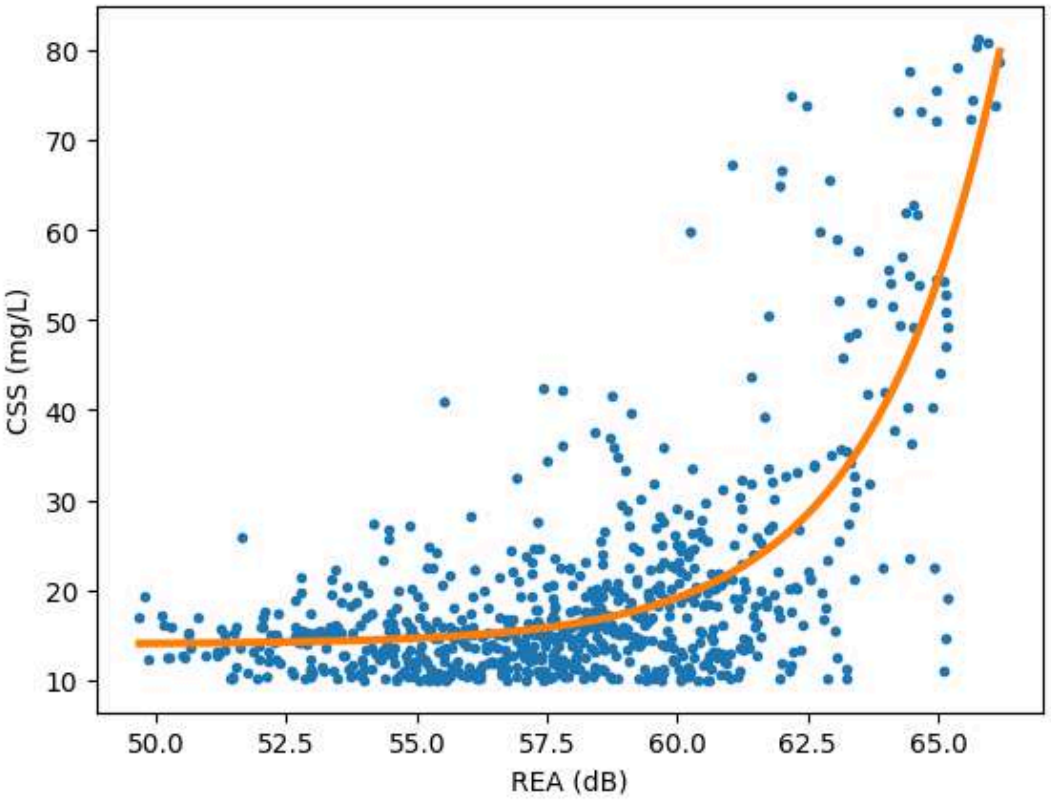


Figura 1.5: Relação entre valores de retroespalhamento acústico registrados pelo ADCP (em dB) e valores de concentração de sedimentos em suspensão (SSC, em mg/L) registrados pelo turbidímetro. O valor do coeficiente de explicação $r^2 = 0,55$.

1.5.2 LA2: Experimentos de Curta Duração

Foram realizadas quatro campanhas na linha de ação 2: 31 de janeiro, 19 de março, 29 de abril e 3 de junho. Um dos objetivos de realizar diversas campanhas é capturar condições hidrodinâmicas distintas. Entretanto, não é possível realizar em condições

meteorológicas intensas (muito vento), e sua realização é ‘quase’ aleatória, uma vez que a mobilização e execução dependem de programação logística.

Em cada campanha foram registrados dados de (1) velocidade e direção de correntes, (2) propriedades da água (salinidade, temperatura, turbidez, clorofila e oxigênio dissolvido), (3) concentração de sedimentos em suspensão e velocidade de decantação do sedimento em suspensão, e (4) taxa de deposição potencial.

1.5.2.1 Dados Hidrodinâmicos e Propriedades da Água

Dados de velocidade e direção de correntes e propriedades da água foram registrados em séries temporais em estações fixas sobre o baixio (pontos 1, 2, e 3 na Figura 1.2) e através de uma seção transversal no canal de acesso ao Porto Novo (linha tracejada na Figura 1.2).

No baixio foram instalados 3 conjuntos de equipamentos. Cada conjunto consiste de um correntógrafo eletromagnético (EMCM, da marca JFE), um registrador de dados de salinidade, temperatura e turbidez (CTD Rinko da marca JFE) (Figura 1.6). Os instrumentos foram configurados para realizarem medições em intervalos de 10 minutos. Cada medição dos correntógrafos consiste de um valor médio para um período de medição de 60 segundos com uma taxa de 1 Hz. Cada medição dos CTD consiste de um valor médio a partir de um período de medição de 30 segundos com uma taxa de 1 Hz. Os conjuntos de instrumentos foram instalados no campo em torno das 9:00 da manhã e recuperados às 15:00 da tarde

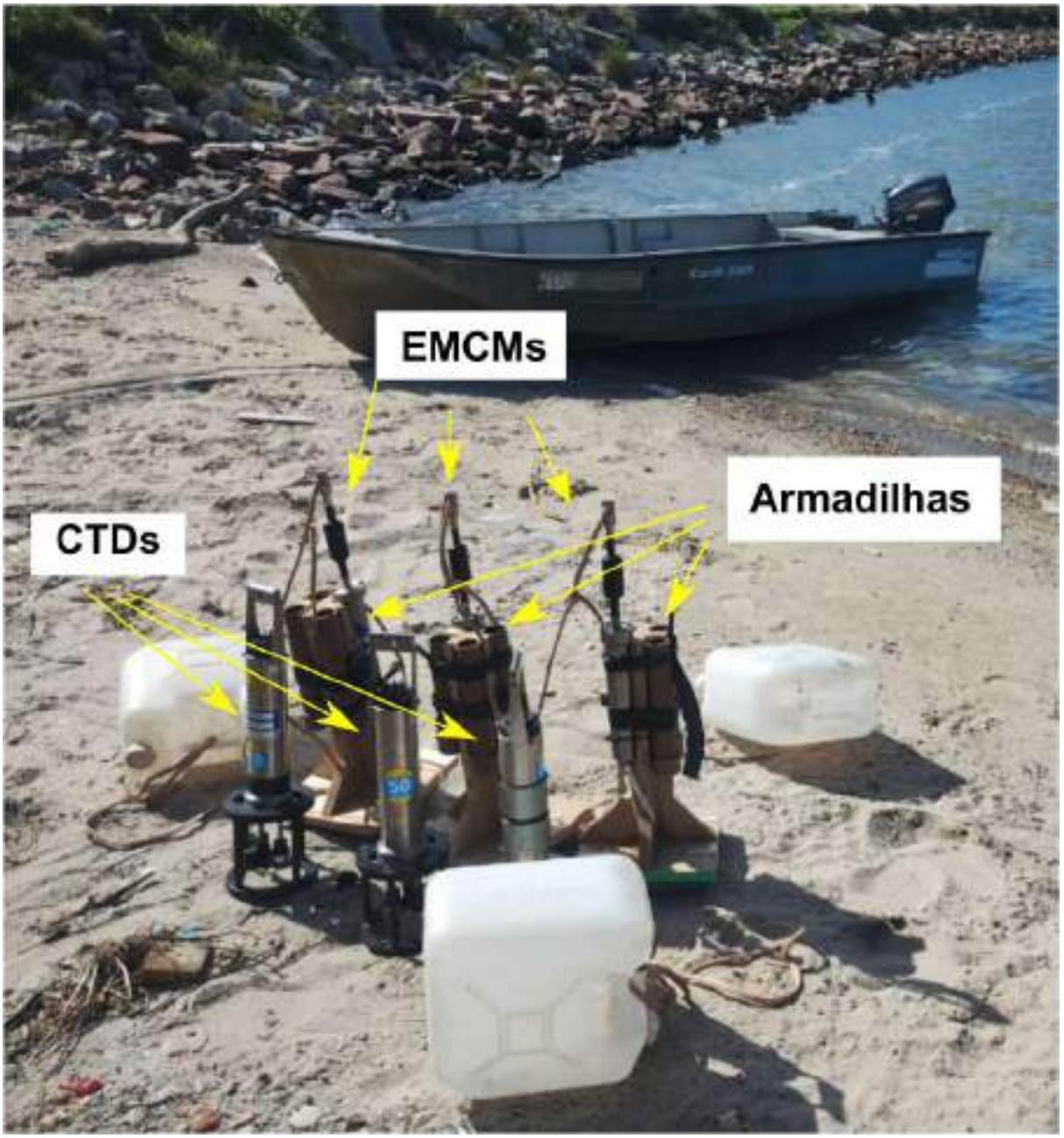


Figura 1.6: Conjunto de correntógrafo EMCM, registrador de salinidade, temperatura e turbidez, e armadilhas de sedimento.

Dados de velocidade e direção de correntes através do canal de acesso ao Porto Novo foram registrados com um ADCP da marca Teledyne RDI de 1200 kHz com rastreamento de fundo (Figura 1.7). O ADCP foi operado em tempo real operado com um computador, registrando dados continuamente em intervalos em uma taxa de 1 Hz durante a navegação. A navegação iniciou da margem oeste com deslocamento para a margem leste até entrar no baixio desta. Após a conclusão da primeira seção, foi realizada a seção de retorno. Nesta segunda seção a navegação foi interrompida em intervalos para baixar uma sonda CTD marca JFE Advantech modelo Rinko. A sonda foi operada no modo Yo-Yo, sendo ligada no início da seção, e realizando múltiplos perfis verticais entre uma margem e a outra.

Figura 1.7: Operação de levantamento de dados através do canal com ADCP e CTD.

1.5.2.2 Taxa de Deposição Potencial

A taxa de deposição potencial refere-se ao fluxo vertical de material particulado em suspensão que potencialmente deposita no leito. Foram utilizadas armadilhas de sedimento, que consistem de tubos de PVC posicionados na vertical e fechados na extremidade inferior, com 4 cm de diâmetro e 20 cm de comprimento. A proporção entre diâmetro e comprimento é estabelecida como um critério de eficiência de retenção (Baker et al., 1988). O princípio da operação das armadilhas de sedimento é criar um microambiente de água em repouso. Os flocos de sedimentos em suspensão são mais densos do que a água, e para serem mantidos em suspensão é necessária uma força oposta ao seu peso. Essa força surge da fricção do escoamento com o fundo, que converte a energia cinética em energia cinética turbulenta, a qual produz um efeito de dispersão com sentido para cima. As armadilhas criam um ambiente onde esta dispersão é nula, possibilitando o fluxo vertical para baixo, capturando as partículas. Armadilhas de sedimento são artefatos relativamente simples de serem empregados, e permitem obter valores do fluxo vertical para baixo. Porém é importante ressaltar que os valores de deposição de sedimentos são uma avaliação diagnóstica da dinâmica local, e sugerem valores de deposição em condições em ausência de correntes, e, consequentemente, de erosão.

Em cada estação sobre o baixio, foram presas três armadilhas junto ao correntógrafo (Figura 1.6). As armadilhas foram recolhidas no final do período de coleta, e o conteúdo foi transferido para garrafas plásticas de 0,5 l, e acondicionadas em refrigerador até o processamento. O processamento destas amostras consistiu inicialmente em verificar o

volume total em cada amostra, homogeneizar e retirar uma alíquota para análise gravimétrica. Filtros do tipo membrada de 0,45 µm de poro foram secos em estufa por 24 horas a 60 °C. Após este período foram armazenados em um dessecador, e pesados em balança analítica de 0,001 g de precisão. Um volume de amostra foi filtrado em sistema a vácuo, e após filtração os filtros foram novamente secos por 24 horas a 60 °C, e pesados. A razão entre a diferença de massa pós e pré filtragem e o volume da alíquota fornece a concentração de sedimentos em suspensão da alíquota. Este valor, ponderado pelo volume total da amostra, fornece o total de material capturado pela armadilha durante o período de coleta.

A taxa de deposição potencial (TDP) foi calculada por

$$TDP = \frac{massa}{tempo \cdot Área}, \quad (5)$$

com a massa (em gramas) capturada dividido pelo tempo de permanência na água (em dias) e pela área da abertura da armadilha (em m^2), com unidade de g/m^2dia. Os tubos utilizados foram de 40 mm de diâmetro externo, com paredes de 2 mm. Isto resulta em uma área de 1,01 x 10^{-3} m^2. O tempo de permanência das armadilhas em cada campanha foi de 5,33, 6,0, 6,16, e 6,16 horas.

A partir da TDP é possível calcular a taxa de sedimentação potencial (TSP), que indica o potencial acréscimo de fundo (elevação da superfície), dado em mm/ano, utilizando a equação

$$TSP = 365\frac{TDP}{\rho_{sed}}, \quad (6)$$

onde ρ_{sed} é a densidade do sedimento no topo na superfície de fundo (primeiro centímetro). Considerando que o material que deposita é essencialmente lamoso formado por flocos de baixa densidade, foi utilizado conservativamente o valor de 1500 kg/m^3. Quanto menor a densidade, maior será o valor de TSP.

1.5.2.3 Velocidade de Decantação do Sedimento em Suspensão

A velocidade de decantação de partículas refere-se à velocidade com que as partículas se deslocam verticalmente no sentido do fundo. Para partículas esféricas e maciças em um fluido em repouso, a velocidade de decantação é determinada pela Lei de Stokes, conhecendo-se o tamanho da partícula e densidade da partícula e do fluido. Em fluidos em movimento a determinação da velocidade de decantação passa a ser influenciada também pela difusão vertical produzida pela turbulência, que reduz ou anula a velocidade de decantação. Para sedimentos em suspensão de natureza coesiva, em que os sedimentos em suspensão ocorrem formando flocos em que tanto tamanho quanto densidade são desconhecidos, a determinação da velocidade de decantação é bastante complexa.

Foi utilizado um tubo de decantação (tubo de Owen, Figura 1.8) para obter uma estimativa da velocidade de decantação dos sedimentos em suspensão. Apesar de ser uma técnica desenvolvida nos anos 1970s (Owen, 1976), este tipo de aparato ainda é tido como referência na determinação da velocidade de decantação de partículas em águas costeiras (Mantovanelli & Ridd, 2006). O tubo consiste de um amostrador de água horizontal com um

sistema de fechamento acionado por um mensageiro (Figura 1.8). O sistema de fechamento funciona com base em alavancas externas ao tubo, de forma a minimizar tanto quanto possível o distúrbio mecânico sobre as partículas em suspensão. Uma vez fechado, o tubo é recolhido e posicionado na vertical em um tripé. Neste momento é iniciado a contagem do tempo, e em intervalos determinados (3, 6, 10, 15, 20, 40, 60 minutos) são retiradas alíquotas da água por um registro na parte inferior. As alíquotas são analisadas por gravimetria (descrito acima), e os valores de concentração são analisados em termos de conservação de massa e tempo de decantação, resultando em um valor mediano da velocidade de decantação.

Figura 1.8: Tubo de decantação (tubo de Owen) sendo utilizado (esquerda) e na posição vertical (direita).

1.6 Resultados

1.6.1 Monitoramento de Longa Duração

A Figura 1.9 apresenta os resultados obtidos pela instalação dos equipamentos para monitoramento contínuo das condições hidrodinâmicas na borda oeste do canal, fazendo interface entre o canal e o baixio. É apresentando também a componente paralela à costa do vento, que indica se as condições são favoráveis para entrada de água na lagoa (vento para norte), ou saída (vento para sul). Nesta figura o vento é apresentado na notação vetorial. Vento com valor negativo é soprando para o sul, e vento com valor positivo indica vento soprando para norte.

O regime de vento local durante a maior parte do tempo é determinado pelo centro semipermanente de alta pressão do Atlântico Sul, o que gera os ventos de norte-nordeste

(sopra para sul). Quando ocorre uma passagem de frente fria, o vento rotaciona para norte por algum tempo, e depois retorna ao estado anterior. Isto é observado na Figura 1.9a, onde na maior parte do tempo o vento é negativo (sopra para sul, vem do norte), ocorrendo períodos de inversão causados pelas passagens de frentes frias. No período ocorreram 11 períodos de inversão, o que reflete o padrão esperado, de uma frente fria a cada 6 a 11 dias (Stech & Lorenzzetti, 1992). Neste sentido, o período de observações para o diagnóstico das condições hidrodinâmicas cumpriu o objetivo de capturar o regime oscilatório esperado em função do vento.

A intensidade das correntes longitudinais/transversais nos diagramas de Hovmoller são indicadas pela cor, sendo que correntes de enchente/leste são representadas em vermelho, e correntes de vazante/oeste são representadas em azul. As mudanças entre o regime de enchente e vazante indicados pela componente longitudinal da corrente são principalmente relacionados com o vento paralelo à costa. A componente transversal da corrente é mais fraca do que a componente longitudinal, porém ocorrem episódios bem marcados quando a corrente transversal intensifica para oeste, para o lado do baixio.

As correntes apresentam assimetrias, sendo mais intensas para vazante do que para enchente, bem como mais intensas para oeste do que para leste. A Figura 1.10 apresenta os histogramas de ocorrência para as duas componentes para a média da coluna de água. A velocidade média das correntes de enchente e vazante são 0,10 e -0,17 m/s, respectivamente, com valores máximos registrados de 0,41 e -0,66 m/s, respectivamente. A velocidade média das correntes para leste e oeste são 0,03 e -0,05 m/s, respectivamente, com valores máximos registrados de 0,11 e -0.64 m/s, respectivamente.

A Figura 1.11 apresenta a relação entre as componentes da velocidade de corrente longitudinal e transversal. As assimetrias de vazante são bem óbvias, e nesta figura fica claro que durante os períodos de máximas velocidades de vazante, o escoamento é orientado principalmente no eixo do canal. Porém, nos períodos que a corrente longitudinal é de enchente (positiva), é quando são observadas as máximas velocidades da componente transversal para oeste, para dentro do baixio.

A distribuição vertical/temporal de CSS derivado do ADCP (Figura 1.9d) e as séries temporais de CSS, obtida pelo turbidímetro e média vertical da CSS derivada do ADCP (Figura 1.9e) mostram que na maior parte do tempo as concentrações são baixas. O valor médio do CSS derivado do turbidímetro foi de 11,6 mg/L, e 17,6 mg/L da série obtida da média vertical do ADCP. A Figura 1.12 apresenta os histogramas de ocorrência para os dados de SSC, e praticamente todos os valores ficam abaixo de 50 mg/l. Analisando os dados em termos de probabilidade de excedência (Figura 1.13, Tabela 1.1), valores acima de 30 mg/L ocorrem em menos de 5% do tempo, e valores acima de 50 mg/L ocorrem em menos de 1% do tempo.

A série temporal de salinidade (Figura 1.9f) mostra que em nenhum momento do período de monitoramento a salinidade chegou a zero. A salinidade média no período foi de 24,0 g/kg, a mediana foi de 28,2 g/kg, e a moda foi de 33 g/kg (Figura 1.14). Isto pode ser entendido que para o período monitorado as vazões das bacias tributárias apresenta a relação do SSC com a salinidade. Os maiores valores de SSC para a Lagoa dos Patos foram relativamente baixos, ou seja, o vento foi o principal forçante hidrodinâmico. A Figura 1.15

são observados associados com valores de salinidade acima de 30, embora também ocorram valores maiores de SSC para os menores valores de salinidade.

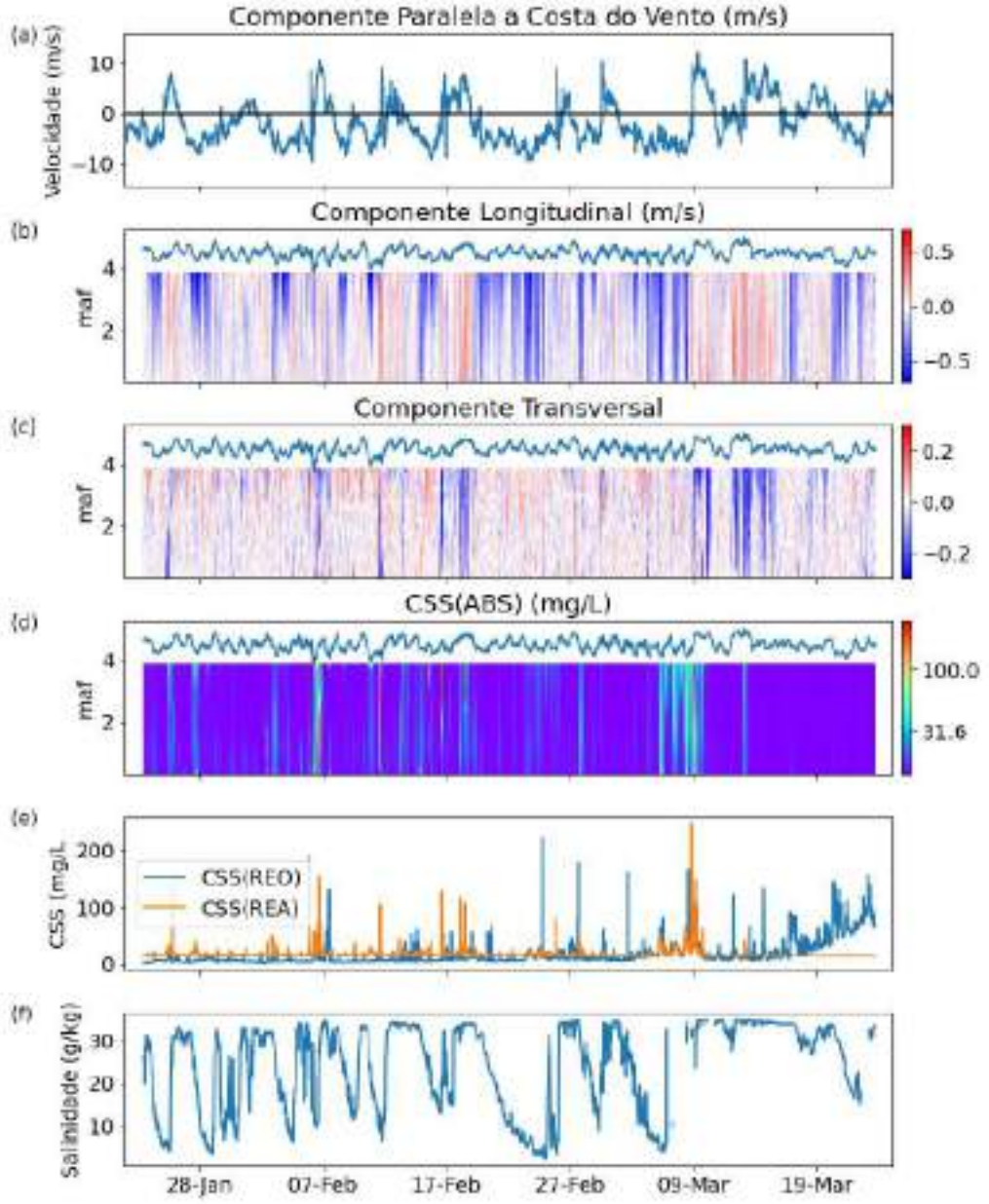


Figura 1.9: Série temporal (a) do vento paralelo à costa; diagramas de Hovmoller das componentes (b) longitudinal e (c) transversal das correntes, e (d) da concentração de sedimentos em suspensão; (e) séries temporais da concentração de sedimentos em suspensão derivada do turbidímetro (REO) e do ADCP (REA), e da (f) salinidade. Sobre os diagramas de Hovmoller são apresentados os dados de nível da água.

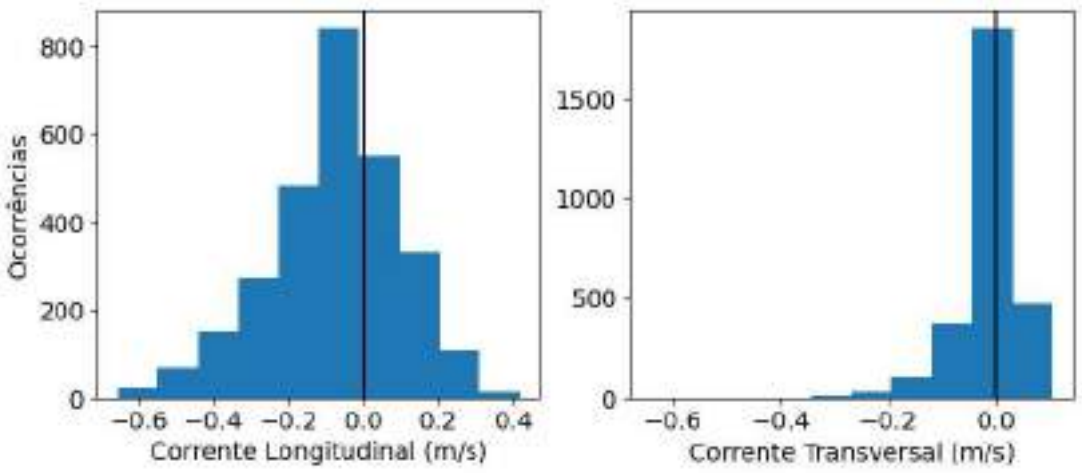


Figura 1.10: Histogramas de ocorrências para valores de velocidade de corrente para as componentes longitudinal (esquerda) e transversal (direita).

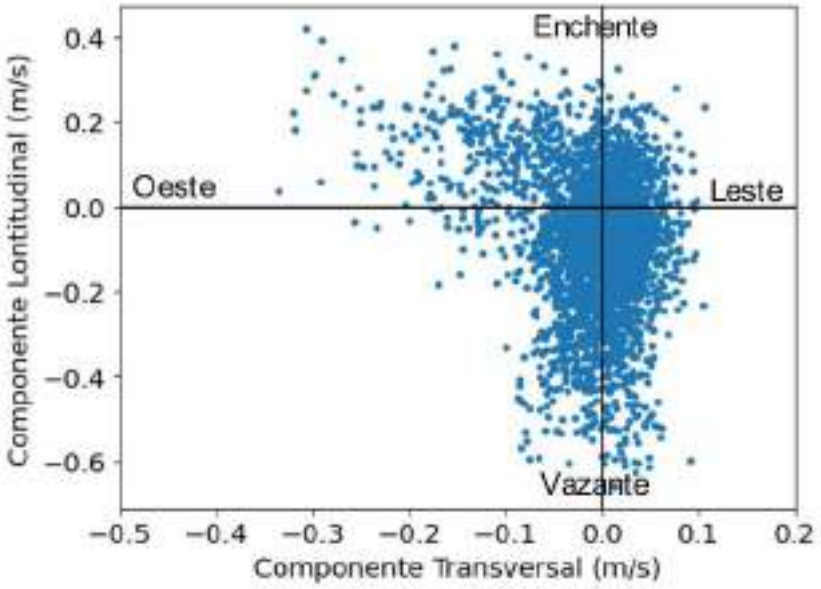


Figura 1.11: Relação entre as componentes da velocidade de corrente transversal e longitudinal, para valores médios da coluna de água.

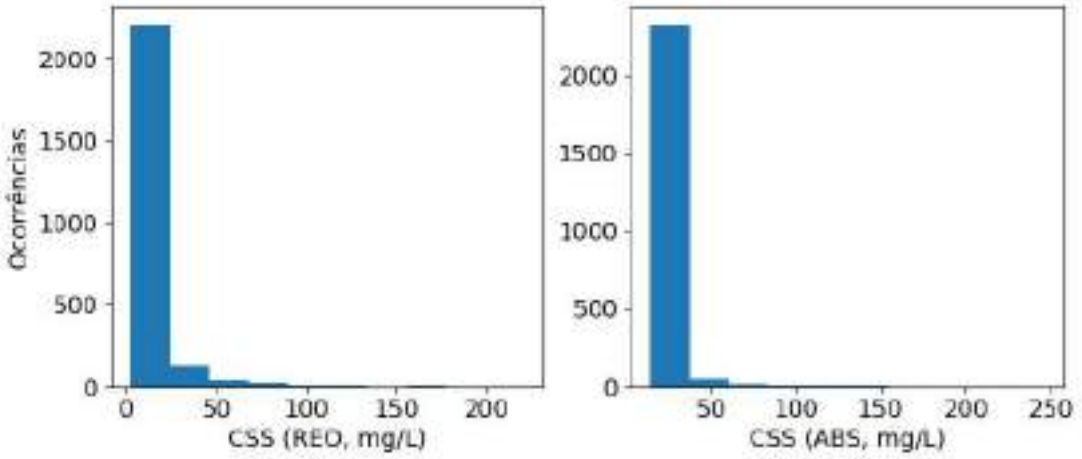


Figura 1.12: Histogramas de ocorrência para a concentração de sedimentos em suspensão derivados do turbidímetro (esquerda), e do ADCP (direita).

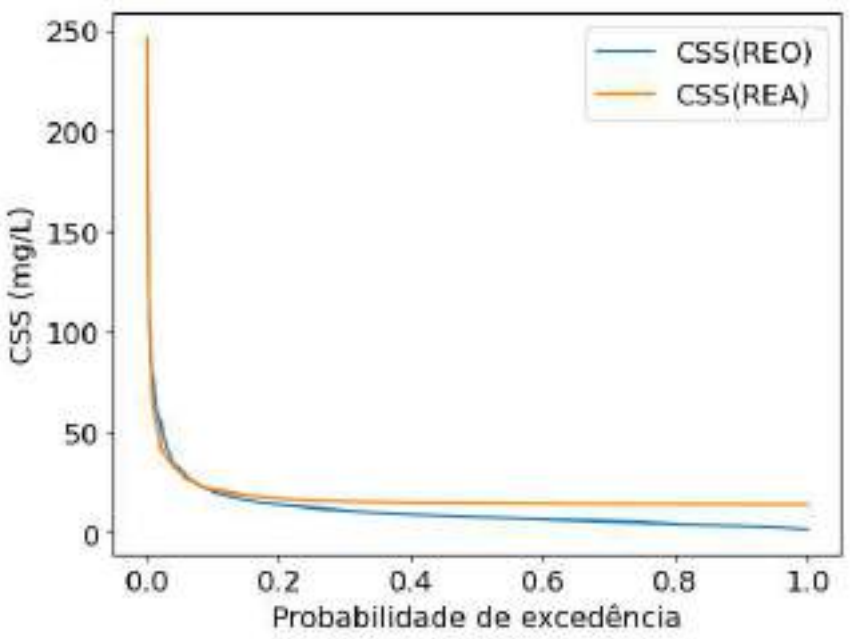


Figura 1.13: Curvas de probabilidade de excedência para a concentração de sedimentos em suspensão derivados do turbidímetro (REO, azul) e do ADCP (REA, laranja).

Tabela 1.1: Percentis de probabilidade de excedência para concentração de sedimentos em suspensão.

Percentil	CSS (REO) (mg/L)	CSS (REA) (mg/L)
1	76.61	62.32
5	31.58	30.02
10	20.67	21.57
25	12.46	16.22
50	7.87	14.64
75	5.35	14.27
90	3.62	14.14
95	3.06	14.1
99	2.14	14.05

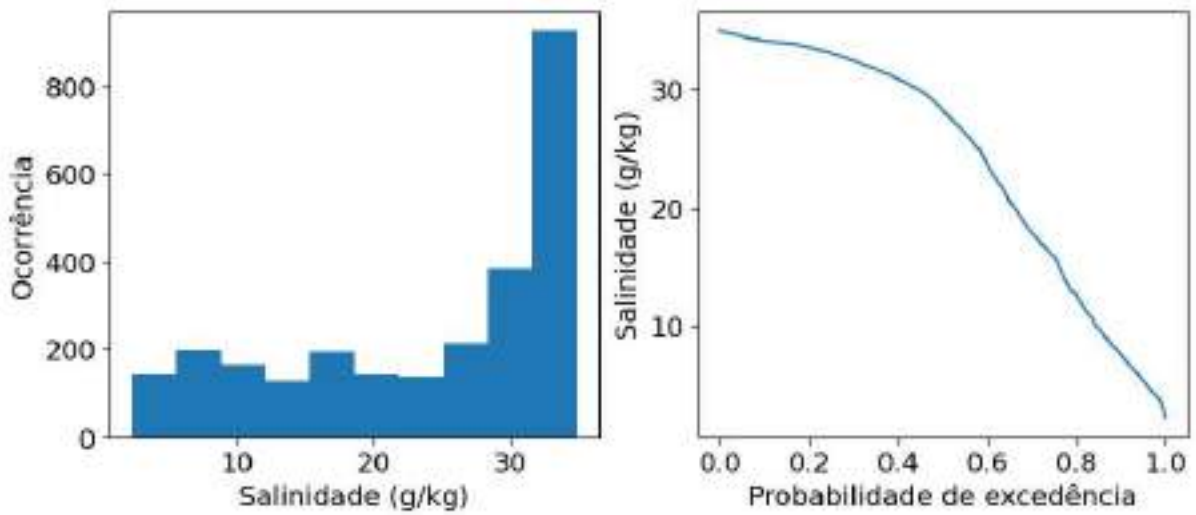


Figura 1.14: Histograma de ocorrência de valores de salinidade (esquerda) e distribuição de probabilidade de excedência para a salinidade.

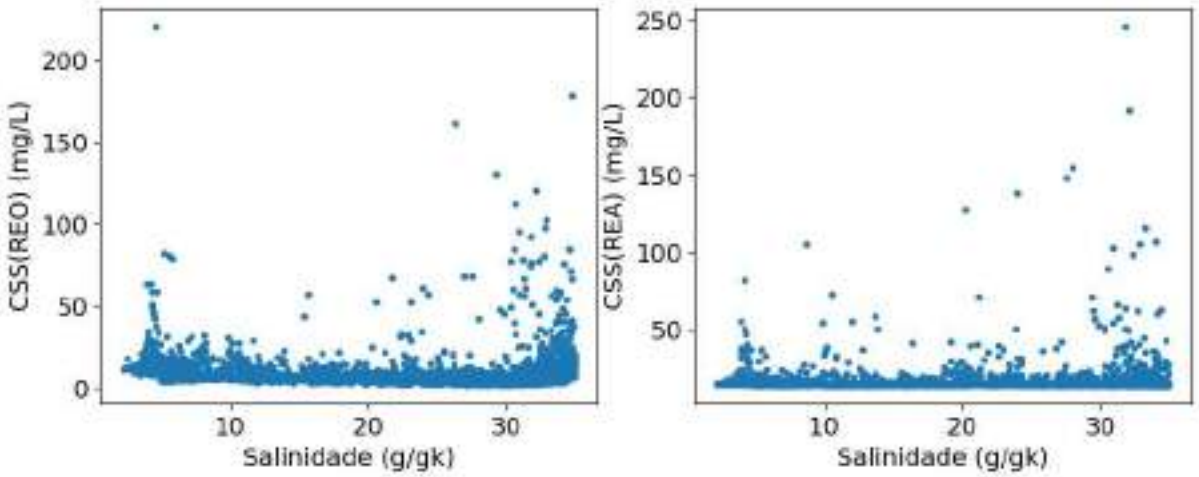


Figura 1.15: Relação entre a concentração de sedimento em suspensão e a salinidade, para o SSC(REO), a esquerda, e SSC(REA), a direita.

1.6.2 Experimentos de Curta Duração

A Tabela 1.2 sumariza os resultados obtidos durante as quatro campanhas de coleta de dados realizadas na área de estudo. Os resultados são apresentados em termos de média e desvio padrão. A Figura 1.16 apresenta as séries temporais de pressão atmosférica, velocidade do vento, direção do vento, e nível da água, registrados entre o período de 15 de janeiro e 15 de junho de 2025. Os dados de pressão atmosférica e vento foram registrados pela boia do Projeto SimCosta RS2, que opera defronte ao TECOM. Os dados de nível foram registrados na estação da Praticagem de Rio Grande. Ambos os locais ficam a cerca de 8 km da área de estudo. As linhas laranja verticais nos painéis indicam os dias em que foram realizadas as campanhas.

Nenhuma campanha foi realizada em condições de vento muito intenso (> 10 m/s), o que em termos operacionais, não seria possível. As campanhas 1 e 3 foram realizadas em

condições de vento moderado, a campanha 2 em condição de vento fraco, e a campanha 4 em condição de praticamente calmaria. O vento predominante na campanha 1 foi do quadrante norte, enquanto que nas demais campanhas o vento foi do quadrante sul. A variação do nível da água no período de realização de cada campanha foi entre 0,17, na campanha 4, e 0,33 na campanha 1, o que reflete o regime local de micro-marés, e que desempenha papel secundário na dinâmica do Canal de Rio Grande.

Tabela 1.2: Sumário dos resultados obtidos durante as quatro campanhas realizadas para coleta de dados hidrodinâmicos e de propriedades da água na área de estudo.

Campanha	1	2	3	4
	31/Janeiro	19/Março	29/Abril	3/Junho
Velocidade Vento (m/s)	4,5	3.9	5,2	1,4
Direção Vento (graus)	143	237	257	225
Variação Nível (m)	0,33	0,21	0,27	0,17
Seção				
Vel. Corrente Média	0,33 ± 0,21	-0,06 ± 0,09	0,50 ± 0,22	-0,60 ± 0,24
Vel. Corrente Máxima	0,75	-0,32	0,85	1,0
Salinidade	23 ± 11,7	29 ± 2,3	30 ± 2,8	10 ± 1,1
Turbidez	12,8 ± 15,8	3,2 ± 5,2	13,9 ± 10,5	29,2 ± 16,5
Baixio				
Vel. Corrente (cm/s) # 1	11,1 ± 4,1	14,3 ± 4,5	19,0 ± 6,7	3,4 ± 1,9
Vel. Corrente (cm/s) # 2	-	17,1 ± 5,2	23,8 ± 6,5	4,4 ± 1,8
Vel. Corrente (cm/s) # 3	15,3 ± 4,7	18,5 ± 4,3	25,6 ± 7,4	8,1 ± 4,1
Salinidade (g/kg) #1	6,9 ± 1,2	28,1 ± 1,4	31,7 ± 1,4	-
Salinidade (g/kg) #2	7,3 ± 1,2	28,1 ± 1,4	30,7 ± 1,8	11,0 ± 0,2
Salinidade (g/kg) #3	6,8 ± 1,1	28,0 ± 1,3	30,5 ± 1,9	10,9 ± 0,3
Turbidez (NTU) #1	3,4 ± 1,5	3,3 ± 1,6	10,9 ± 0,6	-
Turbidez (NTU) #2	5,8 ± 1,7	3,7 ± 1,4	10,3 ± 1,8	14,9 ± 6,4
Turbidez (NTU) #3	4,6 ± 0,5	3,4 ± 1,4	9,7 ± 1,9	19,1 ± 9,4
Tubo de Owen				
CSS (mg/L)	13,2	56,1	18,4	15,4
Velocidade Decantação (cm/s)	0,02	0,12	0,56	-
Armadilhas				
Taxa Deposição Potencial (g/m^2dia)	96.7 ± 37.1	169.9 ± 25.4	677.5 ± 101.3	207.8 ± 190.4
Taxa de Sedimentação Potencial* (cm/ano)	2.35 ± 0.9	4.13 ± 0.6	16.5 ± 2.5	5.0 ± 4.6

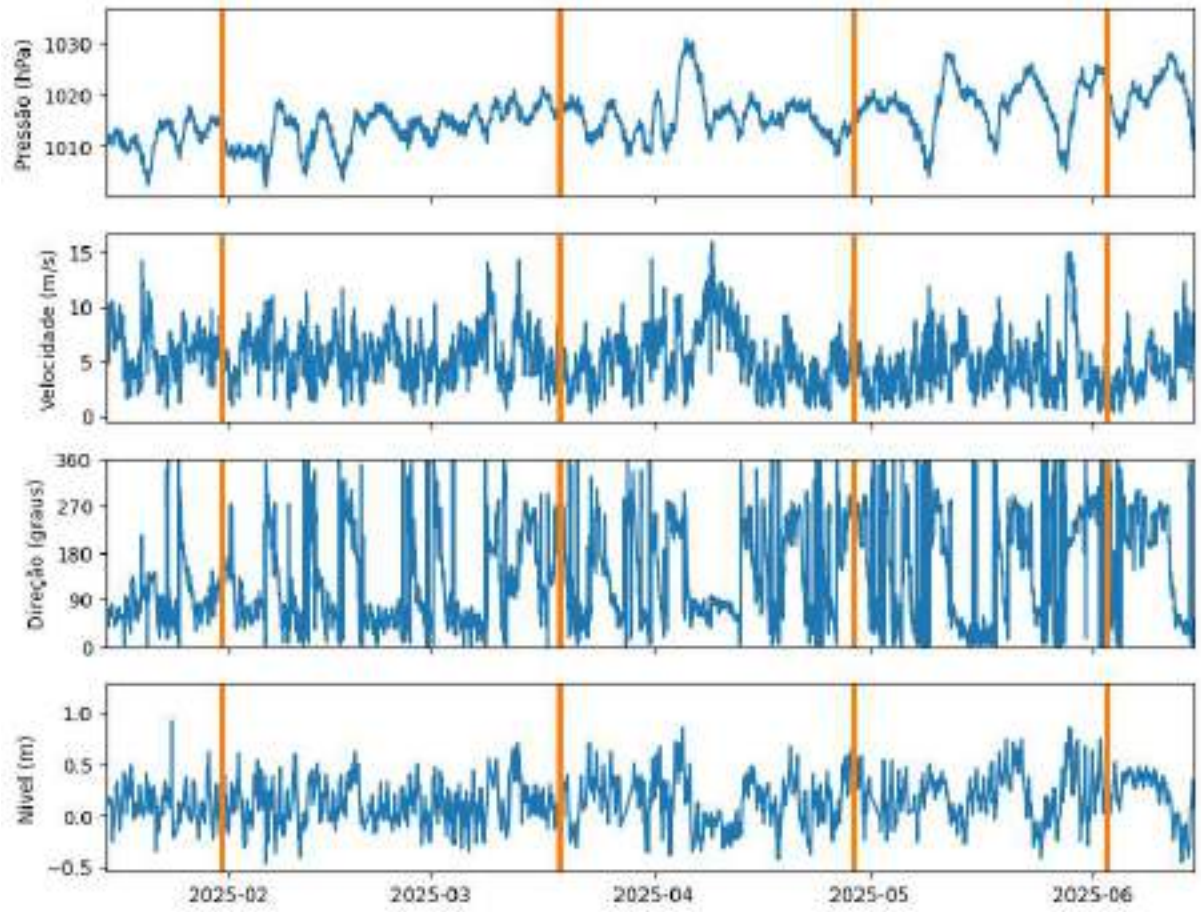


Figura 1.16: Séries temporais da pressão atmosférica (topo), velocidade (2.a linha) e direção (3.a linha) do vento, e nível da água (base) para o período de 15 de Janeiro até 15 de Junho de 2015. As linhas verticais laranja indicam os dias em que foram realizados os experimentos de curta duração.

1.6.2.1 Condições Hidrodinâmicas no Canal

A Figura 1.17 apresenta diagramas que indicam os vetores de correntes superficiais através da seção do canal para cada campanha. Nesta figura, a linha amarela tracejada indica a profundidade de 10 m e os limites do canal de acesso ao Porto Novo, tal como indicada na carta náutica (Figura 1.1). O comprimento dos vetores representa a intensidade da corrente, e a orientação representa a direção em relação ao norte geográfico. A escala para cada diagrama é diferente, como indicada pelo vetor horizontal no canto inferior direito. Quanto maior for este vetor de escala, menor é a intensidade das correntes representam.

As campanhas 3 e 4 apresentaram as maiores intensidades de correntes, sendo que a campanha 3 as correntes foram de enchente, e a campanha 4 as correntes foram de vazante. A campanha 1 foi realizada também em condições de enchente, porém com intensidade menor. A campanha 2 foi realizada em condições de correntes consideravelmente menos intensas. As correntes superficiais na campanha 4 indicam um escoamento fortemente orientado pelo canal. Nas demais campanhas a orientação das correntes superficiais é mais complexo, e em todas é observado que os vetores mais próximos da margem oeste apresentam uma orientação

com sentido leste. Isto sugere que em superfície, está ocorrendo uma movimentação de água da área do baixio para o canal.

A Figura 1.18 apresenta os resultados de retroespalhamento acústico (REA), e das componentes longitudinal e transversal das correntes em relação a orientação do canal (-20 graus relação ao norte geográfico) para a seção transversal. A distância (eixo-x) é a partir da margem oeste, então o ponto de vista é para quem está olhando para o norte (para montante). As correntes 'entrando' na lagoa são representadas em tons de vermelho, e as correntes 'saindo' da lagoa são representadas em tons de azul. Similarmente, correntes transversais em tons de vermelho indicam sentido para leste (para fora do baixio), e azul para oeste (para o baixio).

As distribuições de REA (Figura 1.18, coluna da direita) não foram convertidas em CSS como foi feito para o ADCP fundeado, porém ainda assim podem ser utilizadas como uma aproximação qualitativa da distribuição da CSS. Não é possível estabelecer um padrão de distribuição de REA para as diferentes campanhas, o que reflete a complexidade dos processos envolvidos na movimentação de sedimentos em suspensão no Canal de Rio Grande. Na campanha 1 os menores valores de REA ocorrem em uma fina camada superficial, ocorrendo uma camada de valores maiores, e uma nova redução intermediária, e aumentando novamente para o fundo e na margem oeste. Nas campanhas 2 e 3 os maiores valores são observados na superfície e na parte central da seção. Na campanha 4 os maiores valores são observados no fundo e na margem leste.

As distribuições de velocidade de corrente longitudinal (Figura 1.18, coluna do centro) das campanhas 1 e 3 são relativamente similares, apresentando padrão de enchente para a camada de fundo e margem leste, enquanto que na superfície para a margem oeste ocorre a inversão do sentido da corrente para vazante. Isto também pode ser observado nos diagramas da Figura 1.17. A campanha 4 apresenta um escoamento relativamente uniforme no sentido de vazante em toda a seção, com velocidades mais intensas na porção central e para a superfície. A campanha 2 apresenta um padrão mais complexo, com escoamento para jusante ocupando ¾ da coluna de água na porção central da seção, e escoamento para montante próximo do fundo, porém também ocorre escoamento para montante na superfície próxima da margem oeste.

As componentes transversais das correntes (Figura 1.18, coluna da direita) são consideravelmente menos intensas que as componentes longitudinais. Nas campanhas 1, 2 e 3, a corrente transversal na superfície é mais intensa e consistentemente para leste (saindo do baixio). Somente na campanha 4 foi registrada correntes transversais no sentido oeste (para o baixio).

As Figuras 1.19, 1.20, 1.21 e 1.22 apresentam as distribuições de salinidade, temperatura, turbidez, clorofila e saturação de oxigênio dissolvido na seção transversal para as campanhas 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Serão descritos os dados de salinidade e turbidez apenas, porém os outros parâmetros são apresentados para referência. A distribuição de salinidade na campanha 1 apresentou um padrão altamente estratificado, com uma camada de salinidade baixa (< 10 g/kg) ocupando toda a extensão lateral do canal, sobre uma água de alta salinidade (> 30 g/kg). Todas as outras campanhas apresentaram algum nível de estratificação da salinidade, porém menos intenso do que o observado na campanha 1.

A distribuição de turbidez na campanha 1 (Figura 1.19) apresenta valores maiores próximo ao fundo e para o lado oeste, com ocorrências de valores maiores também junta a superfície para o lado da margem oeste. Na campanha 2 (Figura 1.20) a turbidez foi menor, e os maiores valores são observados na superfície e do lado da margem oeste. O padrão de turbidez na campanha 3 e 4 (Figuras 1.21 e 1.22) apresenta valores maiores junto ao fundo.

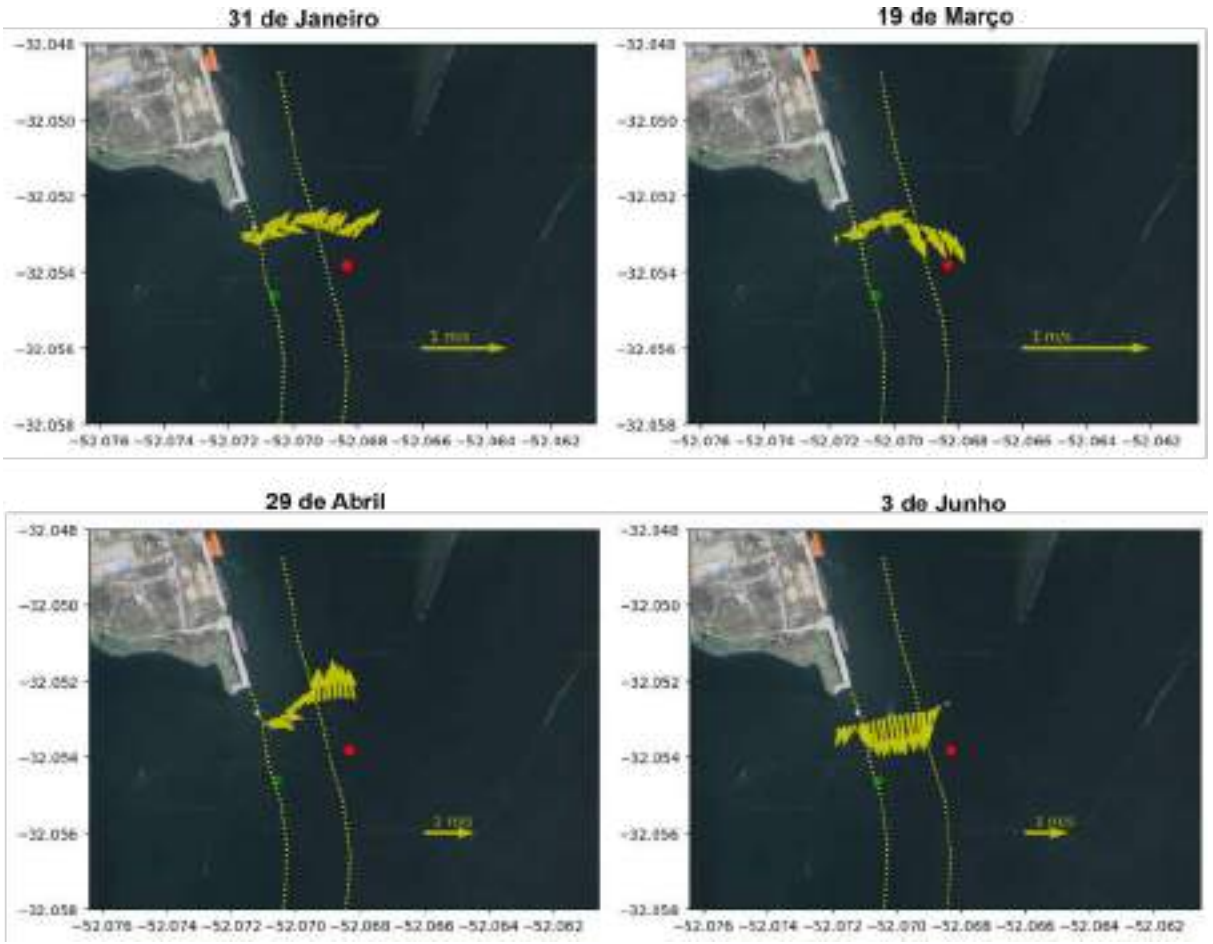


Figura 1.17: Diagramas representando os vetores de correntes de superfície através da seção transversal para as quatro campanhas. A linha tracejada indica os limites do canal de acesso ao Porto Novo. Os círculos verde e vermelho indicam a posição das bóias de baliza.

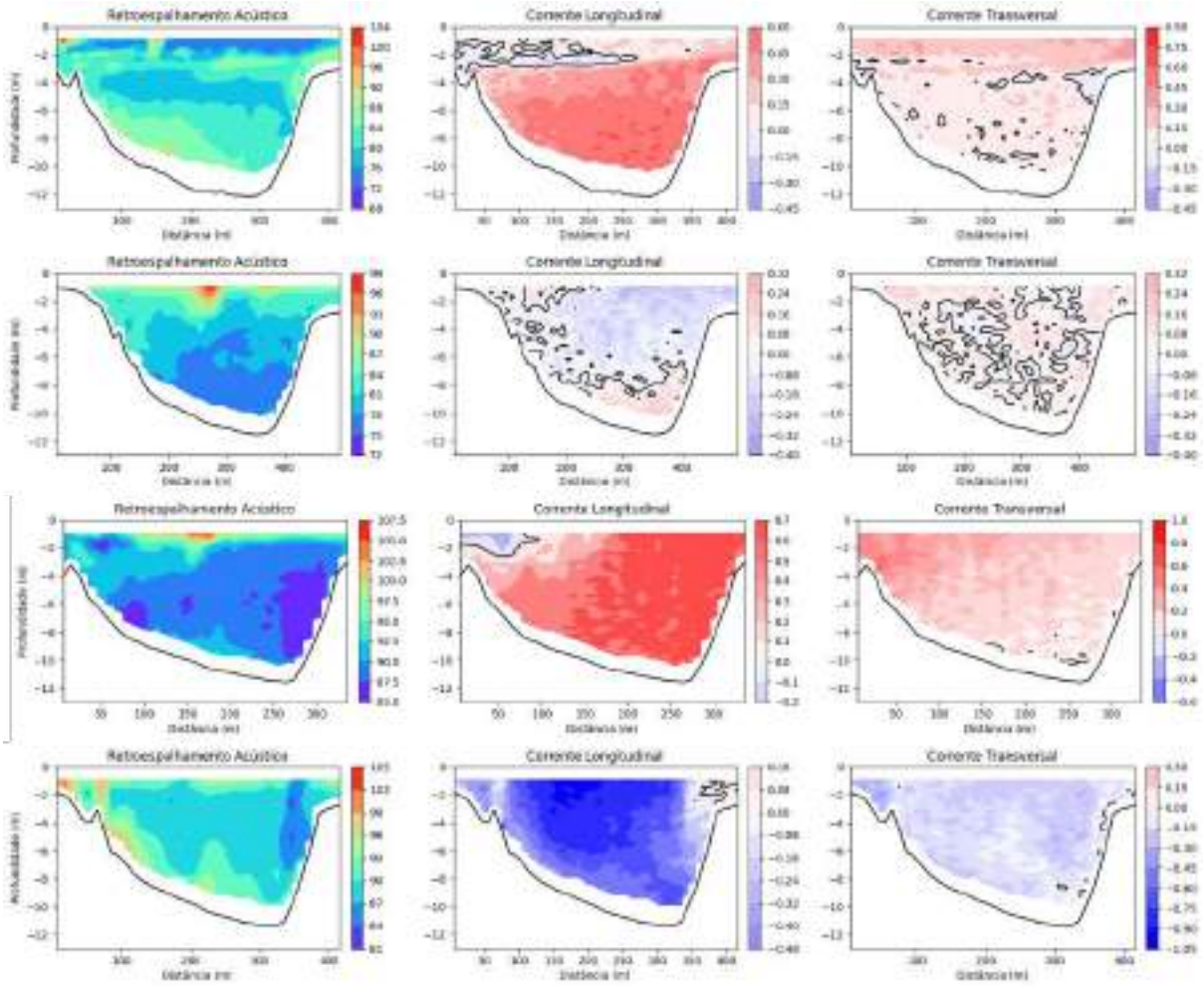


Figura 1.18: Distribuições de retro-espalhamento acústico (coluna da esquerda), componente da velocidade longitudinal (coluna central) e transversal (coluna da direita) da seção transversal do cano de acesso ao Porto Novo, nas campanhas de 31 de Janeiro (topo), 19 de Março (2.a Linha), 29 de Abril (3.a Linha), e 3 de Junho (base).

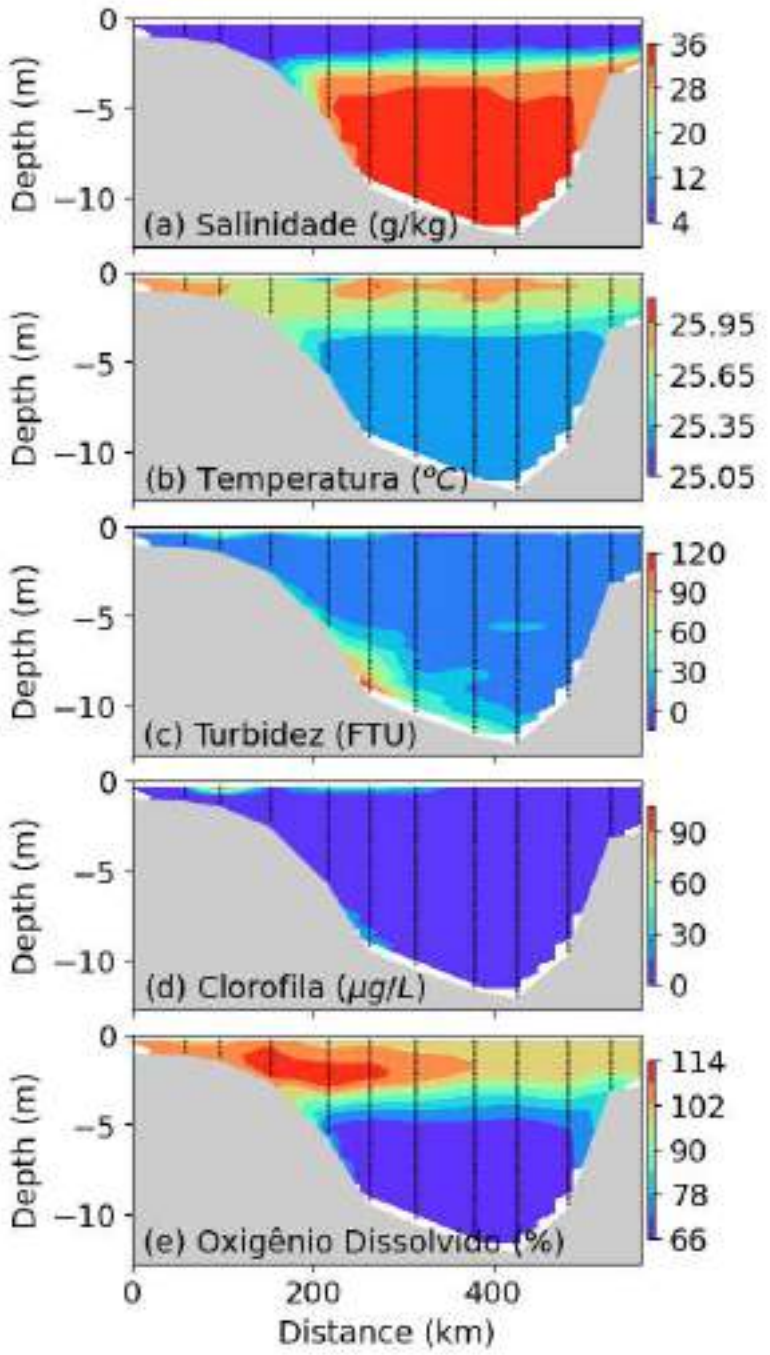


Figura 1.19: Distribuições de propriedades da água na seção transversal do canal de acesso ao Porto Novo na campanha de 31 de Janeiro.

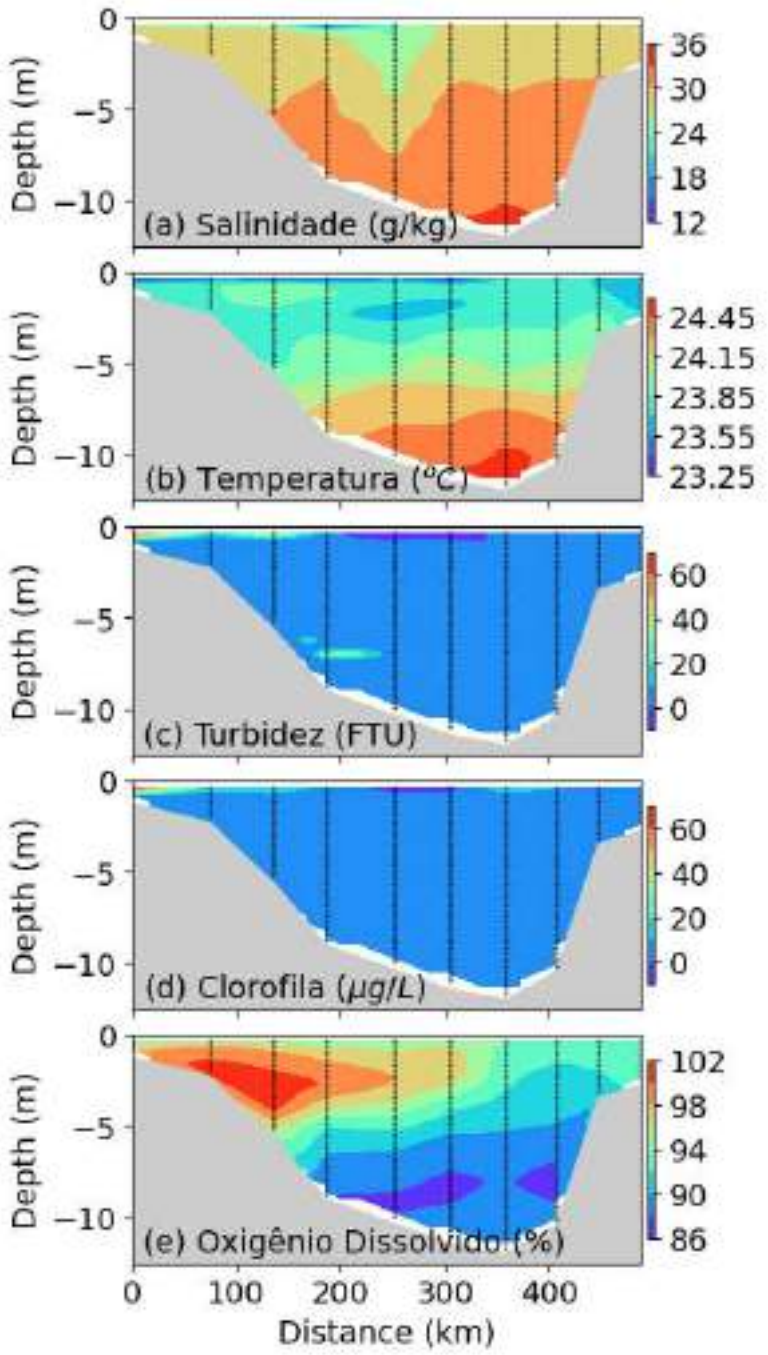


Figura 1.20: Distribuições de propriedades da água na seção transversal do canal de acesso ao Porto Novo na campanha de 19 de Março.

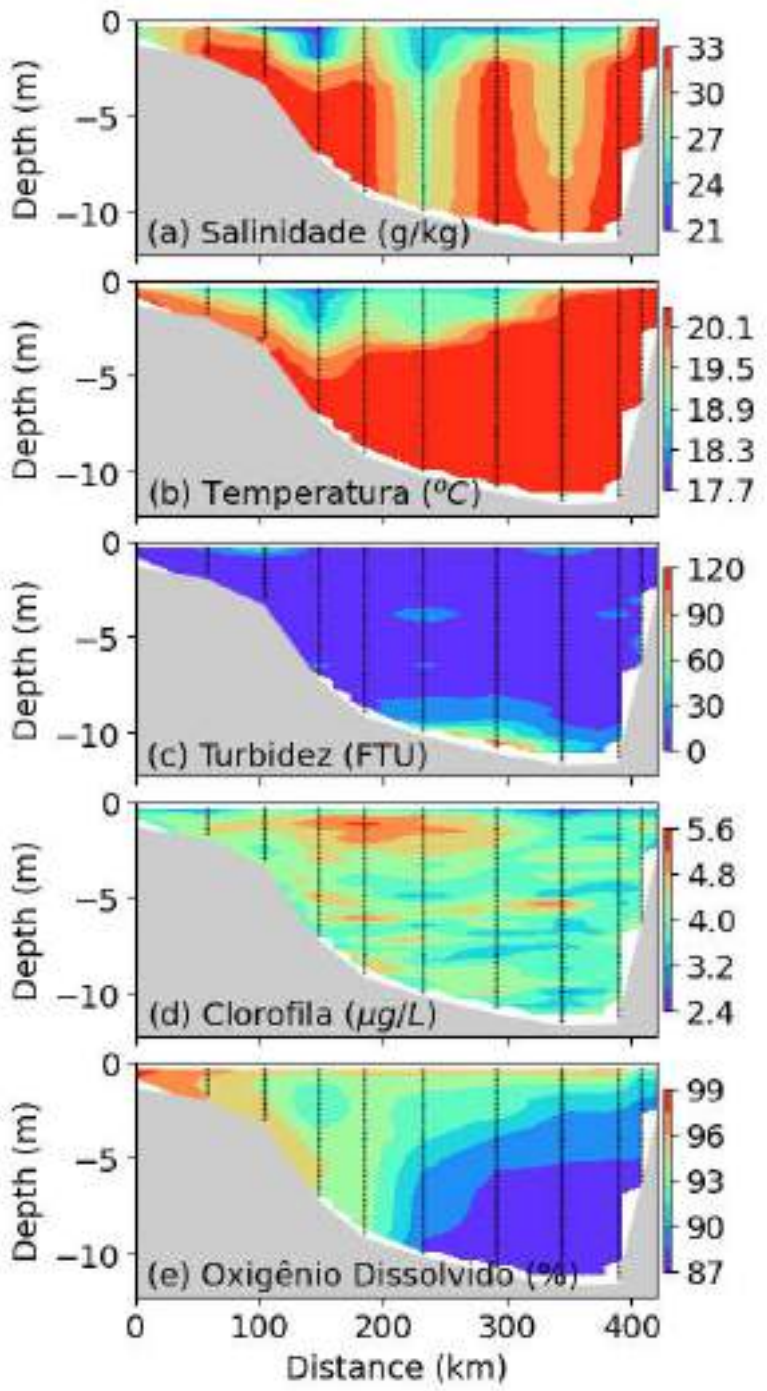


Figura 1.21: Distribuições de propriedades da água na seção transversal do canal de acesso ao Porto Novo na campanha de 29 de Abril.

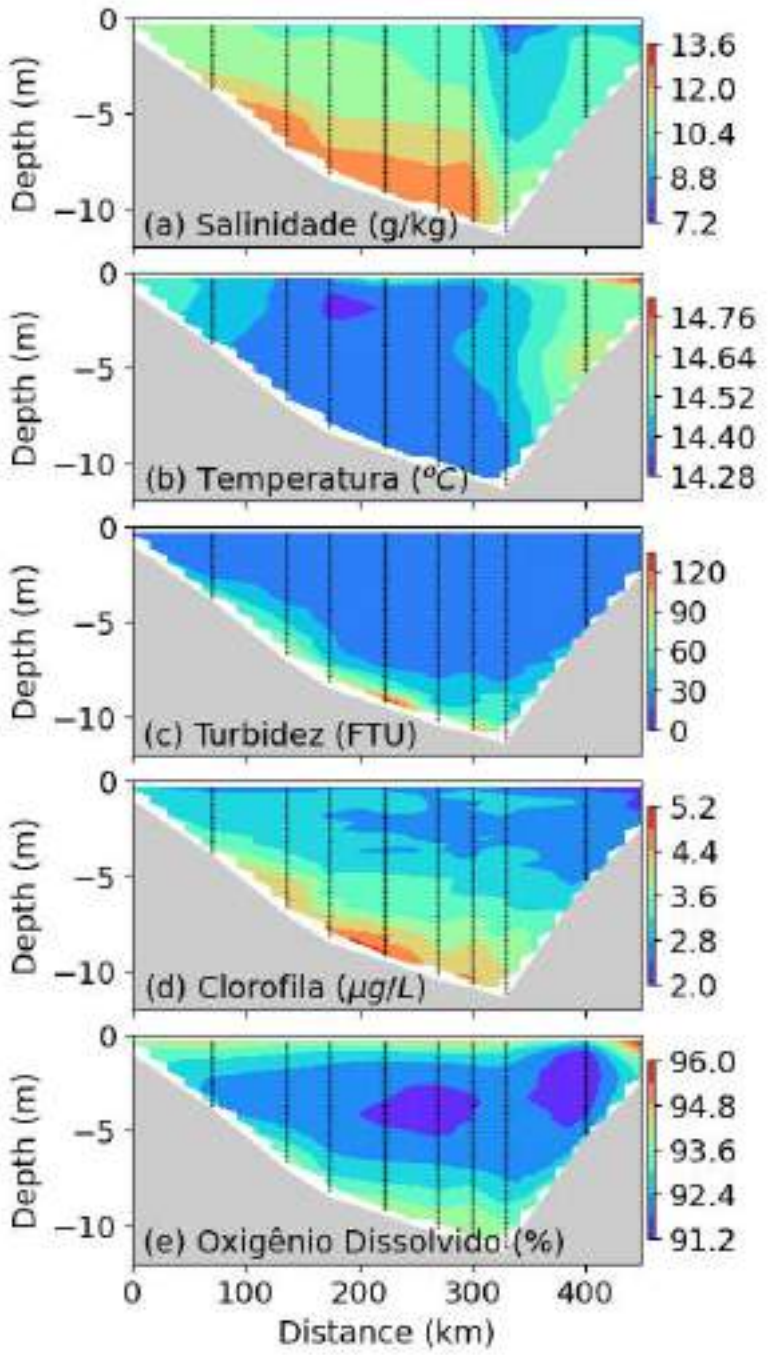


Figura 1.22: Distribuições de propriedades da água na seção transversal do canal de acesso ao Porto Novo na campanha de 3 de Junho.

1.6.3 Condições Hidrodinâmicas no Baixio

As condições hidrodinâmicas na seção transversal do canal foram obtidas a partir de um retrato instantâneo. No baixio as condições foram obtidas por séries temporais de dados de correntes e propriedades da água com duração de 6 horas em três pontos de amostragem. Em cada ponto é utilizado um correntógrafo eletromagnético (EMCM) para registrar as correntes, e um CTD para registrar salinidade e turbidez. Na campanha 1 o EMCM da

estação 2 não registrou dados, e na campanha 4 o CTD da estação 1 não registrou dados (Tabela 1.3).

As Figuras 1.23, 1.24, 1.25 e 1.26 apresentam as séries temporais de velocidade e direção do vento, variação do nível da água (maré), registrados na estação da praticagem, e os dados registrados de velocidade de corrente, salinidade e turbidez nas três estações de coleta sobre o baixio. O vento apresentou um comportamento relativamente constante nas campanhas 1, 2 e 3, mantendo-se relativamente uniforme durante o período de monitoramento. Somente na campanha 4 é que o vento apresentou uma tendência de aumento entre o início e o fim da campanha. Porém, foi a campanha que apresentou menor intensidade do vento de forma geral.

A variação do nível da água durante as campanhas variou de forma variada. Na campanha 1 o nível baixou de 0,35 m para 0,1 m até as 12:00, e apresentando um ligeiro aumento para o final da campanha. Na campanha 2 o nível da água apresentou tendência de aumento durante todo o período, iniciando em torno de 0,1 m e chegando em 0,25 m no final do período, embora a partir das 12:00 o nível ficou estabilizado em torno dos 0,25 m. Na campanha 3, o nível iniciou em torno de 0,55 m e baixou para 0,25 m em torno das 12:00, e retornando a subir para 0,35 m no final da campanha. Na campanha 4 o nível iniciou em 0,1 m, apresentando pouca variação, terminando em 0,2 m no final da campanha.

Comparando de forma geral os padrões de variação do nível da água com as variações temporais das correntes, salinidade e turbidez sobre o baixio, não é possível identificar uma relação clara, o que é parcialmente justificado pela curta duração dos monitoramentos. Porém, considerando valores médios do vento de cada campanha e o valor médio de corrente registrado, há uma relação bastante sugestiva (Figura 1.27) de que o vento é o principal determinante da circulação sobre o baixio.

A comparação entre os valores de correntes, salinidade, e turbidez registrados nas diferentes estações indicam uma relativa homogeneidade espacial. Exceções são observadas para as variações da turbidez na campanha 1, onde a partir das 13:00 houve um aumento da turbidez na estação 2 (no meio), e diminuição da turbidez na estação 1 (próxima do canal), embora não há dados de correntes para verificar se houve uma mudança equivalente. As variações temporais nas campanhas 2 e 3 foram bastante homogêneas espacialmente. E a campanha 4 foi a que apresentou as maiores diferenças entre as séries registradas. A velocidade de corrente na estação 3 (mais interna) foi maior do que as outras duas, e a variação da turbidez foi bastante distinta entre as estações 2 e 3 (não há dados para a estação 1).

Tabela 1.3: Verificação da eficiência dos experimentos de campo quanto a operação dos instrumentos de coleta nas estações amostrais.

Estação	1		2		3	
Campanha	EMCM	CTD	EMCM	CTD	EMCM	CTD
1	✓	✓	✗	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓	✓	✓

4						

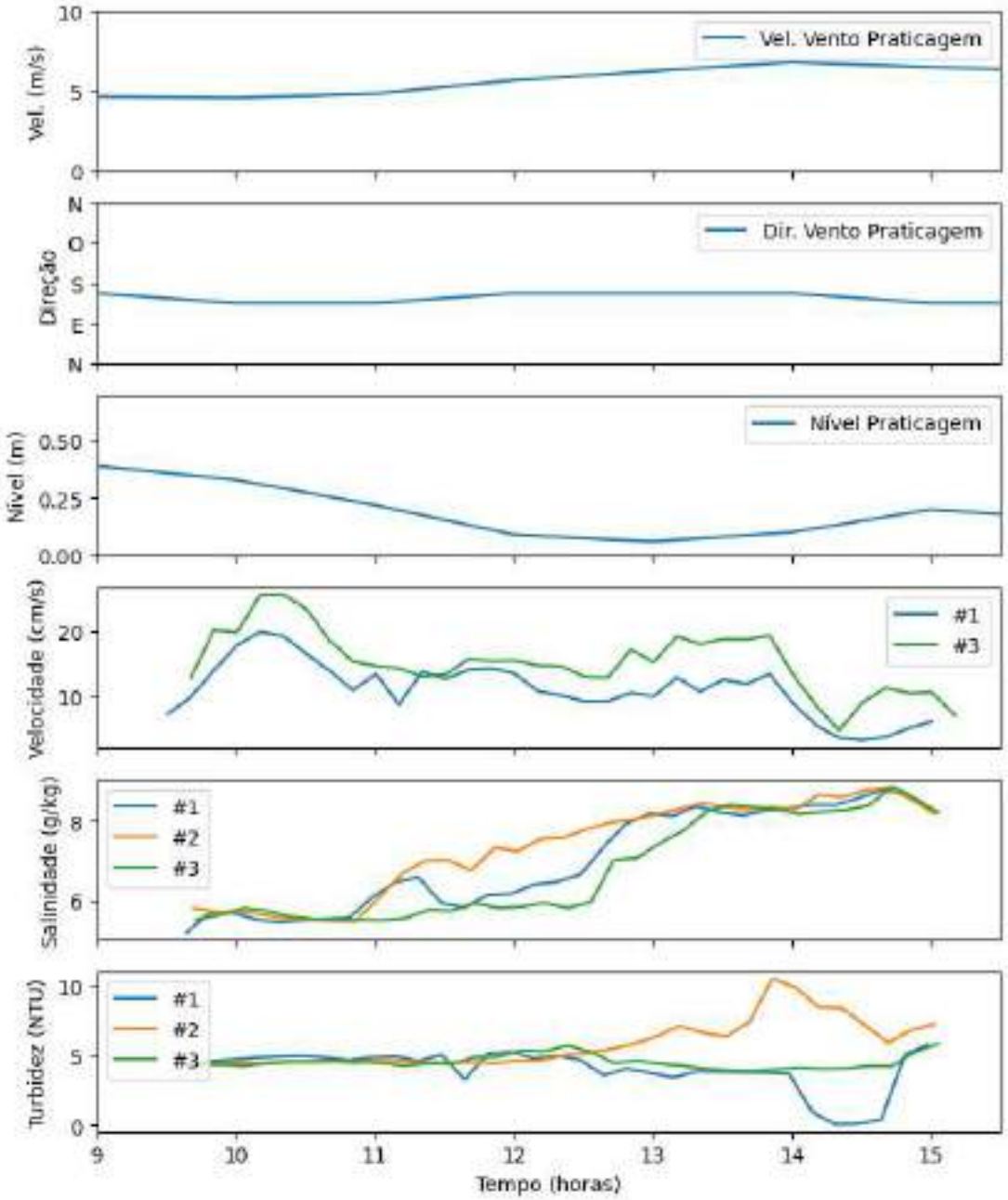


Figura 1.23: Variação temporal da velocidade e direção do vento, nível da água, velocidade de corrente, salinidade, e turbidez durante a campanha de 31 de Janeiro.

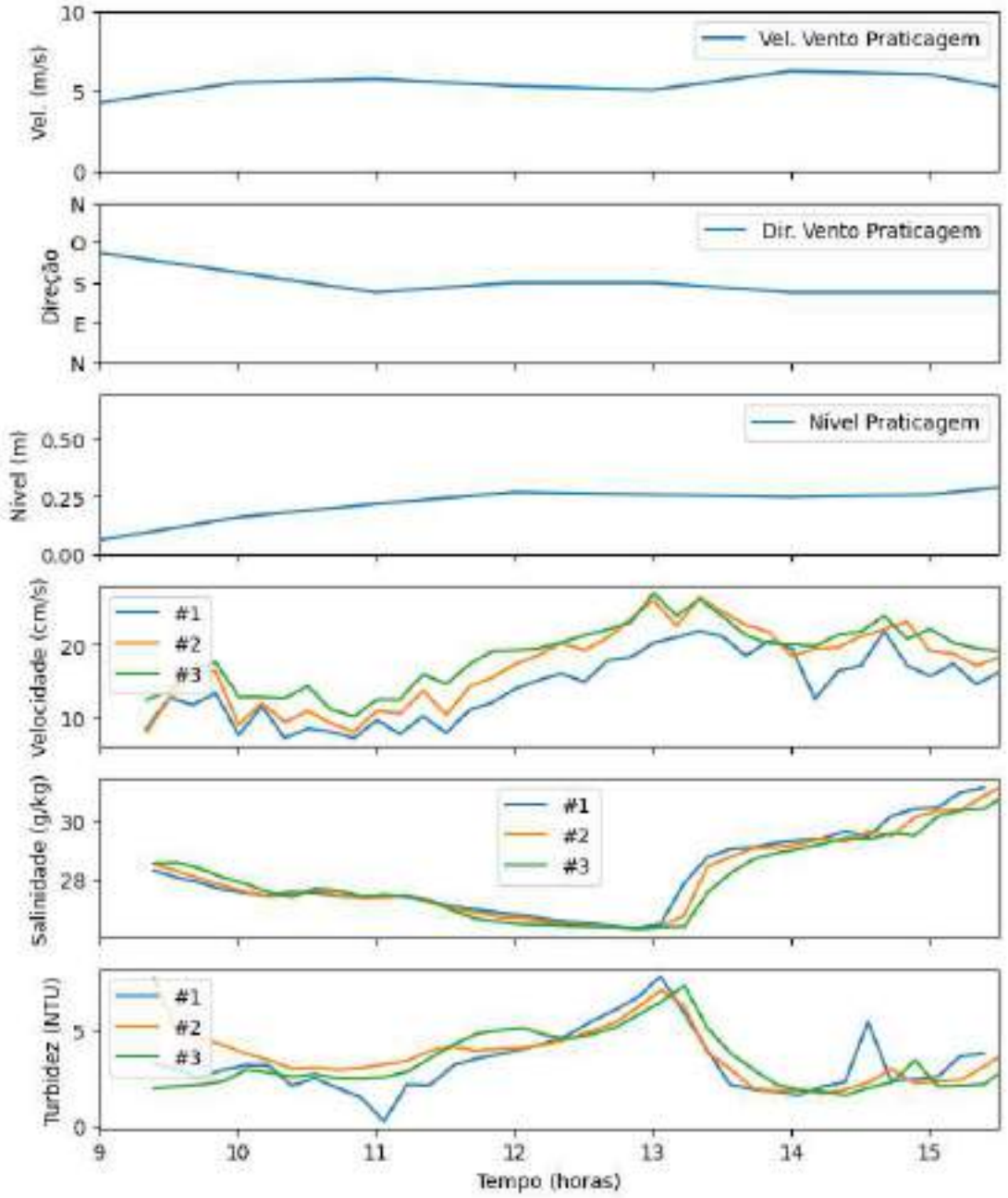


Figura 1.24: Variação temporal da velocidade e direção do vento, nível da água, velocidade de corrente, salinidade, e turbidez durante a campanha de 19 de Março.

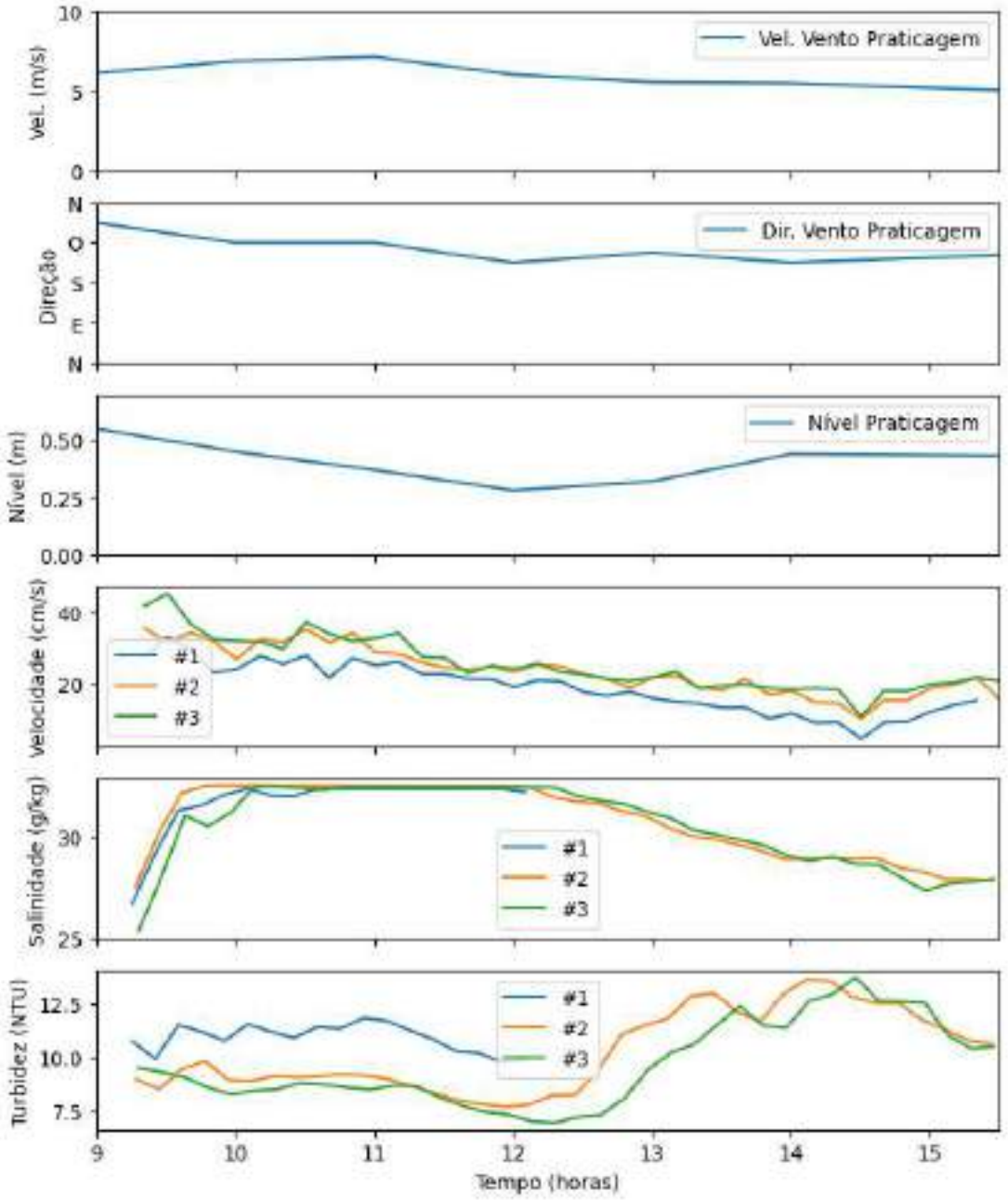


Figura 1.25: Variação temporal da velocidade e direção do vento, nível da água, velocidade de corrente, salinidade, e turbidez durante a campanha de 29 de Abril.

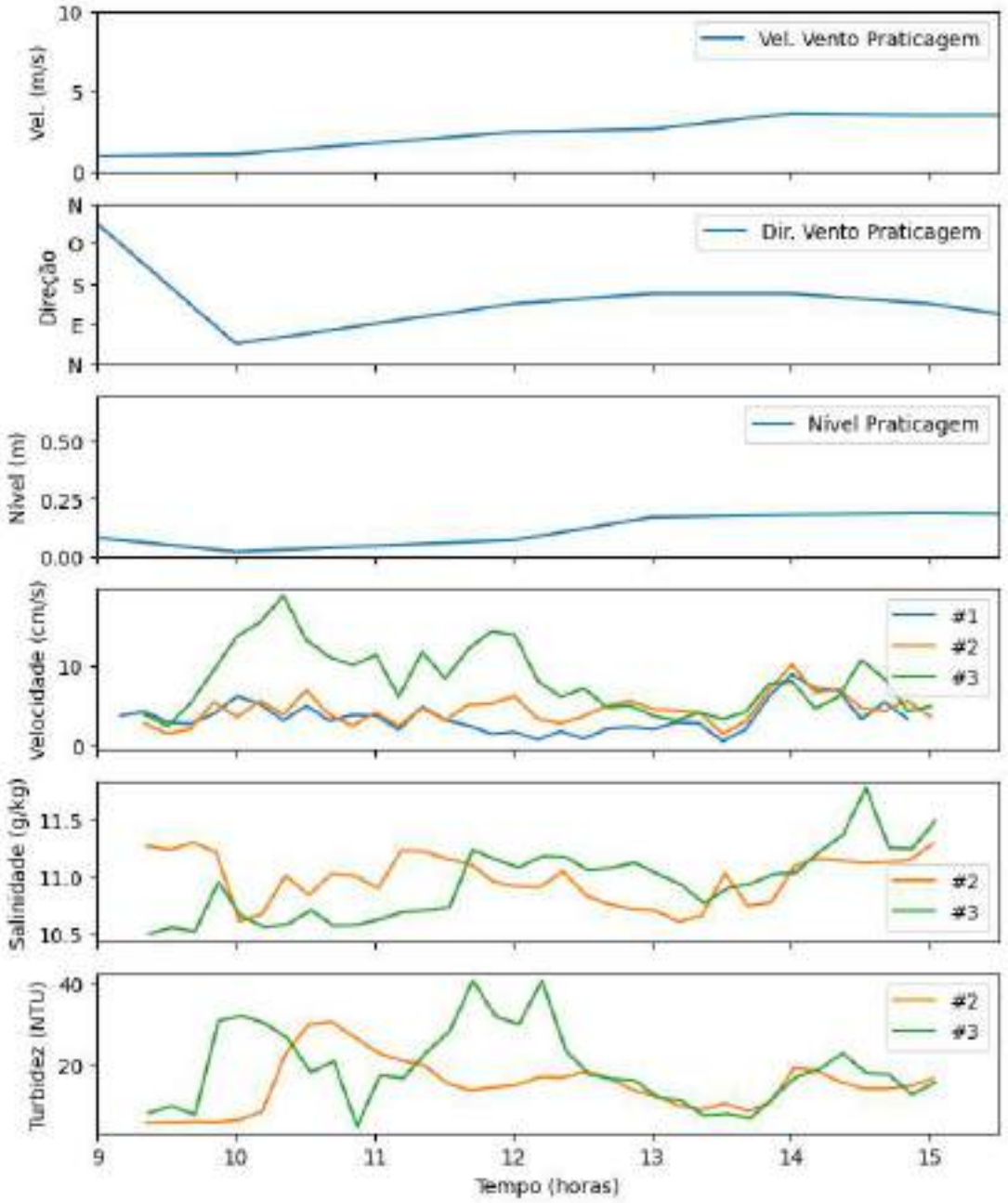


Figura 1.26: Variação temporal da velocidade e direção do vento, nível da água, velocidade de corrente, salinidade, e turbidez durante a campanha de 3 de Junho.

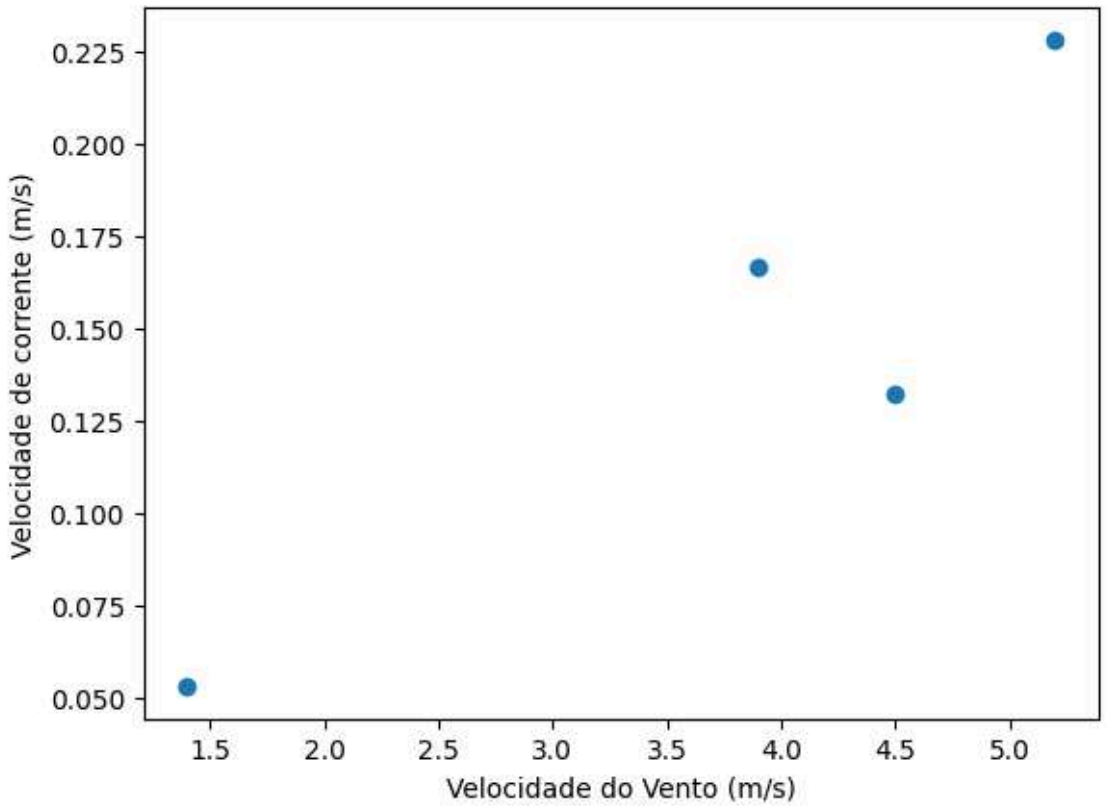


Figura 1.27: Relação entre a velocidade média do vento e a velocidade média da corrente registada durante as campanhas.

1.6.4 Velocidade de Decantação do Sedimento em Suspensão

As Tabelas 1.4, 1.5, 1.6 e 1.7 apresentam as planilhas de cálculo da velocidade mediana de decantação do sedimento em suspensão utilizando a técnica do Tubo de Owen para as campanhas 1, 2, 3, e 4, respectivamente. A Tabela 1.8 apresenta o sumário dos resultados, apresentando a concentração de sedimentos em suspensão de cada amostra, e o valor da velocidade de decantação.

Os valores de concentração de sedimento em suspensão foram baixos nas campanhas 1, 3 e 4, sendo abaixo de 20 mg/L. Somente na campanha 2 o valor de CSS foi moderado, sendo de 56 mg/L. O menor valor de velocidade de decantação foi de 0,02 cm/s, o que é praticamente zero, na primeira campanha, que foi também a campanha que apresentou menor concentração. Na campanha 2, que apresentou a maior CSS, o valor de velocidade de decantação foi de 0,12 cm/s. Na campanha 4 não foi possível obter um valor para velocidade de decantação. Isto ocorre possivelmente há algum erro analítico durante o processo de filtração das amostras, especialmente quando as concentrações são baixas. Considerando as 3 amostras válidas, um valor de referência para a velocidade de decantação de sedimentos é de 0,2 cm/s, que é um valor coerente com a literatura.

Tabela 1.4: Planilha de cálculo da velocidade mediana de decantação do sedimento em suspensão para a amostra do dia 31 de janeiro de 2025.

Tempo	Vol. ml	Conc. mg/l	Massa g	Altura cm	Nível cm	MT g	AT/N	Mcorr g	M% %	Tcorr	Vsed cm/s	M. Sed. %	Fração	Vsed.Fra
0					101.9	0.03	1.06	0.03	12.9	0				
3	250	15	0.00	12.7	89.1	0.02	1.21	0.03	12.7	3.6	0.46	0.2	-0.04	-0.020
6	250	9	0.00	12.7	76.4	0.02	1.41	0.03	13.3	8.5	0.20	-0.6	0.13	0.026
10	250	14	0.00	12.7	63.7	0.02	1.70	0.03	13.2	17.0	0.10	0.1	-0.01	-0.001
15	250	13	0.00	12.7	50.9	0.01	2.12	0.03	13.5	31.8	0.05	-0.2	0.05	0.003
25	250	11	0.00	12.7	38.2	0.01	2.83	0.03	14.5	70.6	0.02	-1.0	0.22	0.005
40	250	13	0.00	12.7	25.5	0.01	4.24	0.03	15.3	169.6	0.01	-0.8	0.16	0.002
60	250	13	0.003	12.7	12.7	0.00	8.48	0.04	17.5	508.7	0.00	-2.3	0.49	0.002
>60	250	18	0.005	12.7										
													vs50 (cm/s) =	
Total	2000		0.03	101.9				0.2				-4.6		**0.016**

Tabela 1.5: Planilha de cálculo da velocidade mediana de decantação do sedimento em suspensão para a amostra do dia 19 de março de 2025.

Tempo	Vol. ml	Conc. mg/l	Massa g	Altura cm	Nível cm	MT g	AT/N	Mcorr g	M% %	Tcorr	Vsed cm/s	M. Sed. %	Fração	Vsed.Fra
0					101.9	0.11	1.06	0.12	16.2	0				
3	250	84	0.02	12.7	89.1	0.09	1.21	0.11	15.0	3.6	0.46	1.1	0.25	0.114
6	250	53	0.01	12.7	76.4	0.08	1.41	0.11	15.0	8.5	0.20	0.1	0.01	0.003
10	250	53	0.01	12.7	63.7	0.06	1.70	0.11	14.9	17.0	0.10	0.0	0.01	0.001
15	250	53	0.01	12.7	50.9	0.05	2.12	0.11	14.8	31.8	0.05	0.1	0.02	0.001
25	250	51	0.01	12.7	38.2	0.04	2.83	0.11	14.9	70.6	0.02	-0.1	-0.01	0.000
40	250	58	0.01	12.7	25.5	0.02	4.24	0.10	13.9	169.6	0.01	0.9	0.20	0.002
60	250	57	0.014	12.7	12.7	0.01	8.48	0.08	11.5	508.7	0.00	2.4	0.52	0.002
>60	250	40	0.010	12.7										
													vs50 (cm/s) =	
Total	2000		0.11	101.9				0.7				4.6		**0.122**

Tabela 1.6: Planilha de cálculo da velocidade mediana de decantação do sedimento em suspensão para a amostra do dia 29 de abril de 2025.

Tempo	Vol. ml	Conc. mg/l	Massa g	Altura cm	Nível cm	MT g	AT/N	Mcorr g	M% %	Tcorr	Vsed cm/s	M. Sed. %	Fração	Vsed.Fra
0					101.9	0.04	1.06	0.04	16.6	0				
3	250	17	0.00	12.7	89.1	0.03	1.21	0.04	16.8	3.6	0.46	-0.2	-0.21	-0.095
6	250	41	0.01	12.7	76.4	0.02	1.41	0.03	13.5	8.5	0.20	3.3	3.32	0.652
10	250	16	0.00	12.7	63.7	0.02	1.70	0.03	13.3	17.0	0.10	0.2	0.18	0.018
15	250	15	0.00	12.7	50.9	0.01	2.12	0.03	13.4	31.8	0.05	0.0	-0.03	-0.002
25	250	14	0.00	12.7	38.2	0.01	2.83	0.03	13.6	70.6	0.02	-0.3	-0.25	-0.006
40	250	15	0.00	12.7	25.5	0.01	4.24	0.03	13.8	169.6	0.01	-0.2	-0.20	-0.002
60	250	13	0.003	12.7	12.7	0.00	8.48	0.04	15.6	508.7	0.00	-1.8	-1.81	-0.006
>60	250	17	0.004	12.7										
													vs50 (cm/s)	
Total	2000		0.04	101.9				0.2				1.0	=	**0.560**

Tabela 1.7: Planilha de cálculo da velocidade mediana de decantação do sedimento em suspensão para a amostra do dia 3 de junho de 2025.

Tempo	Vol. ml	Conc. mg/l	Massa g	Altura cm	Nível cm	MT g	AT/N	Mcorr g	M% %	Tcorr	Vsed cm/s	M. Sed. %	Fração	Vsed.Fra
0					101.9	0.03	1.06	0.03	17.0	0				
3	250	33	0.01	12.7	89.1	0.02	1.21	0.03	14.2	3.6	0.46	2.8	-1.29	-0.594
6	250	17	0.00	12.7	76.4	0.02	1.41	0.03	13.4	8.5	0.20	0.8	-0.38	-0.075
10	250	11	0.00	12.7	63.7	0.02	1.70	0.03	13.6	17.0	0.10	-0.2	0.12	0.011
15	250	18	0.00	12.7	50.9	0.01	2.12	0.02	12.1	31.8	0.05	1.5	-0.70	-0.037
25	250	6	0.00	12.7	38.2	0.01	2.83	0.03	14.0	70.6	0.02	-1.8	0.86	0.020
40	250	13	0.00	12.7	25.5	0.01	4.24	0.03	13.6	169.6	0.01	0.4	-0.17	-0.002
60	250	7	0.002	12.7	12.7	0.00	8.48	0.04	19.1	508.7	0.00	-5.5	2.57	0.008
>60	250	17	0.004	12.7										
													vs50 (cm/s)	
Total	2000		0.03	101.9				0.2				-2.1	=	**-0.667**

Tabela 1.8: Sumário dos resultados para velocidade de decantação.

Campanha	Concentração Média (mg/L)	Velocidade de decantação mediana (cm/s)
31/Jan/2025	13,2	0,02
19/Mar/2025	56,1	0,12
29/Abr/2025	18,4	0,56
3/Jun/2025	15,4	-
Média	25,8 ± 17,6	0,2 ± 0,2

1.6.5 Taxa de Deposição Potencial

As Tabelas 1.9, 1.10, 1.11 e 1.12 apresentam os resultados das estimativas de taxa de deposição potencial e sedimentação potencial obtidas a partir das armadilhas de sedimento para as campanhas 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Em cada estação foram instaladas 3 armadilhas em cada campanha (triplicatas). Considerando os valores médios de cada estação e os valores relativamente baixos de desvio padrão, os resultados são bastante robustos para representar o fluxo vertical para baixo de sedimentos em suspensão para as condições observadas.

Tabela 1.9: Valores de concentração, massa normalizada, taxa de deposição potencial e taxa de sedimentação potencial para as amostras obtidas no experimento de 31 de janeiro de 2025.

Estação	Concentração	Massa normalizada	Taxa de Deposição Potencial	Taxa de Sedimentação Potencial	Média por estação
	mg/L	g	g/(m^2.dia)	cm/ano	cm/ano
1	108.0	27.0	119.4	2.906	
1	98.7	24.7	109.1	2.655	2.58 ± 0.36
1	81.3	20.3	89.9	2.189	
2	-	-	-	-	
2	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	
3	46.0	11.5	50.9	1.238	
3	135.3	33.8	149.7	3.642	2.12 ± 1.32
3	55.3	13.8	61.2	1.489	
Média			96.7 ± 2.3	2.353 ± 0.903	

Tabela 1.10: Valores de concentração, massa normalizada, taxa de deposição potencial e taxa de sedimentação potencial para as amostras obtidas no experimento de 19 de março de 2025.

Estação	Concentração	Massa normalizada	Taxa de Deposição Potencial	Taxa de Sedimentação Potencial	Média por estação
	mg/L	g	g/(m^2.dia)	cm/ano	cm/ano
1	174.0	43.5	192.4	4.683	
1	149.3	37.3	165.2	4.019	4.49 ± 0.41
1	177.0	44.3	195.7	4.763	
2	176.0	44.0	194.6	4.736	
2	157.0	39.3	173.6	4.225	4.49 ± 0.26
2	168.0	42.0	185.8	4.521	
3	125.0	31.3	138.2	3.364	
3	142.0	35.5	157.0	3.821	3.42 ± 0.38
3	114.0	28.5	126.1	3.068	
Média			169.9 ± 25.4	4.133 ± 0.62	

Tabela 1.11: Valores de concentração, massa normalizada, taxa de deposição potencial e taxa de sedimentação potencial para as amostras obtidas no experimento de 29 de abril de 2025.

Estação	Concentração	Massa normalizada	Taxa de Deposição Potencial	Taxa de Sedimentação Potencial	Média por estação
	mg/L	g	g/(m^2.dia)	cm/ano	cm/ano
1	585.0	138.1	610.7	14.861	
1	548.0	143.6	635.1	15.455	15.52 ± 0.70
1	590.0	151.0	668.2	16.259	
2	516.7	132.3	585.1	14.238	
2	556.7	130.3	576.2	14.022	15.18 ± 1.82
2	710.0	160.5	709.8	17.273	
3	696.7	158.8	702.7	17.098	
3	646.7	157.8	698.0	16.985	18.76 ± 2.97
3	873.3	206.1	911.8	22.186	
Média			677.5 ± 101.3	16.486 ± 2.46	

Tabela 1.12: Valores de concentração, massa normalizada, taxa de deposição potencial e taxa de sedimentação potencial para as amostras obtidas no experimento de 3 de junho de 2025.

Estação	Concentração	Massa normalizada	Taxa de Deposição Potencial	Taxa de Sedimentação Potencial	Média por estação
	mg/L	g	g/(m^2.dia)	cm/ano	cm/ano
1	52.0	10.4	46.0	1.119	
1	40.0	9.8	43.5	1.059	1.18 ± 0.2
1	60.0	12.6	55.7	1.356	
2	128.0	26.9	118.9	2.893	
2	131.0	30.1	133.3	3.243	2.85 ± 0.4
2	101.0	22.4	99.2	2.414	
3	431.0	97.4	430.9	10.485	
3	448.0	107.5	475.6	11.574	11.14 ± 0.6
3	451.0	105.5	466.9	11.360	
Média			207.8 ± 190	5.056 ± 4.6	

Tabela 1.13: Sumário dos resultados para taxa de deposição potencial e taxa de sedimentação potencial.

Campanha	Taxa de Deposição Potencial (g/m^{2}dia)	Taxa de Sedimentação Potencial* (cm/ano)
31/Jan/2025	96.7 ± 37.1	2.35 ± 0.9
19/Mar/2025	169.9 ± 25.4	4.13 ± 0.6
29/Abr/2025	677.5 ± 101.3	16.5 ± 2.5

3/Jun/2025	207.8 ± 190.4	5.0 ± 4.6

* com densidade para sedimento de referência de 1500 kg/m^3

1.7 Discussão

A hidrodinâmica do Canal de Rio Grande é primeiramente determinada pelo vento e pela descarga fluvial. A descarga fluvial prevalece em relação ao vento em períodos de alta descarga. Porém, condições de alta descarga ocorrem em períodos relativamente curtos, o que faz com que na maior parte do tempo a dinâmica seja determinada pelo vento. Na presente análise, os dados de salinidade indicam que a descarga fluvial teve um papel secundário, uma vez que a salinidade média registrada foi elevada (> 25 g/kg), e em nenhum momento foram registrados valores de zero, o que indicaria dominância da descarga fluvial.

Durante a maior parte do tempo, independente da velocidade de corrente, os valores de CSS são relativamente baixos (< 20 mg/L). Os maiores valores de CSS ocorreram em períodos de salinidade elevada, embora também ocorram valores maiores nos períodos de salinidade mínima registrados (salinidade < 8 g/kg). Também é importante o fato de que a CSS não apresenta relação com a velocidade de corrente. Tanto em termos absolutos, quanto em termos de condições de enchente ou vazante (Figura 1.28). Quando existe uma boa correlação entre a CSS e a velocidade de corrente, isto implica que o fundo é a principal fonte de sedimentos para a coluna de água, o que segue o perfil de Rouse para distribuição vertical de CSS (Cruz & Schettini, 2025). Por outro lado, a ausência de correlação sugere que a variabilidade temporal da CSS é principalmente devido a advecção.

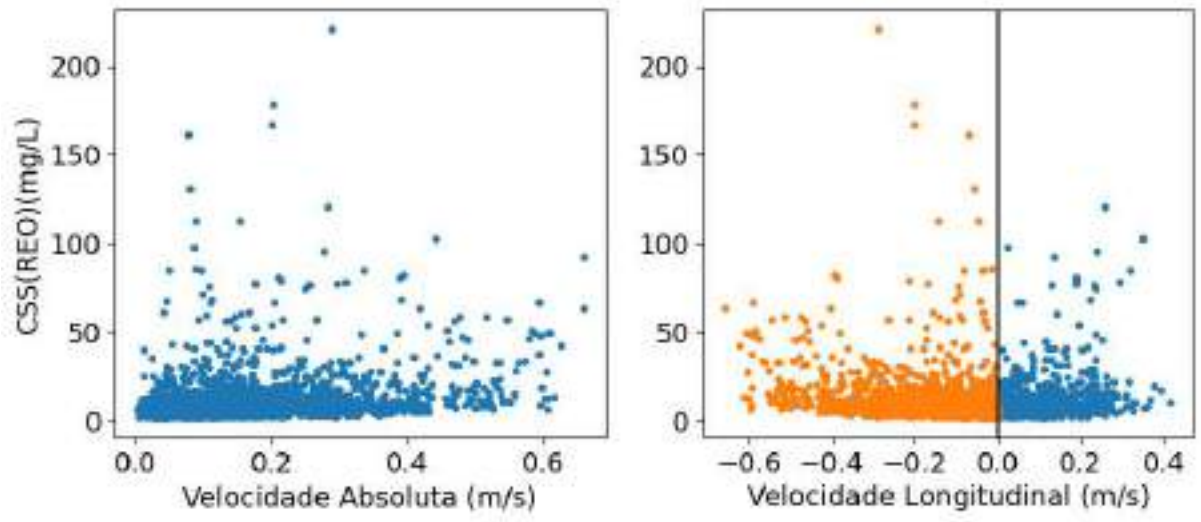


Figura 1.28: Relação entre a velocidade absoluta de corrente e a concentração de sedimentos em suspensão (esquerda), e relação entre a componente longitudinal de corrente e a concentração de sedimentos em suspensão (direita).

A ocorrência de maiores valores de CSS associados com salinidade elevada ou muito baixa corrobora com a hipótese que a principal fonte de sedimentos em suspensão é a advecção. Os menores valores de salinidade observados após períodos prolongados de vazante indicam que a massa de água que ocupa a área de estudo pode ser sido advectada do corpo lagunar. Por outro lado, valores de salinidade acima de 30 g/kg indicam que a massa de

água presente na área de estudo é de origem costeira. Soma-se isto os valores obtidos para a velocidade de decantação do sedimento em suspensão através do Tubo de Owen. O valor médio foi de 2 mm/s, sendo este valor na ausência de turbulência. Em condições dinâmicas, o valor será menor ou nulo, possibilitando o transporte por longas distâncias.

Foi observado que existem trocas de água entre o canal e a região de baixio, e esta é muito mais intensa em condições de correntes de enchente e no sentido do canal para o baixio. Considerando também a observação que os maiores valores de CSS foram associados com a água costeira, é possível conjecturar que a maior parte do material que deposita no baixio são sedimentos que estão sendo transportados durante períodos de enchente, e possivelmente originados da erosão na plataforma adjacente.

A movimentação da água sobre o baixio está associada com a intensidade do vento. Ventos mais intensos produzem correntes mais intensas. E a intensidade das velocidades serão determinantes para que ocorra ou não a deposição de sedimentos. A velocidade média de corrente sobre o baixio foi de 0,15 m/s, medida a cerca de 0,3 m acima do fundo. Considerando a lei da parede, podemos estimar a velocidade de cisalhamento u_* por:

$$u_* = \frac{u(z)\ k}{ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}, \tag{7}$$

onde $u(z)$ é a velocidade observada (0,15 m/s) em determinada distância acima do fundo (z = 0,3 m). k é a constante de von Karman (= 0,4). z_0 é a escala de rugosidade de fundo. Para fundos lamosos lisos, o valor é 10^{-4} m. Com estes valores, a velocidade friccional é $u_* =$ 0,007 m/s. Conhecendo a velocidade friccional, podemos calcular a tensão de cisalhamento de fundo com:

$$\tau = \rho\, u_*^{\,2}, \tag{8}$$

onde ρ é a densidade da água (~ 1025 kg/m^3). Para o presente caso, a tensão de cisalhamento de fundo é 0,06 Pa. Este é um valor que está ligeiramente acima do limiar de erosão para sedimentos finos não consolidados. Neste caso não é considerado o efeito de ondas, as quais podem potencialmente produzir tensões de cisalhamento consideravelmente maiores em ambientes rasos.

Considerando o exposto acima, os resultados obtidos a partir das armadilhas de sedimento devem ser interpretados como que: (1) existe movimentação de sedimentos sobre o baixio, uma vez que sedimentos foram capturados pelas armadilhas. Porém, (2) a deposição efetiva, ou, a formação de fundo a partir da incorporação do material depositado em uma escala de tempo longa, deve ser um valor consideravelmente menor do que os observados a partir das armadilhas. Tais valores servem como uma referência de condição ótima para a deposição, que possivelmente ocorrem somente em períodos de calmaria.

Uma condição de calmaria estaria associada também a uma condição de baixa hidrodinâmica, consequentemente de advecção limitada de água e sedimentos. Por outro lado, períodos de dominância da vazão fluvial (como a enchente de 2024), seria possível ter a advecção de sedimentos para sobre o baixio. Com a ausência de vento (correntes e ondas),

seria uma condição ótima para deposição. Porém, tais condições ocorrem somente em uma pequena fração do tempo.

Capítulo 2: Modelagem numérica

2.1 Equipe Técnica

Prof. Dr. Elisa Helena Fernandes
Prof. Dr. Glauber Acunha Gonçalves
MSc. Pablo Dias da Silva
MSc. Rafaela Rizzi

2.2 Objeto

Este estudo tem como objeto avaliar a hidrodinâmica e o transporte de sedimentos no futuro AWT (All Weather Terminal – AWT) do Porto Novo, no estuário da Lagoa dos Patos, analisando o comportamento i) hidrodinâmico das correntes, nível da água e salinidade e ii) os padrões de transporte sedimentar com estimativas das taxas de sedimentação, considerando as direções predominantes de vento e em situações de alta e baixa descarga para o cenário atual e cenários de intervenção propostos pelo Contratante.

2.3 Metodologia

O Sistema TELEMAC-MASCARET (www.opentelemac.org) foi empregado neste estudo para realizar as simulações hidrodinâmicas e de transporte de sedimentos. As simulações foram conduzidas em modo de computação paralela, utilizando computadores equipados com 10 núcleos de processamento.

A seguir, serão destacadas as principais características do modelo numérico adotado, juntamente com as etapas desenvolvidas para a realização das simulações.

2.3.1 Modelo Numérico - O Sistema TELEMAC

O TELEMAC-MASCARET (http://www.opentelemac.org/) é um sistema de código aberto, composto por um conjunto de módulos em 2D e 3D, desenvolvido pelo *Laboratoire National d'Hidraulique et Environment* no departamento de *Division for Research and Development of the French Electricity Board* (EDB R&D). Esse sistema utiliza a técnica dos elementos finitos e é amplamente empregado na análise da hidrodinâmica estuarina, costeira e oceânica, bem como na investigação da geração e propagação de ondas e no transporte de sedimentos.

As simulações hidrodinâmicas e de transporte de sedimento em suspensão foram realizadas a partir do módulo TELEMAC-3D na versão V8P2r1. A atualização da versão fez-se necessária para melhor representar o transporte sedimentar na região de interesse. O modelo resolve as equações promediadas de Navier-Stokes considerando as flutuações locais na superfície livre do fluido, assumindo aproximações de pressão hidrostática e de Boussinesq (Hervouet, 2007). Foi utilizado o modelo de turbulência vertical de comprimento de mistura e o modelo de Smagorinsky para a turbulência horizontal (Tabela 2.1).

O modelo utiliza equações de advecção-difusão para simular o transporte das concentrações de traçadores, como sedimentos em suspensão, salinidade ou temperatura, considerando uma série de fatores: a salinidade e a concentração de sedimentos em suspensão que afetam a densidade do fluido; a fricção de fundo; a força de Coriolis; as condições meteorológicas, como a pressão atmosférica e os ventos; trocas de calor entre a superfície do fluido e a atmosfera; fontes e sumidouros de fluido e/ou quantidade de movimento dentro do domínio; modelos de turbulência (e.g., k-Epsilon); zonas secas; transporte de traçadores e a difusão associada às correntes.

A concentração de sedimento em suspensão é calculada pelo módulo SED-3D (Tabela 2.2), o qual incorpora o processo de floculação seguindo a equação de Van Leussen (1999) e calcula as taxas de deposição e ressuspensão conforme a equação de Partheniades (1965).

Tabela 2.1: Principais parâmetros físicos configurados para o módulo hidrodinâmico do TELEMAC-3D.

Parâmetro	Parametrização/valor
Coriolis coefficient	$-7{,}71 \cdot 10^{-5}$
Horizontal turbulence model	Smagorinsky
Vertical turbulence model	Mixing length
Tidal flats	Yes
Time step	5 s
Law of bottom friction	Nikuradse
Friction coefficient for the bottom	$1{,}0 \cdot 10^{-4}$
Coefficient of wind influence	$3{,}0 \cdot 10^{-6}$

Tabela 2.2: Principais parâmetros físicos configurados para o módulo de sedimento em suspensão SED-3D do TELEMAC-3D.

Parâmetro	Parametrização/valor
Suspended sediment class	Fine silt
Mean diameter of the sediment	$1 \cdot 10^{-5}$ m
Critical shear stress for erosion	10 N m^{-2}
Critical shear stress for deposition	0.05 N m^{-2}
Cohesive sediment	Yes
Density of the sediment	2650 kg m^{-3}
Flocculation formula	Van Leussen
Sediment settling velocity	$1 \cdot 10^{-5}$ m s^{-1}

Os resultados são computados para cada ponto da grade computacional, sendo os principais a velocidade da corrente, a salinidade e a concentração de sedimentos em suspensão e as taxas de deposição. Em superfície, o principal resultado é a elevação da

superfície livre. Para mais detalhes, consultar a descrição completa do modelo em Hervouet (2007).

O TELEMAC-3D tem sido amplamente calibrado, validado e aplicado em estudos para a região da Lagoa dos Patos e seu estuário (Fernandes et al., 2002; 2004; 2005; 2007; 2021; Marques et al., 2009; 2010a; 2010b; Silva et al., 2015; 2022; Bitencourt et al., 2020a; 2020b), e região costeira adjacente (Lisboa et al., 2022; 2023), comprovando a aplicabilidade do modelo para estudos neste ambiente.

A. Domínio e grade computacional

O domínio computacional abrange toda a Lagoa dos Patos e a região oceânica adjacente (entre 28.6° - 34.9°S e 48.8° - 52.1°W, Figura 2.1), se estendendo até a profundidade de 940 m no contorno oceânico. No corpo lagunar principal a profundidade média é de 5 m, e valores de até 16 m são encontrados no canal de navegação localizado na área estuarina. A hidrodinâmica da Lagoa dos Patos é modulada pela interação entre a descarga continental e a ação dos ventos locais e remotos (Möller et al., 2001), com seus principais tributários sendo o Guaíba, o Rio Camaquã e o Canal São Gonçalo (Figura 2.2). Os ventos predominantes são de nordeste (NE) e favorecem os fluxos de vazante, enquanto a passagem de frentes frias intensifica a influência dos ventos de sudoeste (SO) e os fluxos de enchente (Moller & Castaing, 1999). As correntes costeiras, impulsionadas pela ação conjugada dos ventos e da propagação de ondas, apresentam um fluxo predominante em direção ao sudoeste (Calliari & Fachin, 1993).

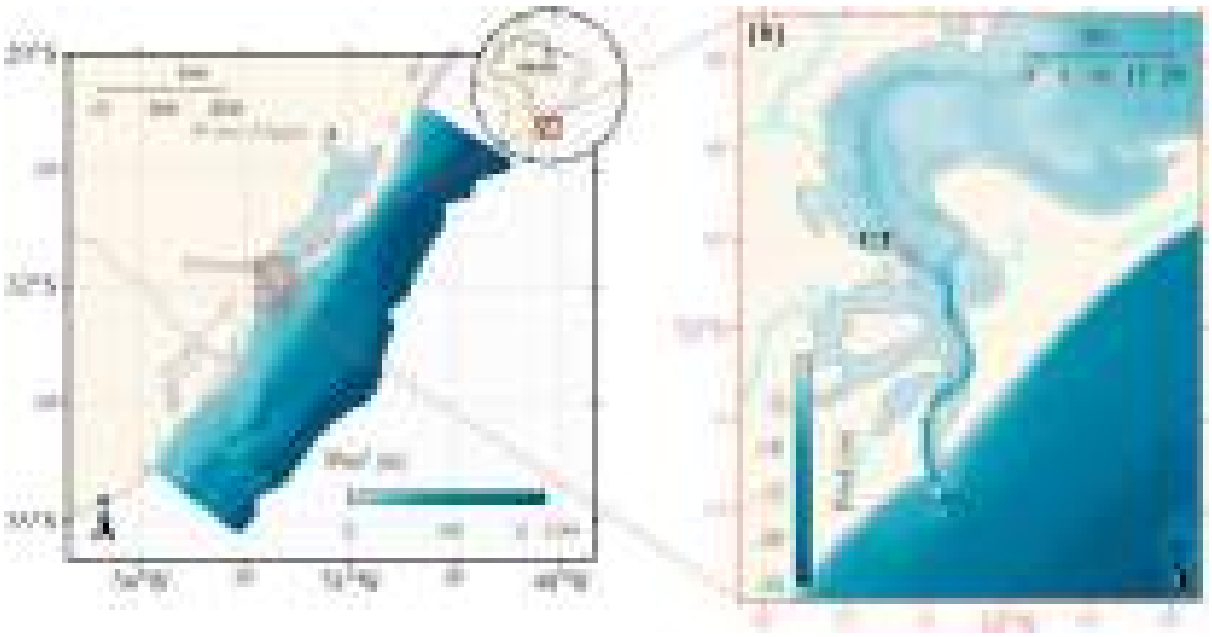


Figura 2.1: Mapa batimétrico da área de estudo: (a) extensão total do domínio estudado; (b) ampliação do domínio para o estuário da Lagoa dos Patos. O ponto rosa indica a localização da estação de medição dos dados utilizados para a validação do modelo hidrodinâmico. As medições foram realizadas em 2017 com o equipamento SBE CT 37SM (CT = Conductivity and Temperature).

A discretização do domínio foi realizada utilizando grades não-estruturadas de elementos finitos triangulares com tamanhos variáveis, geradas através do software BlueKenue (http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/solutions/advisory/blue_kenue_index.html) para cada um dos cenários (Figuras 2.2–2.5). A aplicação dessa técnica possibilita um refinamento das regiões com variações batimétricas e morfológicas mais significativas, assegurando uma representação mais precisa das áreas de interesse. Os dados batimétricos utilizados neste estudo foram digitalizados a partir de cartas náuticas da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (P2101, P2110, P2140, P23500) e complementados com dados fornecidos pela Portos RS (https://www.portosrs.com.br/site/) para o canal de acesso e pela empresa Arvut Meio Ambiente LTDA para a área do Terminal. O número de pontos da grade de cada um dos cenários é variável conforme a configuração adotada para a representação do AWT. A discretização vertical foi feita em 7 níveis sigma para todas as simulações.

A grade numérica gerada para o Cenário 1 representa a configuração atual do ambiente (Figuras 2.2 e 2.3), enquanto as grades dos Cenários 2 e 3 incorporam as potenciais intervenções propostas pelos Contratantes para o AWT, bem como as respectivas modificações na batimetria necessárias em cada cenário (Figuras 2.3–2.5, e Figuras Suplementares S.7.1–S.7.4, no Capítulo 7 – Material Suplementar).

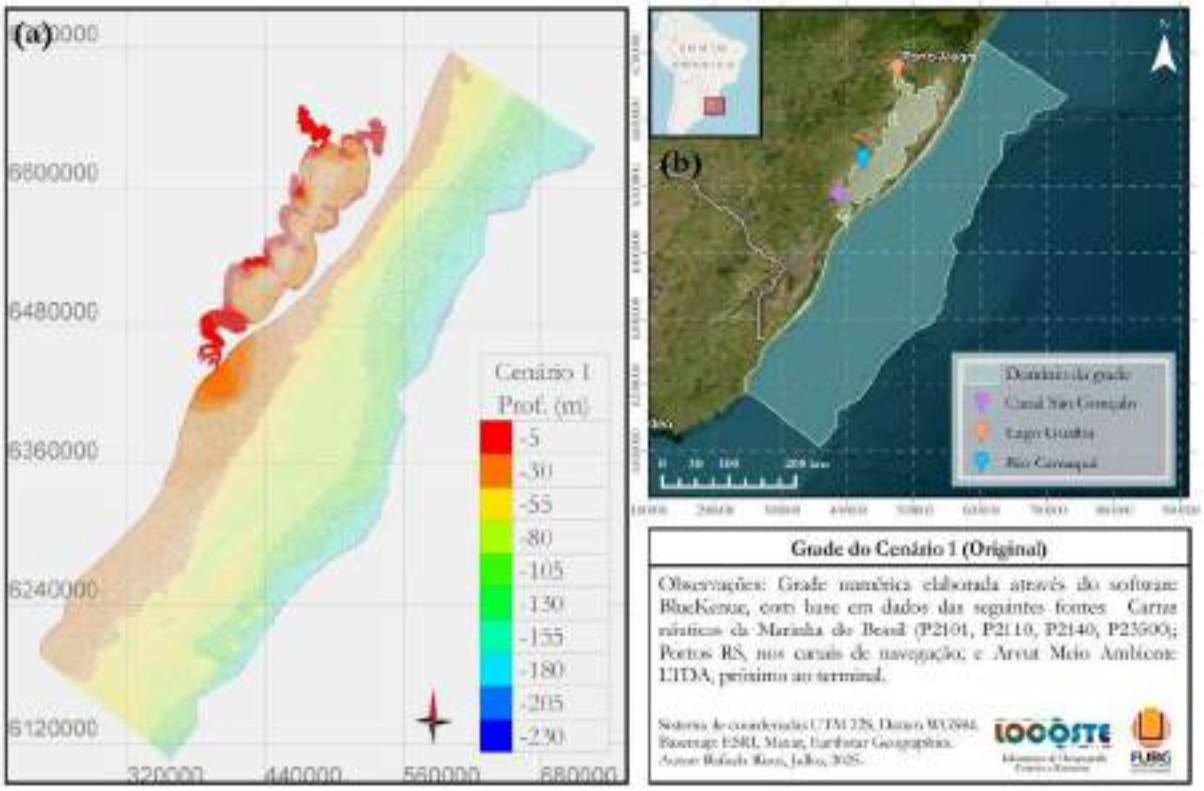


Figura 2.2: Grade numérica do Cenário 1: (a) visão geral da grade numérica e distribuição de profundidades (escala de cores); (b) detalhes sobre a localização da área de estudo e dos principais tributários da Lagoa dos Patos.

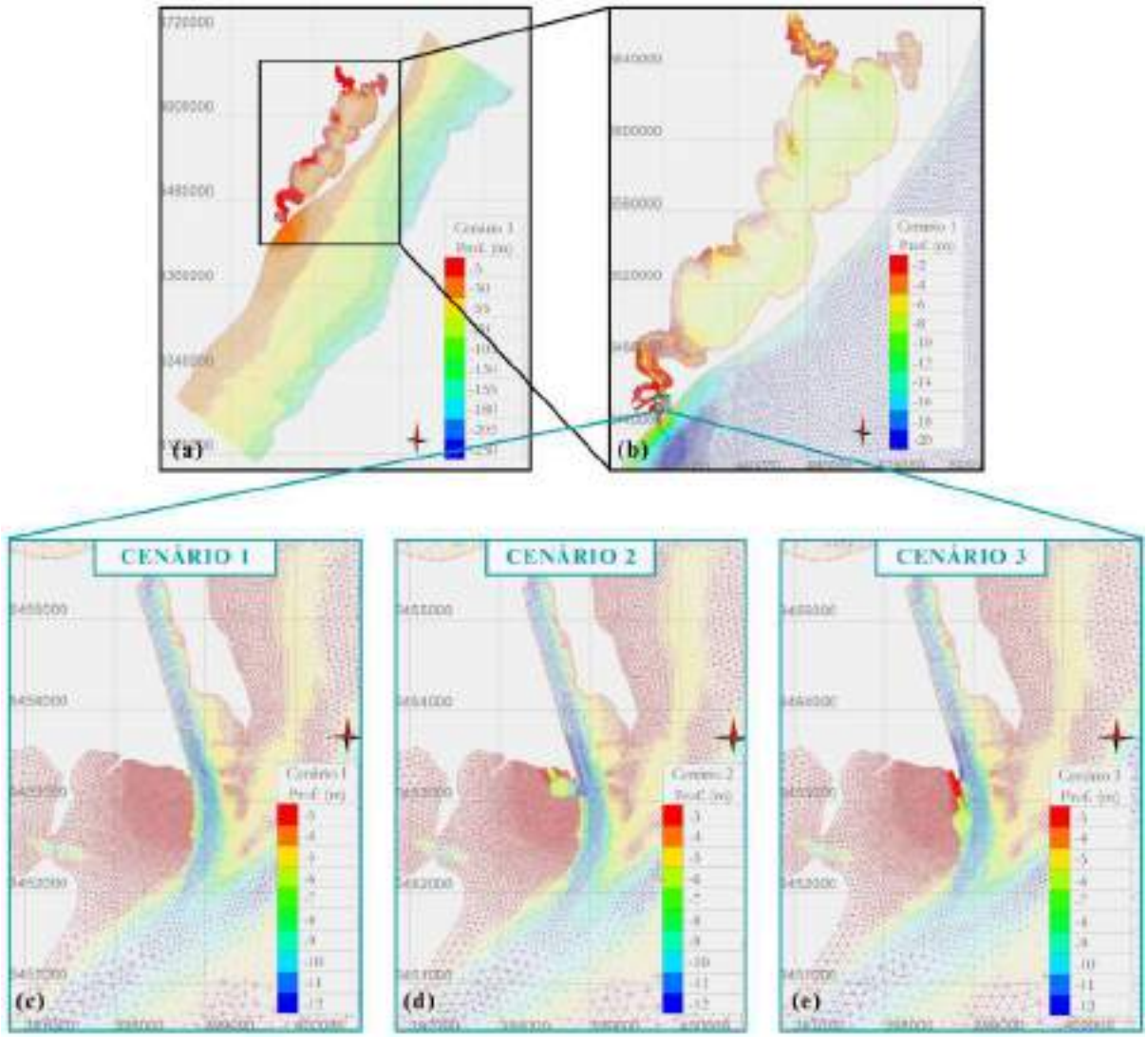


Figura 2.3: Grades numéricas utilizadas nas simulações e distribuição de profundidades (escala de cores): (a) extensão total do domínio; (b) ampliação da Lagoa dos Patos; e ampliação da região do AWT, representando as grades do Cenários 1 (c), 2 (d) e 3 (e).

No Cenário 2, a localização proposta para o AWT é próxima à linha costa, demandando dragagem para conexão com o canal de navegação (Figura 2.4). Já no Cenário 3, a instalação é posicionada em uma região mais afastada da linha de costa (Figura 2.5), visando minimizar a extensão e a frequência das operações de dragagem. Além disso, sua orientação é planejada para oferecer maior proteção contra os ventos predominantes de nordeste (NE) e leste-nordeste (ENE). Ambos Cenários 2 e 3 contemplam também a expansão do berço norte e a dragagem do canal de navegação (-14 m DHN).

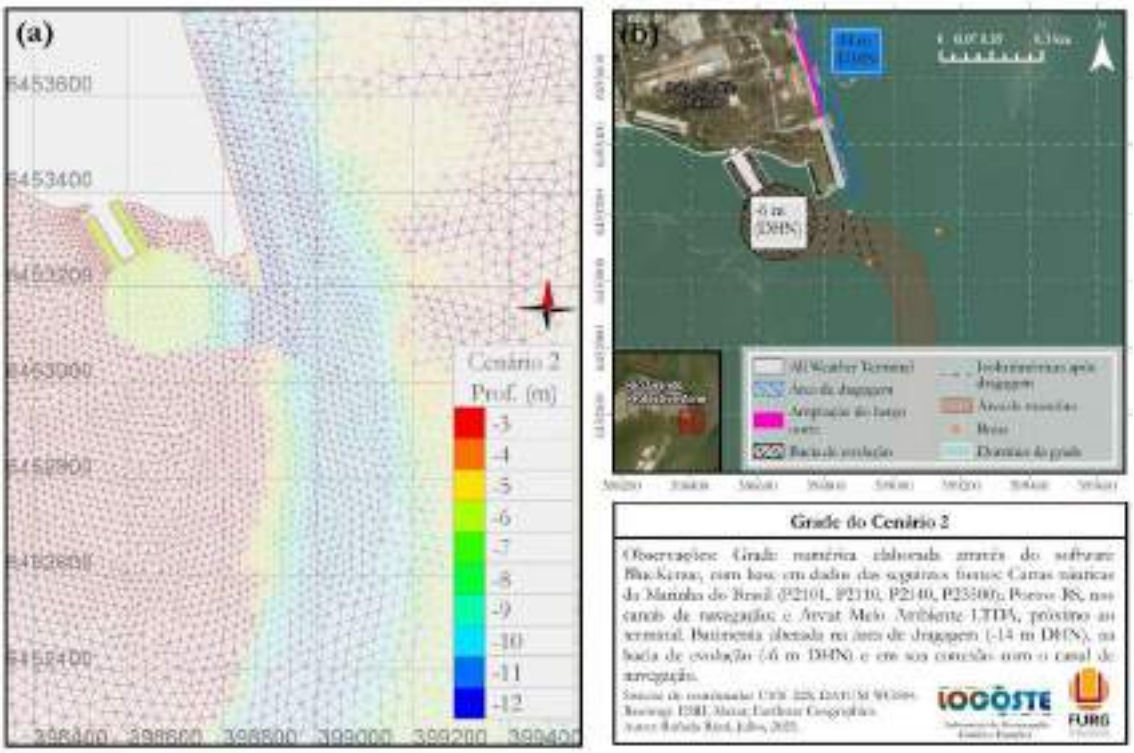


Figura 2.4: Grade numérica do Cenário 2: (a) ampliação da grade para visualização da região do AWT (All Weather Terminal); e (b) detalhes sobre a configuração do AWT proposta pelos Contratantes, que inclui o AWT, a ampliação do berço norte e regiões de dragagem (-14 m DHN sobre o canal de navegação, -6 m DHN na bacia de evolução e isobatimétricas pretendidas após a dragagem para conectar o AWT ao canal de navegação). Outras informações como a localização da área de manobra e das boias de sinalização também são ilustradas.

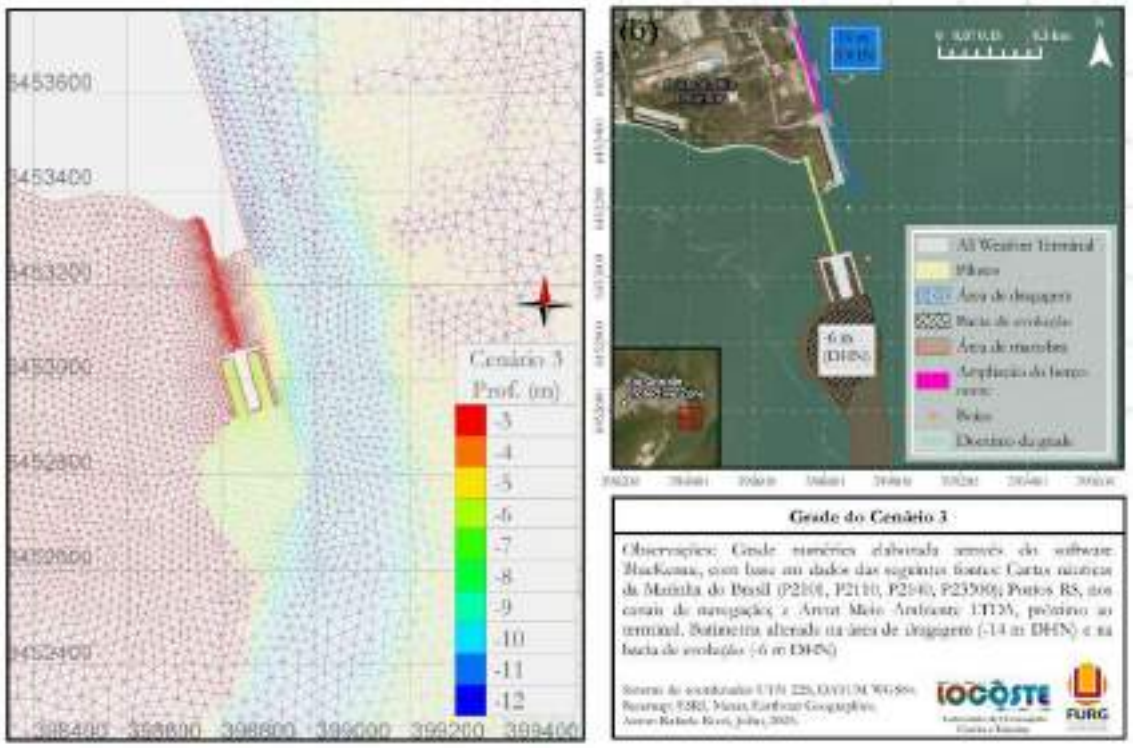


Figura 2.5: Grade numérica do Cenário 3: (a) ampliação para visualização da região do AWT (All Weather Terminal); e (b) detalhes sobre a configuração proposta pelos Contratantes, que inclui o AWT, a ampliação do

berço norte e regiões de dragagem (-14 m DHN sobre o canal de navegação e -6 m DHN na bacia de evolução). Outras informações como a localização da área de manobra e das boias de sinalização também são ilustradas.

B. Condições iniciais e de contorno do Modelo Hidrodinâmico

As condições iniciais de salinidade e temperatura foram prescritas em todo o domínio tridimensional com base nas saídas do Modelo HYCOM + NCODA Global (*HYbrid Coordinate Ocean Model*), que apresenta resolução espacial de 0,083° × 0,083° e resolução temporal diária. As concentrações iniciais de sedimento foram definidas como nulas no oceano e 0,1 kg m^{-3} na lagoa.

Para a definição das fronteiras do domínio, foram considerados contornos abertos e fechados na grade numérica, sendo os primeiros subdivididos em fronteiras oceânicas, superficiais e continentais. Cada um desses contornos foi forçado com condições específicas (Figura 2.6), estabelecidas a partir de diferentes fontes de dados. A ilustração dos dados utilizados como condição de contorno no modelo foi feita para o ano de 2017 (Figura 2.7), considerado um ano típico (sem influência dos fenômenos El Niño/La Niña), adotado como base para a realização das simulações dos três cenários: Cenário 1 (configuração original), Cenário 2 e Cenário 3. As simulações foram iniciadas em 1º de dezembro de 2016, de forma a permitir o adequado *spin-up* do modelo, garantindo que, ao longo de 2017, os campos simulados refletissem de maneira realista a evolução das variáveis oceanográficas. A localização dos pontos onde foram extraídas as séries temporais das condições de contorno está ilustrada na Figura 2.7a.

Além disso, para possibilitar a comparação entre os resultados do modelo e os dados obtidos em campo, foi realizada uma simulação específica para o ano de 2025. A simulação teve início em 1º de dezembro de 2024, estabelecendo um período de *spin-up* de 30 dias. O período simulado se estendeu até 31 de março de 2025, abrangendo parte do intervalo durante o qual foram conduzidas as coletas e estimativas de sedimentação nas proximidades do AWT. O objetivo desta simulação foi avaliar a capacidade do modelo em reproduzir os padrões sedimentares observados.

A fronteira superficial foi dinamicamente forçada por campos de vento provenientes do modelo global do ECMWF (*European Center for Medium-Range Weather Forecast* - ERA-Interim), com resolução espacial de 0,25° e resolução temporal de 6 horas, interpolados para cada ponto da grade numérica. A variabilidade do regime de ventos foi caracterizada por meio da análise de histogramas de frequência e séries temporais (Figuras 2.7b, 2.7c), permitindo a identificação dos padrões predominantes de intensidade e direção do vento na região durante o período estudado.

Os campos tridimensionais de temperatura e salinidade, prescritos nos contornos oceânicos norte e sul (Figura 2.7d), foram extraídos da mesma base de dados utilizada para definir as condições iniciais desses parâmetros, garantindo a consistência das forçantes hidrodinâmicas. A representação da maré na fronteira oceânica foi realizada a partir do *OSU Tidal Inversion System* (OTIS, Egbert & Erofeeva, 2002), que integra dados do projeto TOPEX/POSEIDON (TPXO) e está acoplado internamente ao modelo TELEMAC-3D. A elevação da superfície do mar foi determinada por meio da solução inversa das equações de Laplace para a maré, considerando 33 componentes harmônicas, enquanto as velocidades de

corrente foram calculadas a partir da continuidade da equação da maré, uma vez conhecida a elevação do nível do mar em um ponto da borda (Figura 2.7e).

Nas fronteiras continentais, foram incorporados dados diários de vazão do Guaíba e do rio Camaquã (Figura 2.7f), obtidos junto à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) para a simulação de 2017 e ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) para a simulação de 2025. Para o Canal São Gonçalo, as séries de nível d'água fornecidas pela Agência da Lagoa Mirim (ALM) foram convertidas em vazões diárias por meio de uma curva-chave, conforme a metodologia proposta por Oliveira et al. (2015), sendo então calculada a climatologia para o intervalo de tempo (1991–2012). Além disso, as concentrações de sedimentos em suspensão prescritas para os tributários foram de 0,2 kg m^{-3}, 0,15 kg m^{-3} e 0,2 kg m^{-3} para o Guaíba, Rio Camaquã e Canal São Gonçalo, respectivamente, conforme Marques et al. (2010a) e Bitencourt et al. (2020b).

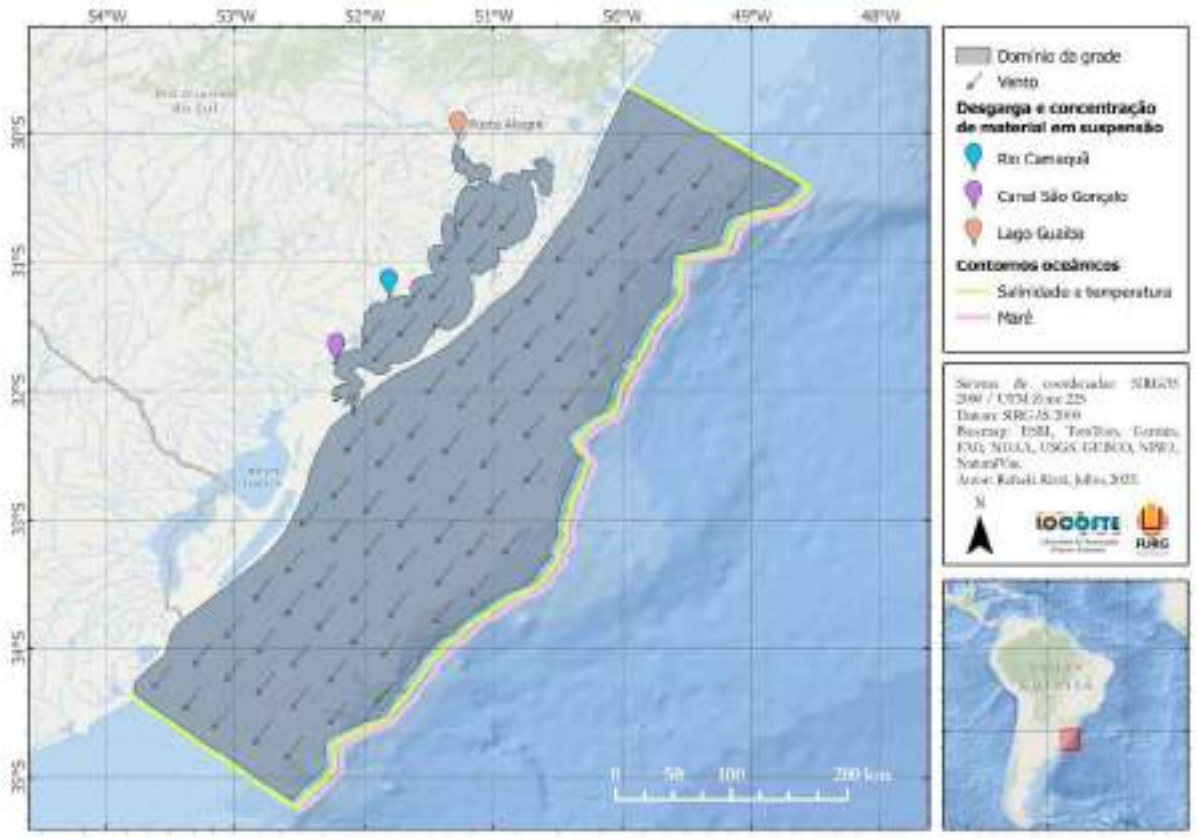


Figura 2.6: Condições de contorno e as fronteiras abertas consideradas em todas as simulações realizadas. O domínio da grade está representado pelo polígono cinza e as condições nos contornos abertos estão representadas por: linhas rosa e verdes, respectivamente, para os contornos oceânicos onde são forçados dados de maré e salinidade e temperatura; e por marcadores em laranja, azul e lilás, que indicam as fronteiras continentais onde a descarga continental e a concentração de sedimentos em suspensão do Guaíba, Rio Camaquã e Canal São Gonçalo são prescritas, respectivamente. As setas pretas indicam o vento na fronteira aberta superficial.

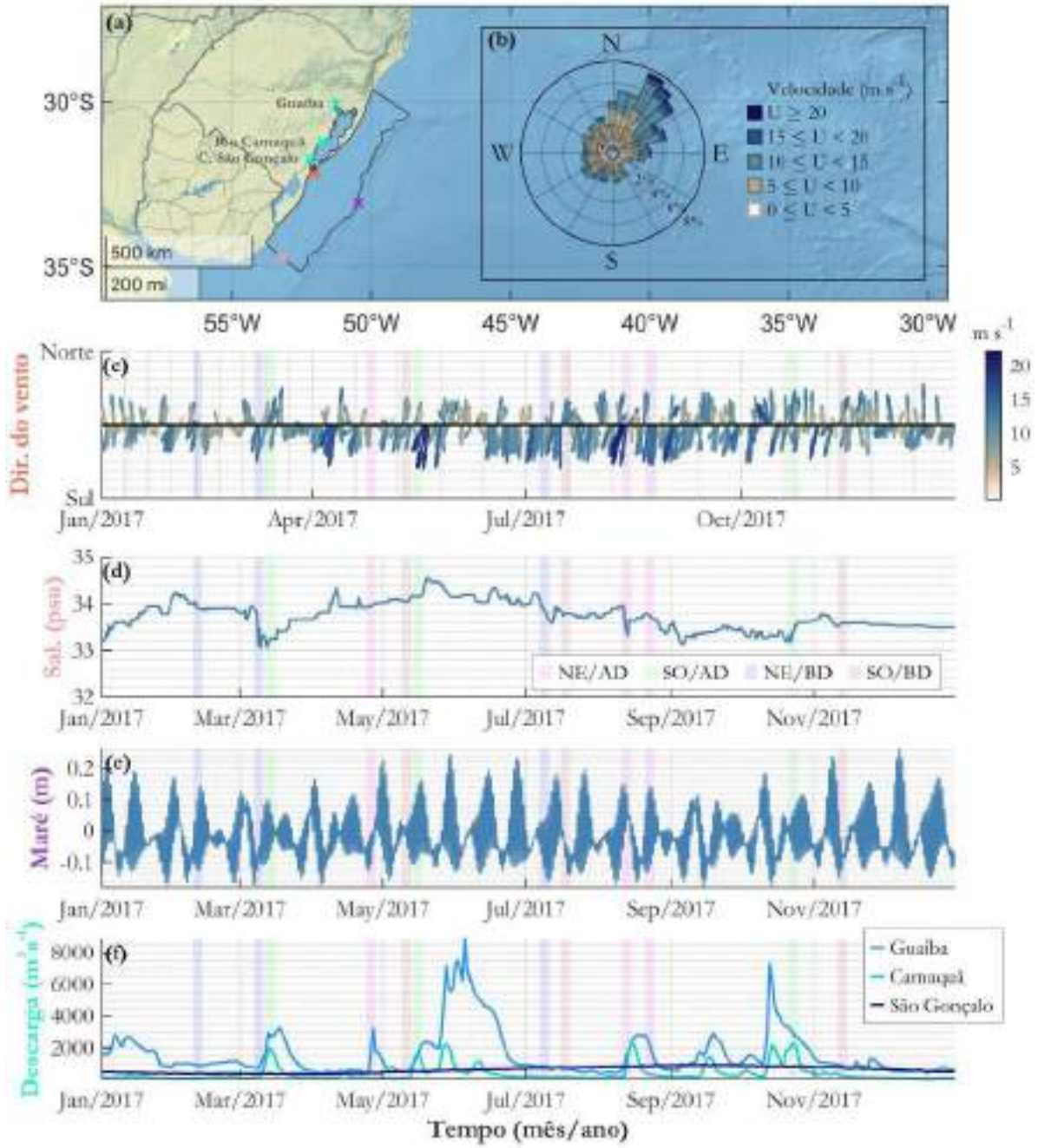


Figura 2.7: Dados utilizados como condição de contorno para o modelo hidrodinâmico TELEMAC-3D para o ano de 2017: (a) mapa da área de estudo, no qual o domínio está representado pelo polígono em preto e os pontos onde foram extraídas as séries temporais dos parâmetros são representados pela letra "x" (na cor verde para os pontos de descarga continental, vermelha para a direção do vento, rosa para a salinidade e roxa para a maré); (b) rosa de direção e velocidade dos ventos (U) em m s^{-1}; (c) Série temporal da direção e velocidade do vento em m s^{-1}; (d) Série temporal da salinidade superficial; (e) maré em m, estimada na fronteira oceânica do modelo a partir dos dados TOPEX/POSEIDON; e (f) descarga continental em m^3 s^{-1} dos três principais tributários da Lagoa dos Patos. Os sombreados indicam os períodos selecionados para análise dos resultados do modelo, apresentados na Tabela 4 (nordeste – NE, sudoeste – SO, alta descarga – AD e baixa descarga – BD).

2.3.2 Validação do modelo hidrodinâmico TELEMAC-3D

A validação do modelo hidrodinâmico TELEMAC-3D foi conduzida com o objetivo de verificar sua capacidade de representar adequadamente as condições ambientais

observadas na área de estudo. Para isso, foram comparadas as previsões do modelo com dados de campo, avaliando sua performance na simulação da variabilidade hidrodinâmica do sistema em um mesmo período de tempo.

Neste estudo, a validação concentrou-se na reprodução da salinidade na Lagoa dos Patos, utilizando medições *in situ* realizadas no âmbito do Projeto PELD para o período de abril a junho de 2017, conforme feito em outros estudos realizados no Laboratório de Oceanografia Costeira e Estuarina (LOCOSTE), da FURG (Fernandes et al., 2021; Silva et al., 2022). Os dados horários foram adquiridos por meio de um sensor CT, instalado a 4 m de profundidade, na posição 31° 55' 06" S e 52° 07' 07" W (Figura 2.1b). Os resultados do modelo foram comparados diretamente com as séries temporais medidas, permitindo a análise da reprodutibilidade do modelo (Figura 2.8).

A avaliação quantitativa do desempenho do modelo foi realizada por meio dos índices estatísticos *Root Mean Square Error* (RMSE) e *Relative Mean Absolute Error* (RMAE), que possibilitam medir, respectivamente, a magnitude do erro e a qualidade da previsão do modelo em relação aos dados observados (Fernandes et al., 2001; 2002; Marques et al., 2009; Tabela 2.3). O RMSE obtido foi de 6,67 (dentro da faixa de variação de 0–35), enquanto o RMAE foi de 0,25, indicando uma boa reprodutibilidade do modelo (Walstra et al., 2001).

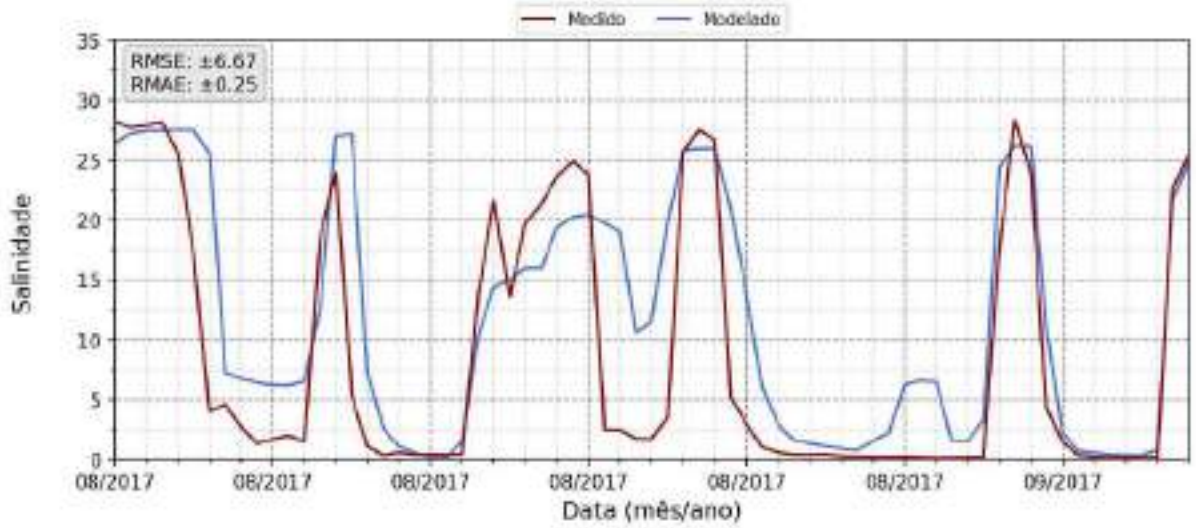


Figura 2.8: Série temporal da salinidade calculada pelo modelo (em azul) e medida pelo CT (em vermelho) na estação Projeto PELD para o período entre agosto e setembro de 2017. Os índices de desempenho RMSE e RMAE estão apresentados no canto superior esquerdo do gráfico.

Tabela 2.3. Classificação da reprodução do modelo com base no RMAE (Walstra et al. 2001).

	Excelente	Bom	Razoável/Justo	Pobre	Ruim
RMAE	<0,2	0,2–0,4	0,4–0,7	0,7–1,0	>1,0

A reprodução da salinidade em um ambiente dinâmico como a Lagoa dos Patos é um desafio significativo, pois o transporte de sal é influenciado por processos advectivos e difusivos complexos. Assim, os resultados obtidos demonstram que o modelo foi capaz de representar de forma confiável a variabilidade da salinidade ao longo do tempo, agregando

robustez às simulações realizadas e reforçando a aplicabilidade do TELEMAC-3D para estudos hidrodinâmicos na região.

2.3.3 Análise da hidrodinâmica e do transporte de sedimento

A análise da hidrodinâmica local será apresentada considerando os três Cenários simulados na forma de campos médios de velocidades de corrente (m s^{-1}) e a salinidade superficial, bem como as séries temporais desses parâmetros nos pontos indicados na Figura 2.9. A elevação do nível do mar (m) será representada exclusivamente por meio de séries temporais na comparação entre os cenários.

Os períodos selecionados para análise, correspondentes a condições de alta e baixa descarga dos rios tributários sob a influência dos ventos de nordeste (NE) e sudoeste (SO), estão indicados na Tabela 2.4. Inicialmente, serão apresentados os resultados do cenário de referência (Cenário 1), caracterizando a hidrodinâmica original da região. Em seguida, os resultados dos Cenários 2 e 3 serão apresentados e analisados em relação ao cenário de referência (Cenário 1), permitindo avaliar os impactos das intervenções propostas pelo Contratante sobre a dinâmica local.

O transporte de sedimentos será analisado por meio da evolução do fundo (mm ou cm) e do fluxo de deposição (g m^{-2} s^{-1}). Serão apresentados os resultados desses parâmetros para cada um dos três cenários simulados, assim como as diferenças entre os Cenários 2 e 1, e Cenários 3 e 1, a fim de compreender as alterações associadas à implementação das intervenções propostas.

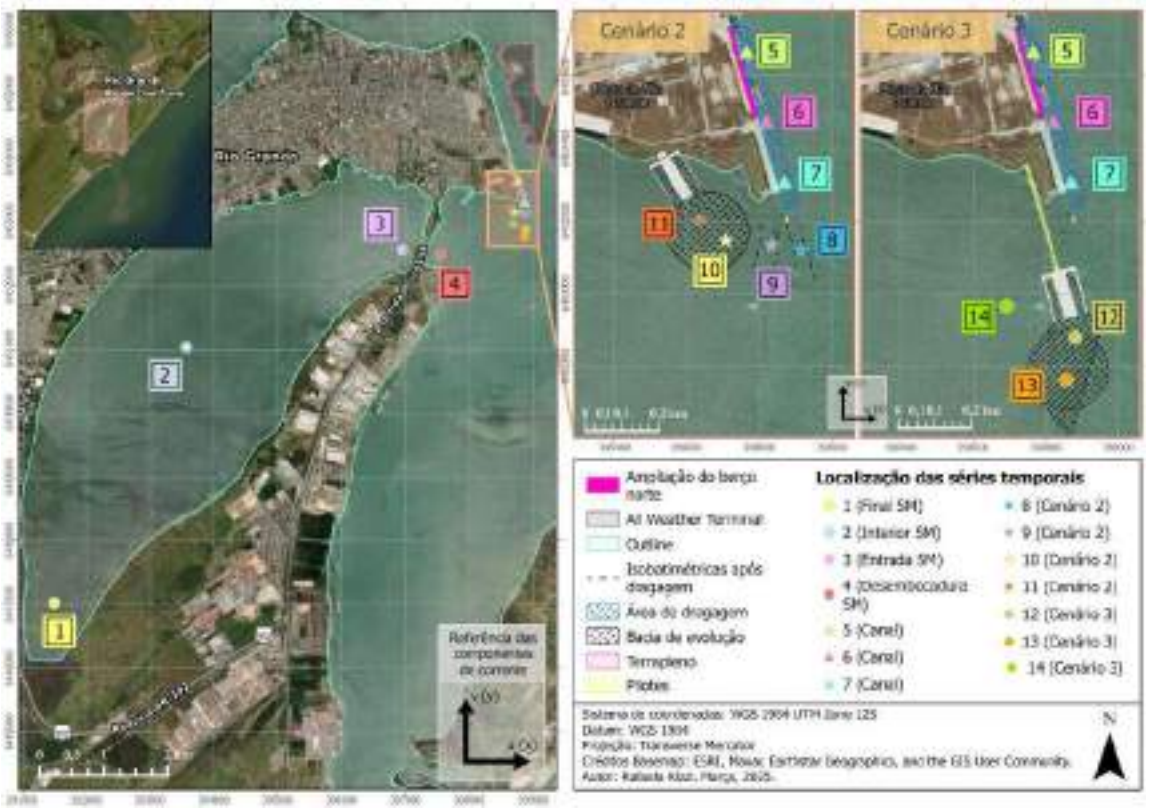


Figura 2.9: Localização dos pontos onde foram extraídas séries temporais. Os pontos no Saco da Mangueira (SM) foram definidos para verificar se a instalação do AWT influenciará a entrada e saída de água na região. As

séries temporais foram selecionadas para todos os cenários nos pontos 1–7, apenas para o primeiro e segundo cenário nos pontos 8–11 e apenas para o primeiro e o terceiro cenário nos pontos 12–14.

Tabela 2.4. Períodos selecionados para ilustrar os resultados das simulações durante três eventos (E1, E2 e E3) de atuação de ventos de nordeste (NE) e sudoeste (SO) em situações de alta (AD) e baixa descarga (BD) dos principais tributários. Os eventos destacados (*) são os definidos como mais representativos para as respectivas combinações de vento e descarga.

	Alta descarga		Baixa Descarga	
	NE	**SO**	**NE**	**SO**
E1	26/04/2017	14/03/2017	09/02/2017	11/05/2017
E2	13/08/2017*	16/05/2017	09/03/2017*	19/07/2017
E3	23/08/2017	23/10/2017*	09/07/2017	13/11/2017*

2.3.4. Simulação das condições de inundação

A. O gêmeo digital do Porto Organizado do Rio Grande (DT - PORTO)

A simulação das condições de inundação foi realizada através da aplicação do gêmeo digital (*digital twin*) do Porto Organizado do Rio Grande (DT - PORTO), considerando as condições meteoceanográficas do evento de enchente de maio de 2024. O ambiente virtual considera a integração de dados da Rede de Monitoramento dos Níveis da Lagoa dos Patos (https://monitoramentolagoadospatos.com.br) com resultados de um modelo hidrodinâmico que calcula o nível e as correntes no corpo hídrico, um modelo digital de elevação de terreno e um modelo de inundação desenvolvido com base em métodos de Inteligência Artificial.

A Figura 2.10 apresenta o conceito do DT – PORTO e a sequência metodológica do método aplicado ao Porto Organizado do Rio Grande durante o evento de inundação de maio de 2024. O modelo digital de elevação do terreno obtido através de levantamento *Laser Scanner* (Figura 2.10A) recebe as previsões de nível calculadas pelo modelo hidrodinâmico para o canal de acesso nas áreas delimitadas (Figuras 2.10B e 2.10C), que foram validadas através da comparação entre resultados do modelo e dados de nível medidos na estação CCMAR (Figura 2.10D). Posteriormente, o modelo computacional de segmentação gera as condições de inundação que definem as Plantas de Segurança de cada região do Porto Organizado de Rio Grande (Figura 2.10E). No presente estudo serão apresentados os resultados para a área do Terminal.

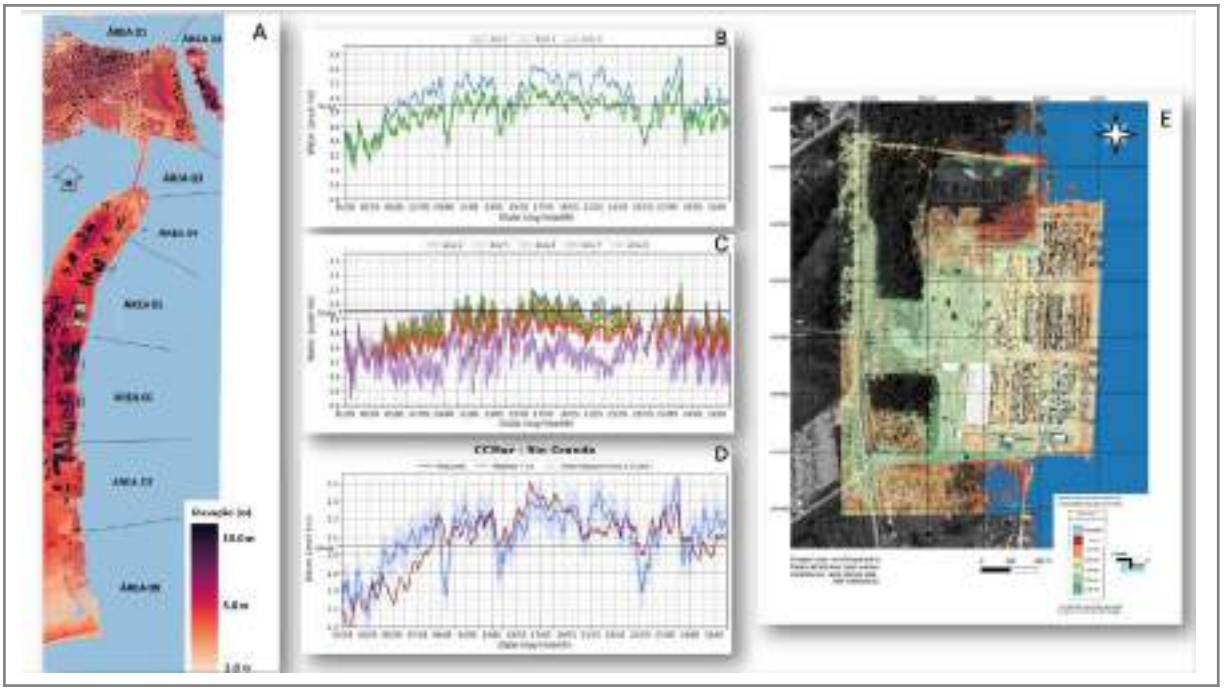


Figura 2.10: O conceito do DT – PORTO aplicado à enchente de maio de 2024 no Porto do Rio Grande. A) Modelo Digital de Elevação de Terreno para a área do Porto Organizado do Rio Grande ilustrando a divisão de áreas de onde foram coletadas as previsões de nível calculadas pelo Modelo Hidrodinâmico para o canal de navegação no (B) Porto Novo e (C) Super Porto, validadas através da comparação com dados medidos na estação CCMAR (D), que resultaram em Plantas de Segurança para os diferentes Terminais. E) Ilustra a Planta de Segurança do TECON no dia 16 de maio, quando foram registrados no canal os níveis mais altos do evento de inundação de maio de 2024 na estação CCMAR.

B. Base cartográfica específica da região do Terminal da CMPC

Na base cartográfica específica da região do Terminal da CMPC, estão representadas em feições vetoriais, com polígonos e linhas, as seguintes temáticas urbanas do entorno da área de implantação:

- Vias_Publicas: traçado do sistema viário municipal, com logradouros públicos e estradas, incluindo a BR392 no seu trecho portuário.
- Calçadas: passeios públicos na região de interesse, pavimentado ou não.
- Meio_Fio: alinhamento do limite das vias públicas, materializados por blocos de concreto ou por blocos graníticos.
- Canteiros: elementos divisórios das vias públicas.
- Via_Interna: complexo do sistema viário no interior de terminais e em instalações industriais na área do Porto.
- Vala_Drenagem: valas, valetas e canais utilizados na drenagem pluvial.
- Muros_Cercas: representação dos elementos de cercamento das áreas privativas.
- Lotes: traçado das parcelas urbanas.
- Edificação: traçado das construções, residenciais, industriais, equipamentos públicos, e outros.
- Ferrovia: trilhos da estrada de ferro.
- - Trecho_Energia_Transmissão: rede de transmissão em alta tensão.

- - Atracadouro: piers, trapiches e linhas de cais.

Esses elementos estão georreferenciados precisamente ao terreno, no sistema de coordenadas UTM, Datum horizontal SIRGAS 2000, Z22, Sul. São resultantes de processo de restituição aerofotogramétrica executada sobre imagens aéreas verticais do ano de 2023.

A Figura 2.11 é uma composição gráfica com essas feições. Os arquivos digitais originais foram organizados em formato shapefile, classicamente utilizado em sistemas de informações geográficas como o ArcGIS ou o QGIS, e em formato DWG, do Autocad.

Na base cartográfica integrada fornecida aos Contratantes encontram-se, a título de interesse público e conhecimento dos projetistas, um conjunto básico de representações gráficas de toda a extensão da margem oeste do Canal do Porto do Rio Grande, incluindo secções de ocupações urbanas de caráter residencial de interesse social.

Na referida base cartográfica, estão presentes uma imagem resultante de mosaico aerofotogramétrico ortorretificado, em resolução de 10cm, de alta precisão posicional e um Modelo Numérico de Elevações, que apresenta a variação altimétrica do terreno e de todos os elementos existentes sobre o terreno, amostrado de um voo LIDAR de alta densidade. O referencial vertical ao qual estão reduzidas todas as medidas de cotas altimétricas da matriz DEM é o DATUM VERTICAL BRASILEIRO, ou seja, o nível médio do mar no Porto de Imbituba em Santa Catarina. Todos os registros apresentados estão disponíveis em compartilhamento na área de disco virtual: https://drive.google.com/drive/folders/1txbmA0V20YNv-Gr_1qCH4GbMyGH4L7WG?usp=sharing.

Figura 2.11: Composição cartográfica do entorno do Terminal da CMPC.

2.4. Resultados

2.4.1 Cenário atual (Cenário 1): Hidrodinâmica da Lagoa dos Patos e seu estuário

A Figura 2.12 apresenta os campos médios de velocidade de corrente, a salinidade superficial e a elevação do nível da água para o evento mais representativo de cada direção predominante de vento e nas situações de alta e baixa descarga simuladas (Eventos*, Tabela 2.4). Importante destacar que nestas figuras os resultados produzidos para a grade não-estruturada do modelo foram interpolados para uma grade regular para facilitar a visualização das velocidades de corrente de diferentes magnitudes ao longo do domínio.

Na situação de alta descarga e ventos de NE (E2, 13/08/2017, Figuras 2.12a–2.12c), as velocidades de corrente ao longo do corpo lagunar são de vazante e mais intensas próximo às margens, apresentando os esperados vórtices em cada célula da laguna em função da sua geomorfologia (Figura 2.12a). A salinidade apresenta valores próximos a 0 em praticamente toda a laguna, refletindo a dominância da descarga fluvial sobre o sistema (Figura 2.12b). Já o nível de água indica o empilhamento da água na porção sul do corpo lagunar em função da ação do vento local de NE (Figura 2.12c).

No evento E2 (09/03/2017), sob condição de baixa descarga e ventos de NE (Figuras 2.12d–2.12f), observam-se velocidades de corrente baixas tanto na região central quanto próximo às margens da laguna (Figura 2.12d), com salinidades próximas a 0 ao longo de toda a laguna (Figura 2.12e). O nível da água mantém o empilhamento da água na porção sul do corpo lagunar em função da ação do vento local de NE (Figura 2.12f).

Para o evento E3 (23/10/2017), sob ventos de SO e alta descarga (Figuras 2.12g–2.12i), observa-se a esperada reversão do padrão de circulação, apresentando velocidades de corrente de enchente nas margens da laguna (Figura 2.12g). A salinidade permanece próxima a 0 em quase toda a laguna, indicando a limitação da intrusão salina promovida pela alta descarga fluvial (Figura 2.12h). O nível da água apresenta o comportamento oposto ao dos eventos de vento NE, com elevação dos níveis na porção norte da laguna devido ao empilhamento de água promovido pelo vento de SO (Figura 2.12i).

No evento E1 (13/11/2017), sob ventos de SO e baixa descarga (Figuras 2.12j–2.12l), as velocidades de corrente permanecem de enchente (Figura 2.12j). Com exceção da porção sul, a salinidade é quase 0 em toda a laguna (Figura 2.12k). O nível da água mantém o empilhamento de água no norte da laguna decorrente dos ventos de SO, mas em menor magnitude em função das baixas descargas (Figura 2.12l).

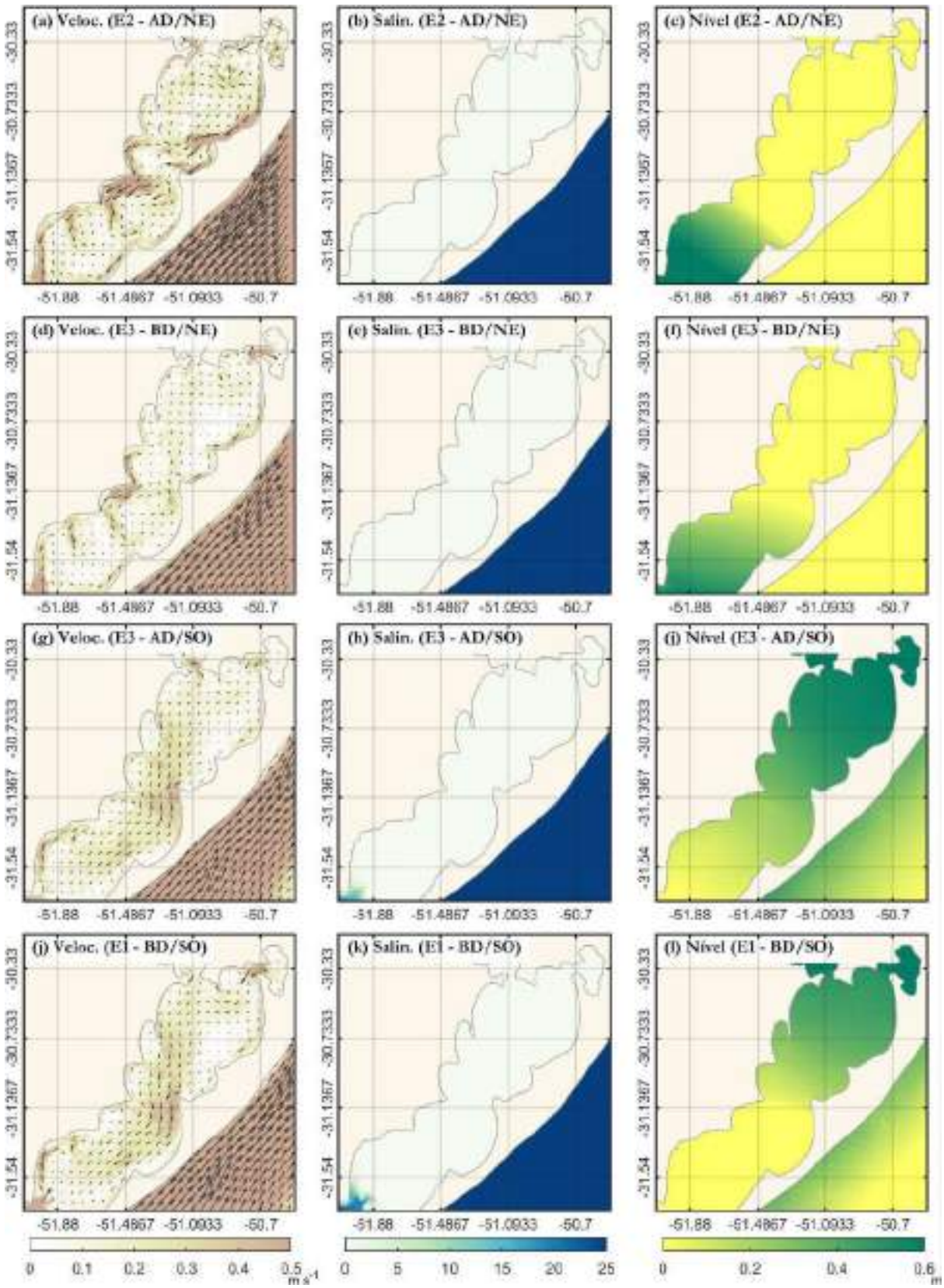


Figura 2.12: A figura apresenta os campos médios de velocidade da corrente (m s^{-1}), a salinidade superficial e o nível (m) na Lagoa dos Patos calculados pelo modelo para o Cenário 1 considerando as condições mais representativas (*) das direções predominantes de vento e em situações de alta e baixa descarga, conforme a Tabela 2.4 (nordeste – NE, sudoeste – SO, alta descarga – AD e baixa descarga – BD).

A Figura 2.13 apresenta os campos médios de velocidade da corrente, a salinidade superficial e o nível da água sob diferentes condições de direção predominante do vento (NE e SO) e descarga continental selecionadas da Tabela 2.4 (Eventos *). Novamente, importante destacar que nestas figuras os resultados produzidos para a grade não-estruturada do modelo foram interpolados para uma grade regular para facilitar a visualização das velocidades de corrente de diferentes magnitudes ao longo do domínio.

No evento E2 (13/08/2017), sob ventos de NE e alta descarga (Figuras 2.13a–2.13c), observam-se velocidades de corrente de vazante mais intensas ao longo do canal de navegação (Figura 2.13a). Com exceção do Saco da Mangueira e a região do entorno da Ilha dos Marinheiros, a salinidade apresenta valores inferiores a 5, evidenciando o predomínio da descarga fluvial sobre a intrusão salina (Figura 2.13b). O nível da água mostra-se elevado no setor norte do estuário, refletindo o acúmulo de água promovido pela ação dos ventos de NE (Figura 2.13c) e favorecendo o gradiente de pressão em direção à costa.

No evento E2 (09/03/2017), em condições de baixa descarga e ventos de NE (Figuras 2.13d–2.13f), as velocidades de corrente permanecem de vazante, porém com menor intensidade (Figura 2.13d). A salinidade indica valores baixos ao longo de todo o estuário, exceto no Saco da Mangueira e ao redor da Ilha dos Marinheiros (Figura 2.13e). O nível da água mantém-se mais elevado no norte do estuário, mas o desnível em relação à região costeira é menor (Figura 2.13f).

Durante o evento E3 (23/10/2017), sob ventos de SO e alta descarga (Figuras 2.13g–2.13i), os fluxos se invertem, com predomínio de velocidades de corrente de enchente promovidas pelo vento de SO (Figura 2.13g). A salinidade alcança valores próximos a 30 no baixo estuário, indicando que a intrusão de água marinha foi limitada pela alta descarga fluvial (Figura 2.13h). O nível da água indica elevação do nível na região costeira, promovendo os fluxos de enchente (Figura 2.13i).

No evento E3 (13/11/2017), sob ventos de SO e baixa descarga (Figuras 2.13j–2.13l), as velocidades de enchente são um pouco mais intensas (Figura 2.13j) e observa-se maior penetração da cunha salina no estuário, com valores de salinidade superiores a 30 (Figura 2.13k). O nível da água permanece elevado na região costeira e a situação de baixa descarga intensifica as correntes de enchente (Figura 2.13l).

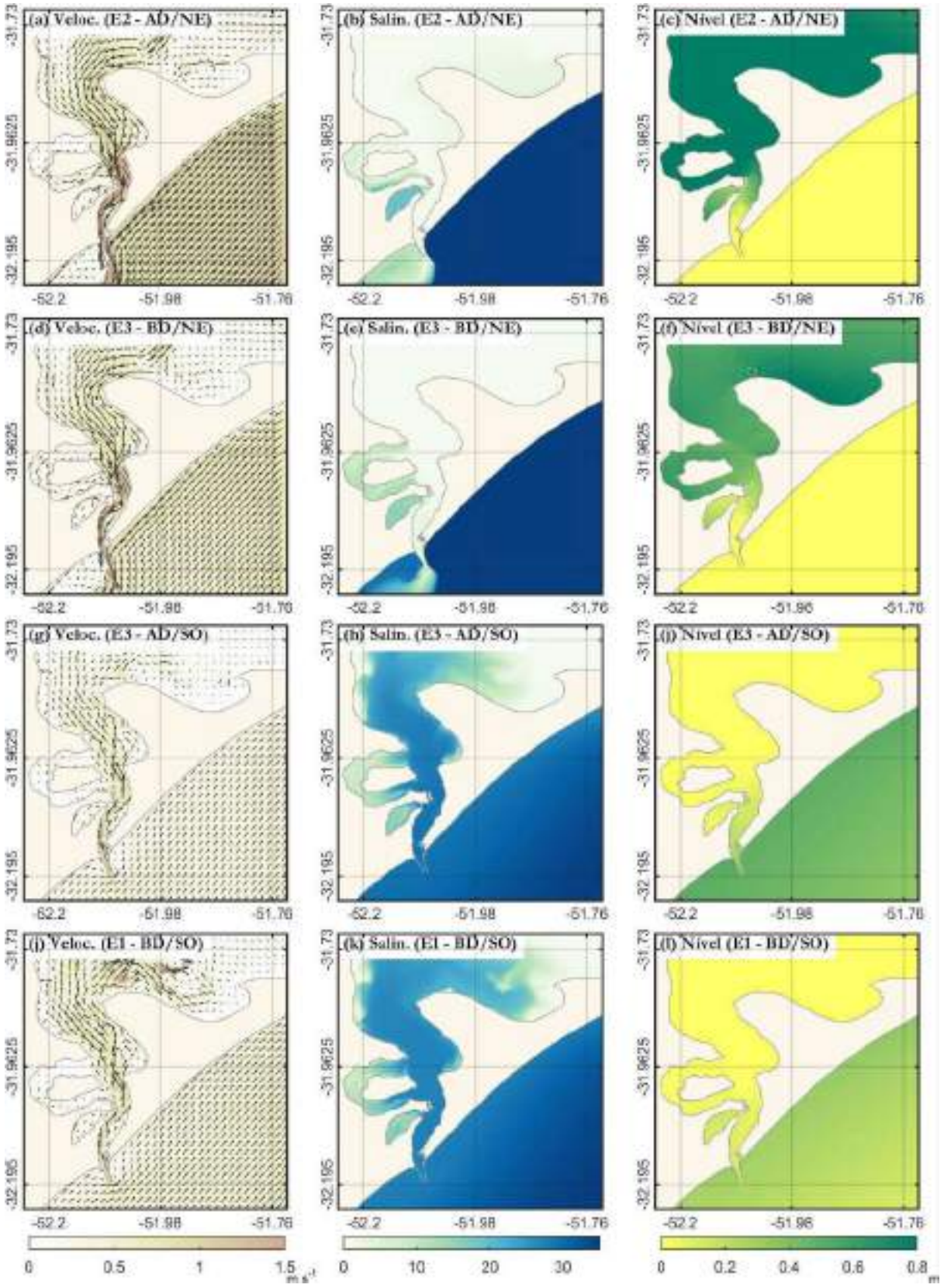


Figura 2.13: A figura apresenta os campos médios de velocidade da corrente (m s^{-1}), a salinidade superficial e o nível (m) no estuário da Lagoa dos Patos calculados pelo modelo para o Cenário 1 considerando as condições mais representativas (*) das direções predominantes de vento e em situações de alta e baixa descarga, conforme a Tabela 2.4 (nordeste – NE, sudoeste – SO, alta descarga – AD e baixa descarga – BD).

2.4.2 Cenário atual (Cenário 1): Hidrodinâmica da área do AWT

A. Condição de alta descarga

A Figura 2.14 apresenta os campos médios de velocidade de corrente e de salinidade superficial, bem como as séries temporais de direção e intensidade do vento e da descarga para os eventos E1, E2, E3 no período de alta descarga e ventos de NE (Tabela 2.4). No evento E1 (26/04/2017), o campo de velocidades de corrente indica velocidades baixas e predominância de fluxo de vazante ao longo do canal do Porto Novo, bem como escoamento de vazante do Saco da Mangueira em direção ao Estuário da Lagoa dos Patos (Figura 2.14a). A salinidade na região apresenta valores em torno de 27 (Figura 2.14d).

Com a intensificação dos ventos de NE observada nos eventos E2 (13/08/2017) e E3 (23/08/2017), observa-se uma intensificação das velocidades de corrente tanto na região do AWT quanto no canal de navegação do Porto Novo (Figuras 2.14b, 2.14c), com a ocorrência de velocidades de enchente do estuário para o Saco da Mangueira somente em E3 (Figura 2.14c). Na região do AWT e do canal de navegação, a salinidade foi em torno de 5 em E2 (Figura 2.14e) e 17 em E3 (Figura 2.14f).

A Figura 2.15 apresenta os campos médios de velocidade de corrente e de salinidade, bem como as séries temporais de direção e intensidade do vento e da descarga para os eventos E1, E2, E3 no período de alta descarga e ventos de SO (Tabela 2.4). As velocidades de corrente de enchente do estuário para o Saco da Mangueira foram mais intensas na região do AWT nos momentos de ventos de SO mais fortes (E1, 14/03/2017 e E3, 23/10/2017) (Figuras 2.15a e 2.15c), e bem mais fracas para o vento de SO do E2 (16/05/2017, Figura 2.15b). Na região do canal de navegação, as esperadas velocidades de enchente foram observadas em todos os eventos (Figura 2.15a–2.15c), assim como salinidades superiores a 27 (Figura 2.15d–2.15f).

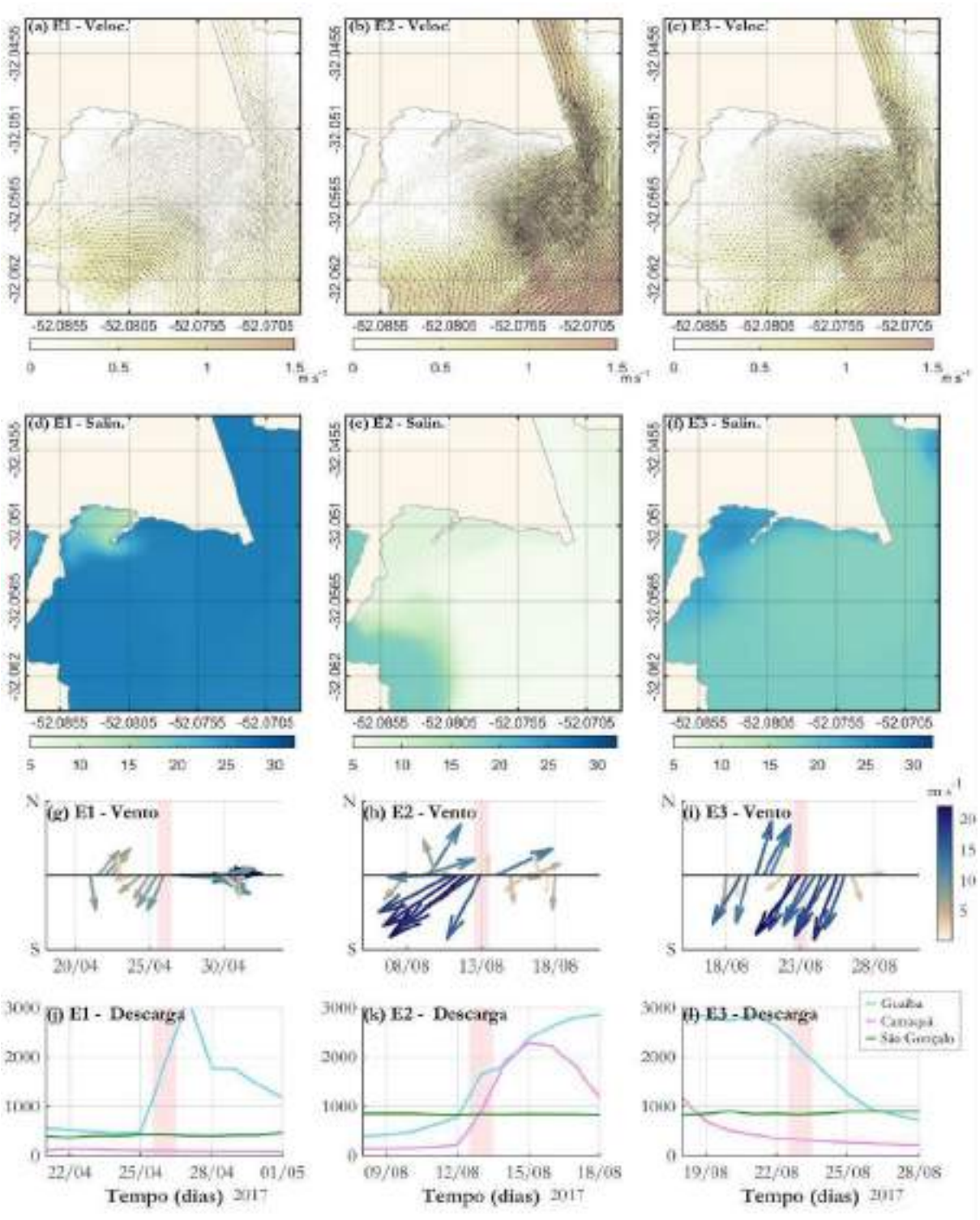


Figura 2.14: Resultados da simulação do Cenário 1 para os eventos E1 (26/04/2017), E2 (13/08/2017) e E3 (23/08/2017, Tabela 2.4), caracterizados por alta descarga sob a influência de ventos de nordeste (NE). A figura apresenta os campos médios de velocidade da corrente (m s^{-1}) e a salinidade superficial na região do AWT, além das séries temporais de vento (m s^{-1}) e descarga dos principais tributários (m^3 s^{-1}). As séries temporais correspondem aos mesmos locais indicados na Figura 2.7a e abrangem o período de 5 dias antes até 5 dias após cada evento, com o dia do evento destacado em vermelho.

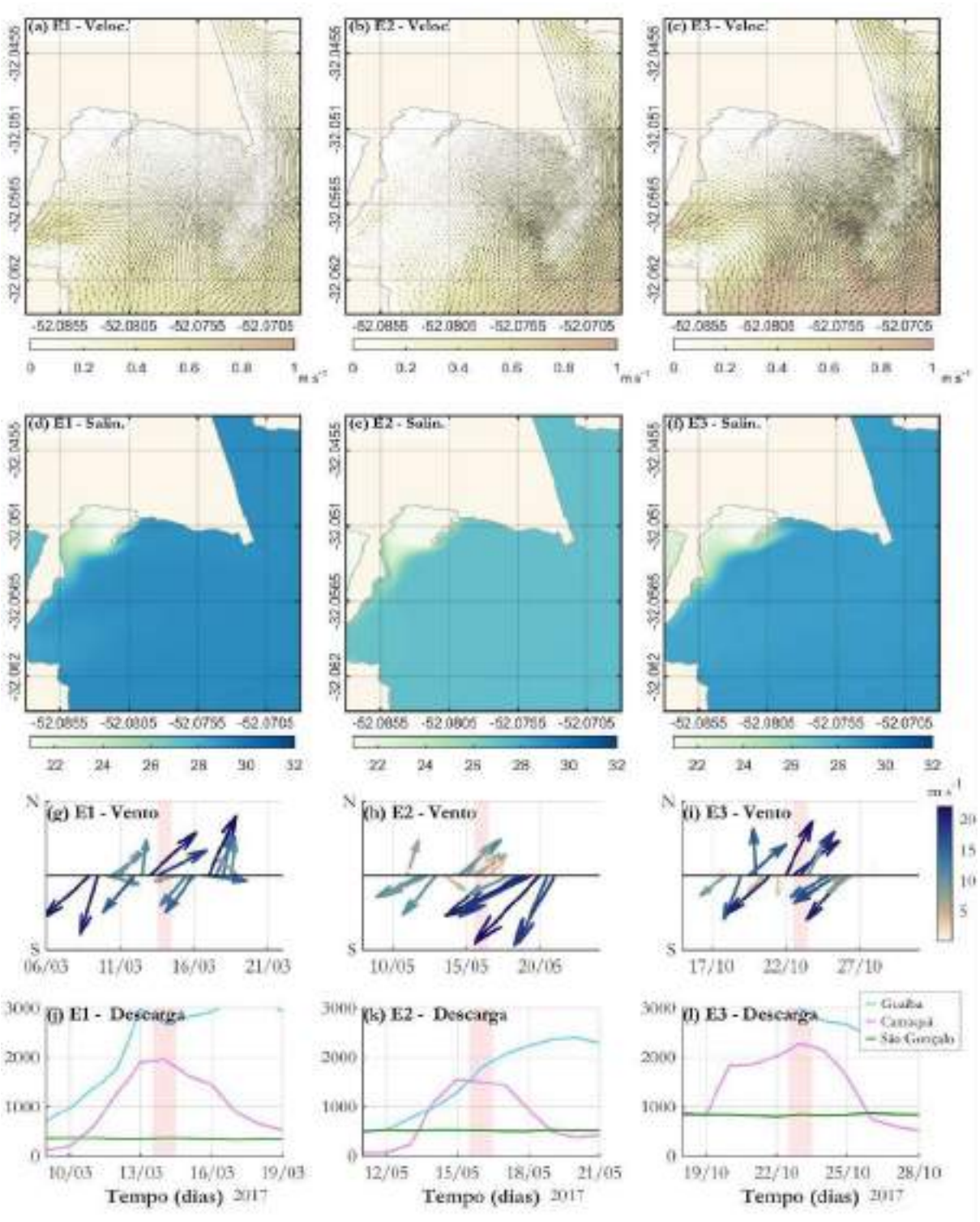


Figura 2.15: Resultados da simulação do Cenário 1 para os eventos E1 (14/03/2017), E2 (16/05/2017) e E3 (23/10/2017, Tabela 2.4), caracterizados por alta descarga sob a influência de ventos de sudoeste (SO). A figura apresenta os campos médios de velocidade da corrente (m s^{-1}) e a salinidade superficial na região do AWT, além das séries temporais de vento (m s^{-1}) e descarga dos principais tributários (m^3 s^{-1}). As séries temporais correspondem aos mesmos locais indicados na Figura 2.7a e abrangem o período de 5 dias antes até 5 dias após cada evento, com o dia do evento destacado em vermelho.

B. Condição de baixa descarga

A Figura 2.16 apresenta os campos médios de velocidade de corrente e a salinidade superficial, bem como as séries temporais de direção e intensidade do vento e da descarga para os eventos E1 (09/02/2017), E2 (09/03/2017), E3 (09/07/2017) no período de baixa descarga e ventos de NE (Tabela 2.4).

Durante períodos de baixa descarga (Figuras 2.16 e 2.17), os ventos passam a exercer um papel ainda mais importante. Sob ventos mais intensos de NE (E1 e E2, Figura 2.16), velocidades de vazante são observadas na região do canal de navegação e nas proximidades da região do AWT (Figuras 2.16a e 2.16b), embora no interior da enseada as velocidades de corrente sejam muito baixas. Velocidades de vazante também são observadas do Saco da Mangueira em direção ao estuário nestes instantes. Quando acontece o enfraquecimento do vento de NE (E3), as velocidades de vazante no canal de navegação e do Saco da Mangueira também enfraquecem (Figura 2.16c). Em relação à salinidade, os eventos de vento NE apresentaram comportamentos distintos entre si, com salinidade em torno de 28 em E1 (Figura 2.16d), 5 em E2 (Figura 2.16e) e próxima a 0 em E3 (Figura 2.16f).

A Figura 2.17 apresenta os campos médios de velocidade de corrente e a salinidade superficial, bem como as séries temporais de direção e intensidade do vento e da descarga para os eventos E1 (11/05/2017), E2 (19/07/2017), E3 (13/11/2017) no período de baixa descarga e ventos de SO (Tabela 2.4). Nos três eventos, a combinação entre a condição de baixa descarga e os ventos de SO promoveu velocidades de enchente (Figura 2.17a–2.17c), a entrada de água salgada e a consequente elevação da salinidade na região do AWT (Figura 2.17d–2.17f).

Os resultados indicam que a dinâmica da salinidade está fortemente relacionada à interação entre descarga dos tributários e os ventos predominantes. Em períodos de alta descarga, a tendência é de redução da salinidade, especialmente sob ventos de NE, que favorecem as velocidades de vazante. Por outro lado, durante baixa descarga, os ventos de NE impulsionam a vazante e tendem a reduzir a salinidade, enquanto os ventos de sudoeste favorecem a enchente e aumentam a influência oceânica no interior do estuário.

De forma geral, os resultados demonstram que, mesmo considerando eventos de mesma direção de vento, a combinação de fatores como a descarga continental e a condição de vento anterior ao período analisado e a intensidade do vento durante cada evento geraram respostas distintas na hidrodinâmica da região. Desta forma, a generalização de comportamentos para cada situação meteoceanográfica analisada deve ser considerada com cautela.

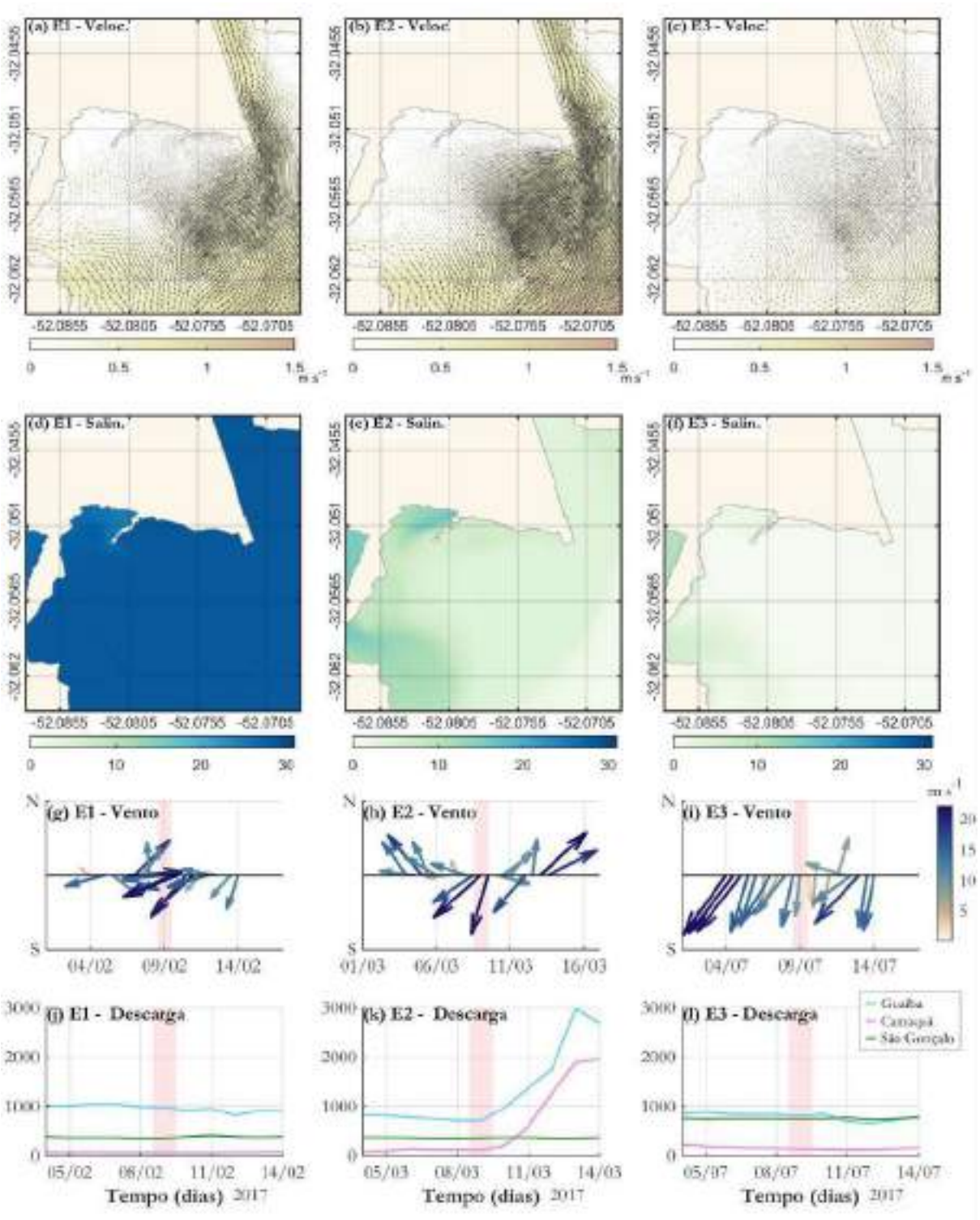


Figura 2.16: Resultados da simulação do Cenário 1 para os eventos E1 (09/02/2017), E2 (09/03/2017) e E3 (09/07/2017, Tabela 2.4), caracterizados por baixa descarga sob a influência de ventos de nordeste (NE). A figura apresenta os campos médios de velocidade da corrente (m s^{-1}) e a salinidade superficial na região do AWT, além das séries temporais de vento (m s^{-1}) e descarga dos principais tributários (m^3 s^{-1}). As séries temporais correspondem aos mesmos locais indicados na Figura 2.7a e abrangem o período de 5 dias antes até 5 dias após cada evento, com o dia do evento destacado em vermelho.

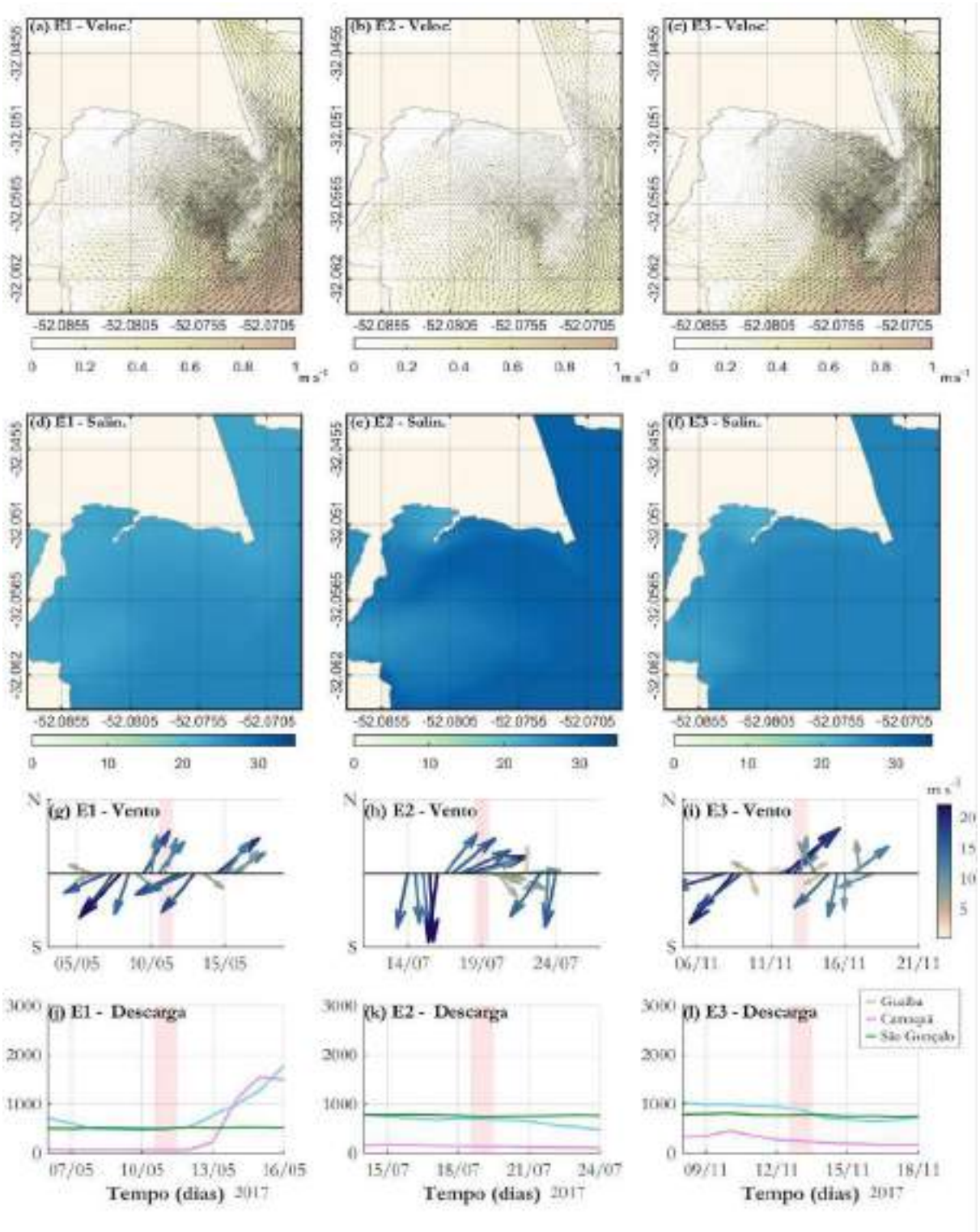


Figura 2.17: Resultados da simulação do Cenário 1 para os eventos E1 (11/05/2017), E2 (19/07/2017) e E3 (13/11/2017, Tabela 2.4), caracterizados por baixa descarga sob a influência de ventos de sudoeste (SO). A figura apresenta os campos médios de velocidade da corrente (m s^{-1}) e a salinidade superficial na região do AWT, além das séries temporais de vento (m s^{-1}) e descarga dos principais tributários (m^3 s^{-1}). As séries temporais correspondem aos mesmos locais indicados na Figura 2.7a e abrangem o período de 5 dias antes até 5 dias após cada evento, com o dia do evento destacado em vermelho.

2.4.3 Cenário 2: Hidrodinâmica da área do AWT

A. Condição de alta descarga

A Figura 2.18 apresenta os resultados para o Cenário 2 na forma de campos médios de velocidade da corrente e a salinidade superficial para os eventos E1 (26/04/2017), E2 (13/08/2017) e E3 (23/08/2017), considerando condições de alta descarga e ventos de NE (Tabela 2.4). No evento E1 (Figuras 2.18a e 2.18b), predominam velocidades de vazante ao longo do canal de navegação e do Saco da Mangueira em direção ao estuário da Lagoa dos Patos, e observa-se que as velocidades de corrente são baixas na região próximo ao AWT, e especialmente na área da potencial bacia de evolução do novo AWT (Figura 2.18a). A salinidade apresentou valores em torno de 26 (Figura 2.18b).

Nos eventos E2 (Figuras 2.18c e 2.18d) e E3 (Figuras 2.18e e 2.18f), verifica-se um aumento das velocidades de corrente de vazante tanto no canal de navegação quanto no entorno do AWT (Figuras 2.18c e 2.18e), embora a região do AWT e sua bacia de evolução ainda apresentem velocidades baixas. Durante o evento E2, velocidades de vazante do Saco da Mangueira para o estuário predominam (Figura 2.18c), enquanto no evento E3 é possível observar velocidades de enchente do estuário para o Saco da Mangueira (Figura 2.18e). Em E2, a salinidade foi próxima de 6 (Figura 2.18d), enquanto em E3 alcançou cerca de 17 (Figura 2.18f).

A Figura 2.19 apresenta os resultados para o Cenário 2 na forma de campos médios de velocidade de corrente e a salinidade superficial para os eventos E1 (14/03/2017), E2 (16/05/2017) e E3 (23/10/2017), no período de alta descarga sob a influência de ventos de SO, conforme indicado na Tabela 2.4. Nos três eventos (Figuras 2.19a, 2.19c e 2.19e), observa-se o predomínio de velocidades de enchente no canal de navegação, com uma redução nas velocidades na região do AWT. Nos eventos E1 (Figura 2.19a) e E3 (Figura 2.19e), entretanto, percebe-se velocidades de enchente mais intensas do canal de navegação em direção ao Saco da Mangueira, enquanto no evento E2 (Figura 2.19c), as velocidades de corrente são mais fracas.

O padrão de salinidade também se manteve semelhante nos três eventos (Figuras 2.19b, 2.19d e 2.19f). Mesmo sob condições de alta descarga, a salinidade se mantém elevada em praticamente toda a área analisada, com valores de aproximadamente 28 nos eventos E1 (Figura 2.19b), E2 (Figura 2.19d) e E3 (Figura 2.19f).

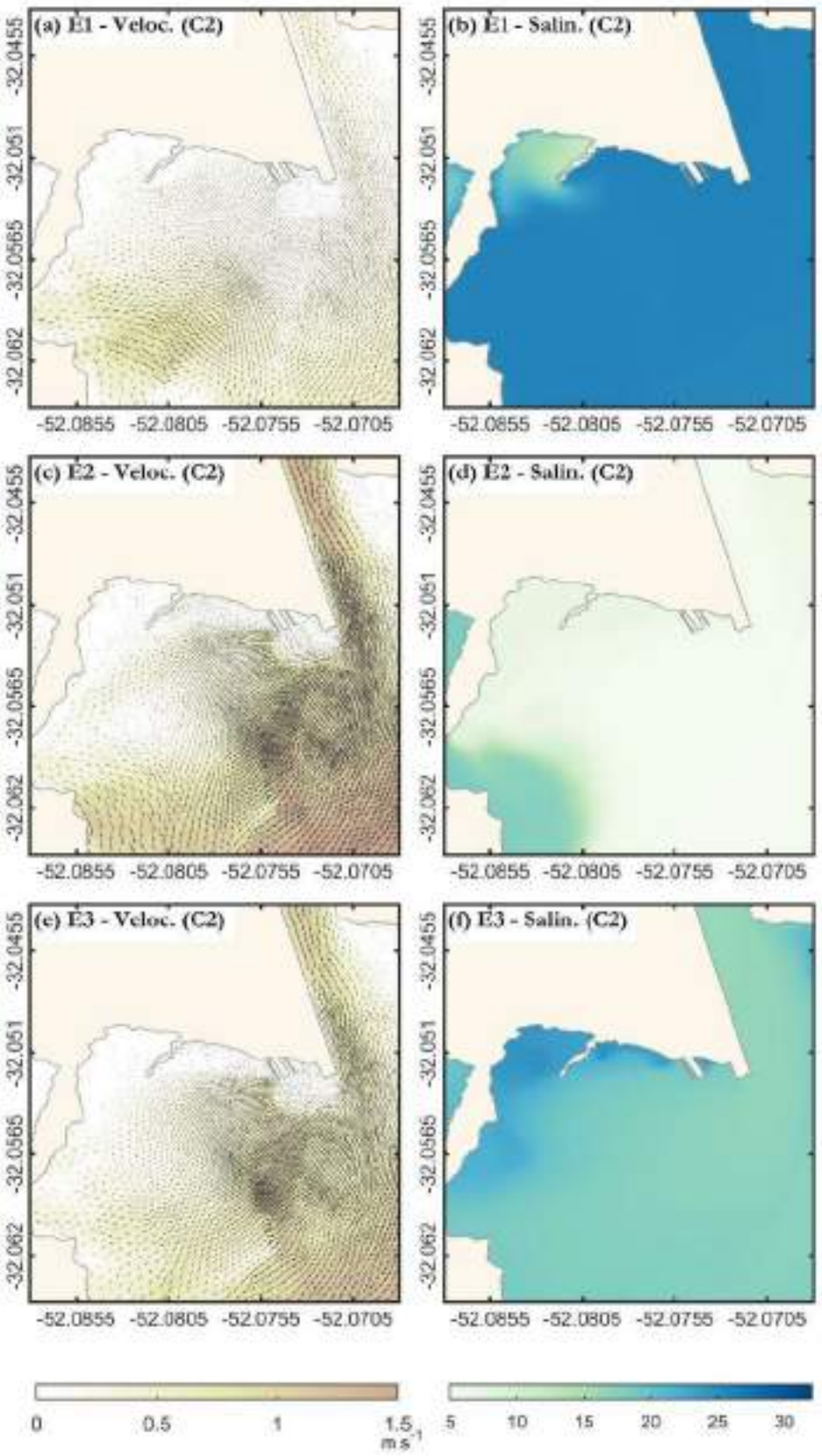


Figura 2.18: Campos médios de velocidade da corrente (m s^{-1}) (coluna da esquerda) e salinidade superficial (coluna da direita) na região do AWT para o Cenário 2 durante os eventos E1 (26/04/2017), E2 (13/08/2017) e E3 (23/08/2017, Tabela 2.4), caracterizados por alta descarga sob a influência de ventos de nordeste (NE).

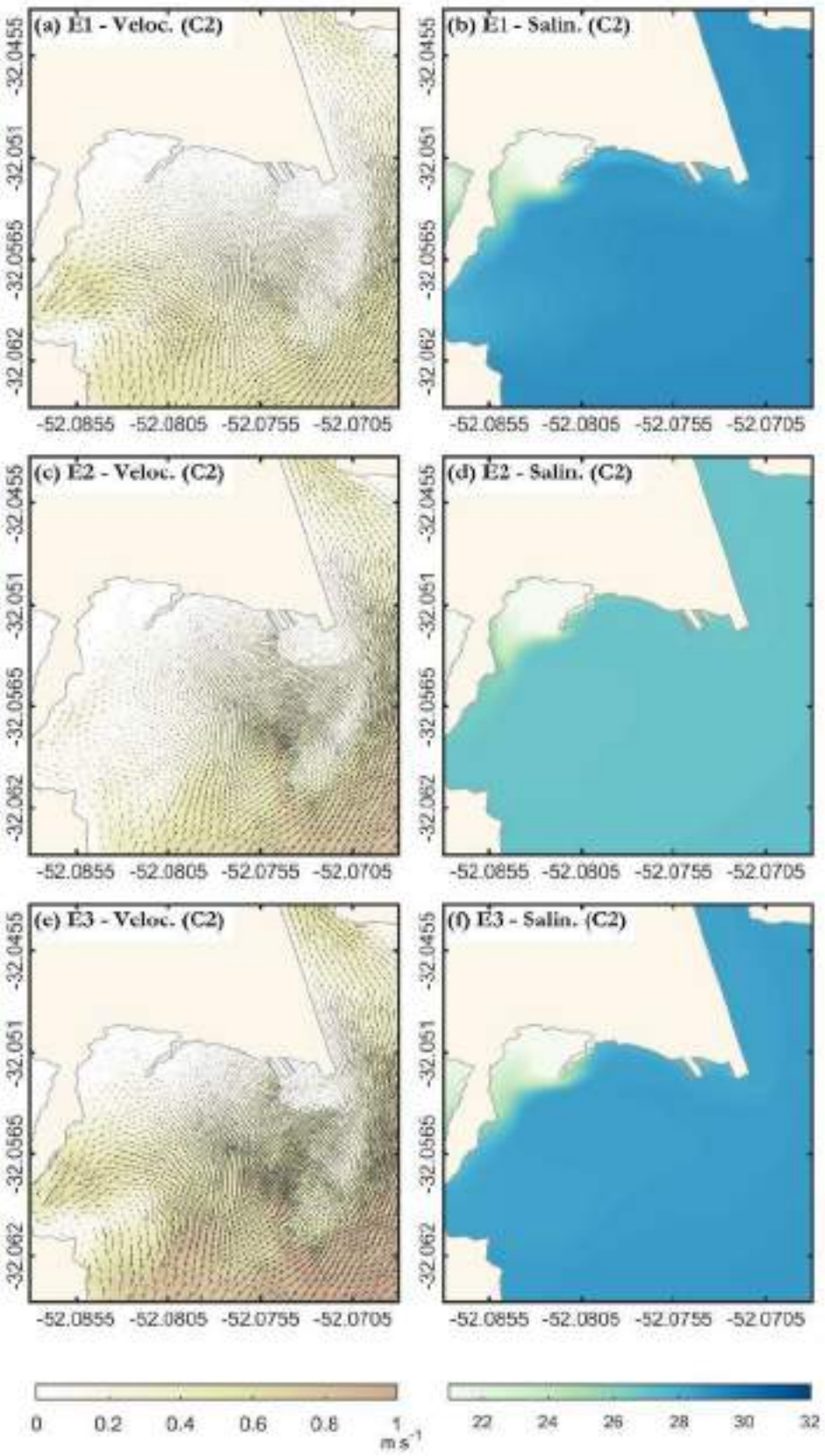


Figura 2.19: Campos médios de velocidade da corrente (m s^{-1}) (coluna da esquerda) e salinidade superficial (coluna da direita) na região do AWT para o Cenário 2 durante os eventos E1 (26/04/2017), E2 (13/08/2017) e E3 (23/08/2017, Tabela 2.4), caracterizados por alta descarga sob a influência de ventos de sudoeste (SO).

B. Condição de baixa descarga

A Figura 2.20 apresenta os resultados do Cenário 2 na forma de campos médios de velocidade da corrente e a salinidade superficial para os eventos E1 (09/02/2017), E2 (09/03/2017) e E3 (09/07/2017), no período de baixa descarga sob a influência de ventos de NE, conforme indicado na Tabela 2.4.

No evento E1 (Figura 2.20a), as velocidades de vazante associadas aos ventos de NE predominam no canal de navegação, com fluxos também de vazante no Saco da Mangueira, e velocidades de corrente baixas na região do AWT (Figura 2.20a). Mesmo sob estas condições de vazante, os valores de salinidade são em torno de 28 na região analisada (Figura 2.20b), provavelmente devido às condições hidrodinâmicas do período anterior.

Durante o evento E2 (Figura 2.20), as velocidades de vazante do canal de navegação se intensificam e predominam do Saco da Mangueira em direção ao canal, embora a região do AWT ainda apresente velocidades de corrente baixas (Figura 2.20c). Com a intensificação das condições de vazante no canal de navegação, a salinidade na região atinge valores em torno de 4 (Figura 2.20d).

No evento E3 (Figura 2.20e), as velocidades de corrente são fracas e de vazante tanto no canal de navegação quanto no Saco da Mangueira, atingindo valores muito baixos na região do AWT (Figura 2.20e). A salinidade se mantém próxima a 0 na região (Figura 2.20f).

A Figura 2.21 apresenta os resultados do Cenário 2 na forma de campos médios de velocidade de corrente e a salinidade superficial para os eventos E1 (11/05/2017), E2 (19/07/2017) e E3 (13/11/2017), caracterizados por condições de baixa descarga sob a influência de ventos de SO (Tabela 2.4). De modo geral, observa-se um padrão semelhante para o comportamento do campo de velocidades de corrente e de salinidade nos três eventos analisados, com velocidades de enchente no canal de navegação e para o Saco da Mangueira e baixas velocidades na região do AWT (Figuras 2.21a, 2.21c e 2.21e). A salinidade atinge valores em torno de 27 em E1 e E3 (Figuras 2.21b e 2.21f) e 31 em E2 (Figura 2.21d).

De forma geral, os resultados demonstram que, mesmo considerando eventos de mesma direção de vento, a combinação de fatores como a descarga continental e a condição de vento anterior ao período analisado e a intensidade do vento durante cada evento geraram respostas distintas na hidrodinâmica da região. Desta forma, a generalização de comportamentos para cada situação meteoceanográfica analisada deve ser considerada com cautela. As velocidades de corrente na região do AWT considerando o Cenário 2, entretanto, são baixas em todas condições meteoceanográficas analisadas.

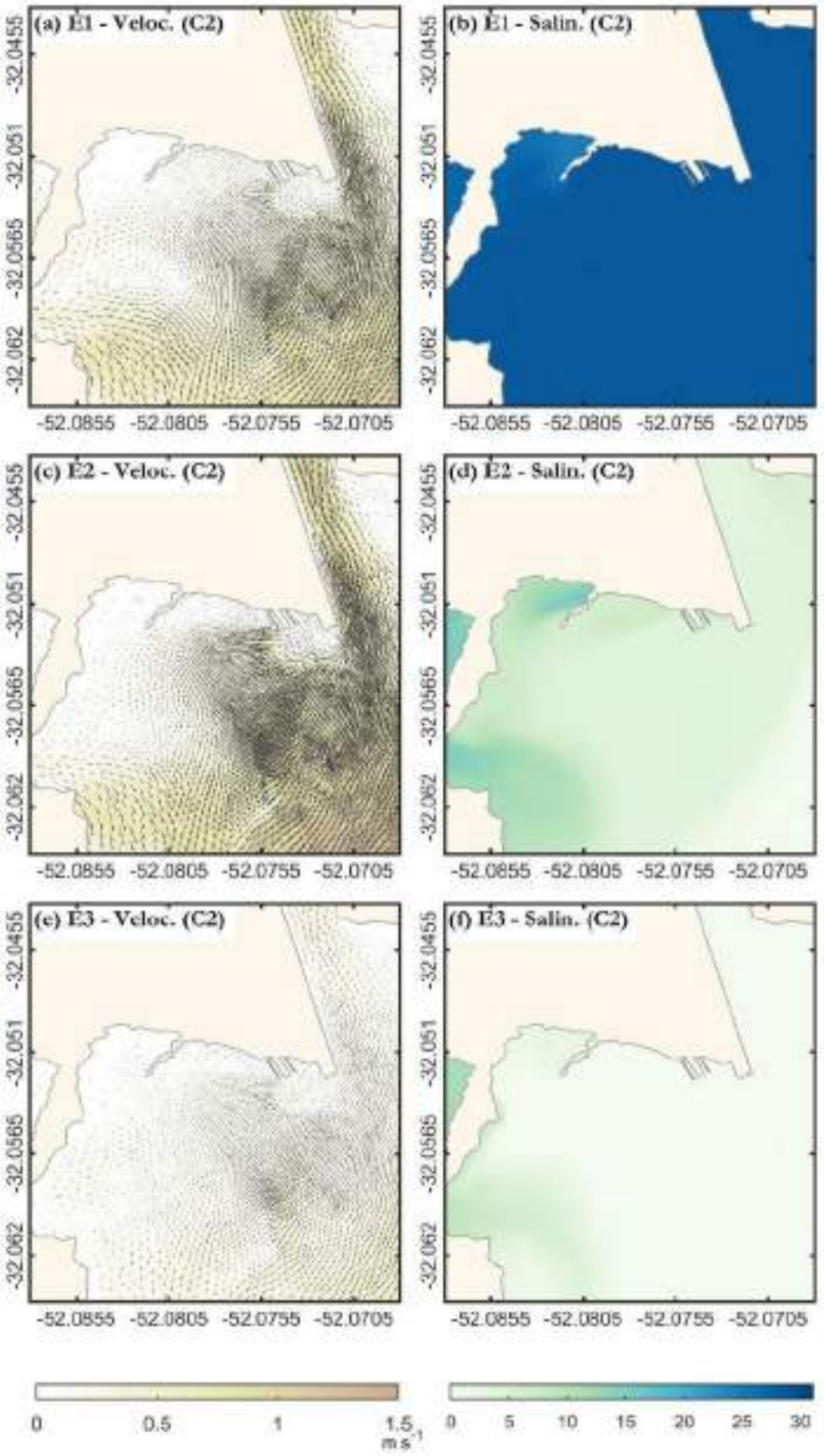


Figura 2.20: Campos médios de velocidade da corrente (m s^{-1}) (coluna da esquerda) e salinidade superficial (coluna da direita) na região do AWT para o Cenário 2 durante os eventos E1 (09/02/2017), E2 (09/03/2017) e E3 (09/07/2017, Tabela 2.4), caracterizados por baixa descarga sob a influência de ventos de nordeste (NE).

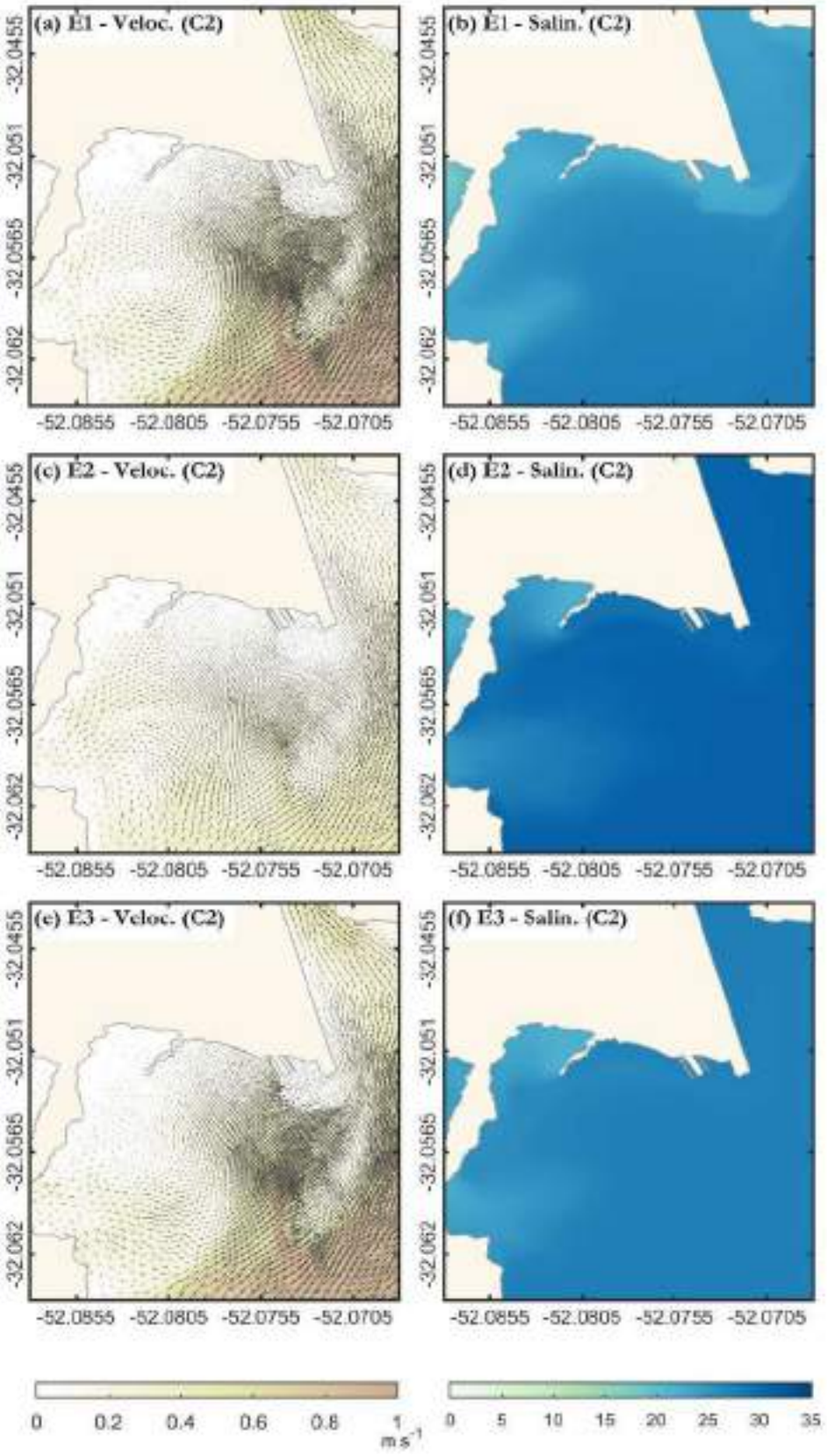


Figura 2.21: Campos médios de velocidade da corrente (m s^{-1}) (coluna da esquerda) e salinidade superficial (coluna da direita) na região do AWT para o Cenário 2 durante os eventos E1 (11/05/2017), E2 (19/07/2017) e E3 (13/11/2017, Tabela 2.4), caracterizados por baixa descarga sob a influência de ventos de sudoeste (SO).

2.4.4 Cenário 3: Hidrodinâmica da área do AWT

A. Condição de alta descarga

A Figura 2.22 apresenta os resultados para o Cenário 3 na forma de campos médios de velocidade da corrente e a salinidade superficial para os eventos E1 (26/04/2017), E2 (13/08/2017) e E3 (23/08/2017), no período de alta descarga sob a influência de ventos de NE, conforme indicado na Tabela 2.4. Os campos médios de velocidade da corrente obtidos para este cenário indicam, de forma consistente, a predominância de velocidades de vazante durante todos os eventos analisados (E1 – Figura 2.22a, E2 – Figura 2.22c e E3 – Figura 2.22e), mas com diferentes intensidades. Destaque deve ser dado a acentuação das velocidades de corrente entre os pilares da estrutura do AWT em todos os eventos. Nos eventos E1 e E2, observa-se que a água escoa do interior do Saco da Mangueira em direção ao canal principal. No entanto, no evento E3, esse padrão se inverte, com velocidades direcionadas para o interior do Saco da Mangueira. Quanto ao comportamento da salinidade, esta se mantém em torno de 25 na região do AWT no evento E1 (Figura 2.22b), 7 no evento E2 (Figura 2.22d) e 17 em E3 (Figura 2.22f), sendo perceptível uma leve influência do AWT na dispersão do sal neste evento.

A Figura 2.23 apresenta os resultados do Cenário 3 na forma de campos médios de velocidade da corrente e a salinidade superficial para os eventos E1 (14/03/2017), E2 (16/05/2017) e E3 (23/10/2017), no período de alta descarga sob a influência de ventos de SO (Tabela 2.4). Os campos médios de velocidade de corrente revelam predominância de velocidades de enchente em todos os eventos simulados (E1 – Figura 2.23a, E2 – Figura 2.23c e E3 – Figura 2.23e), evidenciando a influência dos ventos de SO sobre a circulação local. Os padrões observados nos eventos E1 e E3 são semelhantes, tanto em termos de direção quanto de magnitude das velocidades de corrente, com destaque para as maiores velocidades localizadas na região próxima ao Saco da Mangueira, o que reforça o papel dos ventos de SO no favorecimento da intrusão de água oceânica para o interior do estuário (Figuras 2.23a e 2.23e). No evento E2, diferentemente dos demais, as velocidades são mais baixas e se invertem localmente, com escoamento saindo do Saco da Mangueira (Figura 2.23c).Também merece destaque a acentuação das velocidades de corrente entre os pilares do AWT em todos os eventos. Em todos os eventos, observam-se velocidades de corrente baixas no entorno do AWT proposto e valores de salinidade elevados na região, principalmente nos eventos E1 (Figura 2.23b) e E3 (Figura 2.23f), nos quais são observados valores próximos a 29. No evento E2 (Figura 2.23d), embora a salinidade ainda seja elevada, os valores ficaram próximos de 26.

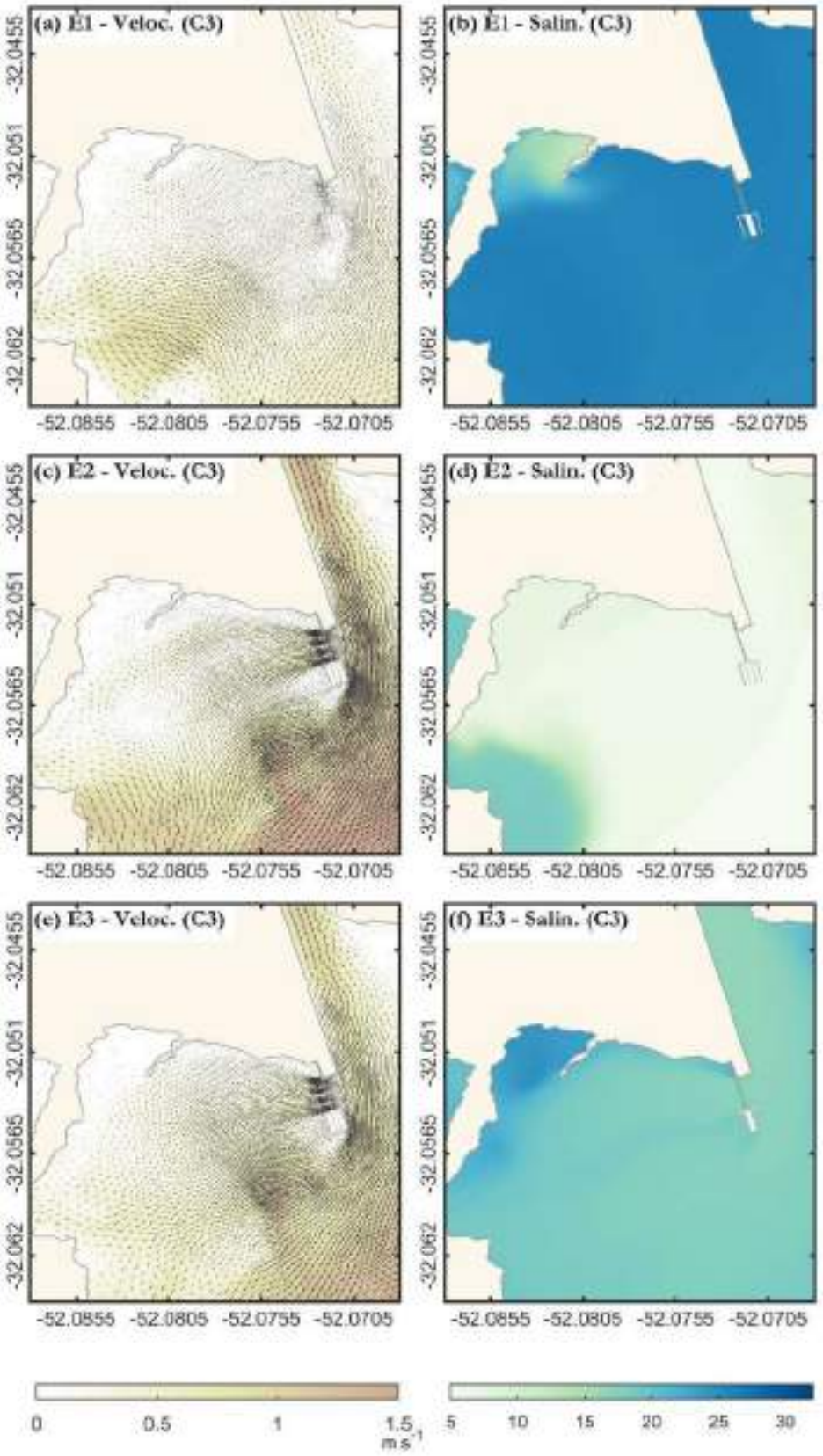


Figura 2.22: Campos médios de velocidade da corrente (m s^{-1}) (coluna da esquerda) e salinidade superficial (coluna da direita) na região do AWT para o Cenário 3 durante os eventos E1 (26/04/2017), E2 (13/08/2017) e E3 (23/08/2017, Tabela 2.4), caracterizados por alta descarga sob a influência de ventos de nordeste (NE).

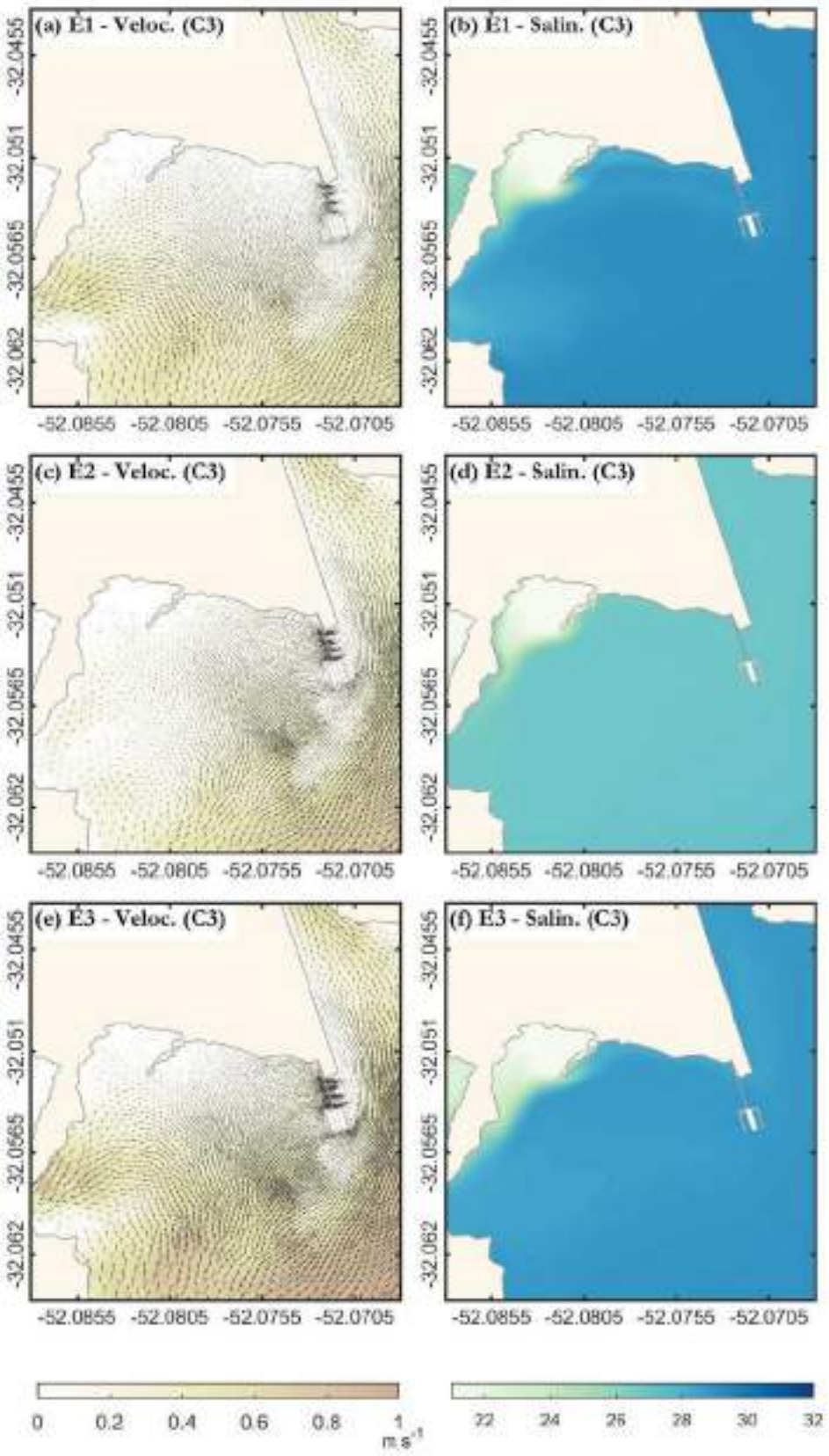


Figura 2.23: Campos médios de velocidade da corrente (m s^{-1}) (coluna da esquerda) e salinidade superficial (coluna da direita) na região do AWT para o Cenário 3 durante os eventos E1 (14/03/2017), E2 (16/05/2017) e E3 (23/10/2017, Tabela 2.4), caracterizados por alta descarga sob a influência de ventos de sudoeste (SO).

B. Condição de baixa descarga

A Figura 2.24 apresenta os resultados do Cenário 3 na forma de campos médios de velocidade da corrente e a salinidade superficial para os eventos E1 (09/02/2017), E2 (09/03/2017) e E3 (09/07/2017), no período de baixa descarga sob a influência de ventos de NE (Tabela 2.4). Os campos médios de velocidade de corrente obtidos para este cenário indicam o predomínio de velocidades de vazante durante todos os eventos (Figuras 2.24a, 2.24c e 2.24e), o que está em conformidade com a influência esperada dos ventos de nordeste em combinação com a baixa descarga fluvial. Dentre os eventos, o E2 apresenta as maiores velocidades de corrente e o E3 as menores. Também merece destaque a acentuação das velocidades de corrente entre os pilares do AWT em todos os eventos. Com relação à salinidade, observa-se um padrão semelhante nos eventos E2 (Figura 2.24d) e E3 (Figura 2.24f), com salinidades menores que 5. O evento E1 (Figura 2.24b) se destaca pelos valores elevados, que alcançam aproximadamente 28.

A Figura 2.25 apresenta os resultados do Cenário 3 na forma de campos médios de velocidade da corrente e a salinidade superficial para os eventos E1 (11/05/2017), E2 (19/07/2017) e E3 (13/11/2017), no período de baixa descarga sob a influência de ventos de SO (Tabela 2.4). Os resultados para este cenário apontam, de maneira consistente, a predominância de velocidades de enchente nos três eventos analisados (E1 – Figura 2.25a, E2 – Figura 2.25c e E3 – Figura 2.25e). Esse padrão é coerente com a influência dos ventos de SO, que tendem a forçar a penetração das águas costeiras para o interior do estuário, especialmente em períodos de baixa descarga fluvial. As magnitudes das velocidades são semelhantes nos três eventos, com velocidades mais baixas próximo à potencial bacia de evolução proposta. Velocidades de enchente direcionadas ao Saco da Mangueira ocorrem em E2 (Figura 2.25c) e a situação oposta em E1 e E3 (Figuras 2.25a e 2.25e). Mais uma vez, as velocidades de corrente se acentuam entre os pilares do AWT em todos os eventos. No que se refere à salinidade, observa-se que os valores são elevados e semelhantes entre os eventos. O evento E2 (Figura 2.25d) apresenta os maiores valores, em torno de 31, enquanto nos eventos E3 (Figura 2.25b) e E3 (Figura 2.25f) os valores se mantêm em torno de 27, refletindo a dominância da intrusão de água salgada.

Novamente, os resultados demonstram que, mesmo considerando eventos de mesma direção de vento, a combinação de fatores como a descarga continental e a condição de vento anterior ao período analisado e a intensidade do vento durante cada evento geraram respostas distintas na hidrodinâmica da região. Desta forma, a generalização de comportamentos para cada situação meteoceanográfica analisada deve ser considerada com cautela. Além disso, as velocidades de corrente apresentaram uma intensificação entre os pilares da estrutura do AWT proposto no Cenário 3 em todas as condições meteoceanográficas analisadas.

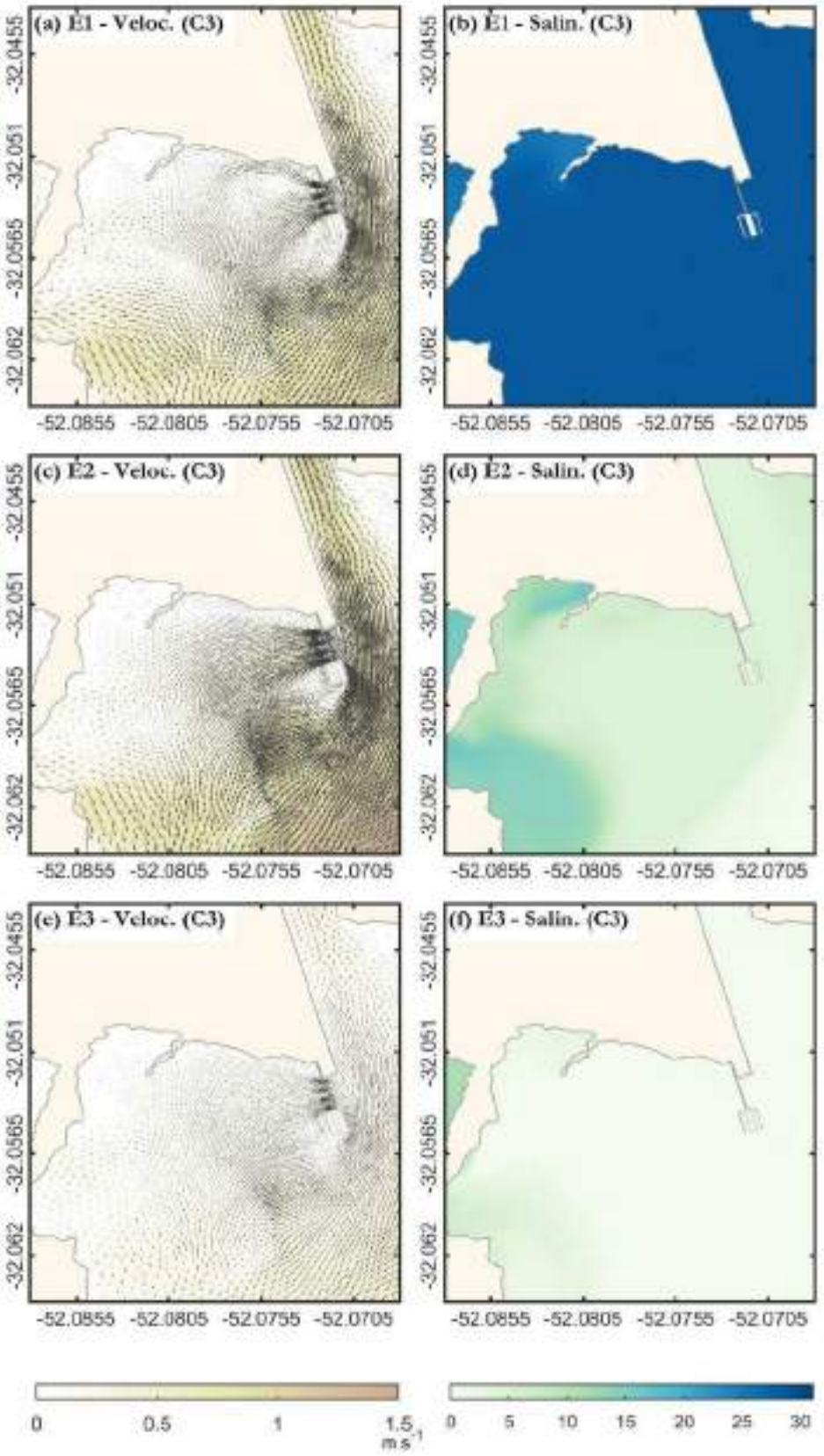


Figura 2.24: Campos médios de velocidade da corrente (m s^{-1}) (coluna da esquerda) e salinidade superficial (coluna da direita) na região do AWT para o Cenário 3 durante os eventos E1 (09/02/2017), E2 (09/03/2017) e E3 (09/07/2017, Tabela 2.4), caracterizados por baixa descarga sob a influência de ventos de nordeste (NE).

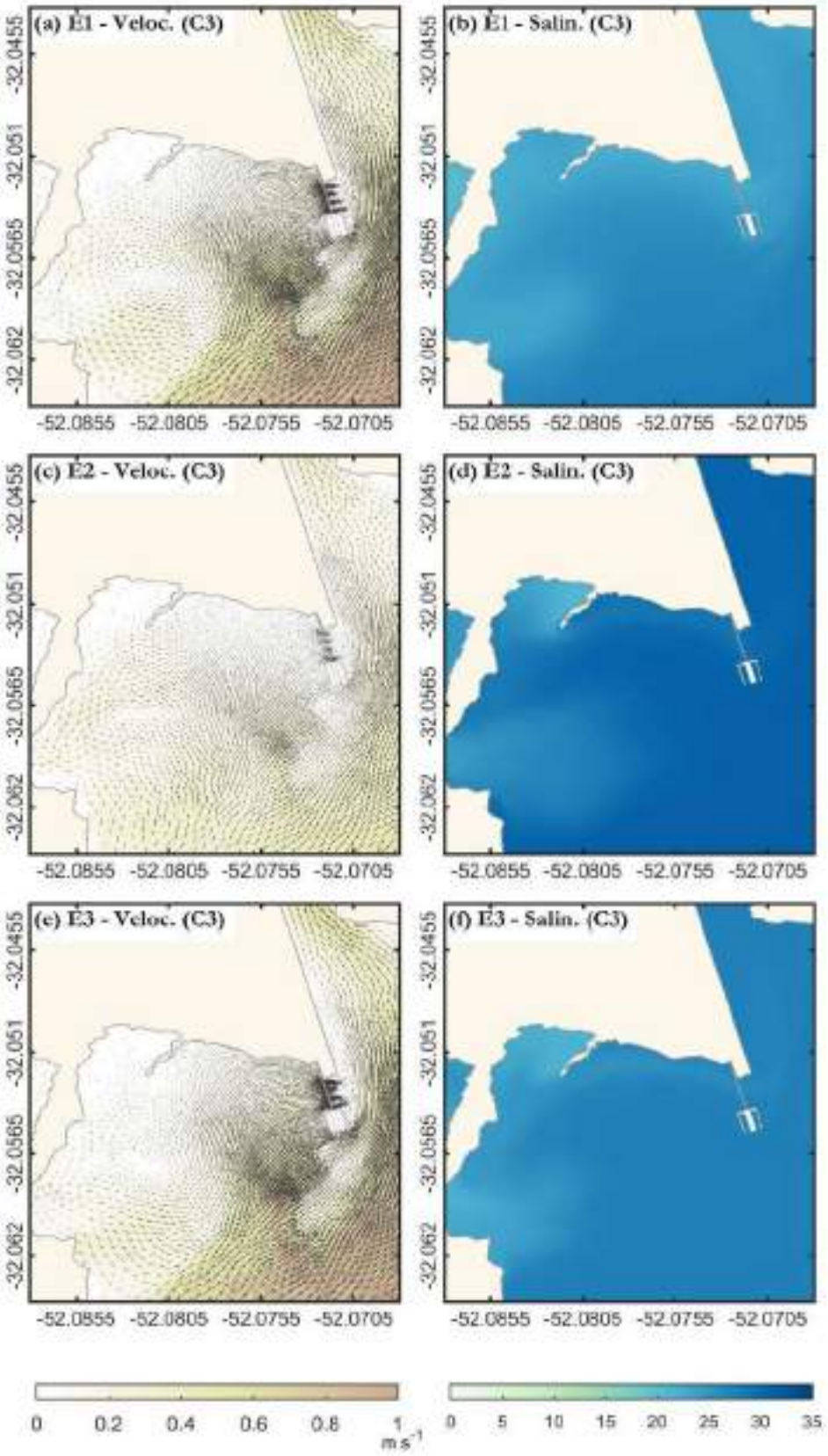


Figura 2.25: Campos médios de velocidade da corrente (m s^{-1}) (coluna da esquerda) e salinidade superficial (coluna da direita) na região do AWT para o Cenário 3 durante os eventos E1 (11/05/2017), E2 (19/07/2017) e E3 (13/11/2017, Tabela 2.4), caracterizados por baixa descarga sob a influência de ventos de sudoeste (SO).

2.4.5 Comparação entre Cenários - Campo médio de velocidade da corrente

Foram gerados campos médios de velocidade de corrente (m s^{-1}) com foco ampliado na área do AWT para cada um dos Cenários (Figuras 2.26–2.29) a fim de destacar variações locais na intensidade e direção das correntes associadas às alterações propostas nos Cenários 2 e 3. As figuras apresentam os resultados para cada uma das combinações entre descarga fluvial (alta e baixa) e regime de ventos predominantes (NE e SO), conforme indicado na Tabela 2.4.

De forma geral, sob ventos de NE e condições de alta (Figura 2.26) e baixa descarga (Figura 2.27), observa-se um comportamento de vazante, enquanto sob ventos de SO e condições de alta (Figura 2.28) e baixa descarga (Figura 2.29) as correntes predominantes são de enchente em todos os eventos e cenários simulados. As velocidades de corrente são mais intensas durante episódios de alta descarga fluvial, enquanto sob baixa descarga observam-se magnitudes menores. As velocidades de corrente mais intensas permanecem concentradas ao longo do canal de navegação, e as menores velocidades são observadas na região da bacia de evolução em ambos os Cenários.

A partir deste panorama geral, a seguir são apresentados os efeitos específicos das intervenções propostas nos Cenários 2 e 3 sobre o campo de velocidades de corrente nas imediações do AWT. No Cenário 2, observa-se uma atenuação das velocidades de corrente, especialmente na região da bacia de evolução (Figuras 2.26d–2.26f, 2.27d–2.27f, 2.28d–2.28f e 2.29d–2.29f), visto que o AWT está localizado em uma região relativamente protegida do ponto de vista hidrodinâmico. No Cenário 3, além da redução das velocidades na bacia de evolução, a inclusão da estrutura do AWT promove alterações adicionais no padrão de circulação (Figuras 2.26h, 2.26i, 2.27h, 2.27i, 2.28h, 2.28i, 2.29h e 2.29i). Por estar situada em uma área de hidrodinâmica mais intensa, a estrutura gera uma zona de sombra hidrodinâmica a jusante, especialmente sob condições de vazante (ventos de NE), o que resulta em redução das velocidades a oeste do AWT tanto em condições de vazante quanto de enchente. No trecho do canal de navegação submetido ao aprofundamento, observa-se que, sob correntes de enchente, o AWT atua atenuando as velocidades nessa região no Cenário 3, em comparação ao Cenário 2. Adicionalmente, a presença da estrutura de pilotes influencia a circulação local, promovendo a intensificação das velocidades de corrente entre as estruturas.

De maneira geral, os resultados indicam que as intervenções propostas nos Cenários 2 e 3 impactam o padrão de circulação no entorno do AWT. As alterações observadas nos campos de velocidade de corrente e a esperada alteração no padrão de transporte sedimentar reforçam a importância de realizar simulações dos cenários considerados para o adequado planejamento e avaliação de empreendimentos costeiros.

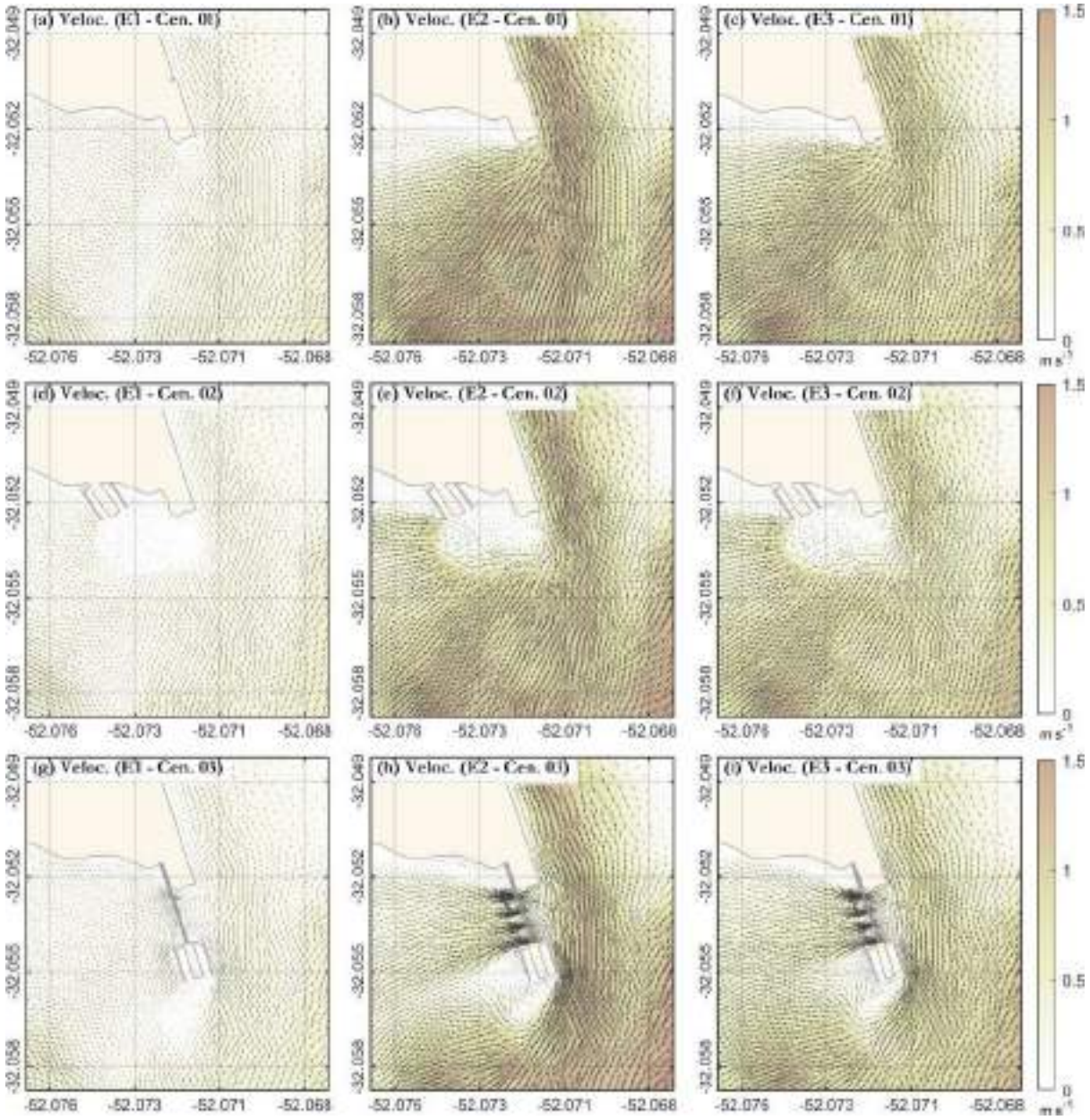


Figura 2.26: Campos médios de velocidade da corrente (m s^{-1}) na região do AWT para os Cenários 1 (primeira linha), 2 (segunda linha) e 3 (terceira linha) durante os eventos E1 (26/04/2017), E2 (13/08/2017) e E3 (23/08/2017, Tabela 2.4), caracterizados por alta descarga sob a influência de ventos de nordeste (NE).

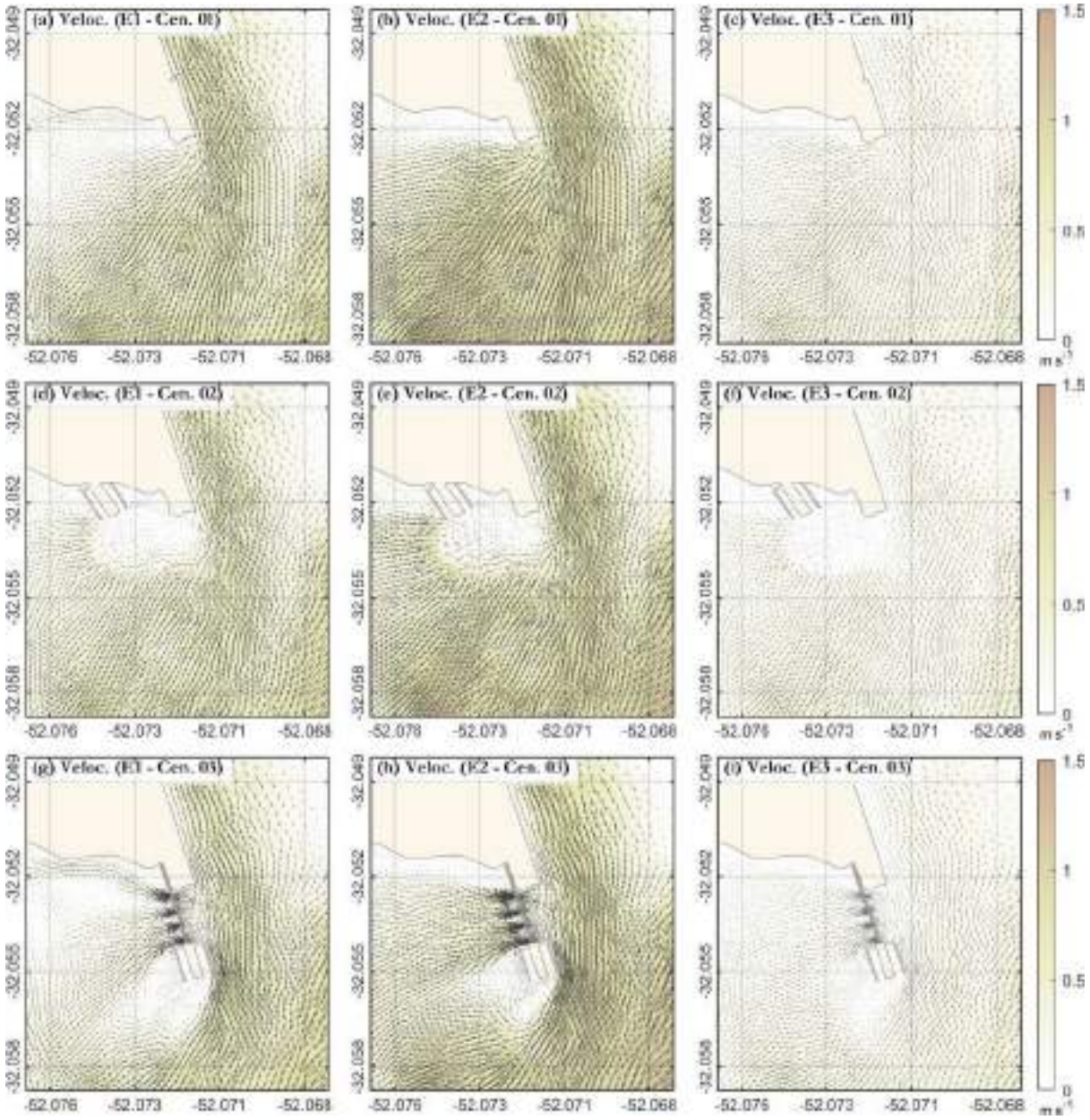


Figura 2.27: Campos médios de velocidade da corrente (m s^{-1}) na região do AWT para os Cenários 1 (primeira linha), 2 (segunda linha) e 3 (terceira linha) durante os eventos E1 (09/02/2017), E2 (09/03/2017) e E3 (09/07/2017, Tabela 2.4), caracterizados por baixa descarga sob a influência de ventos de nordeste (NE).

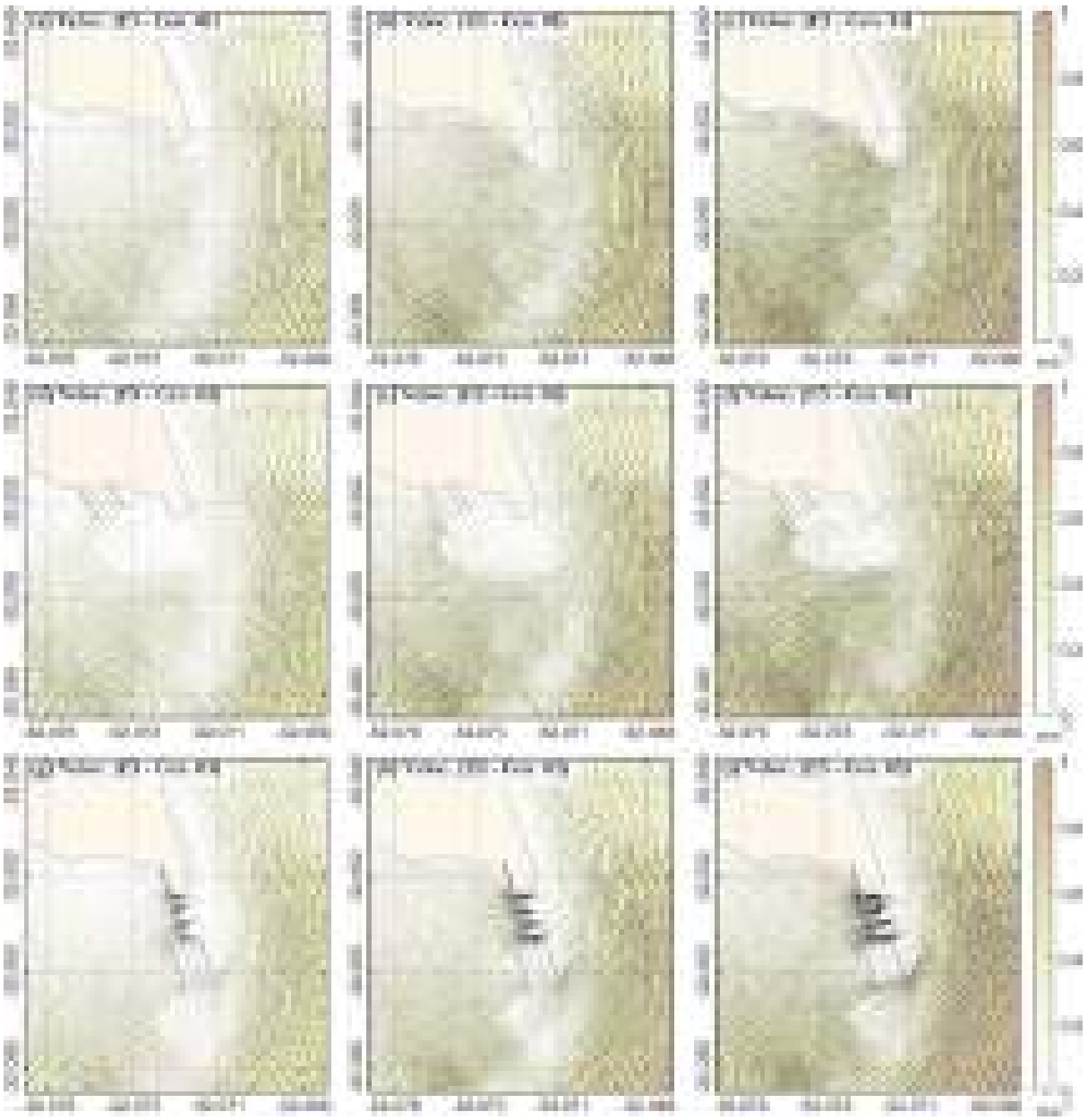


Figura 2.28 Campos médios de velocidade da corrente (m s^{-1}) na região do AWT para os Cenários 1 (primeira linha), 2 (segunda linha) e 3 (terceira linha) durante os eventos E1 (26/04/2017), E2 (13/08/2017) e E3 (23/08/2017, Tabela 2.4), caracterizados por alta descarga sob a influência de ventos de sudoeste (SO).

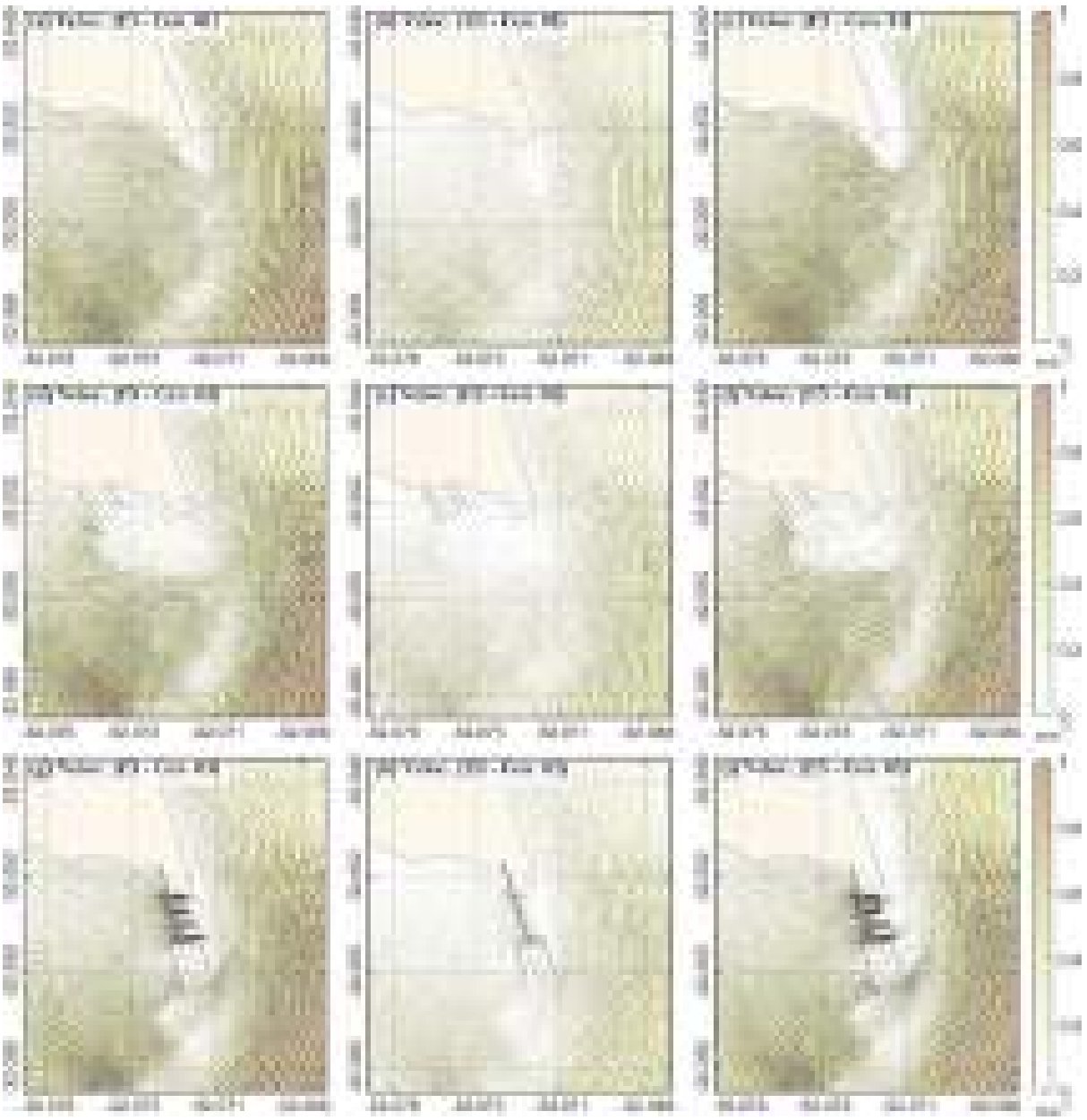


Figura 2.29 Campos médios de velocidade da corrente (m s^{-1}) na região do AWT para os Cenários 1 (primeira linha), 2 (segunda linha) e 3 (terceira linha) durante os eventos E1 (11/05/2017), E2 (19/07/2017) e E3 (13/11/2017, Tabela 2.4), caracterizados por baixa descarga sob a influência de ventos de sudoeste (SO).

2.4.6 Comparação entre Cenários - Séries Temporais

De forma a avaliar a ocorrência de alterações no comportamento hidrodinâmico decorrentes dos Cenários 2 e 3 propostos para o AWT, foram extraídas séries temporais de nível (m), salinidade superficial e componentes U (positiva para leste) e V (positiva para norte) do campo médio de velocidade (m/s) em pontos localizados no entorno do empreendimento (Figura 2.9), e comparadas com os resultados do Cenário 1 (original).

As Figuras 2.30 (**Ponto 1**) e 2.31 (**Ponto 2**) apresentam as séries temporais de nível, salinidade superficial e componentes médias de velocidade (U e V) correspondentes às regiões interiores do Saco da Mangueira (Figura 2.9).

No **Ponto 1** (Figura 2.30), o nível da água e a salinidade superficial apresentam comportamentos semelhantes entre os três Cenários, com exceção de alguns momentos em que o Cenário 3 ultrapassa os valores de salinidade superficial observados nos Cenários 1 e 2. Em relação às velocidades, observam-se variações nas magnitudes das componentes U e V entre os Cenários, especialmente nos picos. Essas diferenças são mais evidentes no Cenário 2, com destaque para a componente V, onde as variações se tornam mais pronunciadas e chegam a inverter a tendência de comportamento.

No centro do Saco da Mangueira (**Ponto 2**, Figura 2.31), os resultados indicam poucas diferenças entre os três Cenários em relação ao nível da água, salinidade superficial e componentes médias de velocidade. Logo, o comportamento hidrodinâmico nessa região se mantém estável mesmo com as intervenções propostas.

As Figuras 2.32 (**Ponto 3**) e 2.33 (**Ponto 4**) apresentam as séries temporais para os pontos de conexão do Saco da Mangueira com o estuário (Figura 2.9). No **Ponto 3** (Figura 2.32), não são observadas alterações significativas no nível da água, na salinidade superficial e na componente U da velocidade entre os Cenários. A componente V, entretanto, apresenta modificações, com diversos momentos em que os Cenários 2 e 3 apresentam sinais opostos ao do Cenário 1.

No **Ponto 4** (Figura 2.33), o nível da água, a salinidade superficial e a componente U da velocidade apresentam padrões semelhantes entre os três Cenários. Em relação à componente V, os padrões oscilatórios também são semelhantes entre os Cenários, mas se diferem em magnitude. Os valores da componente V observados nos Cenários 2 e 3 são, na maior parte do tempo, inferiores aos do Cenário 1.

Apesar das diferenças observadas na componente V da velocidade, a sua pequena magnitude indica que as intervenções propostas provavelmente não resultarão em alterações significativas na hidrodinâmica da região de conexão entre o Saco da Mangueira e o estuário.

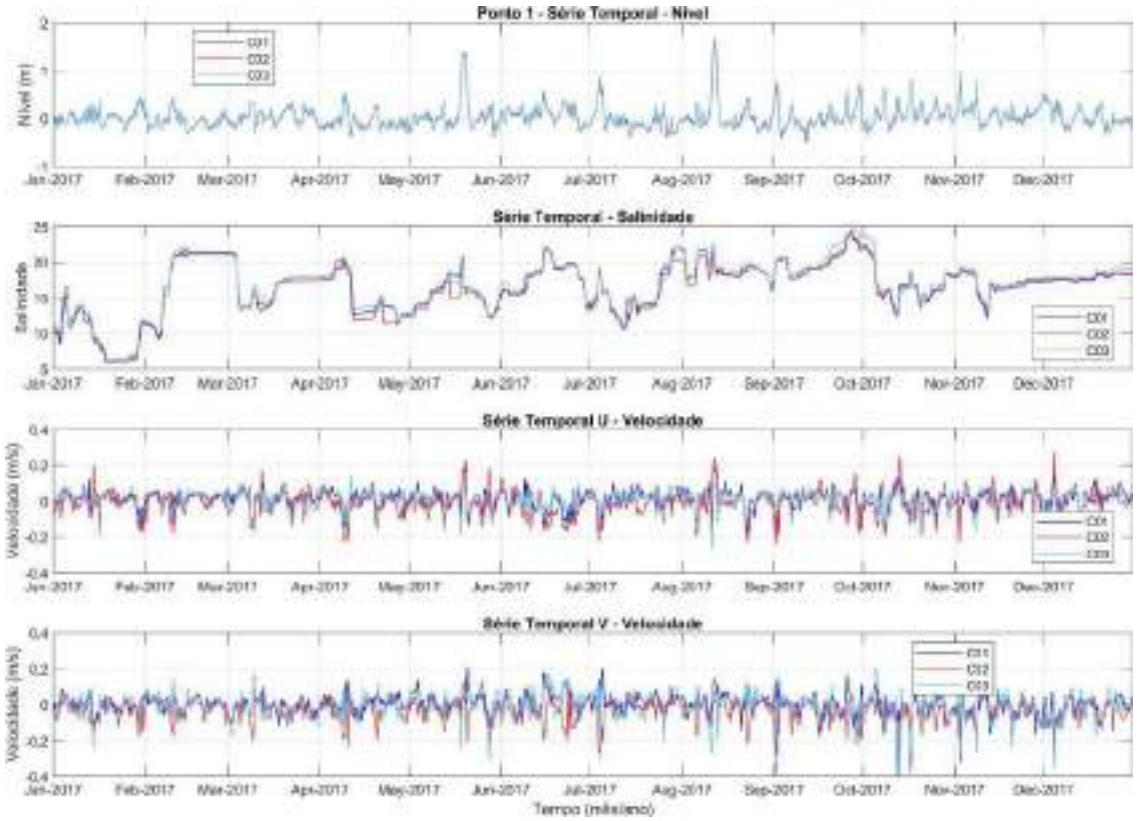


Figura 2.30: Séries temporais do nível (m), salinidade superficial e componentes médias U e V da velocidade (m s^{-1}) para o Ponto 1, indicado na Figura 2.9, para os Cenários 1 (azul escuro), 2 (vermelho) e 3 (azul claro).

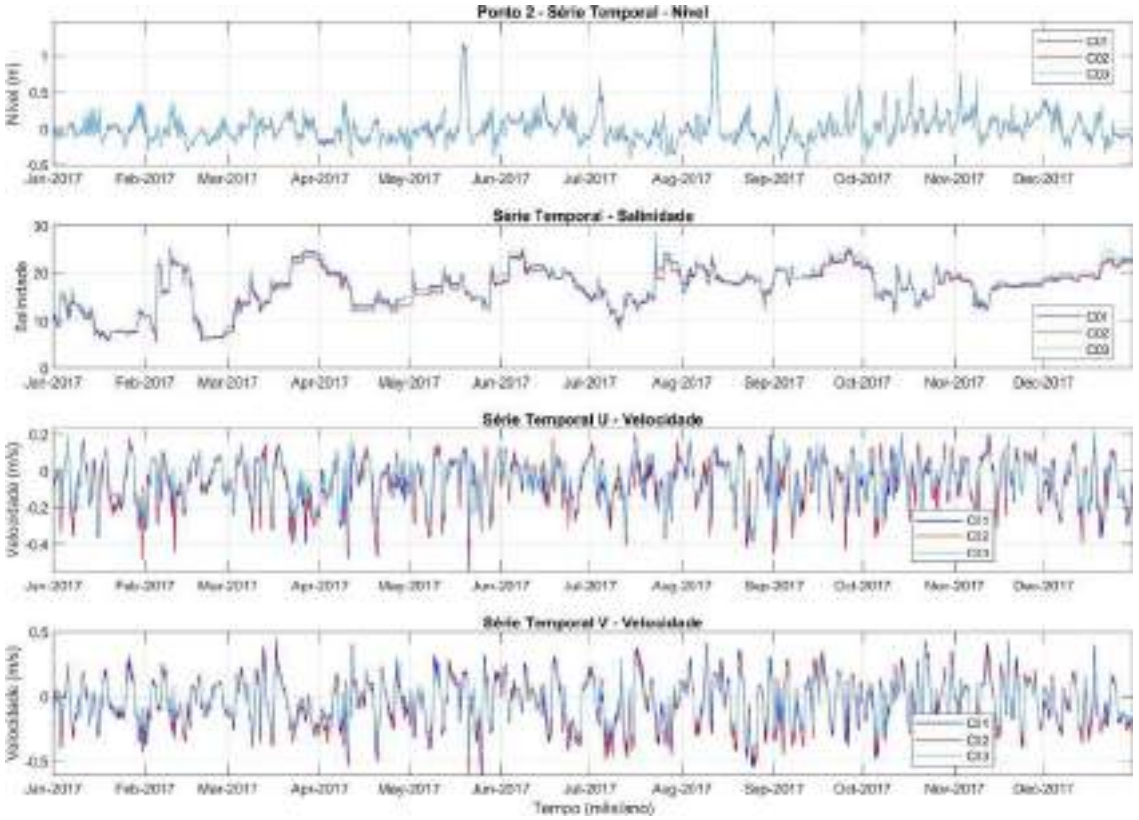


Figura 2.31: Séries temporais do nível (m), salinidade superficial e componentes médias U e V da velocidade (m s^{-1}) para o Ponto 2, indicado na Figura 2.9, para os Cenários 1 (azul escuro), 2 (vermelho) e 3 (azul claro).

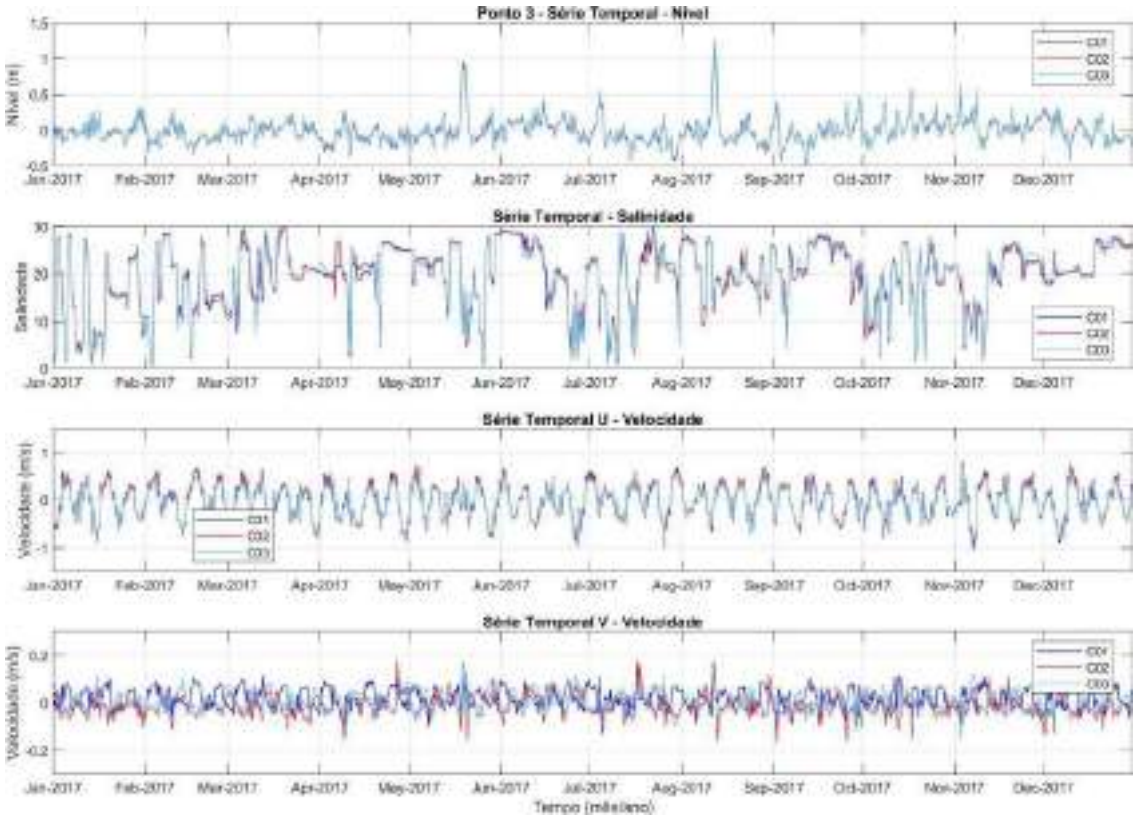


Figura 2.32: Séries temporais do nível (m), salinidade superficial e componentes médias U e V da velocidade (m s^{-1}) para o Ponto 3, indicado na Figura 2.9, para os Cenários 1 (azul escuro), 2 (vermelho) e 3 (azul claro).

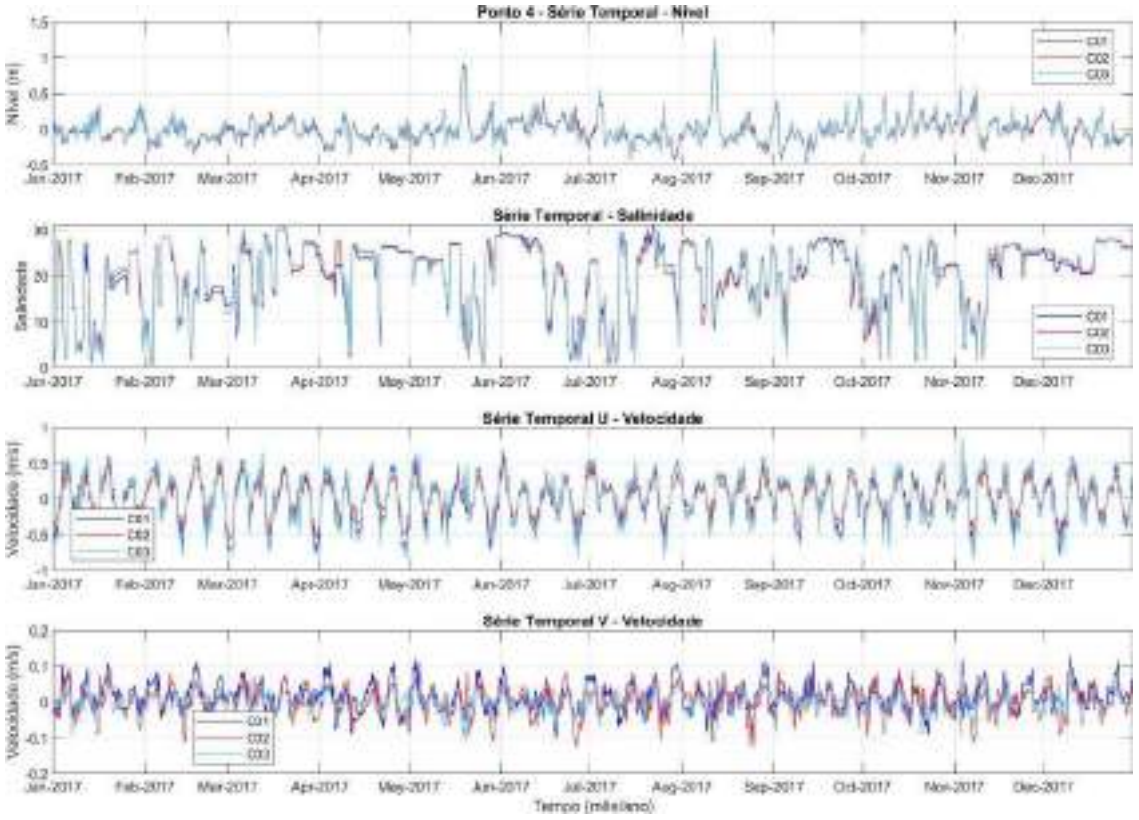


Figura 2.33: Séries temporais do nível (m), salinidade superficial e componentes médias U e V da velocidade (m s^{-1}) para o Ponto 4, indicado na Figura 2.9, para os Cenários 1 (azul escuro), 2 (vermelho) e 3 (azul claro).

As Figuras 2.34 (**Ponto 5**), 2.35 (**Ponto 6**) e 2.36 (**Ponto 7**) apresentam as séries temporais correspondentes aos pontos localizados sobre a região de aprofundamento do canal de navegação para 14 metros (Figura 2.9). O nível da água e a salinidade superficial dos Cenários 2 e 3, de forma geral, não apresentam alterações significativas em relação ao Cenário 1.

Em relação à velocidade, as componentes U e V apresentaram magnitudes inferiores nos Cenários 2 e 3 em comparação ao Cenário 1, em todos os três pontos analisados, com destaque para o **Ponto 5** (Figura 2.34), indicando que as configurações propostas causaram alterações na hidrodinâmica local. Essa diferença pode estar associada à inclusão da ampliação do berço norte nos Cenários 2 e 3 — uma estrutura ausente no Cenário 1 — que atua como uma barreira física, reduzindo a intensidade das correntes localmente. Em relação ao Cenário 1, as velocidades são reduzidas principalmente no Cenário 3 no **Ponto 6** (Figura 2.35), enquanto no **Ponto 7** (Figura 2.36), são reduzidas tanto no Cenário 2 quanto no 3.

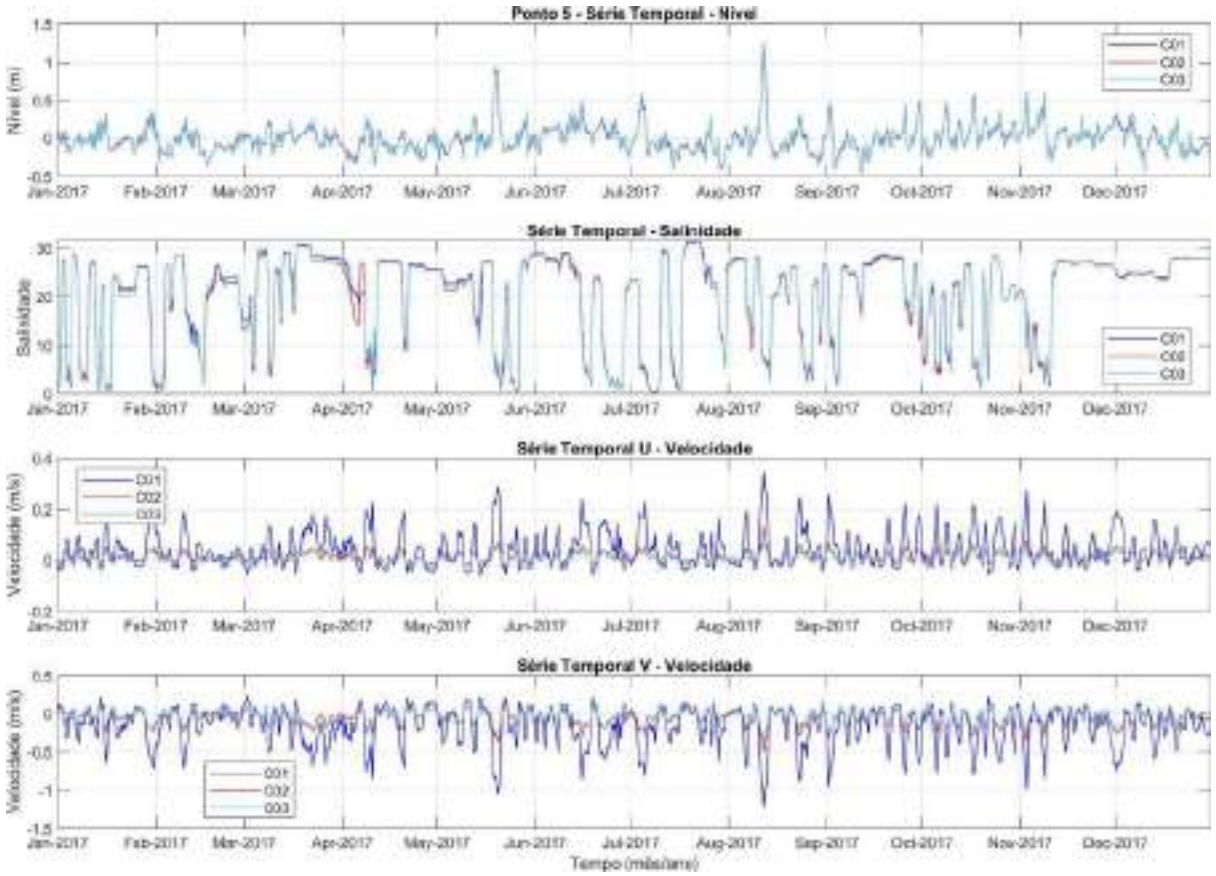


Figura 2.34: Séries temporais do nível (m), salinidade superficial e componentes médias U e V da velocidade (m s^{-1}) para o Ponto 5, indicado na Figura 2.9, para os Cenários 1 (azul escuro), 2 (vermelho) e 3 (azul claro).

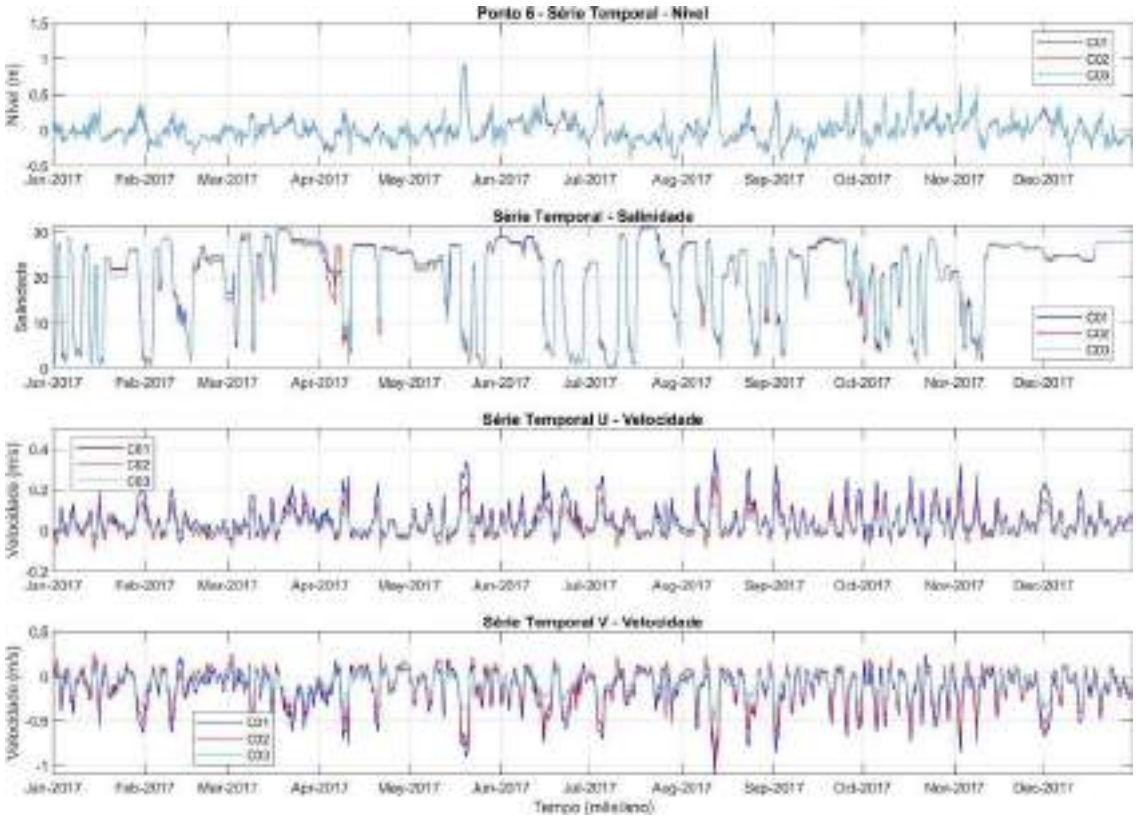


Figura 2.35: Séries temporais do nível (m), salinidade superficial e componentes médias U e V da velocidade (m s^{-1}) para o Ponto 6, indicado na Figura 2.9, para os Cenários 1 (azul escuro), 2 (vermelho) e 3 (azul claro).

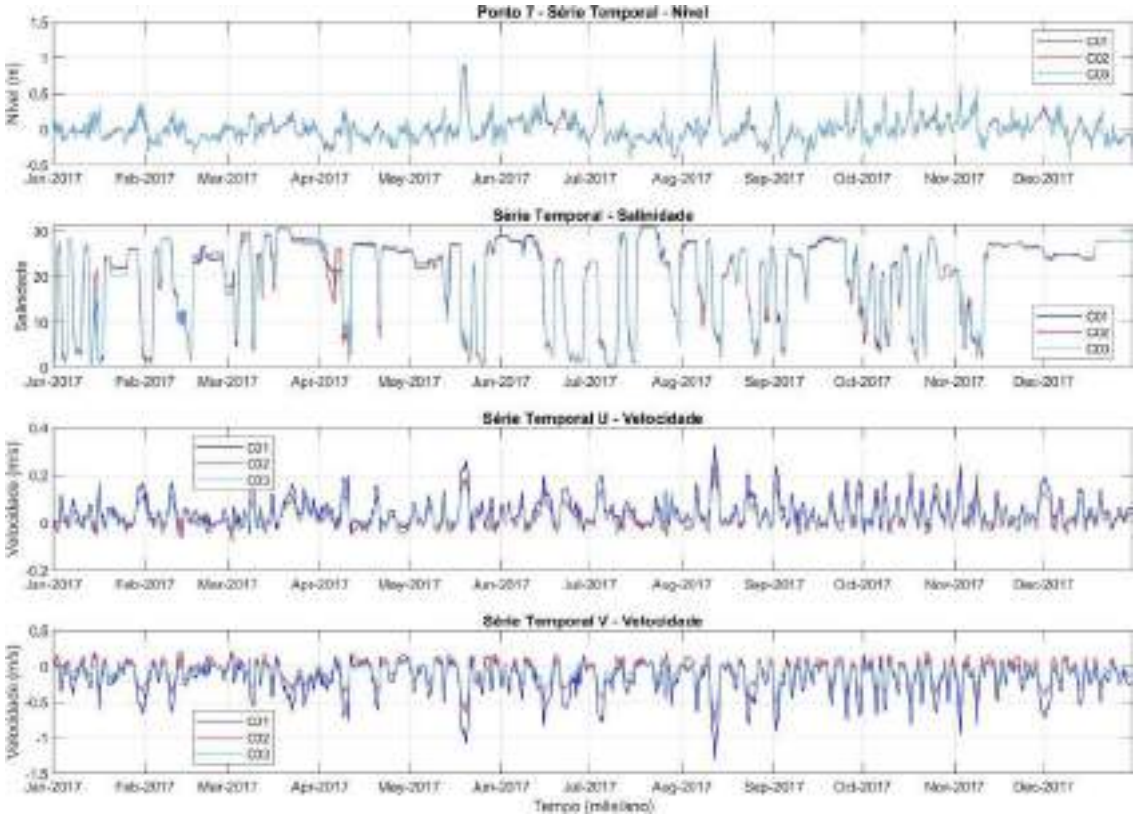


Figura 2.36: Séries temporais do nível (m), salinidade superficial e componentes médias U e V da velocidade (m s^{-1}) para o Ponto 7, indicado na Figura 2.9, para os Cenários 1 (azul escuro), 2 (vermelho) e 3 (azul claro).

As Figuras 2.37 (**Ponto 8**), 2.38 (**Ponto 9**), 2.39 (**Ponto 10**) e 2.40 (**Ponto 11**) apresentam as séries temporais de nível, salinidade superficial e componentes médias de velocidade (U e V) referentes aos **Cenários 1 e 2**, considerando a configuração proposta pelo Cenário 2 para o AWT (Figuras 2.4 e 2.9).

O nível d'água apresentou comportamento semelhante entre os Cenários nos quatro pontos. Embora a salinidade também tenha apresentado comportamento semelhante, os resultados para o Cenário 2 apresentam diferenças por vezes positivas e por vezes negativas em pontos localizados quando comparados com o Cenário 1.

A principal diferença observada nos Pontos analisados está associada ao comportamento das componentes da velocidade, o que também reflete a posição geográfica de cada ponto. Para o **Ponto 8** (Figura 2.37), localizado no canal de navegação, a componente U da velocidade (positiva para leste) é de pequena magnitude, enquanto a componente V da velocidade (positiva para norte) apresenta valores mais elevados por estar alinhada com o canal de navegação. Com as modificações propostas pelo Cenário 2, a componente U se aproxima de zero, enquanto a componente V mantém o mesmo comportamento observado no Cenário 1, mas com magnitude um pouco menor nos picos (Figura 2.37).

No **Ponto 9** (Figura 2.38), onde foi considerada a dragagem para conexão da bacia de evolução ao canal de navegação, observam-se alterações nas componentes U e V da velocidade, que praticamente desaparecem no Cenário 2.

Os **Pontos 10** (Figura 2.39) e **11** (Figura 2.40), por outro lado, estão localizados na bacia de evolução proposta para o Cenário 2 (Figuras 2.4 e 2.9). Em ambos os pontos, os resultados para o Cenário 1 indicam que a componente U da velocidade (positiva para leste) era predominante, e uma vez que a bacia de evolução do Cenário 2 é considerada, esta componente da velocidade praticamente desaparece. A componente V da velocidade (positiva para norte) praticamente desaparece no **Ponto 10** (Figura 2.39), e no **Ponto 11** (Figura 2.40) se mantém de pequena magnitude mas com sinal oposto em diversos momentos da série temporal.

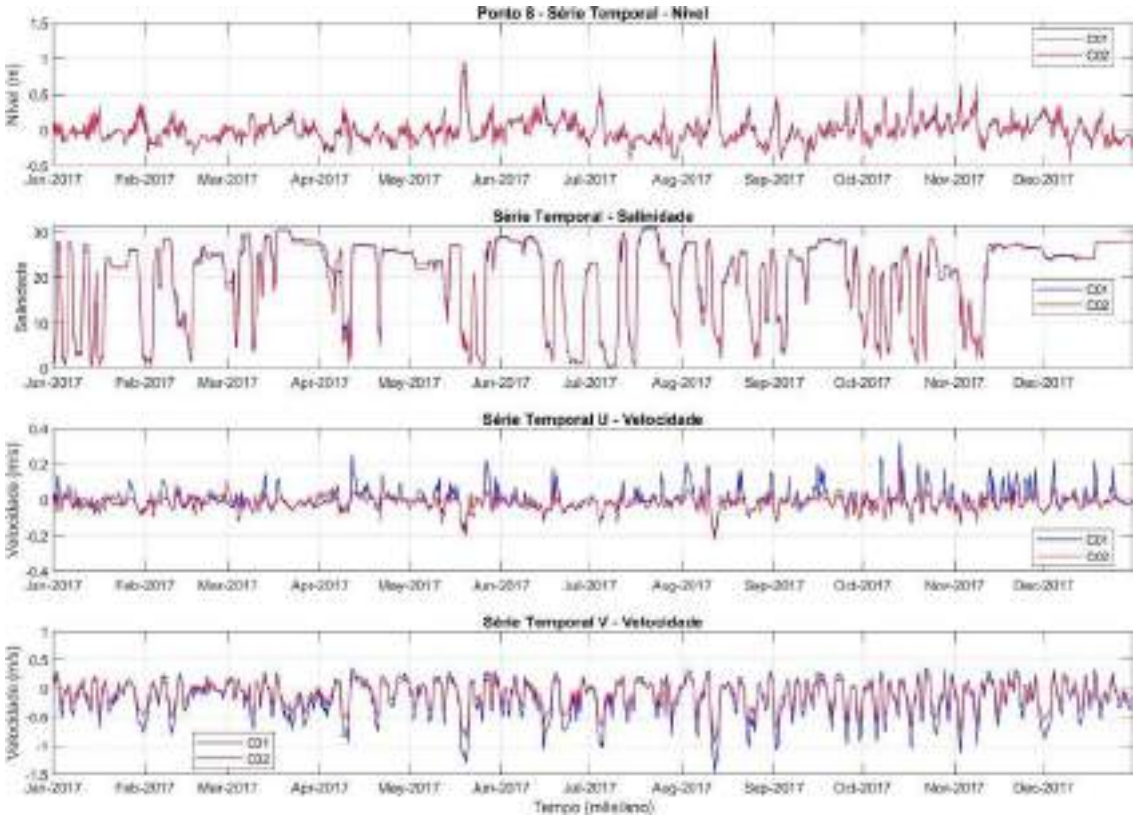


Figura 2.37: Séries temporais do nível (m), salinidade superficial e componentes médias U e V da velocidade (m s^{-1}) para o Ponto 8, indicado na Figura 2.9, para os Cenários 1 (azul escuro) e 2 (vermelho).

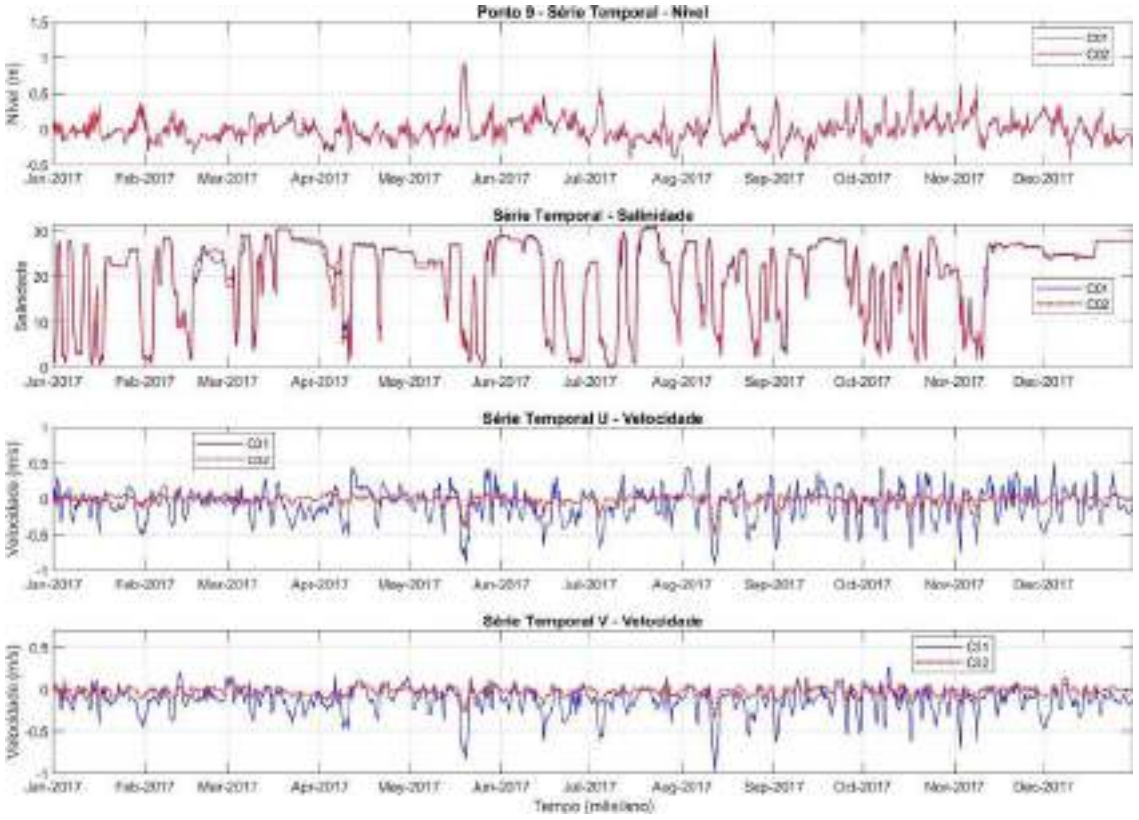


Figura 2.38: Séries temporais do nível (m), salinidade superficial e componentes médias U e V da velocidade (m s^{-1}) para o Ponto 9, indicado na Figura 2.9, para os Cenários 1 (azul escuro) e 2 (vermelho).

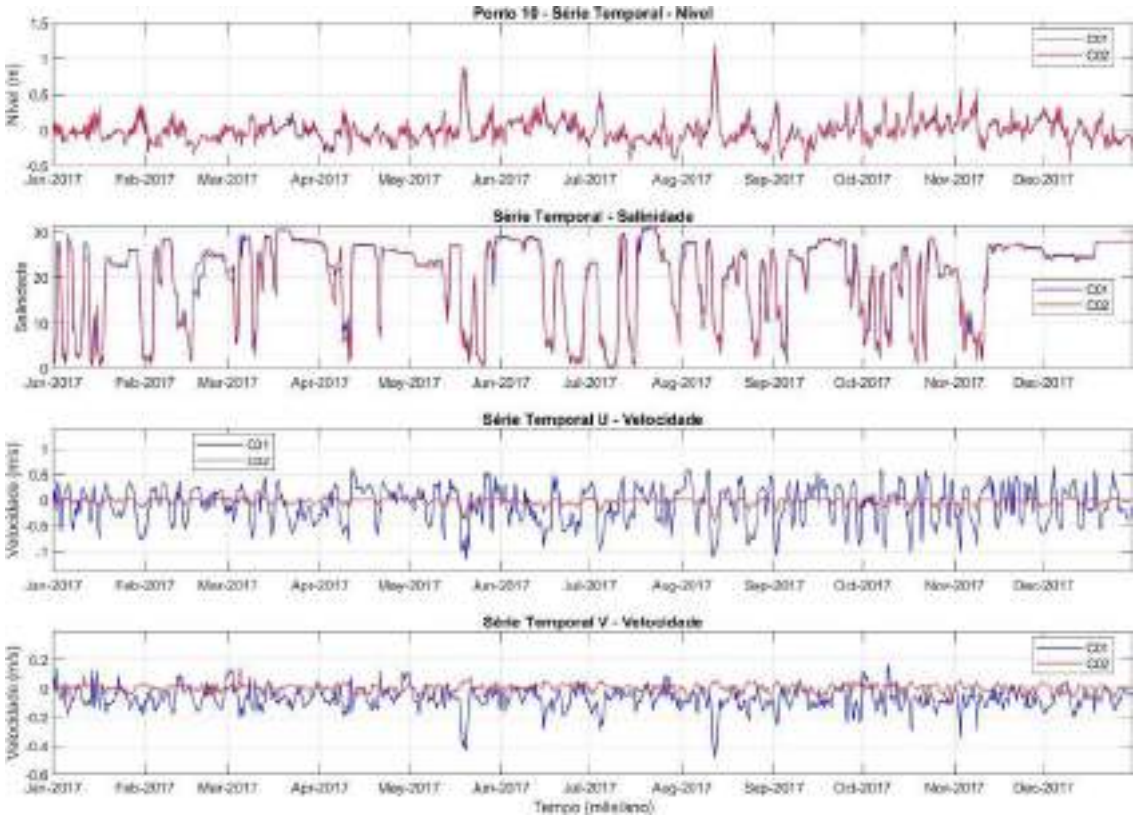


Figura 2.39: Séries temporais do nível (m), salinidade superficial e componentes médias U e V da velocidade (m s^{-1}) para o Ponto 10, indicado na Figura 2.9, para os Cenários 1 (azul escuro) e 2 (vermelho).

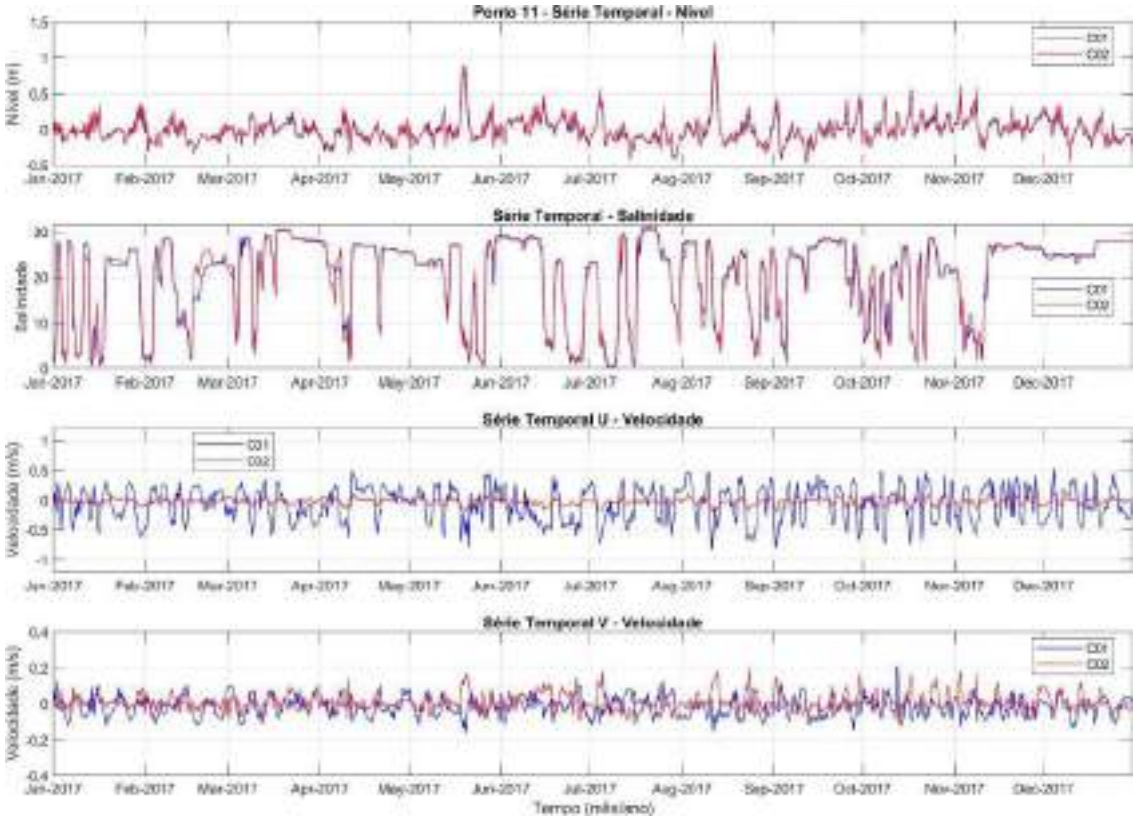


Figura 2.40: Séries temporais do nível (m), salinidade superficial e componentes médias U e V da velocidade (m s^{-1}) para o Ponto 11, indicado na Figura 2.9, para os Cenários 1 (azul escuro) e 2 (vermelho).

As Figuras 2.41 (**Ponto 12**), 2.42 (**Ponto 13**) e 2.43 (**Ponto 14**) apresentam séries temporais de nível da água, salinidade superficial e componentes médias U e V da velocidade referentes aos **Cenários 1 e 3**, considerando a configuração proposta pelo Cenário 3 para o AWT (Figuras 2.5 e 2.9), onde os pontos selecionados estão localizados dentro da bacia de evolução proposta. O nível d'água apresentou comportamento semelhante entre os Cenários em todos estes pontos. Embora a salinidade também tenha apresentado comportamento semelhante, os resultados para o Cenário 3 apresentam diferenças por vezes positivas e por vezes negativas em pontos localizados quando comparados com os resultados do Cenário 1.

No **Ponto 13** (Figura 2.42), as componentes U e V da velocidade apresentam comportamento semelhante entre os dois cenários. Nos **Pontos 12 e 14** (Figuras 2.41 e 2.43), ambas as componentes U e V apresentaram reduções no Cenário 3, sendo essa redução mais expressiva no **Ponto 12** (Figuras 2.41) em função do aprofundamento considerado para essa região.

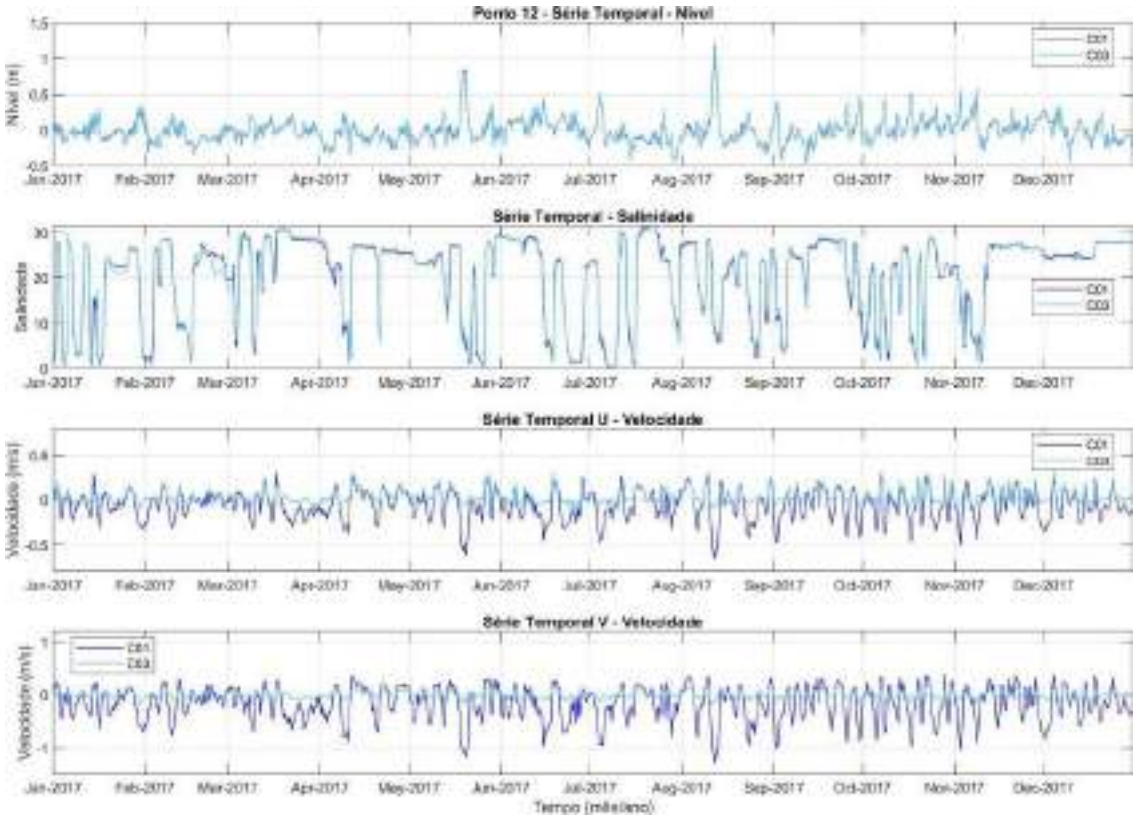


Figura 2.41: Séries temporais do nível (m), salinidade superficial e componentes médias U e V da velocidade (m s^{-1}) para o Ponto 12, indicado na Figura 2.9, para os Cenários 1 (azul escuro) e 3 (azul claro).

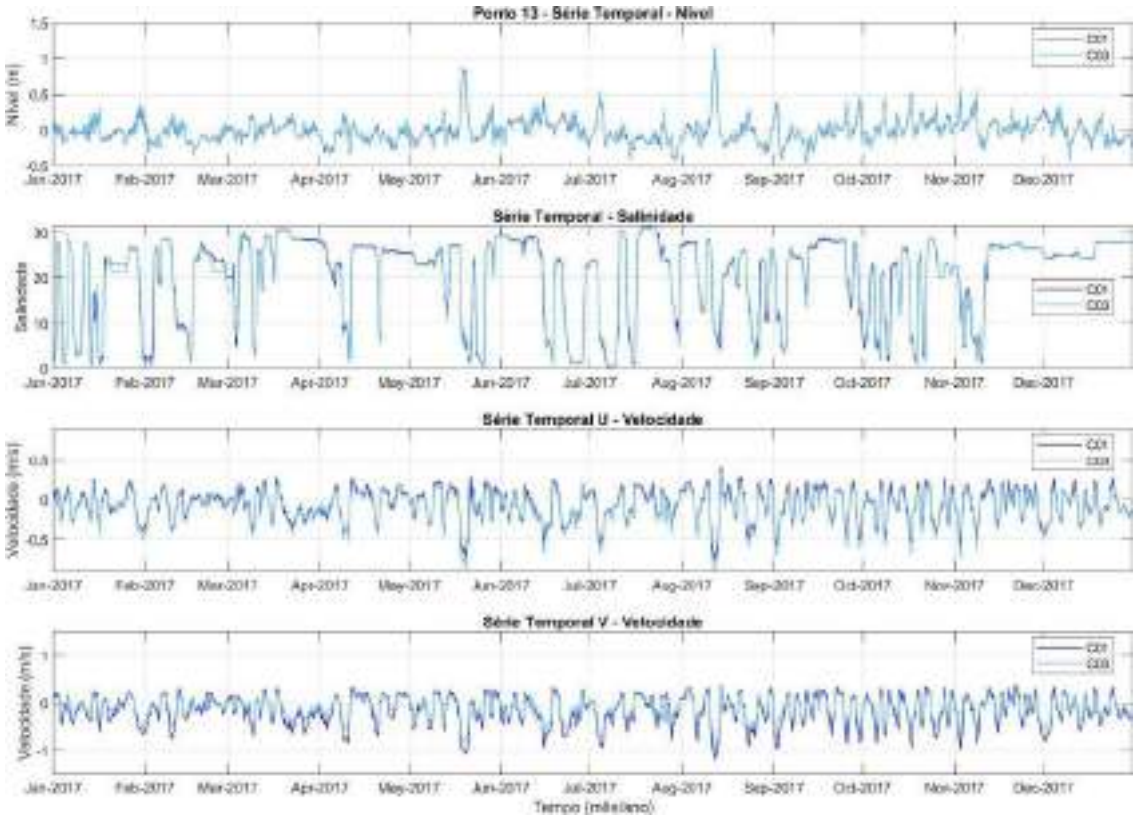


Figura 2.42: Séries temporais do nível (m), salinidade superficial e componentes médias U e V da velocidade (m s^{-1}) para o Ponto 13, indicado na Figura 2.9, para os Cenários 1 (azul escuro) e 3 (azul claro).

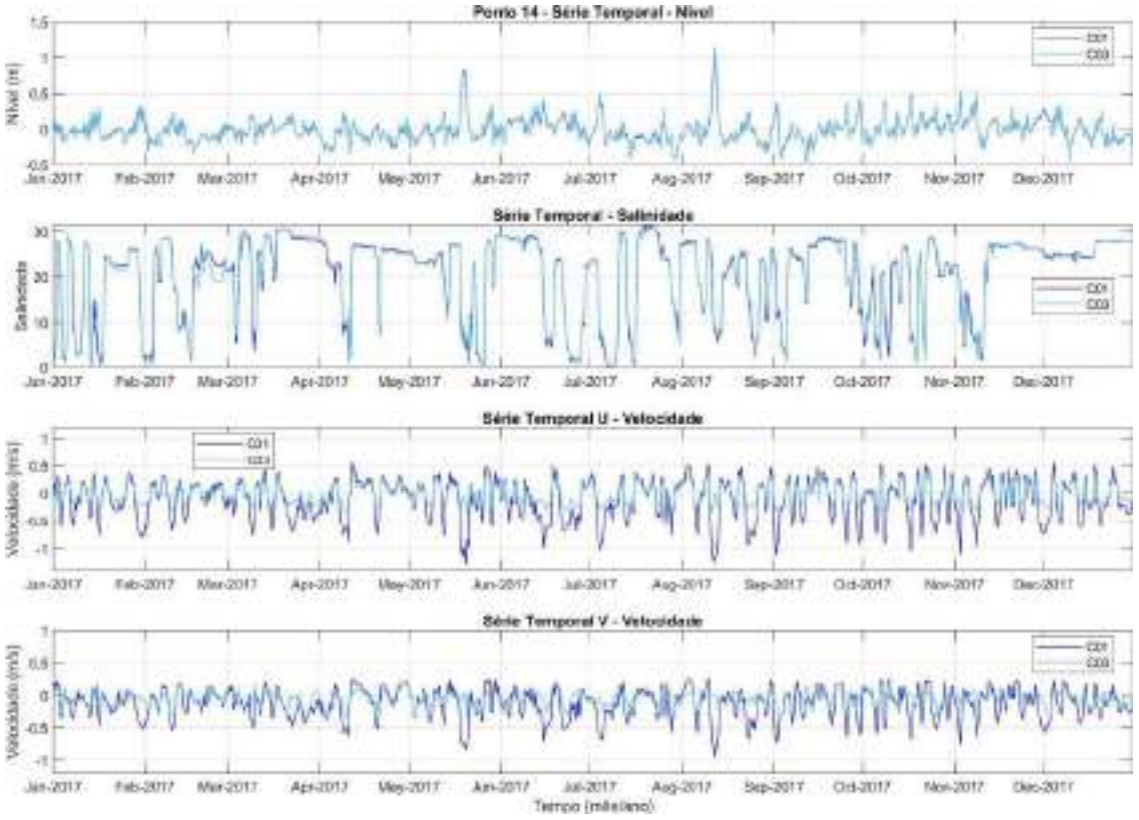


Figura 2.43: Séries temporais do nível (m), salinidade superficial e componentes médias U e V da velocidade (m s^{-1}) para o Ponto 14, indicado na Figura 2.9, para os Cenários 1 (azul escuro) e 3 (azul claro).

2.4.7 Comportamento do transporte de sedimentos na área do Terminal - Cenário atual (Cenário 1):

A Figura 2.44 apresenta os resultados da simulação do transporte de sedimentos para o **Cenário 1**, que representa a configuração atual da região do Terminal. O painel à esquerda (Figura 2.44a) exibe o campo médio do fluxo de deposição de sedimentos ao longo do período simulado, enquanto o painel à direita (Figura 2.44b) ilustra a evolução do fundo ao final da simulação, em 31 de dezembro de 2017 (ano neutro).

Os resultados indicam que os maiores fluxos de deposição ocorrem, principalmente, em áreas mais protegidas do sistema, como as margens do estuário e nas proximidades da Ilha Terrapleno (Figura 2.44a), na bacia de evolução do Porto Novo. Nessas regiões, a baixa energia hidrodinâmica favorece a deposição de partículas em suspensão, intensificando o processo de deposição. Já em relação a evolução do fundo (Figura 2.44b), os resultados indicam a evolução positiva do fundo (deposição) em todo domínio, onde as áreas com maior acúmulo de sedimento ao final do período (Figura 2.44b) coincidem com aquelas de maior fluxo médio de deposição (Figura 2.44a), chegando a atingir 3 mm de deposição por ano (valor a ser validado com dados de campo).

Logo, mesmo considerando o cenário atual (Cenário 1), há uma tendência de deposição em áreas específicas próximas às margens. Esses padrões de deposição e evolução morfológica servem como referência para avaliar os efeitos das intervenções propostas nos demais cenários.

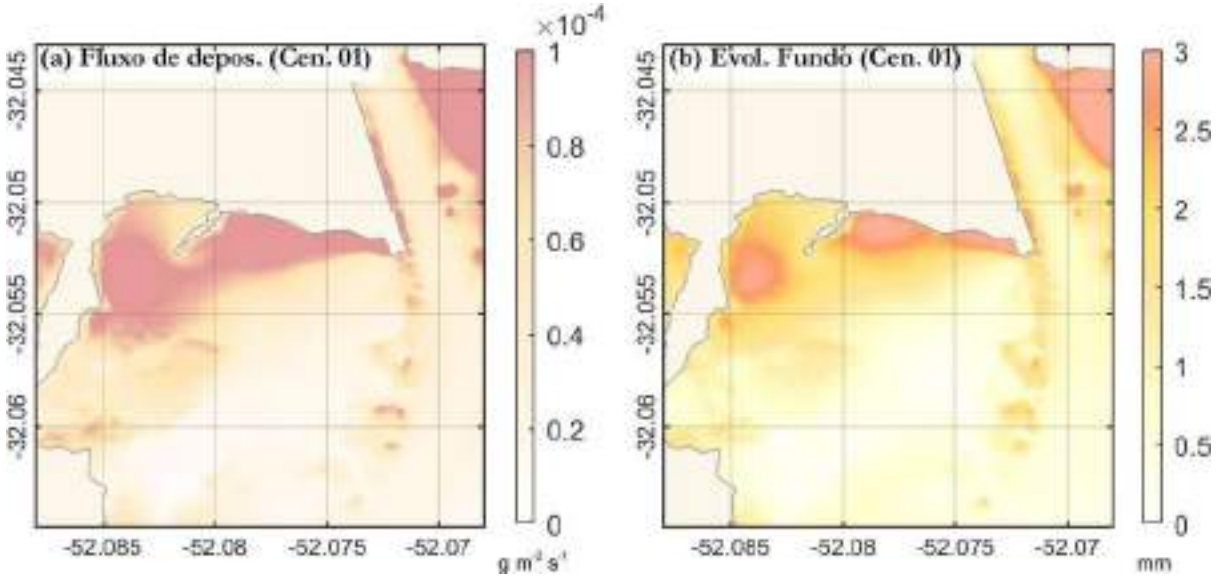


Figura 2.44: Resultados da simulação do Cenário 1 referentes ao transporte de sedimentos. a) o campo médio do fluxo médio de deposição de sedimentos (g m^{-2} s^{-1}) e b) evolução do fundo (mm) no último dia da simulação (31 de dezembro de 2017) na região do Terminal.

2.4.8 Comportamento do transporte de sedimentos na área do Terminal: Comparação entre cenário atual e cenários de intervenção

Com o objetivo de avaliar os impactos das intervenções propostas nos Cenários 2 e 3 sobre a dinâmica sedimentar da região do Terminal, foi realizada uma análise comparativa do comportamento do fluxo médio de deposição e da evolução do fundo em relação ao cenário atual (Cenário 1, Figura 2.44). Os resultados são apresentados nas Figuras 2.45 e 2.46, que incluem tanto os fluxos médios de deposição simulados para cada cenário quanto os mapas de diferenças entre os cenários. Nas figuras que apresentam as diferenças entre os cenários (Figuras 2.45c, 2.45f, 2.46c, 2.46f), os valores positivos indicam aumento no fluxo médio de deposição e na taxa de sedimentação nos cenários com intervenção (Cenários 2 e 3) em comparação ao Cenário 1, enquanto valores negativos apontam para reduções nesses parâmetros, sugerindo áreas onde a intervenção resultou em menor acúmulo de sedimentos ao longo do tempo de simulação.

No Cenário 2, observa-se uma intensificação dos processos de deposição em áreas específicas, especialmente na bacia de evolução e no setor à oeste do AWT, bem como nas proximidades do canal de navegação (Figura 2.45c). Esses resultados indicam que a geometria adotada neste cenário combinada com as condições hidrodinâmicas consideradas, favorece a concentração de sedimentos em pontos onde a energia do escoamento é reduzida. A evolução do fundo (Figura 2.45f) reforça essa tendência, com valores positivos indicando espessamento do fundo ao longo da simulação nas mesmas regiões. Também se destaca o aumento do acúmulo de sedimentos no trecho de ligação entre o estuário e o Saco da Mangueira, o que pode ser atribuído à reorganização do fluxo e à redistribuição de partículas em suspensão promovida pelas alterações morfológicas implementadas no cenário.

No Cenário 3, no qual o AWT e a bacia de evolução estão posicionados mais próximos ao canal de navegação, a evolução do fundo indica menores taxas de deposição nessa região quando comparada ao Cenário 2 (Figura 2.46c). Além disso, a configuração proposta para o AWT no Cenário 3 contribuiu para uma redução da deposição nas margens do estuário e para o surgimento de zonas alternadas de maior e menor deposição entre/atrás dos pilotes da estrutura do Terminal. A estrutura parece ainda criar uma zona de sombra e de evolução positiva do fundo atrás do Terminal (Figura 2.46f). Não foram identificadas alterações significativas nos padrões de deposição ao longo do canal de navegação quando comparados ao Cenário 1.

De maneira geral, os resultados indicaram que ambas as configurações alternativas de intervenção (Cenários 2 e 3) provocaram modificações localizadas no transporte e acúmulo de sedimentos, mas com efeitos distintos. Essas diferenças reforçam a importância de se considerar os efeitos morfodinâmicos das intervenções propostas durante o planejamento e a gestão portuária.

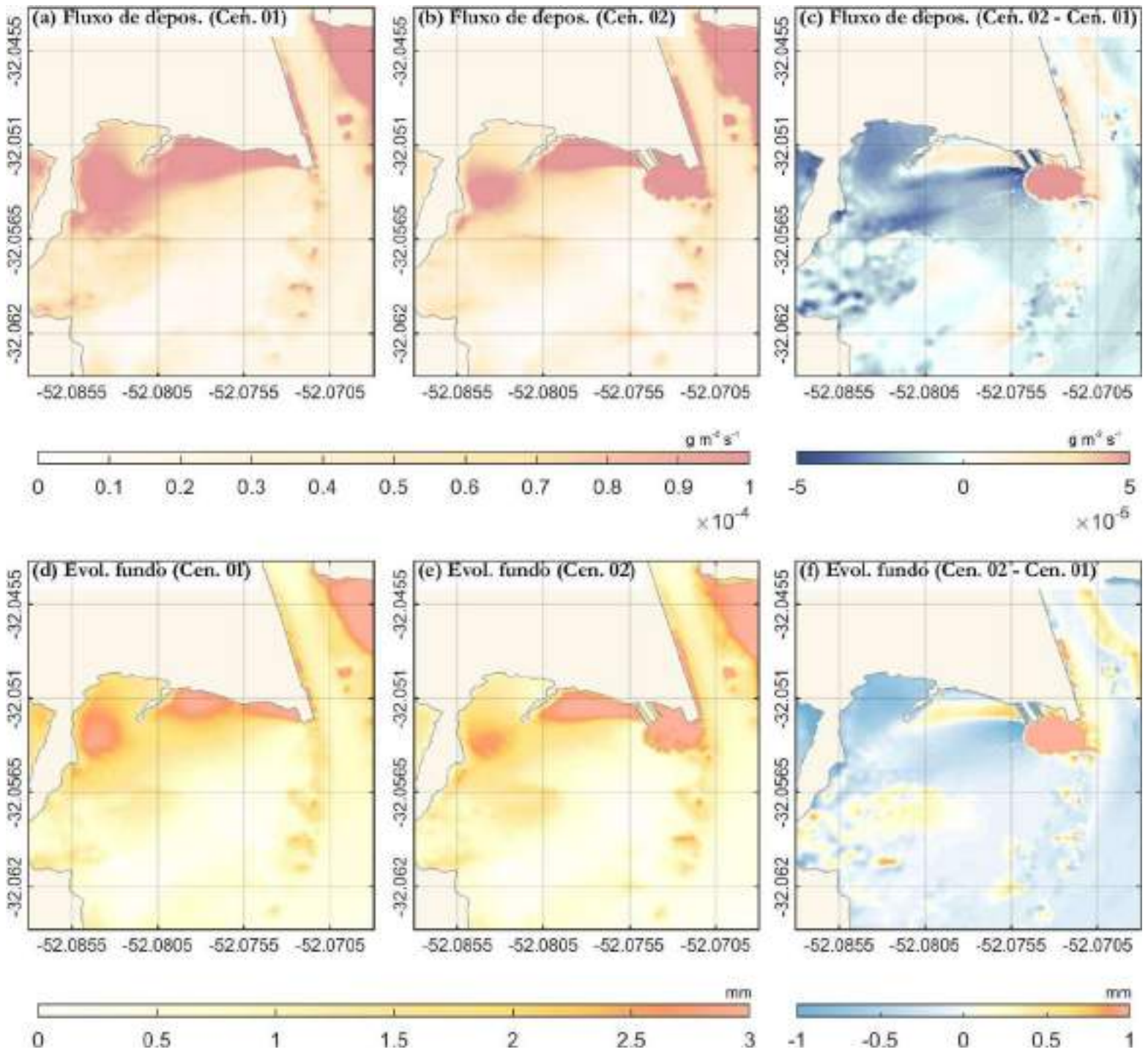


Figura 2.45: Campo médio do fluxo de deposição (g m^{-2} s^{-1}) e evolução do fundo (mm) no último dia da simulação (31 de dezembro de 2017) para os Cenários 1 e 2, além da diferença entre eles, na região do Terminal.

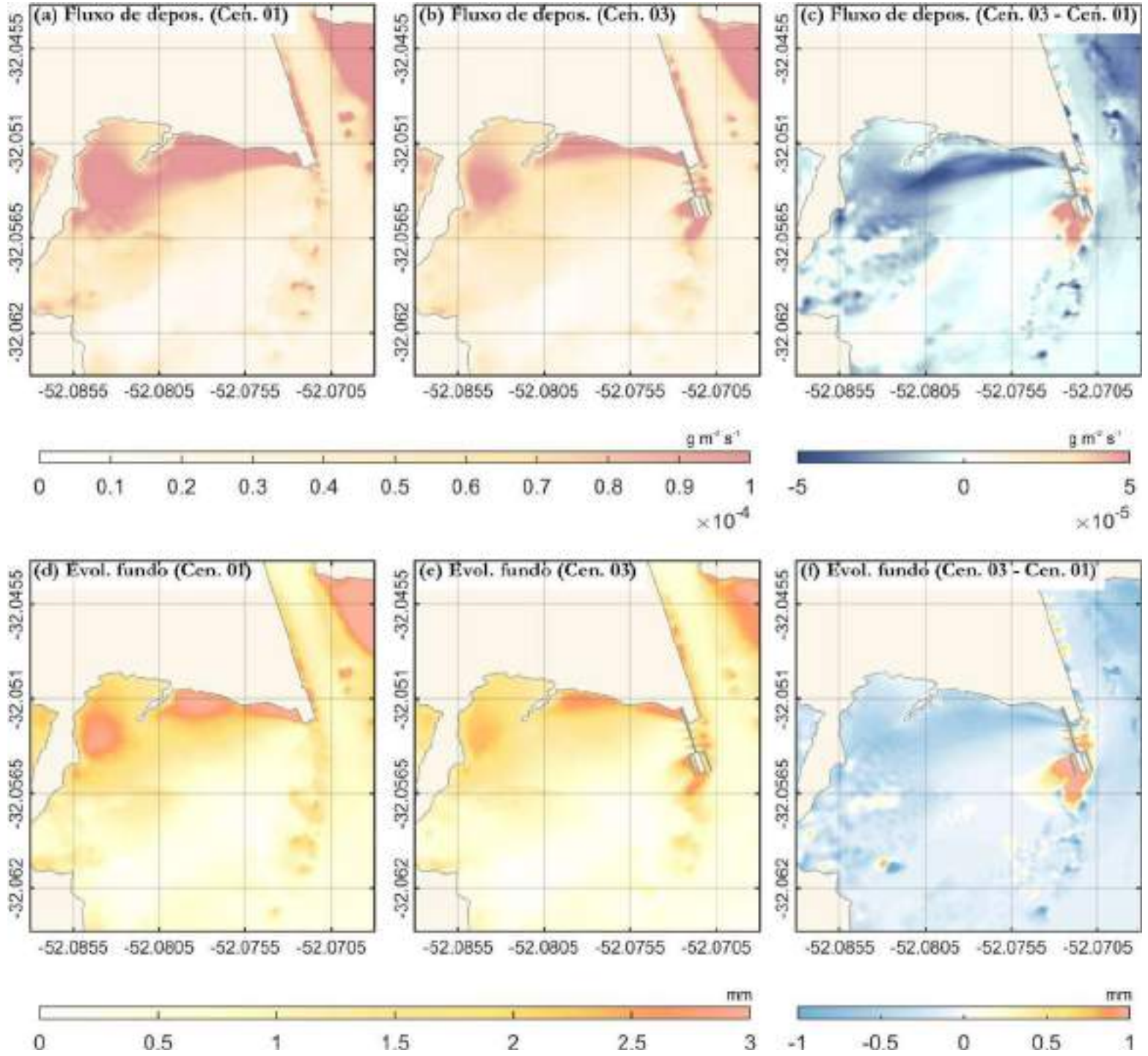


Figura 2.46: Campo médio do fluxo de deposição (g m^{-2} s^{-1}) e evolução do fundo (mm) no último dia da simulação (31 de dezembro de 2017) para os Cenários 1 e 3, além da diferença entre eles, na região do Terminal.

2.4.9 Simulação de validação com os dados de campo (2025)

Nesta seção, são apresentados os resultados da simulação numérica referente ao primeiro trimestre de 2025, correspondente a parte do período em que foram realizados os levantamentos de campo nas proximidades do Terminal. Com base nas saídas do modelo, foram estimadas as taxas de sedimentação potencial (Tabela 2.5), de forma a comparar as estimativas do modelo com os dados observados (Figura 2.47, Tabela 1.13).

Os resultados indicam que, embora o modelo seja capaz de estimar o padrão esperado de distribuição do sedimento em suspensão e de evolução do fundo no domínio, a taxa de deposição calculada pelo modelo é subestimada em uma ordem de grandeza.

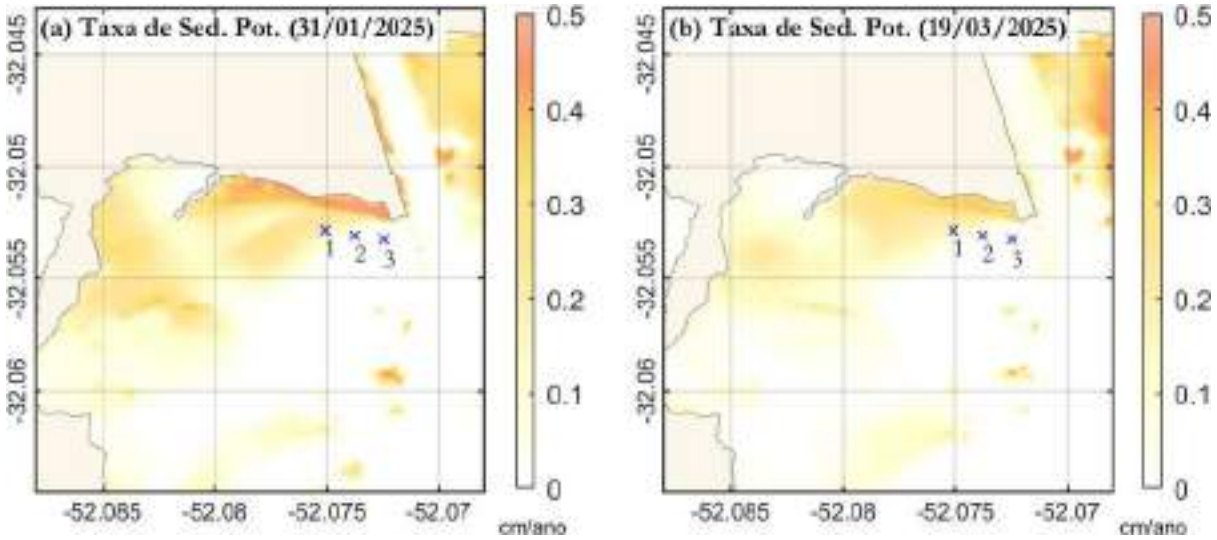


Figura 2.47: Taxa de sedimentação potencial (cm/ano) para o Cenário 1 nos dias (a) 31 de janeiro de 2025 e (b) 19 de março de 2025. Para cada data, a estimativa foi realizada com base na evolução do fundo ao longo de um intervalo de 6 horas, replicando a abordagem utilizada no experimento de campo, e posteriormente projetada para um período anual. Os pontos de amostragem 1, 2 e 3 são representados na figura pelo símbolo 'x'.

Tabela 2.5: Taxa de sedimentação potencial estimada através das medições de campo e da simulação numérica. Os valores correspondem à média obtida entre os três pontos de amostragem (Figura 2.47), para dois períodos distintos. O fator de ajuste foi obtido pela razão entre os dados observados e os valores simulados. O fator de ajuste médio foi utilizado para ajustar as estimativas de evolução do fundo no Cenário 1, 2 e 3, conforme apresentado na Figura 2.48.

Período	Taxa de sedimentação potencial (cm/ano)		Fator de ajuste
	Medições de campo	**Resultados do modelo**	
31/jan./2025	2,35	0,07	33,6
19/mar./2025	4,13	0,06	68,8
Valor médio	3,24	0,07	51,2

A subestimativa da taxa de sedimentação potencial calculada pelo modelo se justifica uma vez que inexistem séries temporais medidas de concentração de sedimento em suspensão para serem utilizadas como condição de contorno nos tributários da Lagoa dos

Patos. Em função desta limitação, são usualmente utilizados valores constantes de concentração de sedimento em suspensão para cada tributário, conforme recomendado por Marques et al. (2010a) e Bitencourt et al. (2020b) e apresentado na seção 2.3.1B. Os resultados do presente estudo, entretanto, indicam que estes valores estão subestimados.

Esta constatação da subestimativa das concentrações de sedimento em suspensão e da consequente subestimativa da taxa de deposição do modelo só foi possível porque durante este estudo as mesmas foram medidas em campo de forma inédita para a região. Porém, como o cronograma das medições de campo estava sobreposto ao cronograma das simulações numéricas, tornou-se inviável prescrever no modelo a taxa média de sedimentação medida em campo. Importante destacar que, em função da resolução espacial necessária para a adequada representação da estrutura do Terminal, a grade numérica considerou elementos de até 3 m na região do empreendimento, o que gerou um custo computacional muito elevado e a necessidade de refazer todas as simulações hidrodinâmicas. Cada uma das simulações realizadas levou 35 dias para finalizar.

Em função destas limitações, a taxa de sedimentação potencial anual para a região do empreendimento foi recalculada considerando o padrão de evolução do fundo calculado pelo modelo e a taxa média de deposição medida em campo, conforme apresentado na Figura 2.48 para o ano de 2017. Importante destacar, entretanto, que a taxa média de deposição foi medida em campo num intervalo de 6h durante 4 eventos (Tabelas 1.13 e 2.5), e extrapolada para um valor anual, o que pode gerar uma superestimativa de valores.

Com base nesta abordagem, os valores máximos de deposição calculados pelo modelo se aproximaram dos valores medidos em campo (pontos marcados com ‘x’ na Figura 2.48), ficando em torno de 7 cm/ano no Ponto 1, 5 cm/ano no Ponto 2 e 4 cm/ano no Ponto 3 para o cenário atual (Cenário 1, Figura 2.48a) e em torno de 15 cm/ano na margem.

Aplicando esta mesma abordagem para o Cenário 2, os valores ficam em média próximos a 15 cm/ano na bacia de evolução, atingindo até 20 cm nas regiões de maior acúmulo, localizadas a leste do AWT (Figura 2.48b). No Cenário 3, a deposição se apresenta de forma mais dispersa, com máximos de até 14 cm/ano ao redor do AWT (Figura 2.48c). Esses resultados evidenciam uma potencial intensificação do aporte sedimentar em áreas de operação do terminal.

Importante destacar, entretanto, que este tipo de limitação nos dados medidos e nos dados utilizados como condição de contorno e a utilização de algumas aproximações para superar estas limitações fazem parte de todo e qualquer estudo de modelagem numérica, evidenciando a carência pelo monitoramento permanente de variáveis importantes para o entendimento da dinâmica do sistema. O claro entendimento das limitações do estudo, entretanto, fornece a robustez necessária para a avaliação dos resultados obtidos.

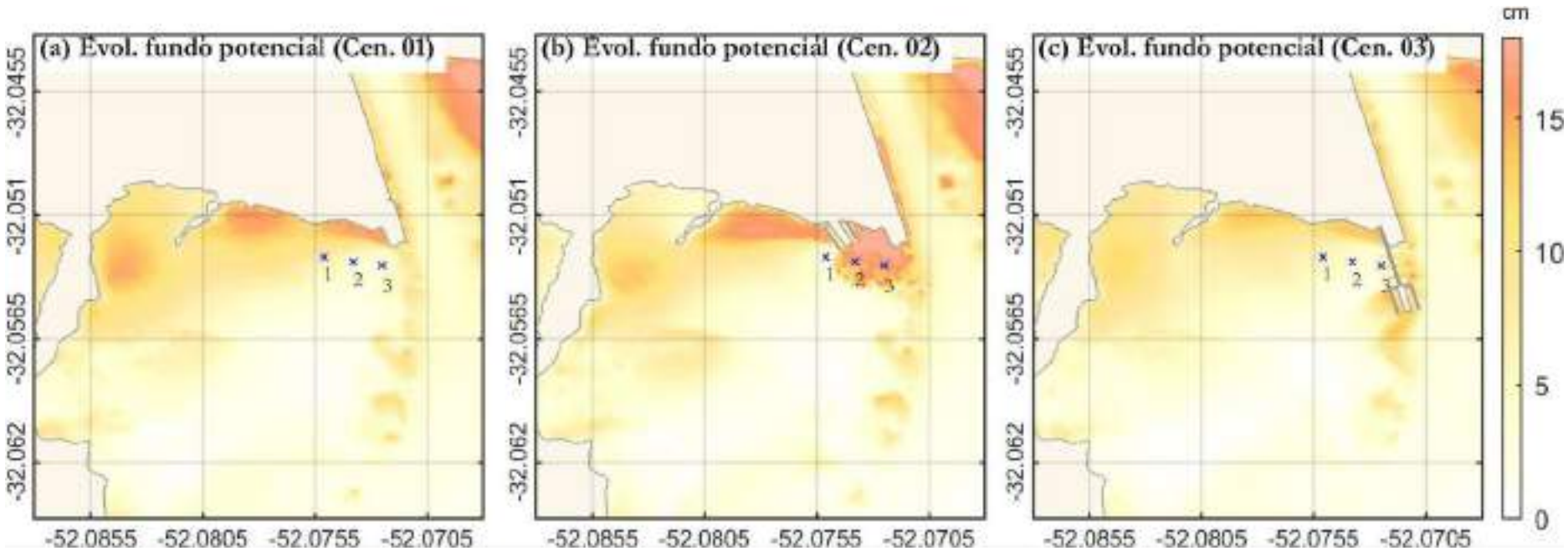


Figura 2.48: Evolução do fundo potencial (cm) no último dia da simulação (31 de dezembro de 2017) para os Cenários 1, 2 e 3. Os valores foram ajustados por um fator de correção obtido a partir de dados medidos em campo, visando uma melhor representação quantitativa da evolução do fundo. Os pontos de amostragem 1, 2 e 3 são representados na figura pelo símbolo ‘x’.

2.4.10 Simulação das condições de inundação

A Figura 2.49 apresenta a base cartográfica da região do Terminal da CMPC impressa sobre a imagem fotogramétrica da região, e a Figura 2.50 é a mesma base cartográfica sobre o Modelo Digital de Elevação (DEM), sobre o qual serão projetadas as condições de inundação referentes ao evento de maio de 2024.

Considerando os níveis calculados pelo modelo hidrodinâmico e as medições de nível no período do evento de inundação de maio de 2024, foi escolhido o dia de máxima inundação na cidade de Rio Grande (16 de maio) para a análise das condições de inundação na região do Terminal da CMPC. Neste dia, a cota, medida no mesmo referencial do DEM apresentado, atingiu 2,18 m no CCMAR. Cotas semelhantes só foram atingidas no estuário da Lagoa dos Patos no ano de 1941. Como elemento comparativo, no recente evento de junho de 2025, as cotas máximas foram da ordem de 1,20 m.

A Figura 2.51 apresenta as condições de inundação na região do empreendimento, na área do entorno urbano da Avenida Honório Bicalho, onde fica evidente que a área continental principal do Terminal não foi afetada no evento extremo de inundação de maio de 2024, embora bairros vizinhos tenham atingido 1,25 m de altura de água nas ruas (tom vermelho na escala).

As cotas de segurança da área do Terminal são apresentadas na Figura 2.52, indicando que a parte continental do Terminal não foi afetada pela cota máxima de inundação atingida na cidade de Rio Grande na estação FURG/CCMAR no dia 16 de maio de 2024. A maior parte desta área ficou pelo menos 50 cm acima deste nível de inundação.

Figura 2.49: Base cartográfica da região do Terminal da CMPC impressa sobre a imagem fotogramétrica da região.

Figura 2.50: Base cartográfica sobre o Modelo Digital de Elevação (DEM) da região do Terminal da CMPC.

Figura 2.51: Altura da coluna de água na área do Terminal CMPC e bairros vizinhos referente a cota máxima atingida no CCMAR no evento de inundação de maio de 2024.

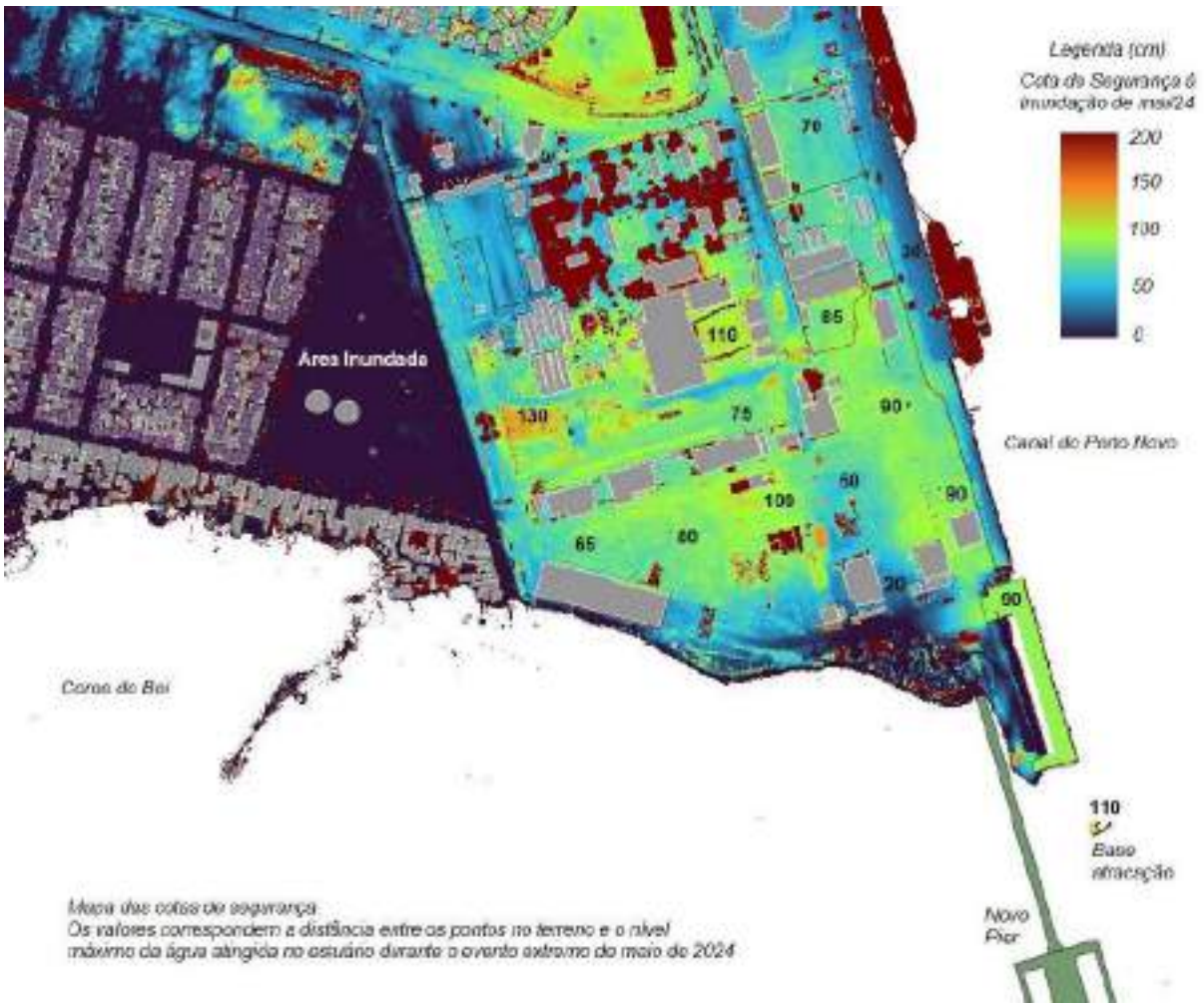


Figura 2.52: Mapa das cotas de segurança da área do Terminal. Os valores da escala de cores correspondem à distância entre o terreno e o nível máximo da água durante o evento extremo de maio de 2024.

Capítulo 3: Análise de impactos e propostas de mitigação

A construção de um novo terminal portuário pode impactar o comportamento do transporte de sedimentos por meio de processos como erosão e deposição, frequentemente exigindo dragagem e estratégias de gestão subsequentes para mitigar os efeitos ambientais negativos. Principais impactos e considerações de mitigação:

- **Alteração do equilíbrio sedimentar:** Novas estruturas físicas, como quebra-mares e estruturas de cais, podem perturbar o equilíbrio natural dos sedimentos, levando ao aumento da deposição em algumas áreas e à erosão em outras. Este comportamento foi observado em ambas as propostas de Cenários de intervenção consideradas neste estudo.

    - **No Cenário 2:** a evolução do fundo (Figura 2.45f e Figura 2.48b) reforça essa tendência de deposição na bacia de evolução e na margem a oeste do Terminal. Também se destaca o aumento do acúmulo de sedimentos no trecho de ligação entre o estuário e o Saco da Mangueira, o que pode ser atribuído à reorganização do fluxo e à redistribuição de partículas em suspensão promovida pela configuração do Cenário.

    - **No Cenário 3:** a configuração proposta para o AWT contribuiu para uma redução da deposição nas margens do estuário e para o surgimento de zonas alternadas de maior e menor deposição entre/atrás dos pilotes da estrutura do Terminal. A estrutura parece ainda criar uma zona de sombra e de deposição atrás do Terminal (Figura 2.46f e Figura 2.48c).

- **Dragagem e Remobilização de Sedimentos:** O aprofundamento de canais para navegação frequentemente envolve atividades de dragagem, o que pode perturbar os sedimentos do fundo marinho e potencialmente liberar contaminantes, demandando um gerenciamento cuidadoso do material dragado. No presente estudo, este aspecto demanda atenção para ambos os Cenários avaliados, uma vez que a região a ser dragada para a implantação do Terminal está localizada num baixio que recebeu durante décadas o despejo do emissário de esgoto da cidade de Rio Grande.

- **Reaproveitamento do material dragado:** Algumas amostras de sedimento que constam do relatório de qualidade do material indicam que há também areia. Dependendo de onde será a dragagem, e considerando uma distância curta, esse material poderia ser utilizado como aterro ou elevação do terreno (mitigação dos impactos das enchentes em regiões próximas, por exemplo). O material lamoso, não adequado para aterro, poderia ser descartado em áreas para crescimento de marismas. Estas alternativas devem ser avaliadas em um estudo específico, mas seria uma mitigação do processo de dragagem, especialmente porque os volumes são relativamente pequenos quando comparados com a dragagem de manutenção do canal de acesso principal.

- **Mudanças nos Processos Costeiros:** A colocação de estruturas pode alterar os padrões de ondas e correntes, influenciando as vias de transporte de sedimentos e potencialmente afetando as taxas de erosão e acreção das linhas de costa.
    - **No Cenário 2:** embora a região apresente padrão natural de deposição e potencial acreção da linha de costa (Figuras 2.45a e 2.45d), a comparação com o cenário original (Figuras 2.45c, 2.45f e 2.48b) indica deposição a leste e oeste do Terminal ao longo de um ano.
    - **No Cenário 3:** embora a região apresente padrão natural de deposição e potencial acreção da linha de costa (Figuras 2.46a e 2.46d), a comparação com o cenário original (Figuras 2.46c, 2.45f e 2.48c) revela uma diminuição dos volumes de deposição próximo à costa ao redor do Terminal no intervalo de um ano.

- **Medidas de Mitigação:**
    - Para minimizar impactos adversos, o monitoramento dos processos costeiros, incluindo a morfologia da linha de costa, os padrões de erosão e as tendências de transporte de sedimentos são cruciais. Logo, estabelecer Programas de Monitoramento da hidrodinâmica (correntes) e transporte sedimentar (concentrações e taxas de deposição do material em suspensão) é essencial para lidar com impactos imprevistos e garantir a sustentabilidade a longo prazo.
    - Outras propostas de Cenários para reduzir o acúmulo de sedimentos na região de interesse poderão ser encaminhadas pela equipe de engenharia do Projeto para posterior realização de novas simulações numéricas. Importante destacar, entretanto, que quanto menor o estabelecimento de áreas de baixa hidrodinâmica (como as bacias de evolução, por exemplo), menor será a tendência de acúmulo de sedimento.
    - Como o local de implantação do Terminal é uma região que não apresentou risco de inundação no evento de maio de 2024, não faz-se necessário considerar medidas de mitigação dos riscos de inundação neste momento.

- **Avaliação da Necessidade de Dragagem e sua Frequência:** A necessidade de dragagem está diretamente relacionada à dinâmica sedimentar da região, sendo essencial para garantir profundidades adequadas à operação segura de embarcações, especialmente em áreas sujeitas à deposição de sedimentos.
    - Os resultados observacionais sugerem uma taxa de sedimentação potencial média de 7 cm/ano, a partir de armadilhas de sedimento, que não considera o processo de erosão nem consolidação do sedimento depositado, e extrapola

para todo o ano o que foi observado sob condições hidrodinâmicas específicas do momento das medições. Os resultados de velocidade de decantação do sedimento em suspensão é 0,2 cm/s, que é bastante baixa (reduz a deposição). E, adicionalmente, a disponibilidade de sedimento também é baixa, associada com períodos de vazão fluvial muito alta ou períodos de entrada de água costeira. Isto suporta a hipótese que a taxa de sedimentação efetiva pode ser consideravelmente menor do que 7 cm/ano. Considerando este valor conservativamente, é esperado um período de 7 anos para um acúmulo de 0,5 m de sedimento. Isto, considerando a presente morfologia da área. Considerando o design do projeto, que cria uma área de baixa hidrodinâmica, é possível que o tempo para deposição de 0,5 m reduza para 4 ou 5 anos. Deve ser considerado também a alta variabilidade do regime hidrológico e aporte de sedimentos fluviais na Lagoa dos Patos. Em anos de baixa descarga haverá menor disponibilidade de sedimentos, e a taxa de sedimentação será menor.

- **Considerando a modelagem do Cenário 2:** A deposição sedimentar é intensificada sobretudo na região da bacia de evolução e no setor a oeste do AWT (Figura 2.48b). A deposição anual alcança aproximadamente 17 cm/ano nas zonas com maior acúmulo sedimentar. Essa condição reforça a necessidade de intervenções periódicas de dragagem para assegurar a profundidade operacional mínima. Considerando um limite de assoreamento de 0,5 m, a frequência estimada para a realização de campanhas de dragagem é de aproximadamente 3 anos.

- **Considerando a modelagem do Cenário 3:** observa-se uma redistribuição espacial da deposição de sedimentos, com acúmulos mais concentrados na porção externa do canal de acesso e menor deposição nas margens do estuário (Figura 2.48c). Embora ainda ocorra sedimentação (com valores de aproximadamente 14 cm/ano), a configuração do AWT parece favorecer uma maior dispersão do material em suspensão, mitigando o assoreamento imediato no entorno do Terminal. Considerando um limite de assoreamento de 0,5 m, essa dinâmica sugere que, sob tal configuração, a frequência necessária de dragagem pode ser ligeiramente inferior à observada no Cenário 2, sendo estimada em aproximadamente 3 anos e meio.

- Considerando todas as complexidades associadas com a movimentação e deposição de sedimentos finos, a real taxa de deposição na área do projeto após a dragagem somente poderá ser estabelecida a posteriori. Para isto devem ser realizados levantamentos batimétricos em intervalos regulares, pelo menos uma vez ao ano.

- As Figuras 2.53 e 2.54 apresentam os volumes estimados de dragagem para cada cenário. No Cenário 2, o volume total previsto é de aproximadamente 591.043 m³ (Figura 2.53), enquanto no Cenário 3, a dragagem requerida é de cerca de 281.780 m³ (Figura 2.54).

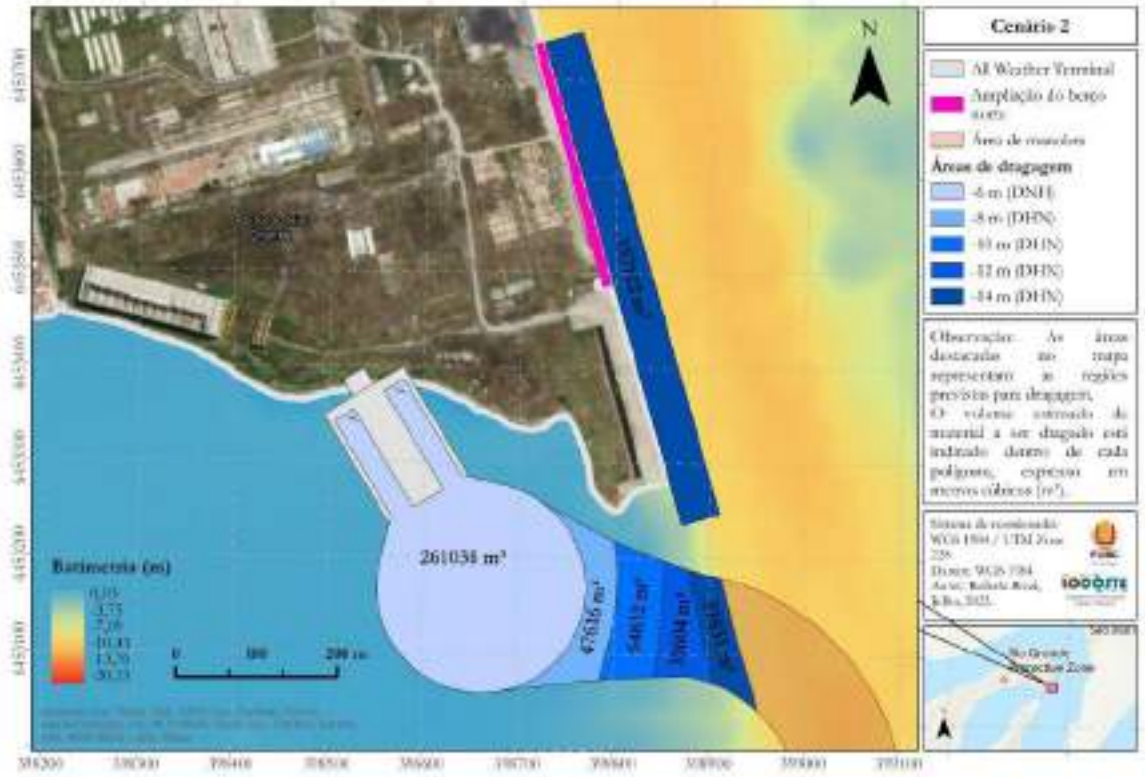


Figura 2.53: Volume estimado de dragagem (m³) para o Cenário 2, calculado com base na batimetria atual e na profundidade requerida definida para cada área operacional.

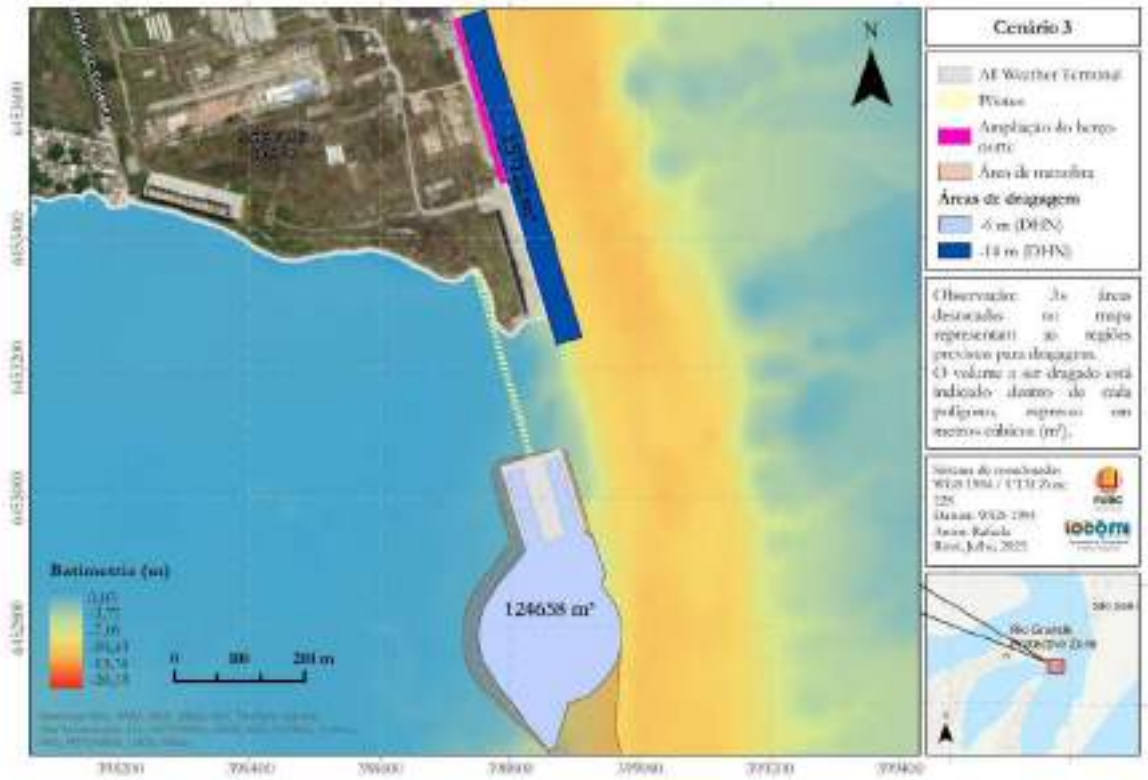


Figura 2.54: Volume estimado de dragagem (m³) para o Cenário 3, calculado com base na batimetria atual e na profundidade requerida definida para cada área operacional.

Capítulo 4: Conclusões - Etapa 1

A partir da análise dos dados obtidos em campo pode-se concluir que:

- A concentração de sedimento em suspensão na área é baixa na maior parte do tempo (< 20 mg/L);

- A origem do sedimento em suspensão é principalmente devido a processos advectivos, sendo provenientes ou da lagoa, ou da região costeira;

- O sedimento em suspensão apresenta uma velocidade de decantação de 2 mm/s;

- As correntes sobre o baixio são determinadas pelo vento, e são suficientes para manterem sedimentos finos em suspensão;

- Existe movimentação de sedimentos sobre os baixios, indicada pela taxa de sedimentação potencial medida através das armadilhas de 7 cm/ano. Porém estes valores devem ser considerados como valores de referência, e a deposição efetiva deve ser consideravelmente inferior.

Considerando os resultados da modelagem numérica, pode-se concluir que:

- Em relação a validação do modelo hidrodinâmico, a reprodução do teste padrão de validação realizado no LOCOSTE indicou que o modelo foi capaz de representar de forma confiável a variabilidade da salinidade ao longo do tempo, garantindo a aplicabilidade do Modelo TELEMAC-3D para estudos hidrodinâmicos na região;

- A hidrodinâmica da Lagoa dos Patos e seu estuário nas condições de vento e descarga características da região apresentou resultados coerentes com estudos anteriores;

- A hidrodinâmica da região do AWT na sua configuração original (Cenário 1) foi descrita com sucesso para as situações de ventos predominantes (NE e SO) e alta e baixa descarga. Os resultados evidenciaram, entretanto, que a generalização de comportamentos para cada situação meteoceanográfica analisada deve ser considerada com cautela;

- Os resultados hidrodinâmicos para o Cenário 2 considerando as situações de ventos predominantes (NE e SO) e alta e baixa descarga indicaram que a configuração proposta para o AWT promove áreas de baixas velocidades de corrente no entorno do AWT, principalmente na região da bacia de evolução (Figuras 2.18–2.21, Figuras 2.26 –2.29 e Figuras 2.39–2.40);

- Os resultados hidrodinâmicos para o Cenário 3 considerando as situações de ventos predominantes (NE e SO) e alta e baixa descarga indicaram que a configuração proposta para o AWT promove redução das componentes U e V da velocidade na região da bacia de evolução (Figuras 2.22–2.29 e Figura 2.41) e a ocorrência de velocidades de corrente mais baixas na zona de sombra atrás do AWT na maioria das situações (Figuras 2.22–2.29), especialmente durante períodos de vazante (ventos de NE), e velocidades mais intensas entre os pilotes da estrutura do Terminal (Figuras 2.26–2.29);

- As modificações morfológicas propostas nos Cenários 2 e 3 resultam em respostas sedimentares distintas, com implicações para a dinâmica do sistema e manutenção das áreas navegáveis;

- Nos Cenários 2 e 3, verificou-se uma intensificação dos fluxos de deposição e do acúmulo de sedimentos, especialmente na bacia de evolução e nas margens do estuário (Figura 2.45, 2.46 e 2.48);

- No Cenário 3, a configuração do AWT passou a exercer um papel de barreira física, atenuando o acúmulo de partículas em suspensão na margem oeste do estuário em comparação aos Cenários 1 e 2 (Figura 2.46 e 2.48);

- A ausência de séries temporais de concentração de sedimento em suspensão nos tributários da Lagoa dos Patos comprometeu a representatividade das condições de contorno empregadas nas simulações, que se basearam em valores constantes sugeridos pela literatura. As medições inéditas das taxas de deposição em campo indicam que essas concentrações estão subestimadas (Tabela 2.5), evidenciando a necessidade de revisão desses dados em estudos futuros;

- A projeção da taxa de sedimentação potencial média medida em campo sobre as tendências de distribuição do sedimento calculadas pelo modelo para a área do Terminal permitiu a apresentação de estimativas quantitativas sobre a evolução do fundo potencial nos cenários original e de intervenção (Figura 2.48);

- A realização das saídas de campo em cronograma simultâneo às simulações numéricas impossibilitou que os valores medidos de taxa de deposição (finalizados em junho e disponibilizados em julho) fossem aplicados nas simulações de transporte sedimentar para a adequada estimativa da evolução do fundo na área do Terminal sob os diferentes Cenários avaliados;

- A área do Terminal de Celulose não foi afetada pela cota máxima de inundação observada no evento de maio de 2024 (Figura 2.52).

Capítulo 5: Detalhamento do Cenário 3 - Etapa 2

Uma nova simulação foi realizada para o Cenário 3, utilizando uma grade computacional de maior resolução espacial e detalhamento do projeto do Terminal AWT, referida como **Cenário 3***. Essa configuração foi desenvolvida com o objetivo de representar de forma mais detalhada os processos hidrodinâmicos e sedimentares locais.

5.1 Metodologia

5.1.1 Domínio e configuração da nova grade computacional

O novo domínio computacional corresponde a um recorte da grade originalmente utilizada (Figuras 2.2–2.5, Figura 5.1a), abrangendo a região portuária de Rio Grande e o Saco da Mangueira, no interior da Lagoa dos Patos (entre 32,03°S–32,18°S e 52,03°W–52,15°W; Figura 5.1b). A discretização do domínio foi realizada no software BlueKenue, adotando elementos finitos triangulares não estruturados com tamanhos variáveis. A nova grade apresenta 24.606 elementos, com resolução mínima de 5 m (nas grades anteriores, o menor elemento possuía 10 m), o que permitiu representar com maior fidelidade as feições de interesse. A estrutura do AWT inserida na grade é composta por 37 pilares de 5 × 5 m, espaçados entre 15 e 19 m (Figura 5.2). A representação buscou manter a geometria do projeto, respeitando as limitações do modelo numérico. Essa abordagem permite avaliar de forma mais realista os efeitos da estrutura sobre a circulação e o transporte de sedimentos na região.

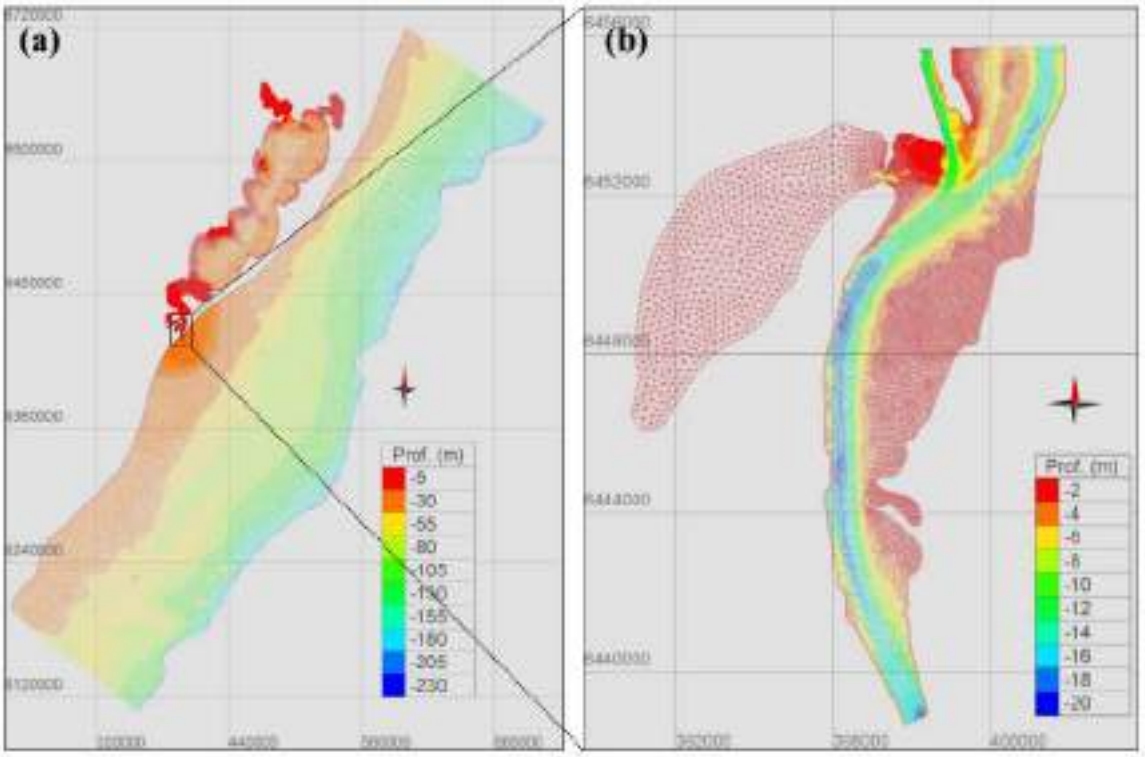


Figura 5.1: Domínios computacionais (a) grade numérica original e distribuição de profundidades (escala de cores); (b) grade numérica reduzida e distribuição de profundidades (escala de cores).

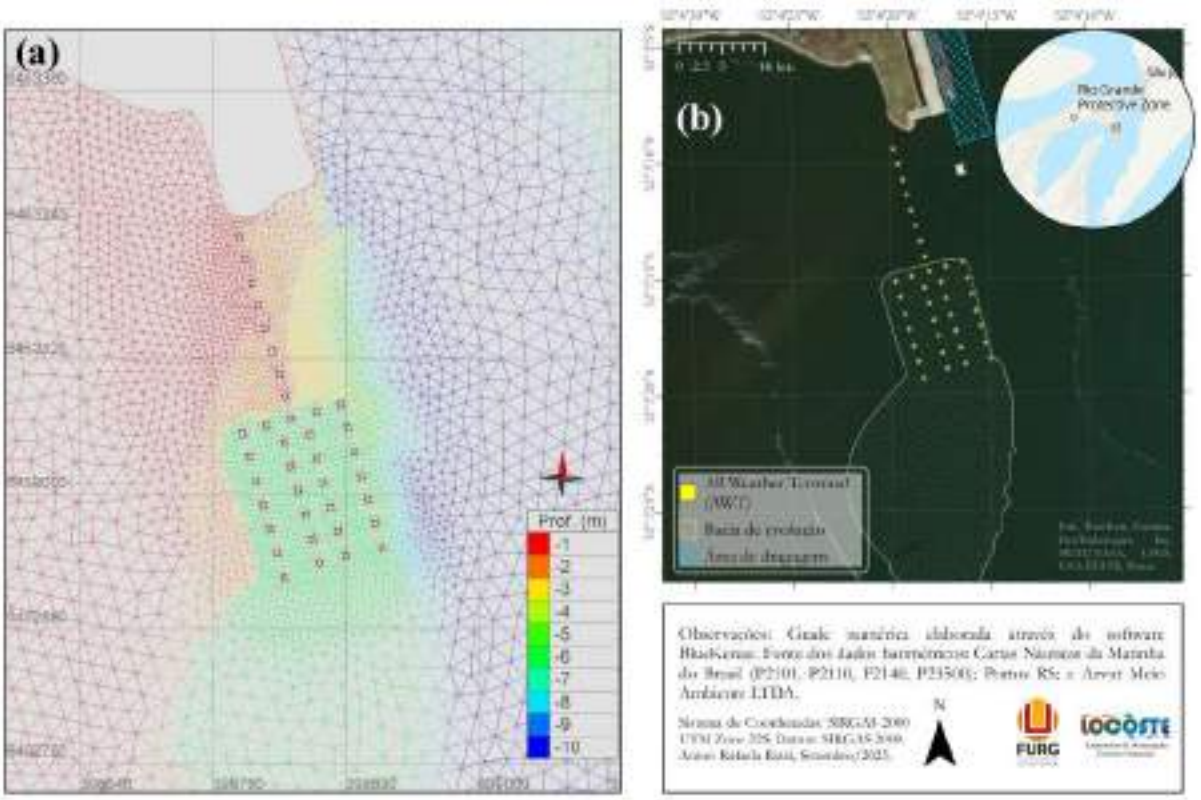


Figura 5.2: Grade numérica do Cenário 3*: (a) ampliação da grade para visualização da região do AWT (All Weather Terminal); e (b) detalhes sobre a configuração do AWT proposta pelos Contratantes, que inclui o AWT, e regiões de dragagem (-14 m DHN sobre o canal de navegação, -6 m DHN na bacia de evolução).

As simulações hidrodinâmicas e de transporte de sedimentos em suspensão foram conduzidas com o módulo TELEMAC-3D (versão V8P2r1), utilizando os parâmetros físicos descritos nas Tabelas 5.1 e 5.2. Os dados batimétricos empregados foram os mesmos das simulações anteriores, assegurando consistência entre os experimentos numéricos. As condições iniciais e de contorno (velocidade, nível e traçadores – temperatura, salinidade e concentração de sedimento em suspensão) foram obtidas a partir das saídas da simulação anterior, realizada entre 10 de dezembro de 2016 e 31 de dezembro de 2017. A representação esquemática das fronteiras abertas e fechadas do domínio, bem como das variáveis aplicadas em cada contorno, é apresentada na Figura 5.3.

Tabela 5.1: Principais parâmetros físicos considerados para o módulo hidrodinâmico do TELEMAC-3D.

Parâmetro	Parametrização/valor
Coriolis coefficient	$-7{,}71 \cdot 10^{-5}$
Horizontal turbulence model	Smagorinsky
Vertical turbulence model	Mixing length
Tidal flats	Yes
Time step	4 s
Law of bottom friction	Nikuradse
Friction coefficient for the bottom	$1{,}0 \cdot 10^{-4}$
Coefficient of wind influence	$3{,}0 \cdot 10^{-6}$

Tabela 5.2: Principais parâmetros físicos considerados para o módulo de sedimento em suspensão SED-3D do TELEMAC-3D.

Parâmetro	Parametrização/valor
Suspended sediment class	Fine silt
Mean diameter of the sediment	$1 \cdot 10^{-5}$ m
Critical shear stress for erosion	10 N m^{-2}
Critical shear stress for deposition	0.05 N m^{-2}
Cohesive sediment	Yes
Density of the sediment	2650 kg m^{-3}
Flocculation formula	Van Leussen
Sediment settling velocity	$1 \cdot 10^{-5}$ m s^{-1}

Figura 5.3: Condições de contorno e as fronteiras abertas consideradas na simulação de alta resolução do Cenário 3*. O domínio da grade está representado pelo polígono cinza e as condições nos contornos abertos estão representadas por linhas amarelas para os contornos onde são forçados dados de velocidade, nível, salinidade, temperatura e concentração de sedimentos em suspensão.

5.1.2 Análise da hidrodinâmica e do transporte de sedimentos

Assim como no Capítulo 2, a análise dos resultados hidrodinâmicos, com foco nas alterações decorrentes da inserção da estrutura do AWT, será apresentada na forma de campos médios de velocidade de corrente (m s^{-1}) e salinidade superficial, bem como através de séries temporais desses parâmetros nos pontos indicados na Figura 2.9. A elevação do nível do mar (m) será representada exclusivamente por meio de séries temporais na comparação entre os cenários. Mantêm-se os mesmos períodos de análise definidos anteriormente (Tabela 2.4), correspondentes a condições de alta e baixa descarga dos rios tributários sob a influência dos ventos de nordeste (NE) e sudoeste (SO). O transporte de sedimentos em suspensão será avaliado por meio da evolução do fundo (cm), de modo a identificar possíveis mudanças na dinâmica sedimentar associadas à presença da estrutura.

5.2 Resultados

Os resultados apresentados a seguir correspondem à simulação realizada com a grade reduzida (Cenário 3*). Para fins de comparação e contextualização, os campos hidrodinâmicos e de transporte de sedimentos obtidos para a grade computacional completa são mostrados na Figuras 2.12–2.48, contemplando os mesmos períodos de análise, definidos na Tabela 2.4. Nesta seção, o foco será a região portuária e o entorno da estrutura, permitindo avaliar, com maior resolução espacial, as alterações induzidas pelo AWT nos padrões locais de circulação e deposição de sedimentos.

5.2.1 Cenário 3*: Hidrodinâmica da área do AWT

A. Condição de alta descarga

Os resultados do Cenário 3* para os eventos E1 (26/04/2017), E2 (13/08/2017) e E3 (23/08/2017), correspondentes ao período de alta descarga sob ventos de NE (Tabela 2.4), estão apresentados na Figura 5.4, na forma de campos médios de velocidade da corrente e salinidade superficial. Em todos os eventos, verifica-se o predomínio de escoamento de vazante, embora com intensidades distintas entre as situações analisadas (Figuras 5.4a, 5.4c, 5.4e). Nos eventos E1 e E2, observa-se o transporte de água do interior do Saco da Mangueira em direção ao canal principal (Figuras 5.4a, 5.4c), enquanto em E3 o fluxo se inverte, indicando fraco movimento de enchente no local (Figura 5.4e). A salinidade apresenta forte variação entre os eventos, refletindo a variabilidade das condições hidrológicas e de vento atuantes: valores próximos a 26 no E1 (Figura 5.4b), redução para cerca de 5 no E2 (Figura 5.4d) e aumento para aproximadamente 13 no E3 (Figura 5.4f).

Na Figura 5.5, são apresentados os resultados do Cenário 3* para os eventos E1 (14/03/2017), E2 (16/05/2017) e E3 (23/10/2017), representativos de condições de alta descarga sob ventos de SO (Tabela 2.4). Os padrões de corrente indicam predominância de escoamento de vazante no evento E1 (Figura 5.5a) e de enchente nos eventos E2 (Figura

5.5c) e E3 (Figura 5.5e). Em comparação a E1 (Figura 5.5a) e E2 (Figura 5.5c), no E3 as correntes são localmente invertidas, com fluxo saindo do Saco da Mangueira (Figura 5.5e). A magnitude das correntes são semelhantes nos eventos E2 (Figura 5.5c) e E3 (Figura 5.5e), enquanto em E1, as velocidades são mais baixas (Figura 5.5a). São percebidas zona de sombra hidrodinâmica a jusante do AWT e menores velocidades nas regiões de dragagem (canal de navegação e bacia de evolução) principalmente nos eventos E2 (Figura 5.5c) e E3 (Figura 5.5e). O padrão de salinidade é semelhante em todos os eventos, atingindo valores próximos a 29 (Figuras 5.4b, 5.4d, 5.4f). Em E2 (Figura 5.4d) e E3 (Figura 5.4f), são percebidas salinidades mais baixas na zona protegida pelo AWT.

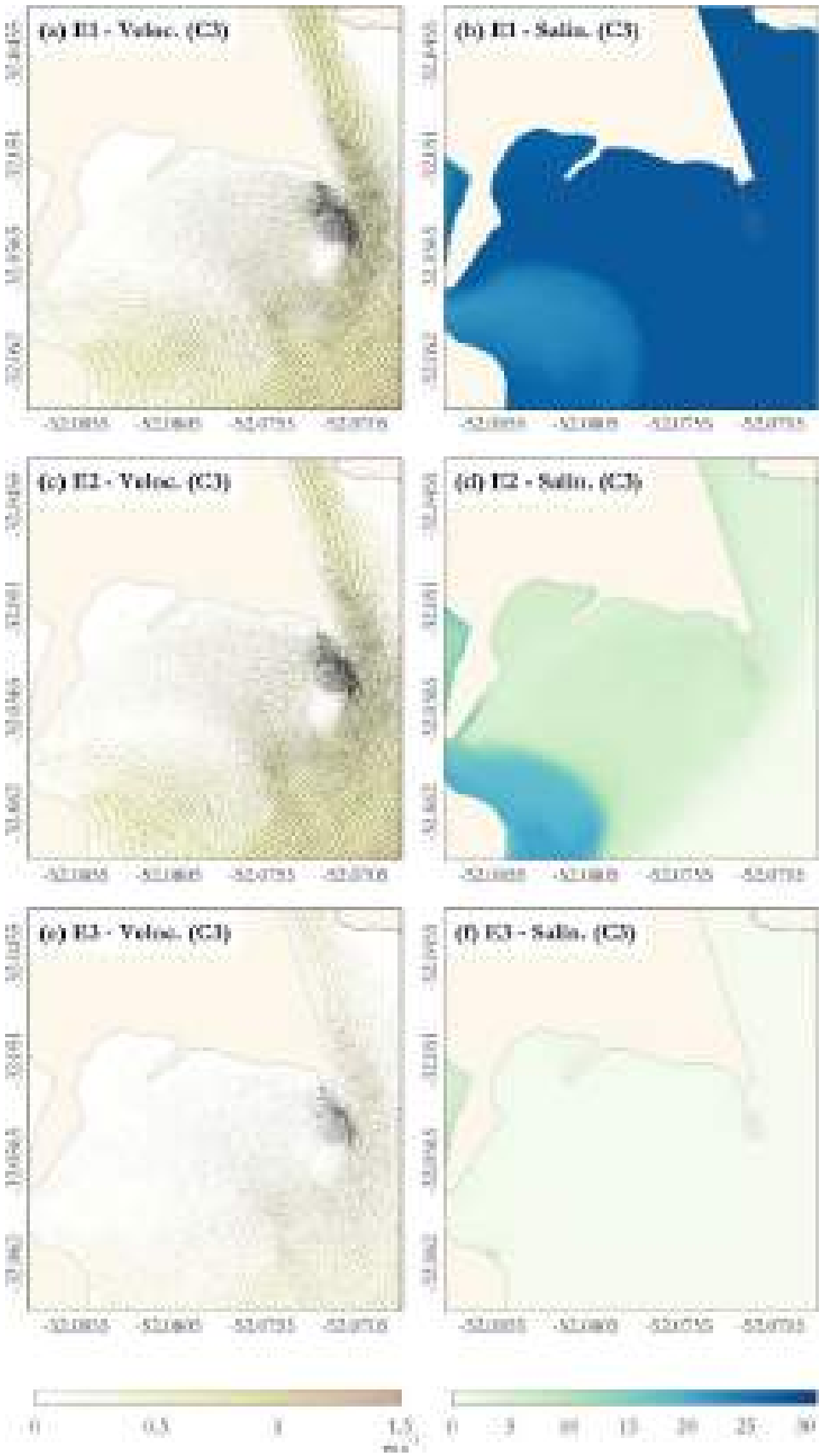


Figura 5.4: Campos médios de velocidade da corrente (m s^{-1}) (coluna da esquerda) e salinidade superficial (coluna da direita) na região do AWT para o Cenário 3* de alta resolução durante os eventos E1 (14/03/2017), E2 (16/05/2017) e E3 (23/10/2017, Tabela 2.4), caracterizados por alta descarga sob a influência de ventos de nordeste (NE).

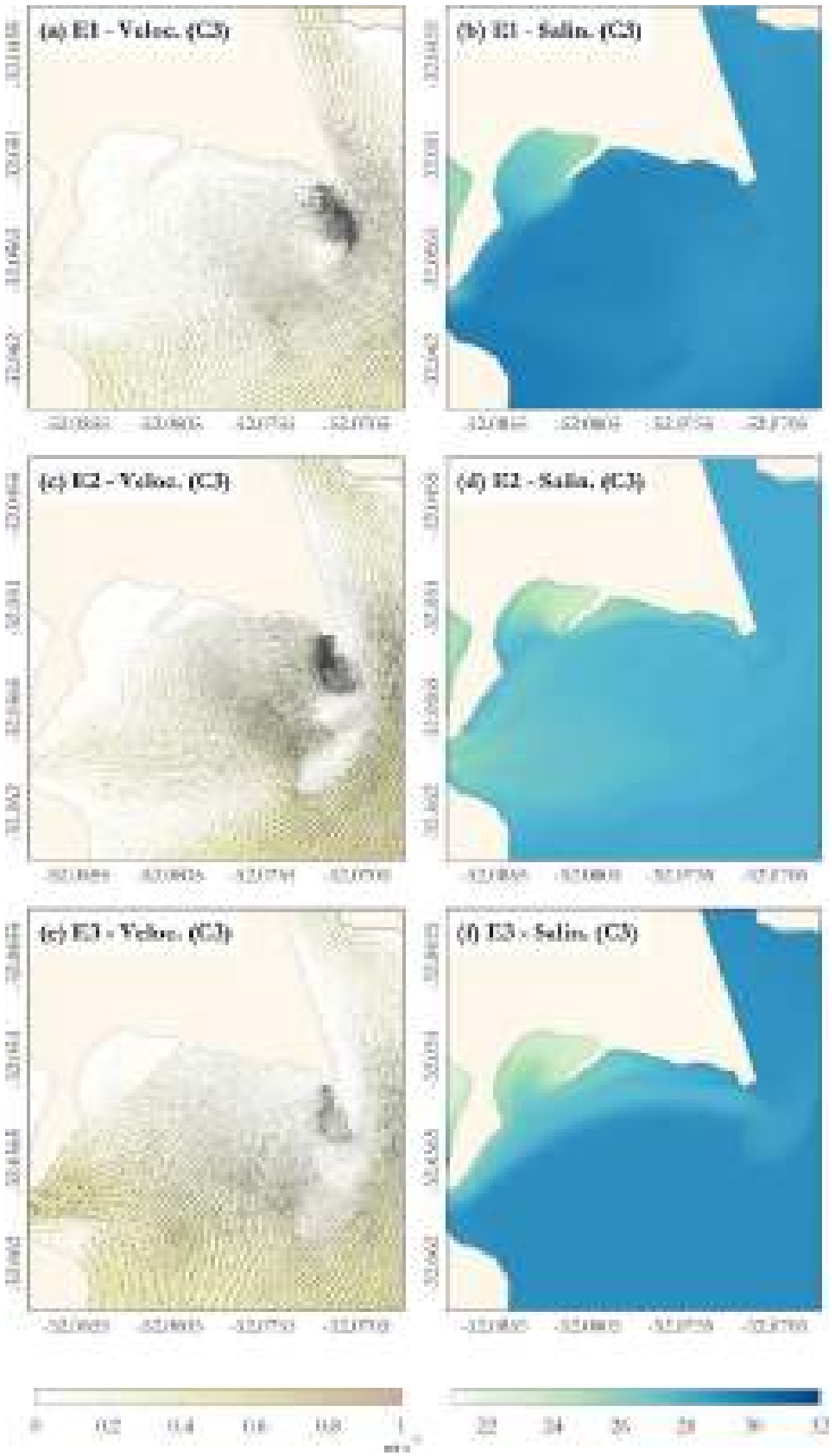


Figura 5.5: Campos médios de velocidade da corrente (m s^{-1}) (coluna da esquerda) e salinidade superficial (coluna da direita) na região do AWT para o Cenário 3* de alta resolução durante os eventos E1 (14/03/2017), E2 (16/05/2017) e E3 (23/10/2017, Tabela 2.4), caracterizados por alta descarga sob a influência de ventos de sudoeste (SO).

B. Condição de baixa descarga

A Figura 5.6 apresenta os campos médios de velocidade da corrente e salinidade superficial para os eventos E1 (09/02/2017), E2 (09/03/2017) e E3 (09/07/2017), que representam o período de baixa descarga sob ventos de NE (Tabela 2.4). Em todos os casos, prevalecem velocidades de vazante (Figuras 5.6a, 5.6c, 5.6e), coerentes com a ação dos ventos de NE combinada à baixa descarga fluvial. As intensidades variam entre os eventos, sendo o E1 e o E2 (Figuras 5.6a, 5.6c) os de maior magnitude e o E3 o de menor (Figura 5.6e). Quanto à salinidade, o evento E1 destaca-se pelos valores mais altos, em torno de 28 (Figura 5.6b), enquanto os eventos E2 e E3 (Figuras 5.6d, 5.6f) apresentam salinidades inferiores, próximas de 6 em E2 e 1 em E3, refletindo a maior influência fluvial nestes períodos.

Na Figura 5.7 são apresentados os resultados do Cenário 3* para os eventos E1 (11/05/2017), E2 (19/07/2017) e E3 (13/11/2017), no período de baixa descarga sob ventos de SO (Tabela 2.4). Os campos de corrente indicam dominância de escoamento de enchente nos três eventos (Figuras 5.7a, 5.7c, 5.7e), em conformidade com a influência típica dos ventos de SO, que favorecem a penetração de águas marinhas no estuário. As velocidades são semelhantes entre os eventos, mas com valores mais baixos próximo à área da bacia de evolução proposta. Correntes direcionadas ao Saco da Mangueira ocorrem nos eventos E2 e E3 (Figuras 5.7c, 5.7e), enquanto no evento E1 (Figura 5.7a) o padrão é oposto. Os campos de salinidade mostram valores elevados e próximos entre si: cerca de 31 no evento E2 (Figura 5.7d) e em torno de 27 nos eventos E1 e E3 (Figuras 5.7b, 5.7f), o que reforça o predomínio da intrusão salina sob ventos de sudoeste e descarga reduzida.

De forma geral, observa-se que a resposta hidrodinâmica da região varia conforme a combinação entre direção e intensidade dos ventos, condição de descarga continental e histórico prévio das forçantes. Assim, a interpretação dos resultados deve considerar a variabilidade natural entre eventos.

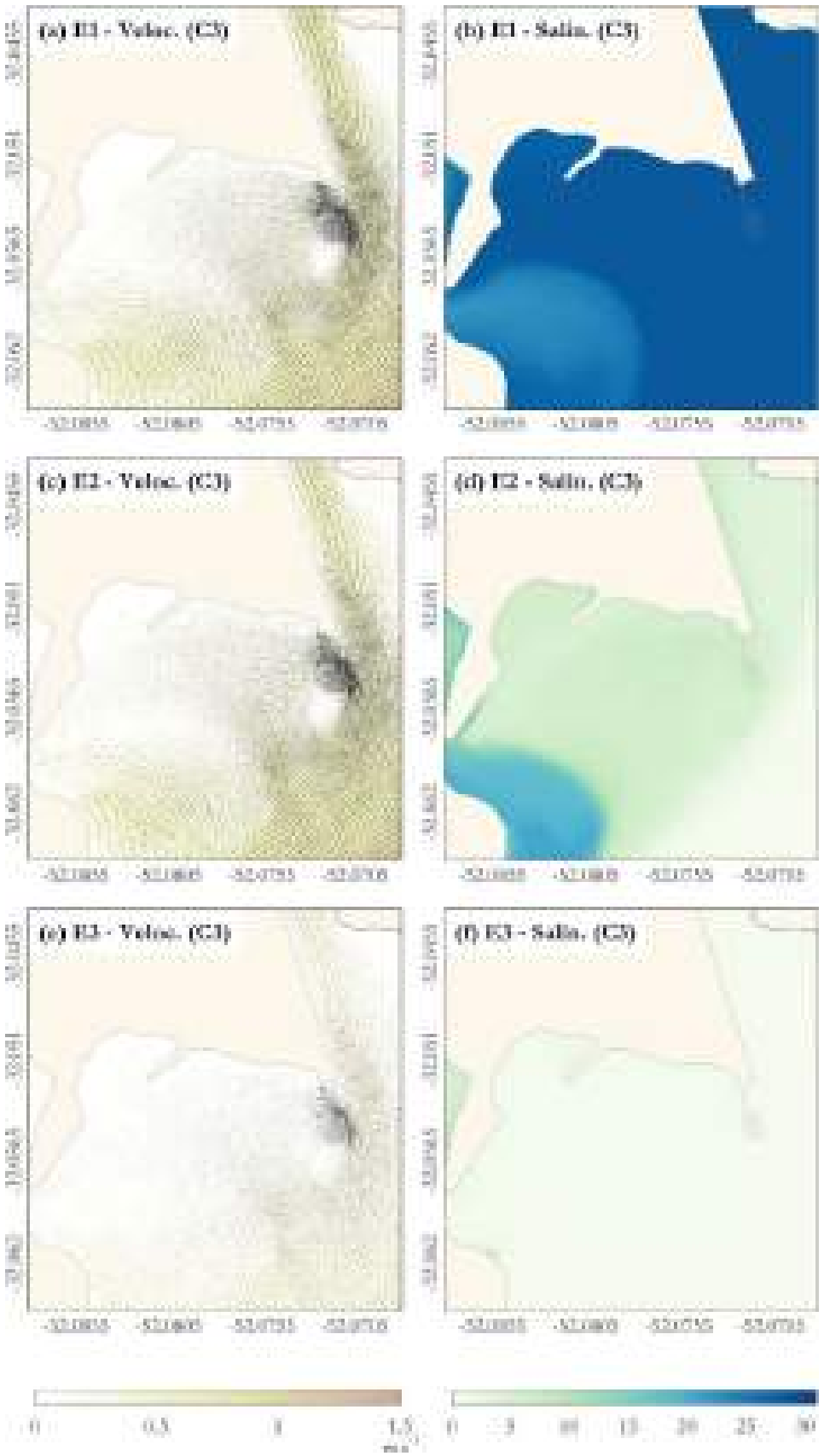


Figura 5.6: Campos médios de velocidade da corrente (m s^{-1}) (coluna da esquerda) e salinidade superficial (coluna da direita) na região do AWT para o Cenário 3* de alta resolução durante os eventos E1 (09/02/2017), E2 (09/03/2017) e E3 (09/07/2017, Tabela 2.4), caracterizados por baixa descarga sob a influência de ventos de nordeste (NE).

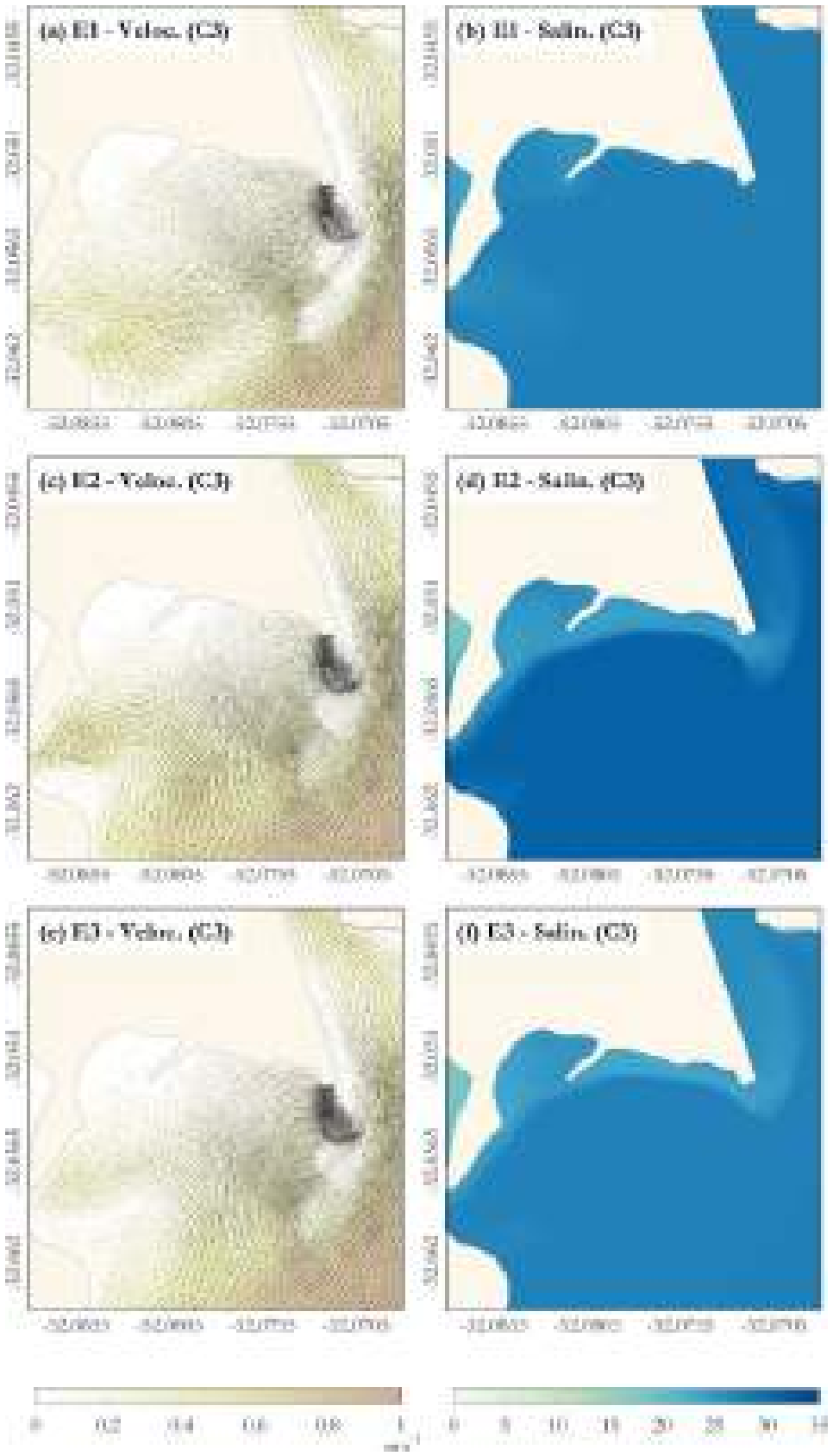


Figura 5.7: Campos médios de velocidade da corrente (m s^{-1}) (coluna da esquerda) e salinidade superficial (coluna da direita) na região do AWT para o Cenário 3* de alta resolução durante os eventos E1 (11/05/2017), E2 (19/07/2017) e E3 (13/11/2017, Tabela 2.4), caracterizados por baixa descarga sob a influência de ventos de sudoeste (SO).

5.2.2 Comparação entre Cenários - Campo médio de velocidade da corrente

Campos médios de velocidade da corrente (m s^{-1}), com foco ampliado na área do AWT (Figuras 5.8–5.11), foram elaborados com o objetivo de destacar variações espaciais na intensidade e direção das correntes decorrentes do detalhamento do Cenário 3. As análises consideram as quatro combinações entre descarga fluvial (alta e baixa) e regime de ventos predominantes (NE e SO), conforme descrito na Tabela 2.4. Essa abordagem permite avaliar de forma comparativa a resposta do campo de escoamento sob diferentes regimes forçantes e compreender o comportamento dinâmico do sistema frente à introdução das estruturas propostas.

No Cenário 3*, observa-se um padrão de redistribuição das velocidades de corrente na região da bacia de evolução, evidenciando o efeito da diminuição da profundidade sobre o escoamento local. Sob condições de vazante (associadas aos ventos de NE), forma-se uma zona de sombra hidrodinâmica a jusante do AWT, enquanto durante condições de enchente (ventos de SO), o mesmo fenômeno ocorre a montante da estrutura. Tal comportamento é evidente nas Figuras 5.8, 5.9 e 5.10a, que mostram a diminuição gradual das velocidades a oeste do AWT durante eventos de vazante, e nas Figuras 5.10b, 5.10c e 5.11, onde se nota a diminuição das correntes durante períodos de enchente especialmente no interior do canal de navegação, região em que também foi considerada um aumento de profundidade local.

De modo geral, a presença do AWT não interrompe o escoamento, mas reorganiza as trajetórias das correntes, promovendo zonas de menor energia hidrodinâmica próximas à estrutura e áreas de leve intensificação entre os vãos dos pilares, onde o fluxo é naturalmente concentrado. Próximo à linha de costa, a suavização das velocidades ocorre independentemente da direção predominante do fluxo. Esses resultados demonstram que o sistema responde à presença da estrutura, mantendo o padrão geral de circulação estuarina, com redistribuição localizada das velocidades.

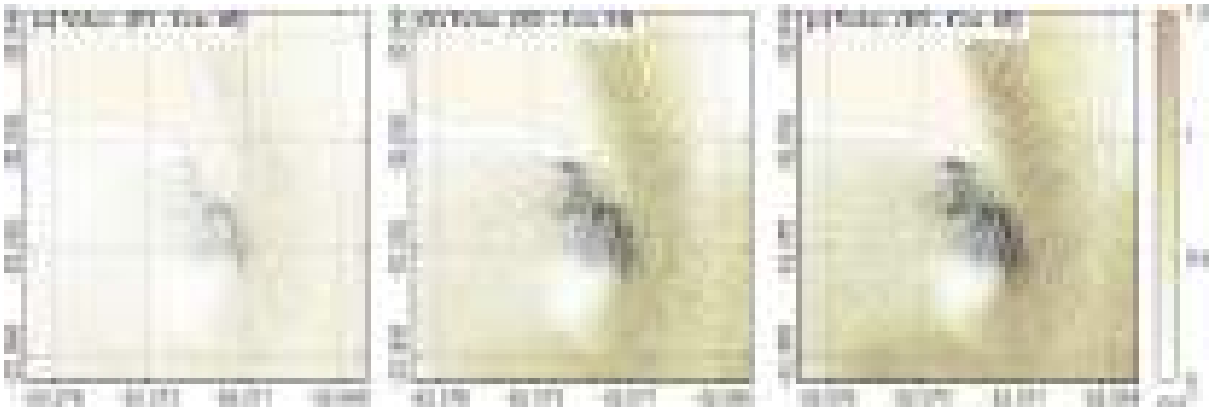


Figura 5.8: Campos médios de velocidade da corrente (m s^{-1}) na região do AWT para o Cenário 3* de alta resolução durante os eventos E1 (26/04/2017), E2 (13/08/2017) e E3 (23/08/2017, Tabela 2.4), caracterizados por alta descarga sob a influência de ventos de nordeste (NE).

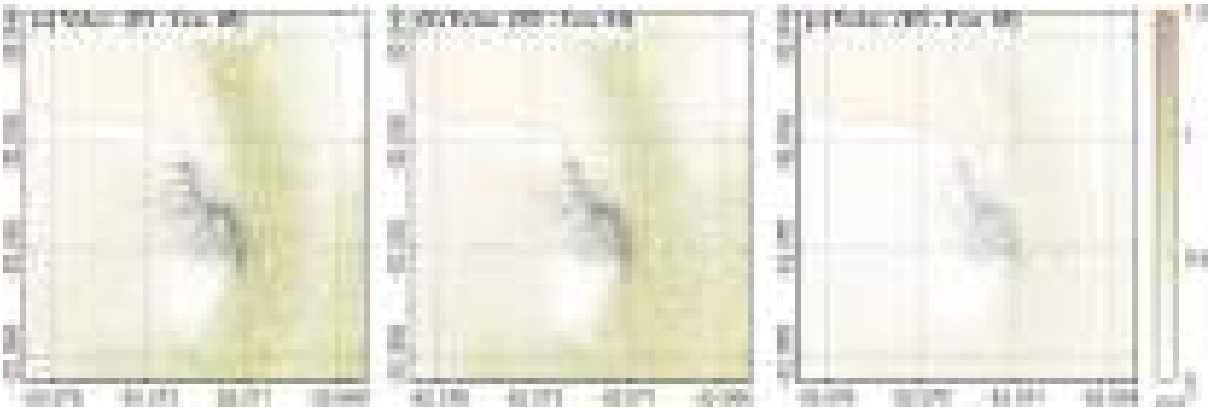


Figura 5.9: Campos médios de velocidade da corrente (m s^{-1}) na região do AWT para os Cenário 3* de alta resolução durante os eventos E1 (09/02/2017), E2 (09/03/2017) e E3 (09/07/2017, Tabela 2.4), caracterizados por baixa descarga sob a influência de ventos de nordeste (NE).

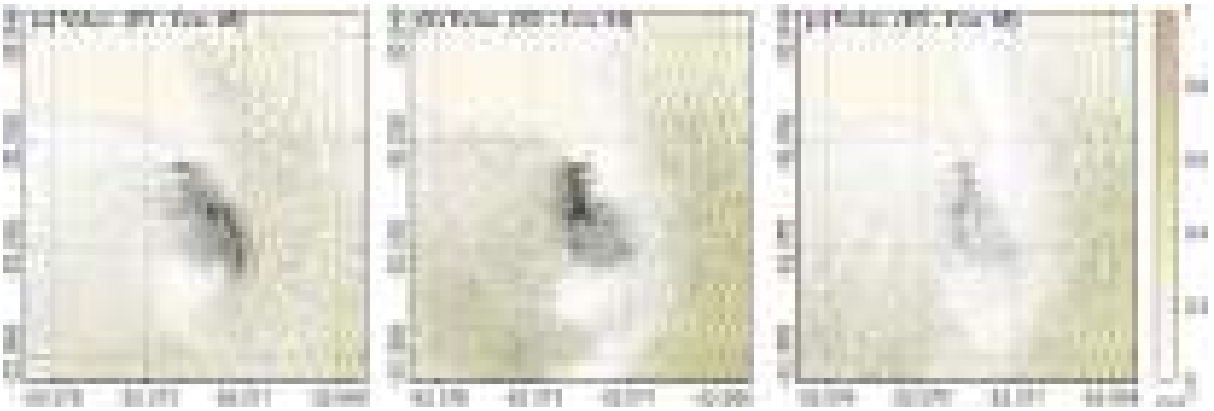


Figura 5.10 Campos médios de velocidade da corrente (m s^{-1}) na região do AWT para os Cenário 3* de alta resolução durante os eventos E1 (26/04/2017), E2 (13/08/2017) e E3 (23/08/2017, Tabela 2.4), caracterizados por alta descarga sob a influência de ventos de sudoeste (SO).

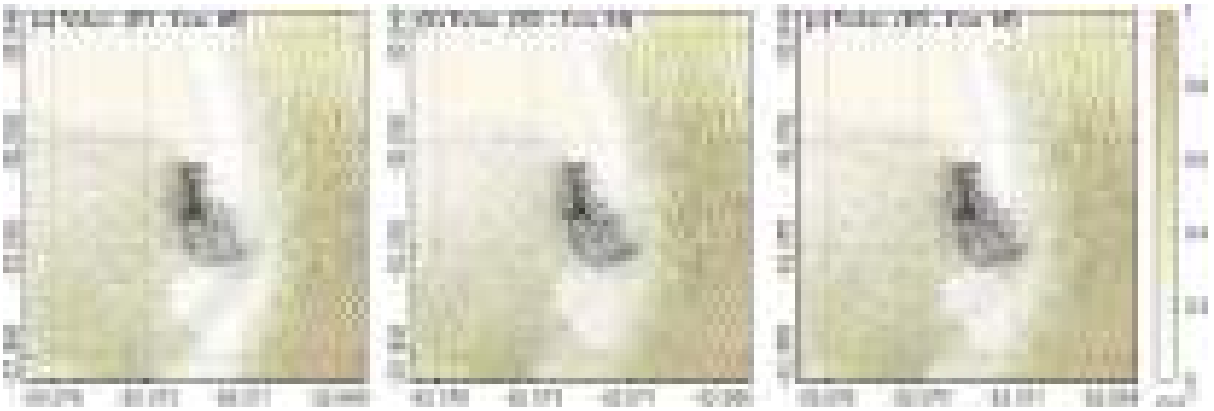


Figura 5.11 Campos médios de velocidade da corrente (m s^{-1}) na região do AWT para os Cenário 3* de alta resolução durante os eventos E1 (11/05/2017), E2 (19/07/2017) e E3 (13/11/2017, Tabela 2.4), caracterizados por baixa descarga sob a influência de ventos de sudoeste (SO).

5.2.3 Comparação entre Cenários - Séries Temporais

Nesta seção, são apresentadas as séries temporais de nível da água, salinidade superficial e componentes das correntes (U e V) para os diferentes pontos distribuídos no Saco da Mangueira, no canal de navegação e na área de influência direta do AWT (Figuras 5.12–5.21). A análise tem como objetivo comparar o comportamento hidrodinâmico entre os Cenários 1, 3 original e 3 de alta resolução (Cenário 3*), destacando as respostas locais às intervenções propostas e às diferenças de discretização espacial entre as grades.

Cabe destacar que o uso da grade de alta resolução introduz ajustes de magnitude, associados ao maior detalhamento do comportamento hidrodinâmico. Embora esses ajustes não modifiquem o padrão temporal das variáveis, eles refinam a representação espacial do escoamento e podem intensificar ou suavizar variações locais. Esse aspecto deve ser considerado na interpretação dos resultados apresentados a seguir.

As Figuras 5.12 a 5.15 apresentam as séries temporais de nível, salinidade superficial e componentes das velocidades de corrente (U e V) para os **Pontos 1** (Figura 5.12) e **2** (Figura 5.13), situados no interior do Saco da Mangueira, e para os **Pontos 3** (Figura 5.14) e **4** (Figura 5.15), localizados na boca do Saco da Mangueira (Figura 2.9). Esses pontos representam áreas com características hidrodinâmicas contrastantes — as duas primeiras mais protegidas, de menor energia e maior influência fluvial, e as duas últimas mais expostas à circulação estuarina e às forçantes oceânicas externas.

O nível da água apresenta comportamento semelhante entre os Cenários 1 e 3*, sem diferenças perceptíveis de amplitude, fase ou tendência, o que indica que as alterações estruturais propostas não afetaram significativamente a variabilidade do nível na região. A salinidade superficial mantém o mesmo padrão sazonal em ambos os cenários, caracterizado por valores mais baixos nos períodos de maior descarga fluvial e aumento gradual durante os meses de menor aporte continental. Porém diferenças de magnitude podem ser observadas quando o Cenário 3* é considerado, indicando a importância da alta resolução espacial considerada nesta simulação.

No que se refere à velocidade das correntes, observam-se reduções de magnitude no Cenário 3* nos **Pontos 1** (Figura 5.12) e **2** (Figura 5.13), tanto na componente U (positiva para leste) quanto na V (positiva para norte). Esse comportamento indica uma atenuação natural do escoamento no interior do Saco da Mangueira, compatível com o novo arranjo hidrodinâmico resultante das intervenções propostas. A redução das velocidades nessa região reflete uma redistribuição do fluxo, associada às modificações locais de profundidade e à presença do AWT.

Já nos **Pontos 3** (Figura 5.14) **e 4** (Figura 5.15), situados mais próximos da interface com o canal de navegação, a componente U da velocidade mantém coerência entre os

cenários, tanto em direção quanto em intensidade, indicando que o fluxo de entrada e saída de água no Saco da Mangueira (predominantemente zonal) permanece praticamente inalterado no Cenário 3*. A componente V, por sua vez, apresenta variações pontuais de direção ao longo do período, refletindo ajustes mais sutis do escoamento transversal nesta região.

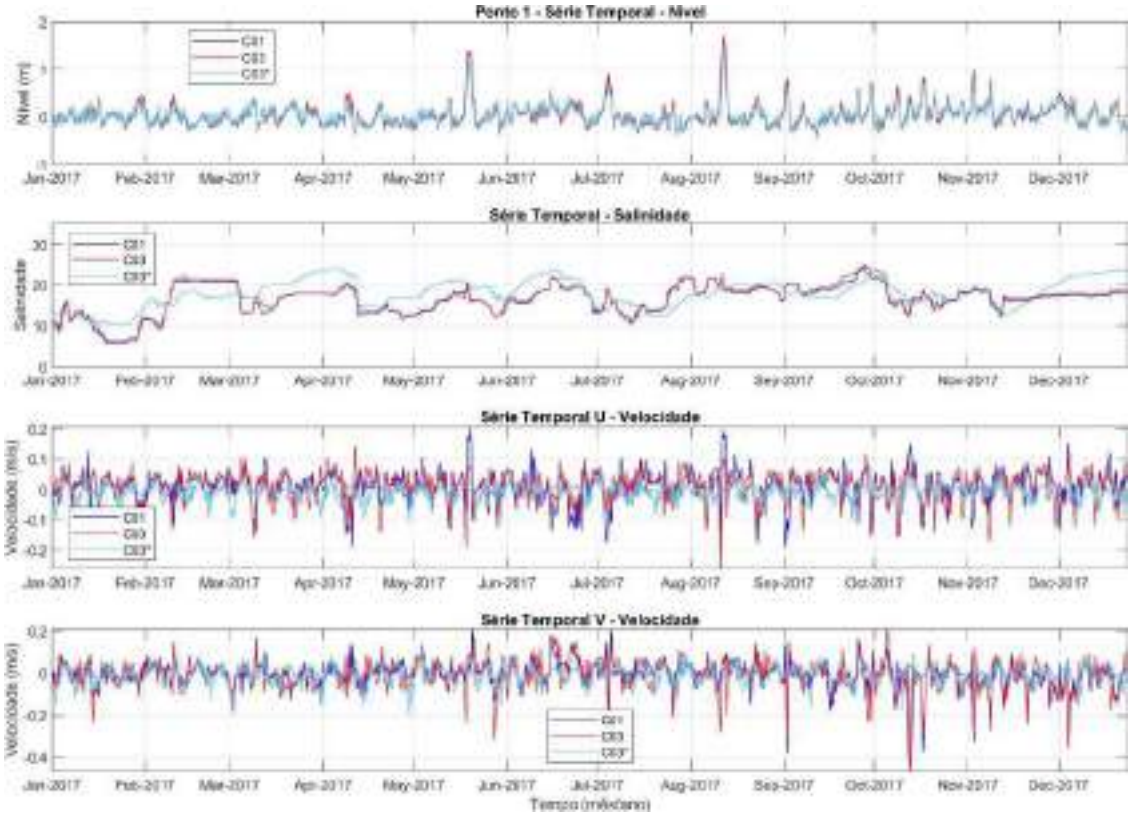


Figura 5.12: Séries temporais do nível (m), salinidade superficial e componentes médias U e V da velocidade (m s^{-1}) para o Ponto 1, indicado na Figura 2.9, para os Cenários 1 (azul escuro), 3 original (vermelho) e 3* de alta resolução (azul claro).

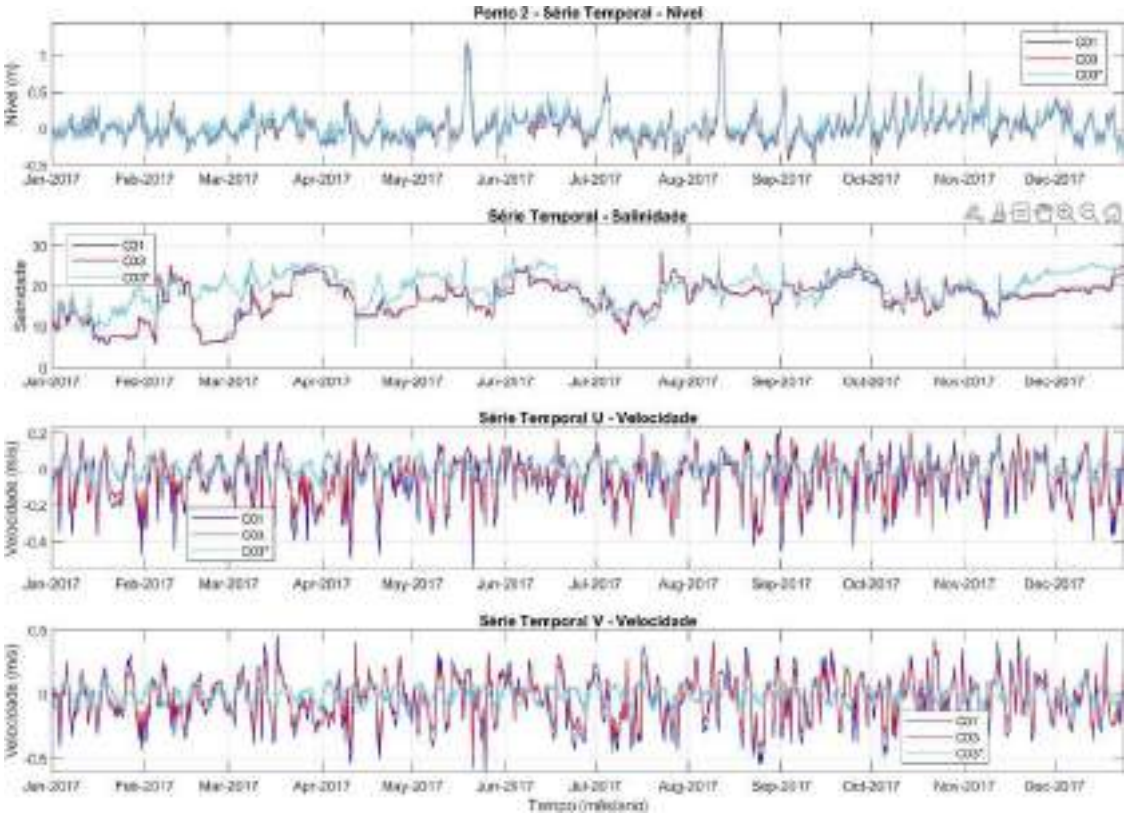


Figura 5.13: Séries temporais do nível (m), salinidade superficial e componentes médias U e V da velocidade (m s^{-1}) para o Ponto 2, indicado na Figura 2.9, para os Cenários 1 (azul escuro), 3 original (vermelho) e 3* de alta resolução (azul claro).

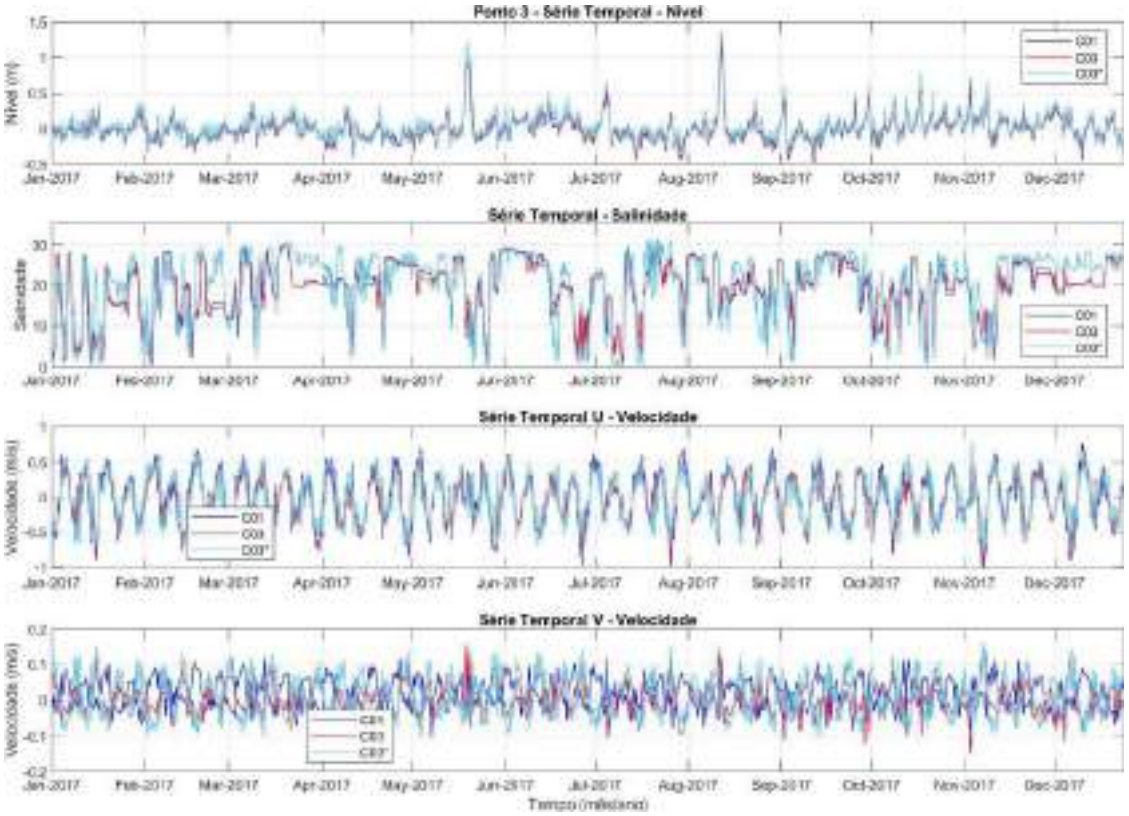


Figura 5.14: Séries temporais do nível (m), salinidade superficial e componentes médias U e V da velocidade (m s^{-1}) para o Ponto 3, indicado na Figura 2.9, para os Cenários 1 (azul escuro), 3 original (vermelho) e 3* de alta resolução (azul claro).

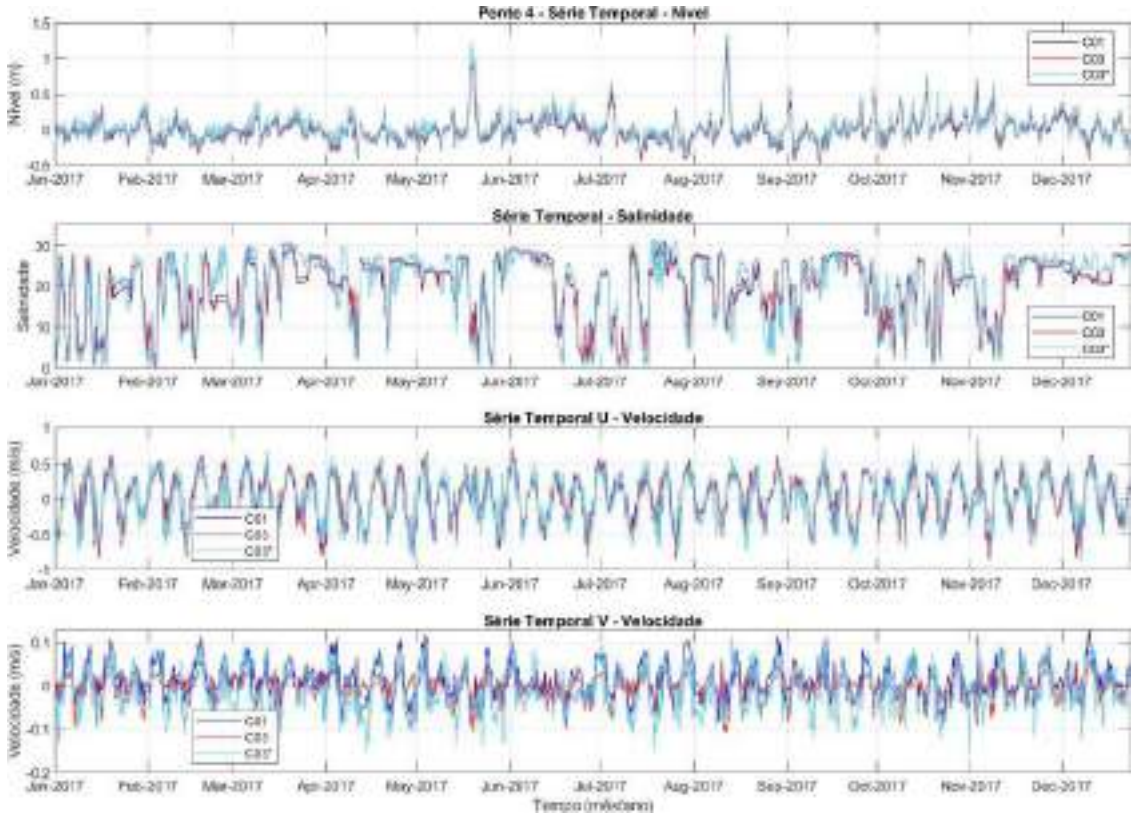


Figura 5.15: Séries temporais do nível (m), salinidade superficial e componentes médias U e V da velocidade (m s^{-1}) para o Ponto 4, indicado na Figura 2.9, para os Cenários 1 (azul escuro), 3 original (vermelho) e 3* de alta resolução (azul claro).

As Figuras 5.16 a 5.18 correspondem às séries temporais obtidas para os **Pontos 5** (Figura 5.16), **6** (Figura 5.17) e **7** (Figura 5.18), os quais estão localizados sobre a região de aprofundamento do canal de navegação para 14 metros (Figura 2.9). Esses pontos situam-se em uma área de maior hidrodinâmica e relevância operacional, sendo, portanto, sensíveis a modificações na geometria do fundo e à presença de estruturas adjacentes.

De modo geral, o nível da água e a salinidade superficial mantêm padrões semelhantes entre os cenários, sem variações significativas nos valores médios ou na amplitude temporal, evidenciando que o aprofundamento do canal e a inserção do AWT não interfere de maneira expressiva nesses parâmetros.

No Cenário 3*, observa-se uma redução consistente nas magnitudes de velocidade em comparação ao **Cenário 1**, com destaque para o **Ponto 5** (Figura 5.16), onde a atenuação é mais pronunciada. Essa diminuição indica a influência direta do aumento da profundidade, da nova estrutura associada ao berço norte e da presença do AWT, que modificam o campo de escoamento, promovendo um fluxo mais difuso e de menor energia. Nos **Pontos 6 e 7** (Figuras 5.17 e 5.18), essa tendência de redução persiste, embora de forma mais sutil.

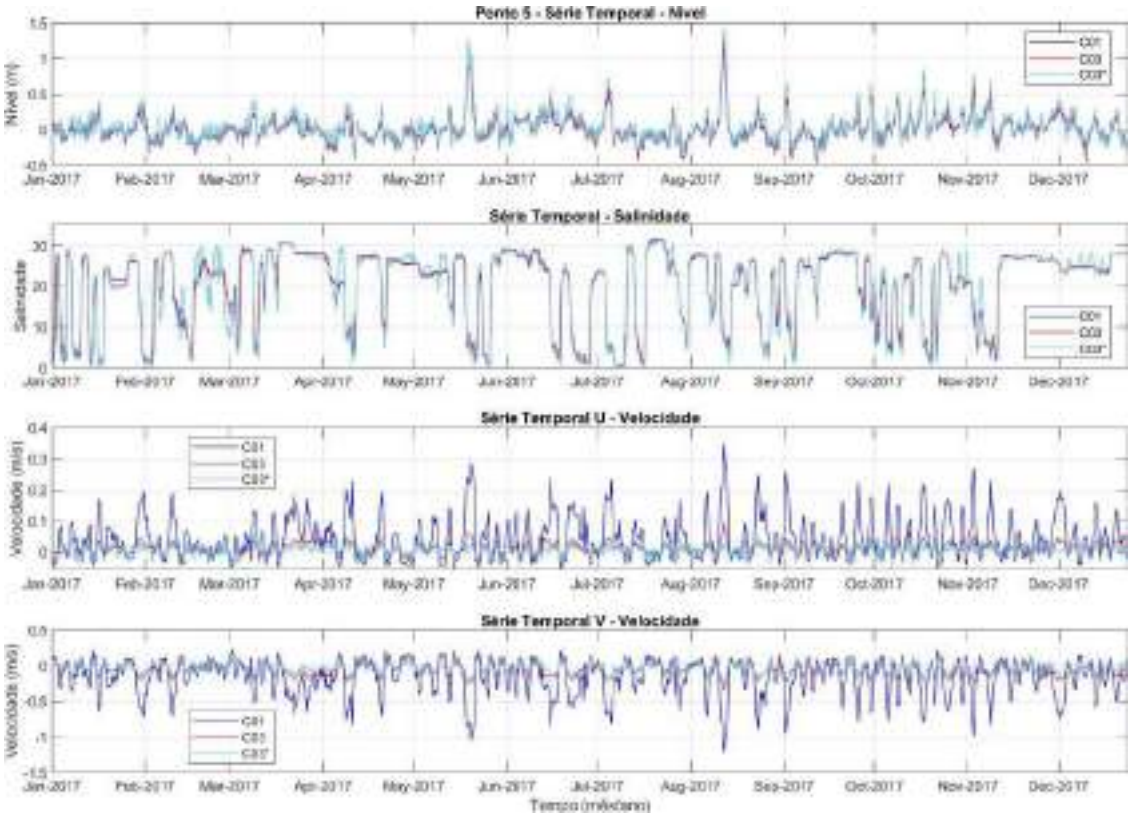


Figura 5.16: Séries temporais do nível (m), salinidade superficial e componentes médias U e V da velocidade (m s^{-1}) para o Ponto 5, indicado na Figura 2.9, para os Cenários 1 (azul escuro), 3 original (vermelho) e 3* de alta resolução (azul claro).

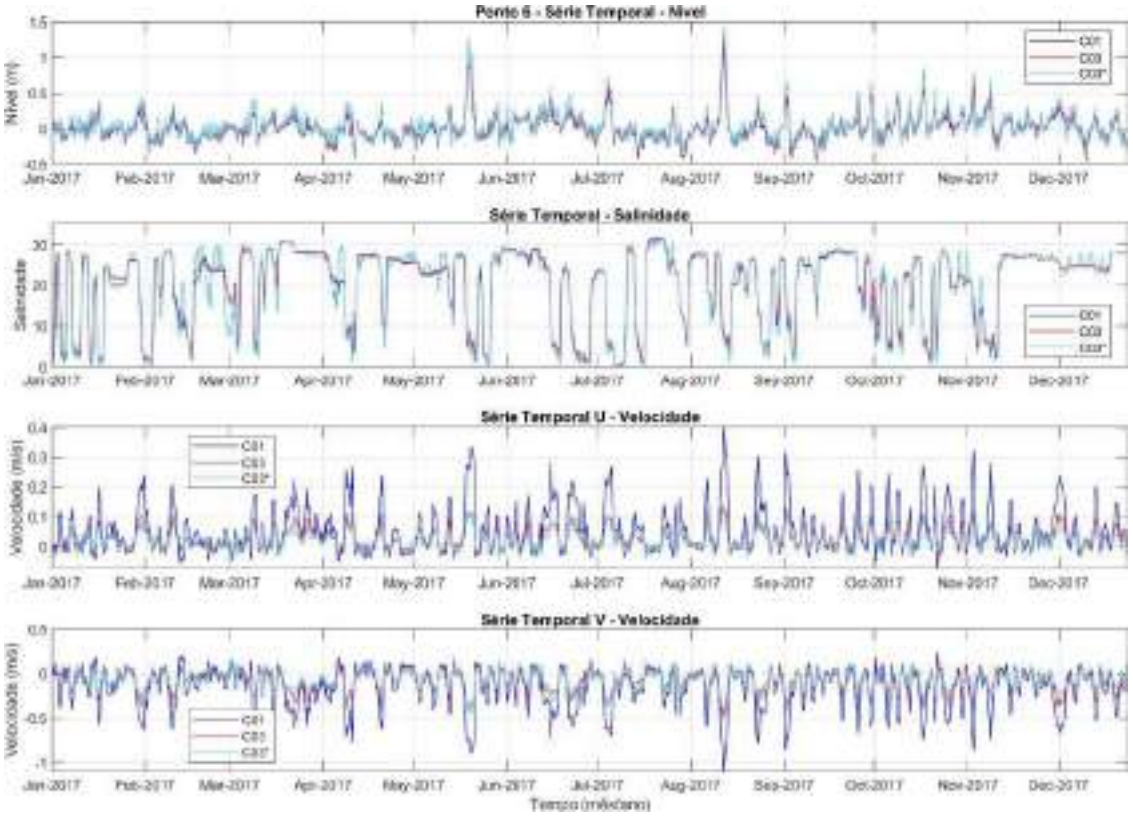


Figura 5.17: Séries temporais do nível (m), salinidade superficial e componentes médias U e V da velocidade (m s^{-1}) para o Ponto 6, indicado na Figura 2.9, para os Cenários 1 (azul escuro), 3 original (vermelho) e 3* de alta resolução (azul claro).

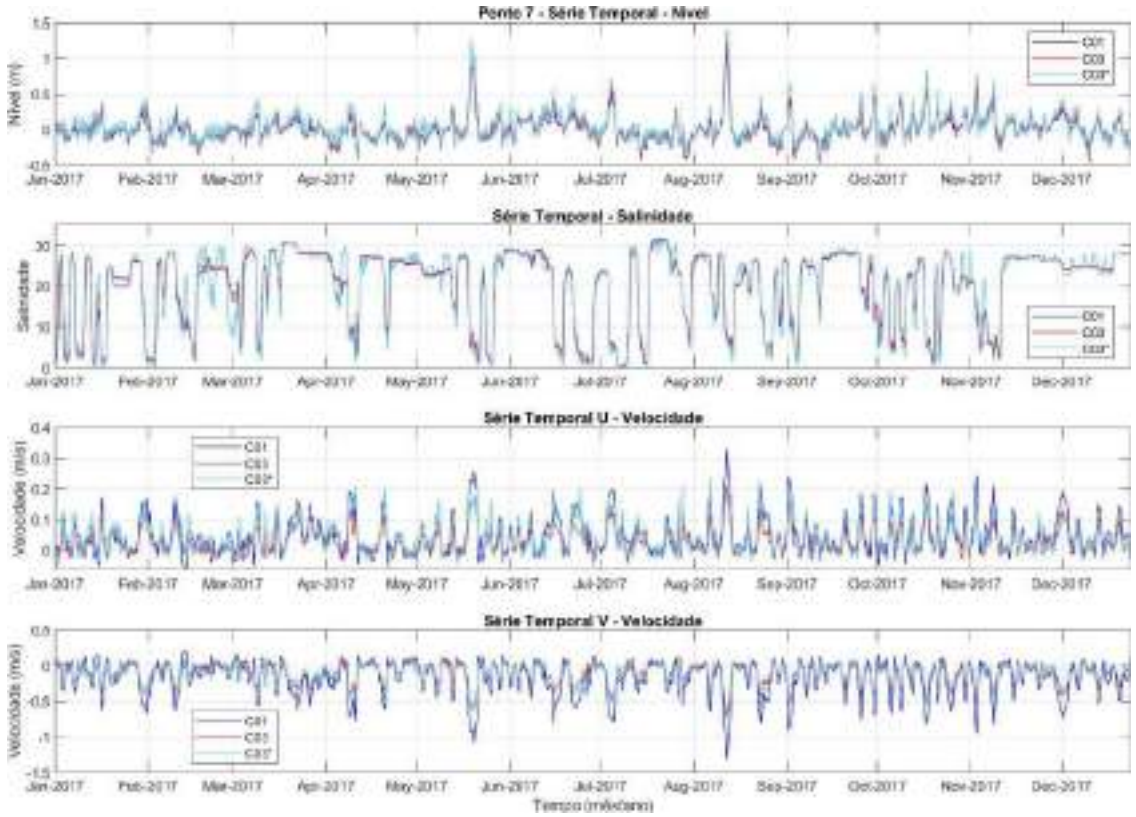


Figura 5.18: Séries temporais do nível (m), salinidade superficial e componentes médias U e V da velocidade (m s^{-1}) para o Ponto 7, indicado na Figura 2.9, para os Cenários 1 (azul escuro), 3 original (vermelho) e 3* de alta resolução (azul claro).

As Figuras 5.19 a 5.21 apresentam as séries temporais correspondentes aos **Pontos 12** (Figura 5.19), **13** (Figura 5.20) e **14** (Figura 5.21), situados na área de influência direta da estrutura do AWT (Figura 2.9). Nesta região, o escoamento tende a ser mais complexo devido à interação entre os pilares e à variação batimétrica.

Os resultados indicam que o nível da água e a salinidade superficial permanecem semelhantes entre os Cenários 1 e 3*, indicando que as modificações estruturais não impactaram significativamente a estratificação superficial ou o regime de maré.

Em contrapartida, as componentes de velocidade apresentam reduções de magnitude evidentes no Cenário 3*, sobretudo nos **Pontos 12 e 14** (Figuras 5.19 e 5.21). No **Ponto 12** (Figura 5.19), localizado mais próximo ao canal principal de navegação, a redução é observada em ambas as componentes, com maior destaque para a componente U (positiva para leste), indicando uma atenuação do fluxo longitudinal. Já no **Ponto 14** (Figura 5.21), situado a oeste da estrutura, a diminuição é mais acentuada na componente V (positiva para norte), revelando um bloqueio parcial das correntes transversais induzido pela presença do AWT. O **Ponto 13**, localizado sobre a bacia de evolução, apresenta pequenas reduções nas magnitudes.

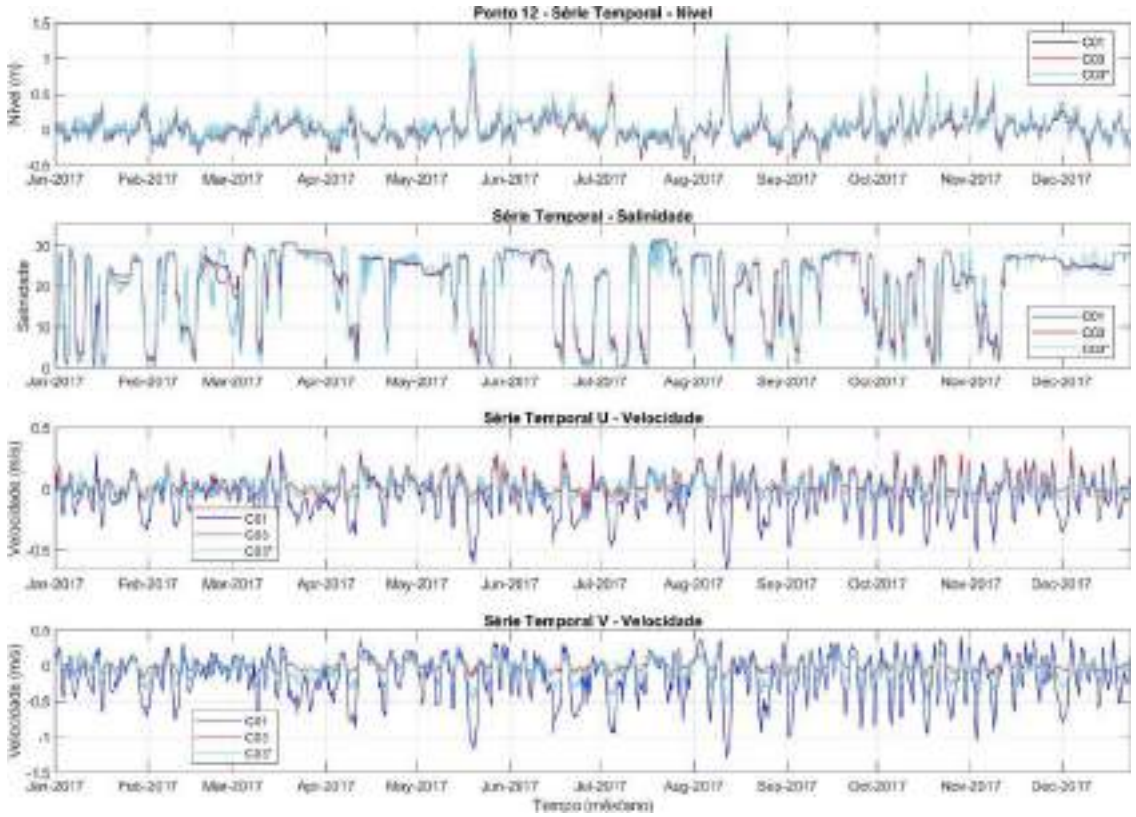


Figura 5.19: Séries temporais do nível (m), salinidade superficial e componentes médias U e V da velocidade (m s^{-1}) para o Ponto 12, indicado na Figura 2.9, para os Cenários 1 (azul escuro), 3 original (vermelho) e 3* de alta resolução (azul claro).

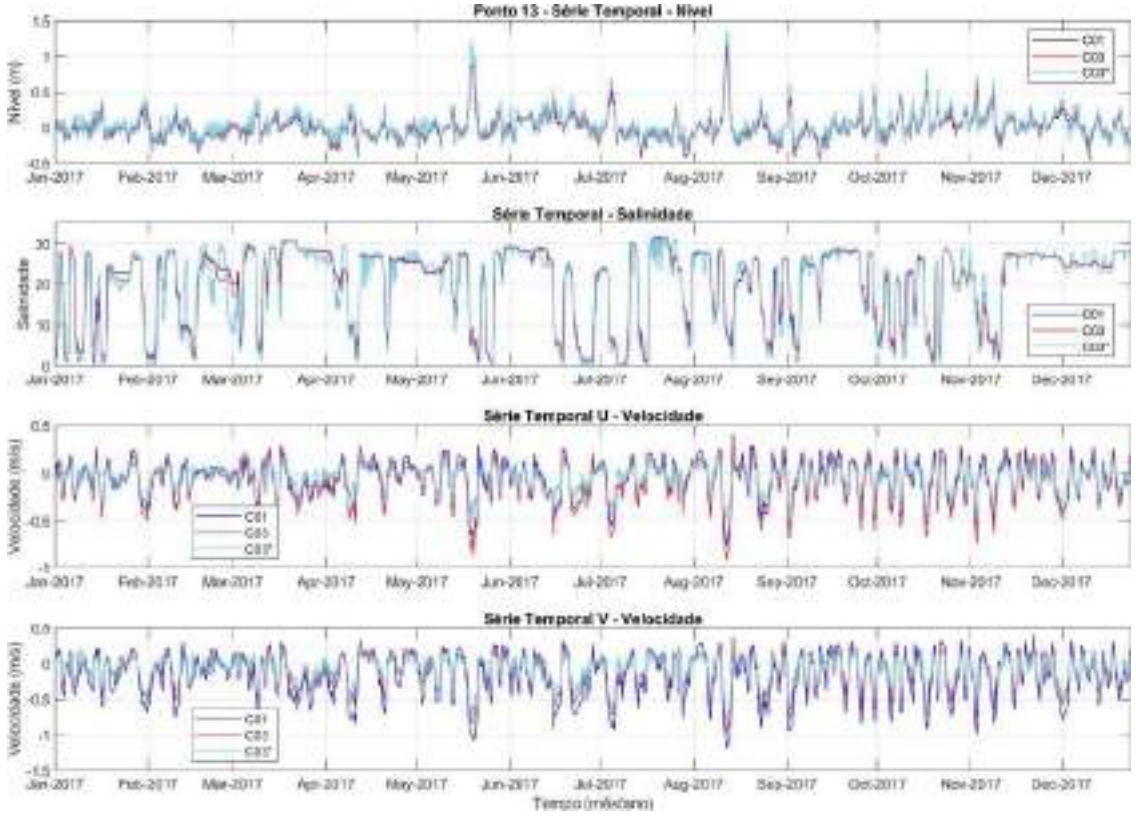


Figura 5.20: Séries temporais do nível (m), salinidade superficial e componentes médias U e V da velocidade (m s^{-1}) para o Ponto 13, indicado na Figura 2.9, para os Cenários 1 (azul escuro), 3 original (vermelho) e 3* de alta resolução (azul claro).

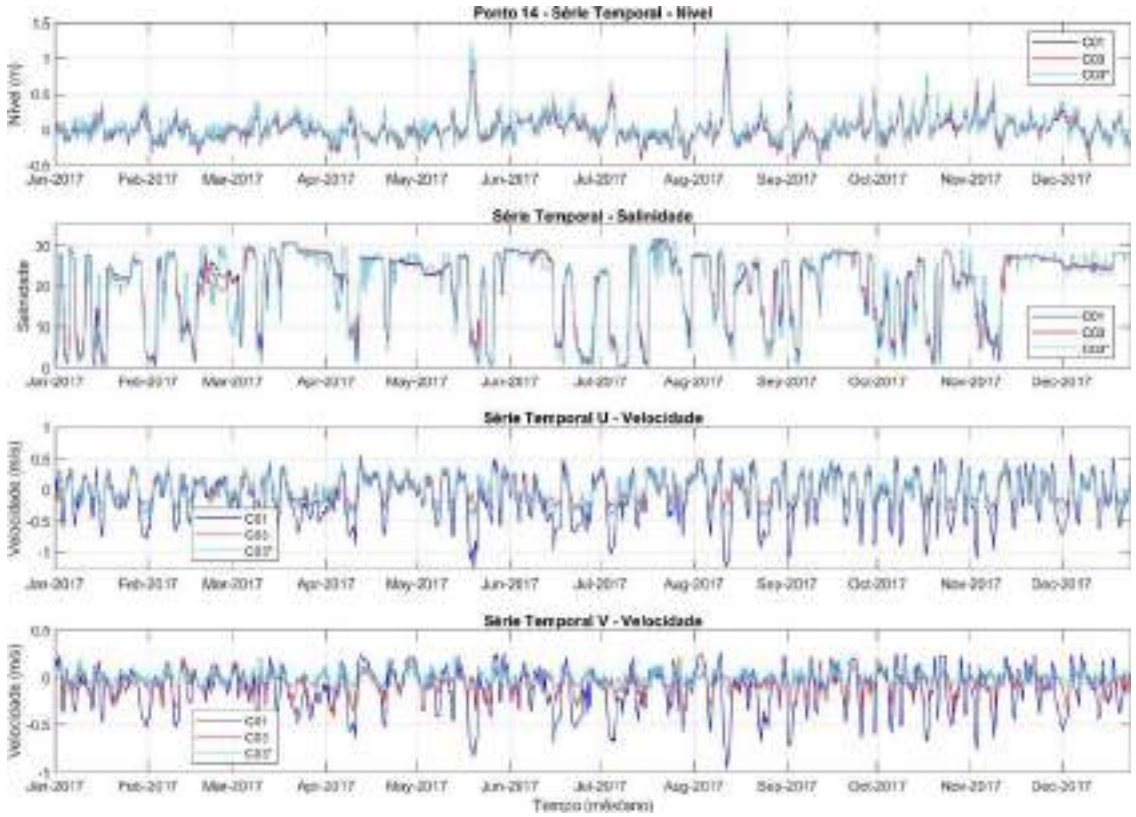


Figura 5.21: Séries temporais do nível (m), salinidade superficial e componentes médias U e V da velocidade (m s-1) para o Ponto 14, indicado na Figura 2.9, para os Cenários 1 (azul escuro), 3 original (vermelho) e 3* de alta resolução (azul claro).

5.2.4 Comportamento do transporte de sedimentos na área do Terminal: Comparação entre cenário atual e cenário de intervenção de alta resolução

Conforme apresentado anteriormente na *Seção 2.4.8*, a taxa de sedimentação potencial anual foi recalculada combinando o padrão de evolução do fundo gerado pelo modelo numérico com a taxa média de deposição obtida em campo. A metodologia aplicada ao ano de 2017 (Figura 2.48), permite uma estimativa espacial do potencial de deposição na área do empreendimento. Convém reiterar, entretanto, que as medidas de campo foram realizadas em amostragens de curta duração (intervalos de 6h, ao longo de quatro eventos; Tabelas 1.13 e 2.5) e extrapoladas para escala anual, procedimento que pode levar a superestimativas pontuais que devem ser consideradas na interpretação dos resultados.

Nesta seção são apresentados os resultados derivados da nova simulação em alta resolução para o Cenário 3* (Figura 5.22), acompanhados de comparação direta com o Cenário 1 da simulação original (Figura 2.48). A grade refinada possibilitou capturar a variabilidade espacial de pequena escala que não era aparente na simulação anterior (Cenário 3 original), especialmente nas vizinhanças imediatas do AWT e na bacia de evolução adjacente.

No Cenário 1 (Figura 5.22a) a distribuição da deposição indica concentrações máximas junto à margem, com valores da ordem de dezenas de centímetros por ano em trechos específicos, padrão já apresentado anteriormente. A leitura comparativa com o Cenário 3*, contudo, revela mudanças relevantes na escala espacial e na intensidade local da deposição: embora a tendência de maior deposição junto à margem se mantenha, no Cenário 3* (Figura 5.22b) essa deposição aparece amplificada em magnitude e mais espacialmente concentrada em áreas específicas, atingindo valores de até aproximadamente 19 cm ano^{-1}, com picos locais que se aproximam de 20 cm ano^{-1} na bacia de evolução e em regiões entre os pilotes.

Na visão ampliada (Figura 5.23) nota-se uma extensa área de acúmulo na bacia de evolução. Em torno da configuração de pilotes do AWT surgem múltiplos hotspots intercalados, com padrão em mosaico: áreas de deposição acentuada intercaladas por regiões de menor acúmulo. Esse padrão indica que a interação do escoamento com os pilares gera zonas de baixa energia (sombreamento hidrodinâmico e zonas de recirculação) favorecendo a deposição de partículas.

Além disso, observa-se um gradiente espacial bem definido na deposição: os valores mais altos ocorrem no centro da bacia e entre os pilares, diminuindo gradualmente com a distância em direção ao canal principal. Esse padrão indica um equilíbrio natural entre as áreas de transporte e de acúmulo de sedimentos, em que o canal funciona como principal via de advecção, enquanto a bacia e as regiões próximas às estruturas atuam como zonas de deposição. Também se nota a presença de acúmulos localizados ao longo das bordas do canal, associados a pequenas variações de profundidade e ao relevo submerso da região, que favorecem a acumulação de material sedimentar.

Do ponto de vista operacional e físico, os resultados indicam que o Cenário 3* não provoca um aumento homogêneo da deposição sobre toda a área, mas promove redistribuição e concentração de sedimentos em torno da bacia de evolução e entre os pilares. Essas concentrações locais podem ter implicações práticas: áreas com deposição máxima (≈ 15–20 cm ano^{-1}) podem requerer monitoramento e dragagens de manutenção, enquanto o aumento da área afetada pela deposição exige atenção para avaliar efeitos sobre a navegação, posicionamento de fundações e operação do Terminal.

Por fim, cabe reafirmar limitações e incertezas associadas à estimativa: além da extrapolação temporal das medidas de taxa média de sedimentação de campo, há incertezas ligadas à representação de frações granulométricas, à parametrização da velocidade de deposição e à ausência de monitoramento contínuo. Ainda assim, o reconhecimento explícito dessas limitações confere maior robustez e transparência à análise, reforçando a importância do monitoramento contínuo de variáveis hidrodinâmicas e sedimentológicas para o aprimoramento das futuras simulações e avaliações ambientais.

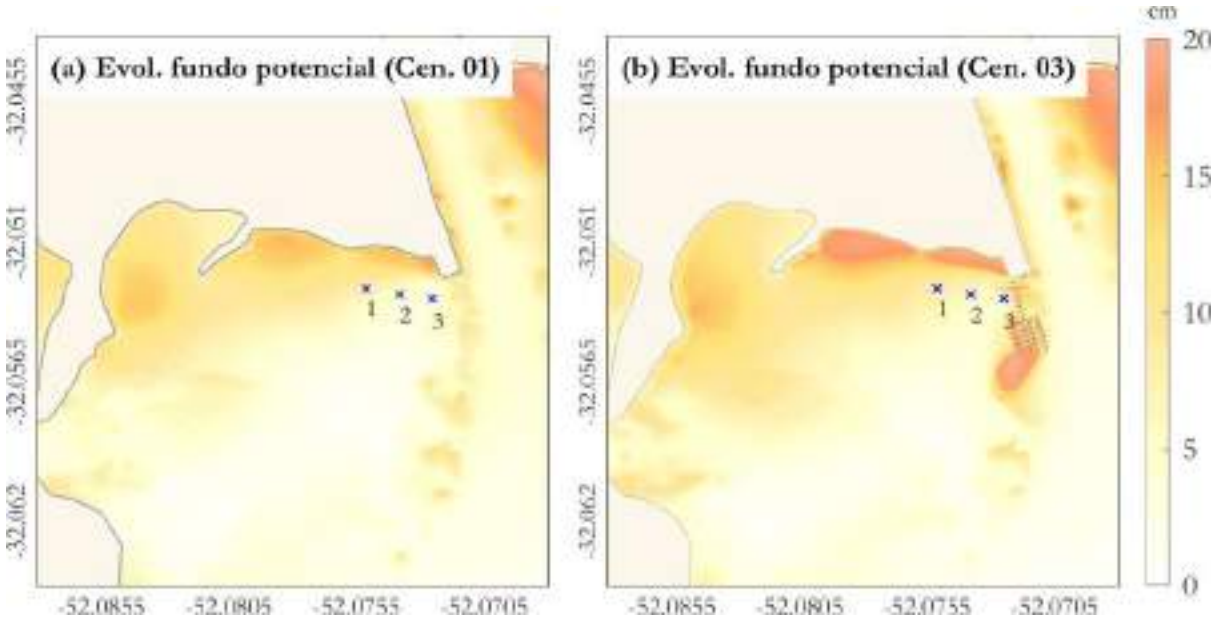


Figura 5.22: Evolução potencial do fundo (cm) no último dia da simulação para os Cenários 1 e 3* (de alta resolução). Os valores foram ajustados por um fator obtido a partir de dados medidos em campo, visando uma melhor representação quantitativa da evolução do fundo. Os pontos de amostragem 1, 2 e 3 são representados na figura pelo símbolo 'x'.

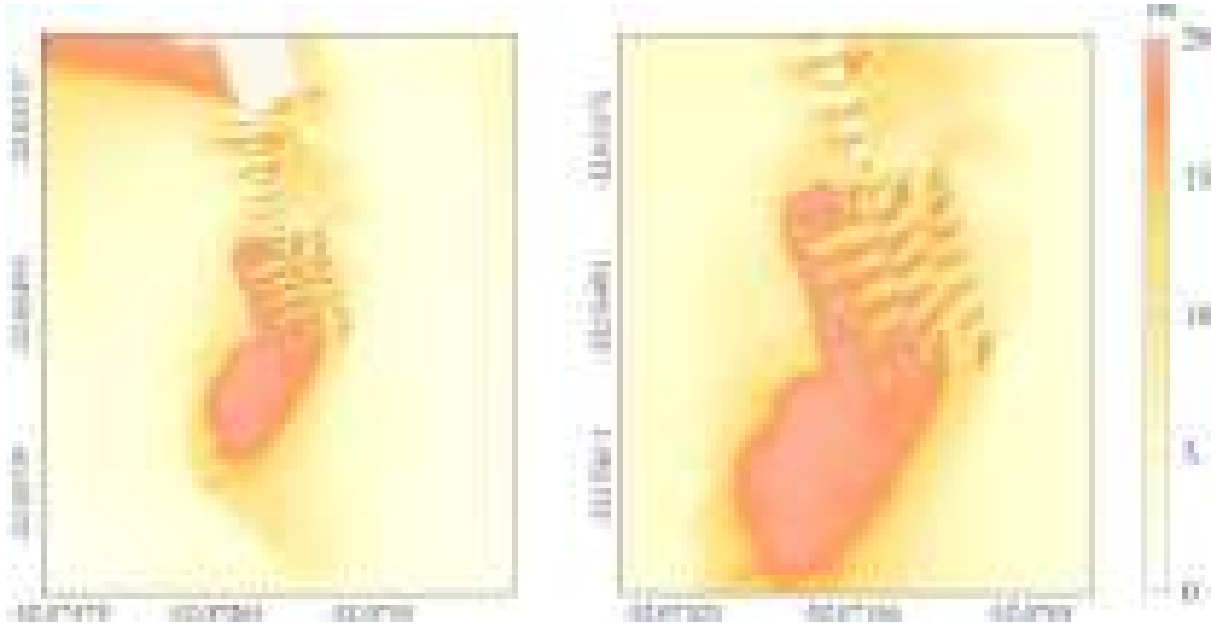


Figura 5.23: Área do AWT ampliada: Evolução potencial do fundo (cm) no último dia da simulação para o Cenários 3* de alta resolução. Os valores foram ajustados por um fator obtido a partir de dados medidos em campo, visando uma melhor representação quantitativa da evolução do fundo.

5.3 Conclusões - Etapa 2

A aplicação da grade de alta resolução ao Cenário 3* teve como objetivo aprimorar a representação hidrodinâmica e sedimentar na área do AWT, complementando e refinando as análises apresentadas na primeira parte do relatório. Essa etapa adicional permitiu avaliar se o aumento do detalhamento espacial modifica de forma significativa as conclusões obtidas anteriormente ou apenas ajusta a intensidade e a distribuição dos processos descritos.

Os resultados confirmam que os padrões de variação temporal das principais variáveis hidrodinâmicas (nível da água, salinidade superficial e direções dominantes de corrente) são mantidos, com alterações pontuais nas magnitudes. Assim como identificado na análise original, o regime de níveis permanece inalterado e o padrão sazonal de salinidade continua dominado pela variabilidade continental.

Por outro lado, o uso da grade refinada destacou diferenças locais de magnitude e redistribuição do escoamento, especialmente nas proximidades das estruturas e em áreas com variações bruscas de batimetria. Nessas regiões, o refinamento espacial revelou gradientes mais intensos e zonas de sombra hidrodinâmica mais bem definidas, evidenciando:

- reduções mais pronunciadas de velocidade no interior do Saco da Mangueira e na bacia de evolução;
- intensificação localizada do fluxo entre os vãos dos pilares do AWT;
- pequenas variações de direção nas componentes transversais das correntes próximas ao canal, coerentes com a maior capacidade da grade fina de resolver circulações mais complexas.

No componente sedimentar, a simulação de alta resolução reforçou as tendências identificadas anteriormente (formação de áreas preferenciais de deposição no entorno do AWT), mas também revelou hotspots mais concentrados, com taxas locais que podem atingir aproximadamente 15–20 cm ano^{-1}, sugerindo que a representação em alta resolução captura acúmulos que a grade original suavizou. A distribuição espacial segue o padrão já descrito no relatório principal, com deposição mais intensa na bacia de evolução, junto a margens abrigadas e entre pilares, mas agora com maior representatividade.

Esses resultados indicam que a grade refinada (Cenário 3*) não altera os mecanismos principais identificados no Cenário 3, mas fornece uma visão mais robusta dos efeitos de pequena escala, essenciais para avaliações operacionais, planejamento de dragagem e análise de desempenho da infraestrutura.

Capítulo 6: Referências bibliográficas

Arvut, 2024. Análise da qualidade de sedimentos: CNPC Celulose Rio Grandense / Neltume Inversiones Portuárias Brasil Participações. Porto Alegre, Relatório Técnico.

Baker, E.T., Milburn, H.B., Tennant, D.A. (1988). Field assessment of sediment trap efficiency under varying flow conditions. Journal of Marine Research, 46(3):573-592.

Burban, P.-Y., Lick, W., Lick, J. (1989). The flocculation of find-grained sediments in estuarine waters. Journal of Geophysical Research, 94(C6):8323-8330. https://doi.org/10.1029/JC094iC06p08323

Bitencourt, L. P., Fernandes, E. H., Möller, O. O., & Ross, L. (2020a). The contribution of ENSO cycles to the salinity spatiotemporal variability in a bar-built microtidal estuary. *Regional Studies in Marine Science*, 40, 101496. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101496

Bitencourt, L. P., Fernandes, E. H., Silva, P. D., & Möller, O. O. (2020b). Spatio-temporal variability of suspended sediment concentrations in a shallow and turbid lagoon. *Journal of Marine Systems*, 212, 103454. https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2020.103454

Calliari, L. J., & Fachin, S. (1993). Laguna dos Patos. Influências nos Depósitos La Míticos Costeiros. *Pesquisas em Geociências*, 20(1), 57. https://doi.org/10.22456/1807-9806.21282

Cruz, G.O., Schettini, C.A.F. (2025). The dynamics of the inner-shelf suspended sediments based on ADCP records and Rouse theory. Continental Shelf Research, 289(2005):105467. https://doi.org/10.1016/j.csr.2025.105467

Deines, K.L. (1999). Backscatter estimation using broad band acoustic Doppler current profilers. In: Proceedings of the IEEE Sixth Working Conference on Current Measurements, SanDiego, CA, 13–16 September 1999, pp. 249–253. 10.1109/CCM.1999.755249

Egbert, G. D., & Erofeeva, S. Y. (2002). Efficient Inverse Modeling of Barotropic Ocean Tides, *J. Atmos. Oceanic Technol.,* 19, 183–204. https://doi.org/10.1175/1520-0426(2002)019<0183:EIMOBO>2.0.CO;2

Fernandes, E. H. L., Dyer, K. R., Möller, O. O., & Niencheski, L. F. H. (2002). The Patos Lagoon hydrodynamics during an El Niño event (1998). *Continental Shelf Research*, 22(11-13), 1699-1713. https://doi.org/10.1016/S0278-4343(02)00065-1

Fernandes, E. H. L., Marino-Tapia, I., Dyer, K. R., & Möller, O. O. (2004). The attenuation of tidal and subtidal oscillations in the Patos Lagoon estuary. *Ocean Dynamics*, 54(3–4), 348–359. https://doi.org/10.1007/s10236-004-0071-5

Fernandes, E. H. L., Dyer, K. R., & Möller, O. O. (2005). Spatial gradients in the flow of southern Patos Lagoon. *Journal of Coastal Research*, 21(4), 759–769. https://doi.org/10.2112/1551-5036(2005)21[759:SGITFO]2.0.CO;2

Fernandes, E. H. L., Cecilio, R. O., & Schiller, R. V. (2007). Estudo da influência da alteração dos molhes da Barra de Rio Grande sobre a circulação do estuário da Lagoa dos Patos – RS. *VETOR*, 15, 49–57.

Fernandes, E. H., da Silva, P. D., Gonçalves, G. A., & Möller, O. O. Jr. (2021). Dispersion plumes in open ocean disposal sites of dredged sediment. *Water*, 13, 808. https://doi.org/10.3390/w13060808

Gartner, J.W., (2004). Estimating suspended solids concentrations from backscatter intensity measured by acoustic Doppler current profiler in San Francisco Bay, California. Marine Geology, 211(3-4):169-187. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2004.07.001

Hervouet, J.-M. (2007). Hydrodynamics of free surface flows: Modeling with the finite element method. John Wiley & Sons, Ltd.

Lisboa, P., Fernandes, E. H., Sottolichio, A., Huybrechts, N., & Bendô, A. R. (2022). Coastal plumes contribution to the suspended sediment transport in the Southwest Atlantic inner continental shelf. *Journal of Marine Systems*, 236, 103796. https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2022.103796

Lisboa, P. V., Fernandes, E. H., Sottolichio, A., Huybrechts, N., Bendô, A. R. R., & Costi, J. (2023). Bottom evolution patterns driven by hydrodynamic forcing in the Southwest Atlantic Inner Continental Shelf, off Río de la Plata and Patos Lagoon. Continental Shelf Research, 255, 104934. https://doi.org/10.1016/j.csr.2023.104934

Manning, A. J., Baugh, J. V., Spearman, J.R., Whitehouse, R.J.S. (2010). Flucculation settling characteristics of mud:sand mixtures. Ocean Dynamics, 60:237-253. https://doi.org/10.1007/s10236-009-0251-0

Mantovanelli, A., Ridd, P. V. (2006). Devices to measure settling velocities of cohesive sediment aggregates: a review of the in situ technology. Journal of Sea Research, 56(3):199-226. https://doi.org/10.1016/j.seares.2006.05.002

Marques, W. C., Fernandes, E. H., Monteiro, I. O., & Möller, O. O. (2009). Numerical modeling of the Patos Lagoon coastal plume, Brazil. *Continental Shelf Research*, 29, 556–571. https://doi.org/10.1016/j.csr.2008.09.022

Marques, W. C., Fernandes, E. H., Moraes, B. C., Möller, O. O., & Malcherek, A. (2010a). Dynamics of the Patos Lagoon coastal plume and its contribution to the deposition pattern of the southern Brazilian inner shelf. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 115(10), C10047. https://doi.org/10.1029/2010JC006190

Marques, W. C., Monteiro, I. O., Fernandes, E. H., & Möller, O. O. (2010b). Straining and advection contributions to the mixing process of the Patos Lagoon coastal plume, Brazil. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 115, C06019. https://doi.org/10.1029/2009JC005653

Möller, O. O., & Castaing, P. (1999). Hydrographical characteristics of the estuarine area of Patos Lagoon (30°S, Brazil). Em G. M. E. Perillo, M. C. Piccolo, & M. Pino-Quivira (Orgs.), Estuaries of South America (p. 83–100). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-60131-6_5

Moller, O. O., Castaing, P., Salomon, J.-C., & Lazure, P. (2001). The influence of local and non-local forcing effects on the subtidal circulation of Patos Lagoon. Estuaries, 24(2), 297. https://doi.org/10.2307/1352953

Oliveira, H. A., Fernandes, E. H. L., Möller, O. O., & Collares, G. L. (2015). Processos Hidrológicos e Hidrodinâmicos da Lagoa Mirim. *Rev. Bras. Recur. Hidr.,* 20, 34–45. 10.21168/rbrh.v20n1.p34-45

Owen, M.W., 1976. Determination of the Settling Velocities of Cohesive Muds. Hydraulic Research Station, Wallingford, Report No. IT 161, pp. 1–8.

Partheniades, E. (1965). Erosion and Deposition of Cohesive Soils. *J. Hydraul. Div*, 91, 105–139. https://doi.org/10.1061/JYCEAJ.0001165

Santa-Rosa, P. R. A., Schettini, C. A. F. (2024). Daily variability of estuary-shelf exchange at the Lagoa dos Patos' mouth. Regional Studies in Marine Science, 77(2024):103633. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103633

Schettini, C.A.F., 2022. Dredging, mud, and Dunning-Kruger. Arquivos de Ciências do Mar, 55:485-491.

Schettini, C. A. F., Pereira, M. D., Siegle, E., Miranda, L. B., Silva, M. P. (2013). Residual fluxes of suspended sediment in a tidally dominated tropical estuary. Continental Shelf Research, 70(2013):27-35. https://doi.org/10.1016/j.csr.2013.03.006

Silva, P., Lisboa, P., & Fernandes, E. (2015). Changes on the fine sediment dynamics after the port of Rio Grande expansion. *Advances in Geosciences*, 39, 123–127. https://doi.org/10.5194/adgeo-39-123-2015

Silva, P.D., Fernandes, E.H., Gonçalves, G.A. (2022). Sustainable Development of Coastal Areas: Port Expansion with Small Impacts on Estuarine Hydrodynamics and Sediment Transport Pattern. *Water*, 14:3300. https://doi.org/10.3390/w14203300

Stech, J. L., Lorenzzetti, J. A. (1992). The response of the South Brazil Bight to the passage of wintertime cold fronts. Journal of Geophysical Research, 97(C6):9507-9520. https://doi.org/10.1029/92JC00486

UNESCO, 1983. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. Unesco Technical Papers in Marine Science, N44, 53p.

Van Leussen, W. (1999). The variability of settling velocities of suspended fine-grained sediment in the Ems estuary. *J. Sea Res.*, 41, 109–118. https://doi.org/10.1016/S1385-1101(98)00046-X

Walstra, L.; Van Rijn, L.; Blogg, H.; Van Ormondt, M. Evaluation of a Hydrodynamic Area Model Based on the Coast3d Data at Teignmouth 1999. In Proceedings of the Coastal Dynamics 2001 Conference, Lund D, Lund, Sweden, 11–15 June 2001; pp. D4.1–D4.4.

Winterwerp, J. C. (2002). On the flocculation and settling velocity of estuarine mud. Continental Shelf Research, 22(9), 1339–1360. https://doi.org/10.1016/S0278-4343(02)00010-9

Winterwerp, J. C.,van Kesteren, W. G. M. (2004). Introduction to the physics of cohesive sediment in the marine environment. New York, Elsevier, 466p.

Capítulo 7: Material Suplementar

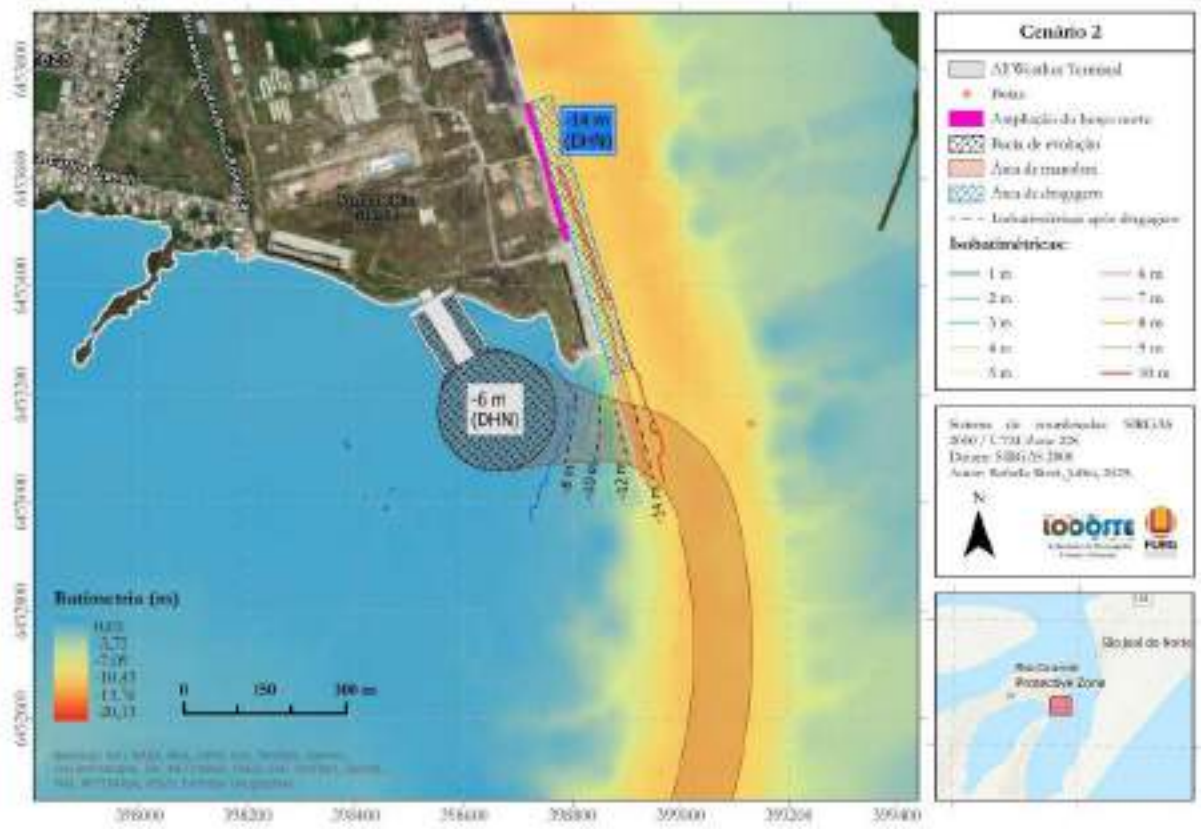


Figura Suplementar S.7.1: Mapa batimétrico para a região do AWT com detalhes sobre a configuração do Cenário 2. São ilustradas na figura: o AWT (All Weather Terminal), a ampliação do berço norte e regiões de dragagem (-14 m DHN sobre o canal de navegação, -6 m DHN na bacia de evolução e isobatimétricas pretendidas após a dragagem para conectar o AWT ao canal de navegação). Outras informações como a localização da área de manobra e das boias de sinalização também são representadas na figura.

Figura Suplementar S7.2: Mapa batimétrico para a região do AWT com detalhes sobre a configuração do Cenário 3. São ilustradas na figura: o AWT (All Weather Terminal), os pilotes, a ampliação do berço norte e regiões de dragagem (-14 m DHN sobre o canal de navegação e -6 m DHN na bacia de evolução). Outras informações como a localização da área de manobra e das boias de sinalização também são representadas na figura.

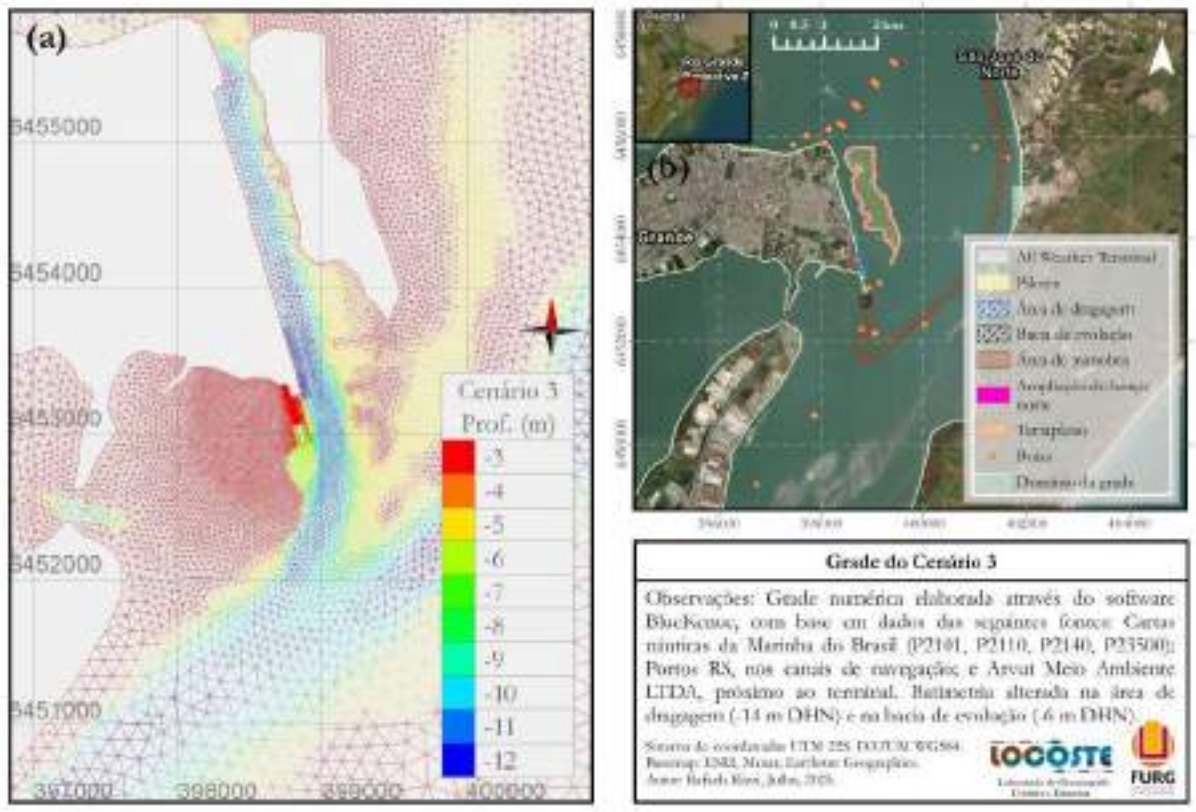


Figura Suplementar S.7.3: Grade do Cenário 2: (a) visão ampliada da grade para a região do AWT (All Weather Terminal) e distribuição de profundidades (escala de cores); e (b) detalhes sobre a configuração adotada na elaboração da grade, que inclui o AWT, a ampliação do berço norte e regiões de dragagem (-14 m DHN sobre o canal de navegação, -6 m DHN na bacia de evolução e isobatimétricas pretendidas após a dragagem para conectar o AWT ao canal de navegação). Outras informações como a localização da ilha Terrapleno, da área de manobra e das boias de sinalização também são ilustradas.

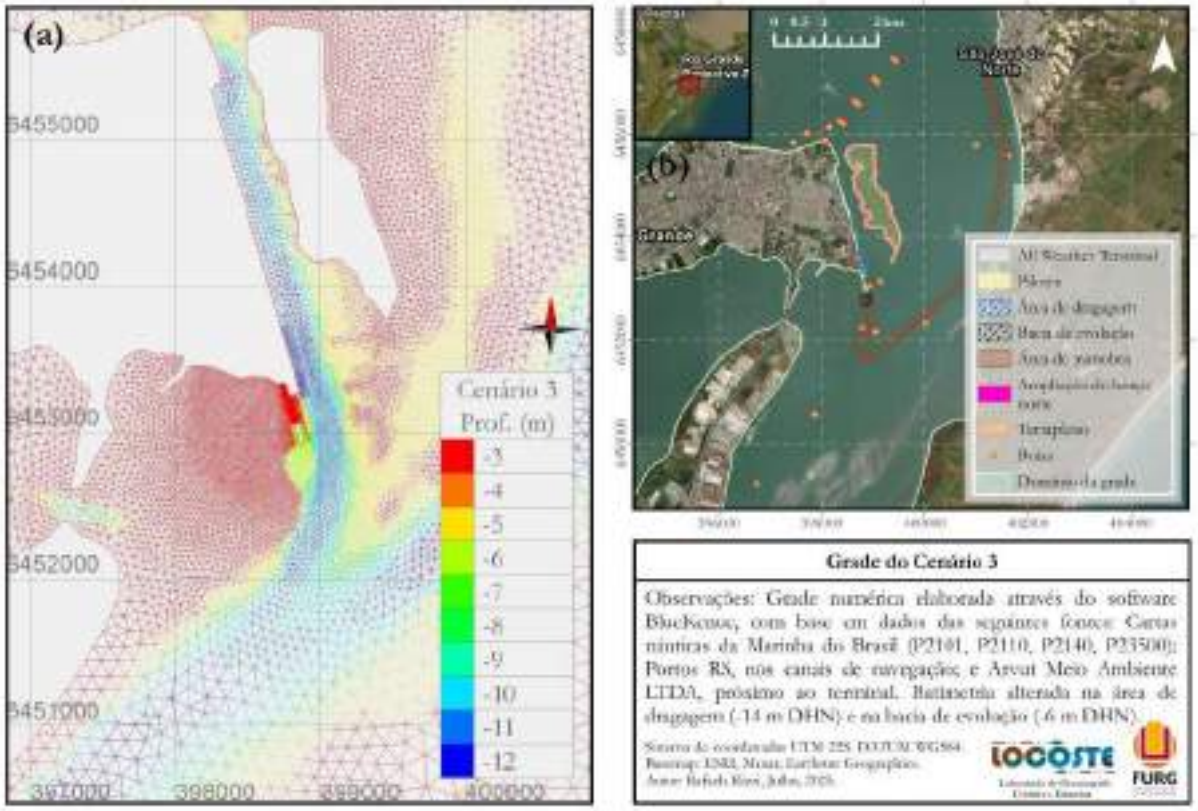


Figura Suplementar S.7.4: Grade do Cenário 3: (a) visão ampliada da grade para a região do AWT (All Weather Terminal) e distribuição de profundidades (escala de cores); e (b) detalhes sobre a configuração adotada na elaboração da grade, que inclui o AWT, os pilotes, a ampliação do berço norte e regiões de dragagem (-14 m DHN sobre o canal de navegação e -6 m DHN na bacia de evolução). Outras informações como a localização da ilha Terrapleno, da área de manobra e das boias de sinalização também são ilustradas.

Anexo 8. Mapa Batimétrico.

-52,079167° -52,075° -52,070833° -52,066667° -52,0625° -52,058333°

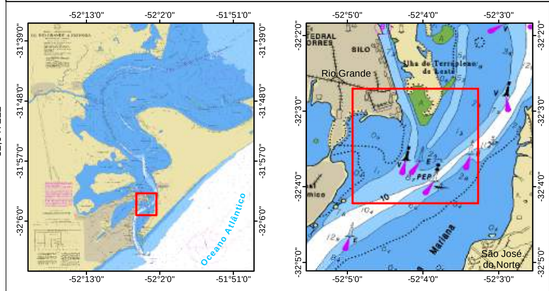
-32,047222° -32,05° -32,052778° -32,055556° -32,058333° -32,061111° -32,063889° -32,066667° -32,069444°

BR-392

I. da Base

Lagoa dos Patos

Localização



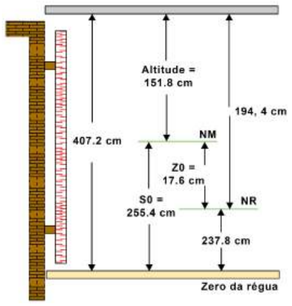
Legenda

- Rodovia Federal
- Canal Porto Novo
- Canal de São José do Norte
- Área Diretamente Afetada
- Curvas Isobatimétricas

Batimetria (Profundidade em Metros)

- 0,1 - 1
- 1,1 - 2
- 2,1 - 3
- 3,1 - 4
- 4,1 - 5
- 5,1 - 6
- 6,1 - 7
- 7,1 - 8
- 8,1 - 9
- 9,1 - 10
- 10,1 - 11
- 11,1 - 12
- 12,1 - 13
- 13,1 -14

Diagrama da Régua:



Nota Explicativa I

Parâmetros Cartográficos:

Sistema de Coordenadas Geográficas
Graus Decimais
Datum Horizontal: SIRGAS2000

0 100 200 m

Nota Explicativa II

Fonte das Informações:

- Trecho de Drenagem, Rodovia, Limite Municipal: Base Cartográfica do Estado do RS, Escala: 1:25.000 - BCRS25, Versão 1.0 - 2018.
- Localidade e Divisão Estadual: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2018.
- Área Diretamente Afetada: Planta do Arranjo Geral. Updated Conceptual Engineering - Mem. DESCRITIVO. Nº PÖYRY 109003203-001-224-D02-0006. Nº CMPC 224-003-00011. ESCALA 1:1.500.
- Batimetria e Curvas Isobatimétricas: Arvut Meio Ambiente. 05/2025. Estação Maregráfica F41 - Padrão - SSN-5 - 60375 - Versão 1/2016. Localização: Latitude 31° 01'. 9 S e Longitude: 052° 04'. 5 W.
O nível de redução está 237.76 cm acima do zero da régua.
- Carta Náutica: Marinha do Brasil. Serviço Hidrográfico Brasileiro. Centro de Hidrografia da Marinha (CHN). Carta Náutica 2112. Lagoa dos Patos. De Rio Grande a Feitoria. Escala 1:80.000 (31°55,50). 1988.
- Imagem Base: Aplicativo Google Satellite.

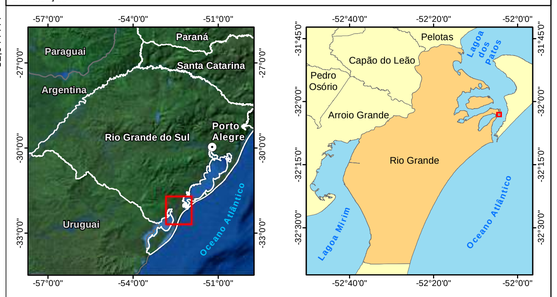
Projeto: Estudo de Impacto Ambiental com Vistas à Obtenção de Licença Prévia de Eia/Rima para Terminal Portuário Privado no Complexo Portuário do Rio Grande			Local: Rio Grande - RS
Título: Mapa da Planta Batimétrica			
Responsável Técnico: Eng. Civ. Kayo C. F. Soares CREA/RS 225372	Elaborado por: Geógrafo Eduardo Farina CREA/RS 177016	Aprovado por: Bióloga Thaís Ascoli Morrete CRBio 110870/03D	Executora: ARVUT SINERGIA EM MEIO AMBIENTE
Parâmetros Cartográficos: Ver nota explicativa I	Fonte de Dados: Ver nota explicativa II	Escala: 1:5.000	Prancha: 001/001 — Data: junho/2025
Documento Digital: 241_EIA_ADA_BATIMETRIA_A1		Contratante: TERMINAL RIO GRANDE DO SUL S.A.	

Anexo 9. Mapa com os pontos de coleta para avaliar a qualidade das águas superficiais.

-52,079167° -52,075° -52,070833° -52,066667°

-32,044444° -32,047222° -32,05° -32,052778° -32,055556° -32,058333°

Localização



Legenda

- Pontos de Coleta de Água Superficial
- Ponto de Referência
- Bairro
- Rodovia Federal
- Canal Porto Novo
- Área Diretamente Afetada

Nota Explicativa I

Parâmetros Cartográficos:

N W E S

Sistema de Coordenadas Geográficas
Graus Decimais
Datum Horizontal: SIRGAS2000

0 50 100 m

Nota Explicativa II

Fonte das Informações:

- Trecho de Drenagem, Rodovia, Limite Municipal: Base Cartográfica do Estado do RS, Escala: 1:25.000 - BCRS25, Versão 1.0 - 2018.
- Localidade e Divisão Estadual: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2018.
- Pontos de Coleta de Água Superficial: Arvut Meio Ambiente, 05/2025.
- Área Diretamente Afetada: Planta do Arranjo Geral. Updated Conceptual Engineering - Mem. DESCRITIVO. Nº PÖYRY 109003203-001-224-D02-0006. Nº CMPC 224-003-00011. ESCALA 1:1.500.
- Imagem Base: Aplicativo Google Satellite.

Projeto: Estudo de Impacto Ambiental com Vistas à Obtenção de Licença Prévia de Eia/Rima para Terminal Portuário Privado no Complexo Portuário do Rio Grande			Local: Rio Grande - RS
Título: Mapa de Pontos de Coleta de Água Superficial			
Responsável Técnico: Eng. Civ. Kayo C. F. Soares CREA/RS 225372	Elaborado por: Geógrafo Eduardo Farina CREA/RS 177016	Aprovado por: Bióloga Thaís Ascoli Morrete CRBio 110870/03D	Executora: ARVUT SINERGIA EM MEIO AMBIENTE
Parâmetros Cartográficos: Ver nota explicativa I	Fonte de Dados: Ver nota explicativa II	Escala: 1:3.000	Prancha: 001/001 / Data: maio/2025
Documento Digital: 241_EIA_FISICO_ADA_COLETA_AGUA_SUP_A1		Contratante: TERMINAL RIO GRANDE DO SUL S.A.	

Anexo 10. Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas laboratoriais para verificação da qualidade das águas superficiais.

P1 **01035603/25**

SOLICITANTE: **ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA** **15/07/2025**

AVALIADO: **ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA**
RUA WASHINGTON LUIZ 1010 SALA 701 À 705-PORTO ALEGRE-RS-90010-460

RELATÓRIO DE AMOSTRAGEM

Tipo de amostra:	Água Superficial
Identificação do ponto de coleta:	P1
Local da coleta:	Canal do Porto de Rio Grande
Data da Coleta:	14/07/2025
Hora da coleta:	11:25
Responsável pela coleta:	Paulo Silveira - Toxilab
Acompanhamento da Coleta:	Giovani
Condições ambientais:	Tempo Nublado
Número do plano de amostragem:	03/25

Chave de Validação

1edeinqeicns08055a5b9c1978d21c43b1ea8a592649

Emitido Em 23/07/2025

F-SGQ-23 Rev. 02

www.toxilab.com.br - fone (51) 3232.0010
Rua 24 de Outubro, 111 – 5ª Avenida Center, loja37 – CEP: 90510-900 – Moinhos de Vento – Porto Alegre/RS – CRF: 10.170
Central de Produção: Rua Gomes Jardim, 165 - CEP: 90620-130

Responsável Técnico: Dr. Renato Nesralla Mattar - CRF: 1952

by Agilework®

P1 **01035603/25**

SOLICITANTE: **ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA** **15/07/2025**

AVALIADO: **ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA**
RUA WASHINGTON LUIZ 1010 SALA 701 À 705-PORTO ALEGRE-RS-90010-460

RELATÓRIO DE ENSAIO

Data e Hora do recebimento no laboratório 15/07/2025 - 10:40
Periodo de realização dos ensaios 15/07/2025 à 23/07/2025

PARÂMETRO	RESULTADO	VALOR MÁXIMO PERMITIDO	UNIDADE	LQ	MÉTODO
Nitrito (como N)	*Não Detectado*	-	*mg/L*	*0,15*	*SMWW, 24ed. 2023, 4110 B*
Nitrato (como N)	*0,80*	-	*mg/L*	*0,11*	*SMWW, 24ed. 2023, 4110 B*
Escherichia coli	*22,8*	-	*mL*	-	*SMWW, 24ª ed. 2023, 9223 B*
Condutividade	*2216,0*	-	*uS/cm*	*84 uS/cm à 1408 uS/cm*	*SMWW, 24ed. 2023, 2510 B*
DBO	*7*	-	*mg/L*	*2*	*SMWW, 24ed. 2023, 5210 B*
Fósforo	*0,06*	-	*mg/L*	*0,05*	*POP-FSQ-16*
Nitrogênio Total	*0,97*	-	*mg/L*	*0,60*	*POP-FSQ-18*
Sólidos Dissolvidos Totais	*1422*	-	*mg/L*	*5*	*SMWW, 24ed. 2023, 2540 C*
Sulfato	*78,74*	-	*mg/L*	*0,50*	*SMWW, 24ed. 2023, 4110 B*
Turbidez	*9,8*	-	*NTU*	*0,05*	*SMWW, 24ed. 2023, 2130 B*

Amostragem realizada pelos técnicos do Toxilab são de acordo com POP de coleta.
POP-AMOST-01 - Garantia da qualidade.
POP-AMOST-02 - Análises subsequentes.
POP-AMOST-03 - Águas.
POP-AMOST-05 - Água superficial.

Os resultados referem-se somente à amostra analisada.

Para relatórios com conclusão/declaração de conformidade, a regra de decisão definida pelo laboratório é a não utilização da incerteza de medição dos ensaios e/ou amostragem.

O relatório de ensaio não pode ser reproduzido parcialmente sem prévia autorização do laboratório.

Legenda: LQ = Limite de Quantificação.

Final de Relatório.

Alexsandra Pacheco
CRQ 052004874

Jully C. dos Santos
CRBM-5 9306

Chave de Validação

1edeinqeicns08055a5b9c1978d21c43b1ea8a592649

Emitido Em 23/07/2025
F-SGQ-23 Rev. 02

www.toxilab.com.br - fone (51) 3232.0010
Rua 24 de Outubro, 111 – 5ª Avenida Center, loja37 – CEP: 90510-900 – Moinhos de Vento – Porto Alegre/RS – CRF: 10.170
Central de Produção: Rua Gomes Jardim, 165 - CEP: 90620-130

Responsável Técnico: Dr. Renato Nesralla Mattar - CRF: 1952

by Agilework®

TOXILAB
Laboratório de Análises

CANAL DO PORTO - P2

01035604/25

SOLICITANTE: **ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA** **15/07/2025**

AVALIADO: **ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA**
RUA WASHINGTON LUIZ 1010 SALA 701 À 705-PORTO ALEGRE-RS-90010-460

RELATÓRIO DE AMOSTRAGEM

Tipo de amostra:	Água Superficial
Identificação do ponto de coleta:	P2
Local da coleta:	Canal do Porto de Rio Grande
Data da Coleta:	14/07/2025
Hora da coleta:	11:30
Responsável pela coleta:	Paulo Silveira - Toxilab
Acompanhamento da Coleta:	Giovani
Condições ambientais:	Tempo Nublado
Número do plano de amostragem:	03/25

Chave de Validação

1edeinqejcni61297d0576b65db5fd73cf0761694d99

Emitido Em 23/07/2025

F-SGQ-23 Rev. 02

www.toxilab.com.br - fone (51) 3232.0010
Rua 24 de Outubro, 111 – 5ª Avenida Center, loja37 – CEP: 90510-900 – Moinhos de Vento – Porto Alegre/RS – CRF: 10.170
Central de Produção: Rua Gomes Jardim, 165 - CEP: 90620-130

Responsável Técnico: Dr. Renato Nesralla Mattar - CRF: 1952

by Agilework®

TOXILAB
Laboratório de Análises

CANAL DO PORTO - P2 **01035604/25**

SOLICITANTE: ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA **15/07/2025**

AVALIADO: ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA
RUA WASHINGTON LUIZ 1010 SALA 701 À 705-PORTO ALEGRE-RS-90010-460

RELATÓRIO DE ENSAIO

Data e Hora do recebimento no laboratório 15/07/2025 - 10:40
Periodo de realização dos ensaios 15/07/2025 à 23/07/2025

PARÂMETRO	RESULTADO	VALOR MÁXIMO PERMITIDO	UNIDADE	LQ	MÉTODO
Nitrito (como N)	*Não Detectado*	-	*mg/L*	*0,15*	*SMWW, 24ed. 2023, 4110 B*
Nitrato (como N)	*0,80*	-	*mg/L*	*0,11*	*SMWW, 24ed. 2023, 4110 B*
Escherichia coli	*9,6*	-	*mL*	-	*SMWW, 24ª ed. 2023, 9223 B*
Condutividade	*2387,0*	-	*uS/cm*	*84 uS/cm à 1408 uS/cm*	*SMWW, 24ed. 2023, 2510 B*
DBO	*8*	-	*mg/L*	*2*	*SMWW, 24ed. 2023, 5210 B*
Fósforo	*Não Detectado*	-	*mg/L*	*0,05*	*POP-FSQ-16*
Nitrogênio Total	*0,93*	-	*mg/L*	*0,60*	*POP-FSQ-18*
Sólidos Dissolvidos Totais	*1523*	-	*mg/L*	*5*	*SMWW, 24ed. 2023, 2540 C*
Sulfato	*131,79*	-	*mg/L*	*0,50*	*SMWW, 24ed. 2023, 4110 B*
Turbidez	*10,8*	-	*NTU*	*0,05*	*SMWW, 24ed. 2023, 2130 B*

Amostragem realizada pelos técnicos do Toxilab são de acordo com POP de coleta.
POP-AMOST-01 - Garantia da qualidade.
POP-AMOST-02 - Análises subsequentes.
POP-AMOST-03 - Águas.
POP-AMOST-05 - Água superficial.

Os resultados referem-se somente à amostra analisada.

Para relatórios com conclusão/declaração de conformidade, a regra de decisão definida pelo laboratório é a não utilização da incerteza de medição dos ensaios e/ou amostragem.

O relatório de ensaio não pode ser reproduzido parcialmente sem prévia autorização do laboratório.

Legenda: LQ = Limite de Quantificação.

Final de Relatório.

Alexsandra Pacheco
CRQ 052004874

Jully C. dos Santos
CRBM-5 9306

Chave de Validação

1edeinqejcni61297d0576b65db5fd73cf0761694d99

Emitido Em 23/07/2025
F-SGQ-23 Rev. 02

www.toxilab.com.br - fone (51) 3232.0010
Rua 24 de Outubro, 111 – 5ª Avenida Center, loja37 – CEP: 90510-900 – Moinhos de Vento – Porto Alegre/RS – CRF: 10.170
Central de Produção: Rua Gomes Jardim, 165 - CEP: 90620-130

Responsável Técnico: Dr. Renato Nesralla Mattar - CRF: 1952

by Agilework®

P3 **01035605/25**

SOLICITANTE: **ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA** **15/07/2025**

AVALIADO: **ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA**
RUA WASHINGTON LUIZ 1010 SALA 701 À 705-PORTO ALEGRE-RS-90010-460

RELATÓRIO DE AMOSTRAGEM

Tipo de amostra:	Água Superficial
Identificação do ponto de coleta:	P3
Local da coleta:	Canal do Porto de Rio Grande
Data da Coleta:	14/07/2025
Hora da coleta:	11:35
Responsável pela coleta:	Paulo Silveira - Toxilab
Acompanhamento da Coleta:	Giovani
Condições ambientais:	Tempo Nublado
Número do plano de amostragem:	03/25

Chave de Validação

1edeinqencnece1f25de4fad7ea23f3f454a3cea85f6

Emitido Em 23/07/2025

F-SGQ-23 Rev. 02

www.toxilab.com.br - fone (51) 3232.0010
Rua 24 de Outubro, 111 – 5ª Avenida Center, loja37 – CEP: 90510-900 – Moinhos de Vento – Porto Alegre/RS – CRF: 10.170
Central de Produção: Rua Gomes Jardim, 165 - CEP: 90620-130

Responsável Técnico: Dr. Renato Nesralla Mattar - CRF: 1952

by Agilework®

P3 **01035605/25**

SOLICITANTE: **ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA** **15/07/2025**

AVALIADO: **ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA**
RUA WASHINGTON LUIZ 1010 SALA 701 À 705-PORTO ALEGRE-RS-90010-460

RELATÓRIO DE ENSAIO

Data e Hora do recebimento no laboratório 15/07/2025 - 10:40
Periodo de realização dos ensaios 15/07/2025 à 23/07/2025

PARÂMETRO	RESULTADO	VALOR MÁXIMO PERMITIDO	UNIDADE	LQ	MÉTODO
Nitrito (como N)	*Não Detectado*	-	mg/L	0,15	SMWW, 24ed. 2023, 4110 B
Nitrato (como N)	*0,90*	-	mg/L	0,11	SMWW, 24ed. 2023, 4110 B
Escherichia coli	*18,3*	-	mL	-	SMWW, 24ª ed. 2023, 9223 B
Condutividade	*2460,0*	-	uS/cm	84 uS/cm à 1408 uS/cm	SMWW, 24ed. 2023, 2510 B
DBO	*8*	-	mg/L	2	SMWW, 24ed. 2023, 5210 B
Fósforo	*Não Detectado*	-	mg/L	0,05	POP-FSQ-16
Nitrogênio Total	*0,95*	-	mg/L	0,60	POP-FSQ-18
Sólidos Dissolvidos Totais	*1578*	-	mg/L	5	SMWW, 24ed. 2023, 2540 C
Sulfato	*86,59*	-	mg/L	0,50	SMWW, 24ed. 2023, 4110 B
Turbidez	*10,7*	-	NTU	0,05	SMWW, 24ed. 2023, 2130 B

Amostragem realizada pelos técnicos do Toxilab são de acordo com POP de coleta.
POP-AMOST-01 - Garantia da qualidade.
POP-AMOST-02 - Análises subsequentes.
POP-AMOST-03 - Águas.
POP-AMOST-05 - Água superficial.

Os resultados referem-se somente à amostra analisada.

Para relatórios com conclusão/declaração de conformidade, a regra de decisão definida pelo laboratório é a não utilização da incerteza de medição dos ensaios e/ou amostragem.

O relatório de ensaio não pode ser reproduzido parcialmente sem prévia autorização do laboratório.

Legenda: LQ = Limite de Quantificação.

Final de Relatório.

Alexsandra Pacheco
CRQ 052004874

Jully C. dos Santos
CRBM-5 9306

Chave de Validação

1edeinqencnece1f25de4fad7ea23f3f454a3cea85f6

Emitido Em 23/07/2025

F-SGQ-23 Rev. 02

www.toxilab.com.br - fone (51) 3232.0010
Rua 24 de Outubro, 111 – 5ª Avenida Center, loja37 – CEP: 90510-900 – Moinhos de Vento – Porto Alegre/RS – CRF: 10.170
Central de Produção: Rua Gomes Jardim, 165 - CEP: 90620-130

Responsável Técnico: Dr. Renato Nesralla Mattar - CRF: 1952

by Agilework®

TOXILAB
Laboratório de Análises

CANAL DO PORTO - P4

01035606/25

SOLICITANTE: **ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA** **15/07/2025**

AVALIADO: **ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA**
RUA WASHINGTON LUIZ 1010 SALA 701 À 705-PORTO ALEGRE-RS-90010-460

RELATÓRIO DE AMOSTRAGEM

Tipo de amostra:	Água Superficial
Identificação do ponto de coleta:	P4
Local da coleta:	Canal do Porto de Rio Grande
Data da Coleta:	14/07/2025
Hora da coleta:	11:15
Responsável pela coleta:	Paulo Silveira - Toxilab
Acompanhamento da Coleta:	Giovani
Condições ambientais:	Tempo Nublado
Número do plano de amostragem:	03/25

Chave de Validação

1edeinqeqcnq57264dc81796188997b52a674838d853

Emitido Em 23/07/2025

F-SGQ-23 Rev. 02

www.toxilab.com.br - fone (51) 3232.0010
Rua 24 de Outubro, 111 – 5ª Avenida Center, loja37 – CEP: 90510-900 – Moinhos de Vento – Porto Alegre/RS – CRF: 10.170
Central de Produção: Rua Gomes Jardim, 165 - CEP: 90620-130

Responsável Técnico: Dr. Renato Nesralla Mattar - CRF: 1952

by Agilework®

TOXILAB
Laboratório de Análises

CANAL DO PORTO - P4 **01035606/25**

SOLICITANTE: ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA **15/07/2025**

AVALIADO: ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA
RUA WASHINGTON LUIZ 1010 SALA 701 À 705-PORTO ALEGRE-RS-90010-460

RELATÓRIO DE ENSAIO

Data e Hora do recebimento no laboratório 15/07/2025 - 10:40
Periodo de realização dos ensaios 15/07/2025 à 23/07/2025

PARÂMETRO	RESULTADO	VALOR MÁXIMO PERMITIDO	UNIDADE	LQ	MÉTODO
Nitrito (como N)	*Não Detectado*	-	*mg/L*	*0,15*	*SMWW, 24ed. 2023, 4110 B*
Nitrato (como N)	*0,70*	-	*mg/L*	*0,11*	*SMWW, 24ed. 2023, 4110 B*
Escherichia coli	*13,4*	-	*mL*	-	*SMWW, 24ª ed. 2023, 9223 B*
Condutividade	*2132,0*	-	*uS/cm*	*84 uS/cm à 1408 uS/cm*	*SMWW, 24ed. 2023, 2510 B*
DBO	*10*	-	*mg/L*	*2*	*SMWW, 24ed. 2023, 5210 B*
Fósforo	*Não Detectado*	-	*mg/L*	*0,05*	*POP-FSQ-16*
Nitrogênio Total	*0,82*	-	*mg/L*	*0,60*	*POP-FSQ-18*
Sólidos Dissolvidos Totais	*970*	-	*mg/L*	*5*	*SMWW, 24ed. 2023, 2540 C*
Sulfato	*71,87*	-	*mg/L*	*0,50*	*SMWW, 24ed. 2023, 4110 B*
Turbidez	*10,9*	-	*NTU*	*0,05*	*SMWW, 24ed. 2023, 2130 B*

Amostragem realizada pelos técnicos do Toxilab são de acordo com POP de coleta.
POP-AMOST-01 - Garantia da qualidade.
POP-AMOST-02 - Análises subsequentes.
POP-AMOST-03 - Águas.
POP-AMOST-05 - Água superficial.

Os resultados referem-se somente à amostra analisada.

Para relatórios com conclusão/declaração de conformidade, a regra de decisão definida pelo laboratório é a não utilização da incerteza de medição dos ensaios e/ou amostragem.

O relatório de ensaio não pode ser reproduzido parcialmente sem prévia autorização do laboratório.

Legenda: LQ = Limite de Quantificação.

Final de Relatório.

Alexsandra Pacheco
CRQ 052004874

Jully C. dos Santos
CRBM-5 9306

Chave de Validação

1edeinqeqcnq57264dc81796188997b52a674838d853

Emitido Em 23/07/2025
F-SGQ-23 Rev. 02

www.toxilab.com.br - fone (51) 3232.0010
Rua 24 de Outubro, 111 – 5ª Avenida Center, loja37 – CEP: 90510-900 – Moinhos de Vento – Porto Alegre/RS – CRF: 10.170
Central de Produção: Rua Gomes Jardim, 165 - CEP: 90620-130

Responsável Técnico: Dr. Renato Nesralla Mattar - CRF: 1952

by Agilework®

Fepam
Fundação Estadual de Proteção Ambiental - RS

Processo nº
10566-05.67 / 22.6

CCLAAM Nº **00039 / 2022**

CERTIFICADO DE CADASTRO DE LABORATÓRIO P/ ANÁLISES AMBIENTAIS

A Fundação Estadual de Proteção Ambiental, criada pela Lei Estadual nº 9.077 de 04/06/90, registrada no Ofício do Registro Oficial em 01/02/91, e com seu Estatuto aprovado pelo Decreto nº 51.761, de 26/08/14, de acordo com a Portaria nº 29/2017, de 01/06/2017, publicada no Diário Oficial do Estado em 05/06/2017 no uso de suas atribuições e com base nos autos do processo administrativo nº 10566-05.67/22.6 concede o presente CERTIFICADO.

I - Identificação:

EMPREENDEDOR RESPONSÁVEL: **192685 - TOXILAB LABORATORIO DE ANALISES LTDA**

CPF / CNPJ / Doc Estr: 73.255.390/0001-14

ENDEREÇO: RUA GOMES JARDIM 165
SANTANA
90620-130 PORTO ALEGRE - RS

EMPREENDIMENTO: **19700 - TOXILAB - LABORATORIO DE ANALISES AMBIENTAIS**

LOCALIZAÇÃO: RUA GOMES JARDIM, 165
SANTANA
PORTO ALEGRE - RS

COORDENADAS GEOGRÁFICAS: **Latitude:** -30,04580263 **Longitude:** -51,20887815

A REALIZAR ANÁLISE DE CADASTRO DE LABORATÓRIO

RAMO DE ATIVIDADE: 5.710,10

II - Condições e Restrições:

1. Quanto à Revogação:

1.1- este documento REVOGA o documento de Certificado de Cadastro de Laboratório P/ Análises Ambientais nº 00007/2019, de 18/03/2019.

2. Quanto ao Empreendimento:

2.1- período de validade deste documento: 02/12/2022 à 02/12/2026;

2.2- deverá manter responsável técnico, devidamente habilitado e com registro de responsabilidade técnica no órgão profissional competente, para o exercício da atividade;

2.3- as metodologias utilizadas para coleta e análise de cada ensaio deverão ser as normas/procedimentos constantes no escopo da Acreditação ou do Reconhecimento;

3. Quanto à Certificação:

3.1- o empreendedor apresentou os Certificados de Reconhecimento, emitidos pela Rede Metrológica RS, nº 7901 (ensaios químicos e físico químicos), nº 7902 (ensaios microbiológicos) e nº 7903 (amostragem) disponíveis em http://www.redemetrologica.com.br/laboratorios-reconhecidos;

3.2- os parâmetros e as matrizes ambientais permitidos neste Certificado estão contidos nos Certificados de Acreditação - INMETRO e/ou de Reconhecimento- Rede Rede Metrológica RS;

3.3- este Certificado de Cadastro de Laboratório de Análises Ambientais emitido pela FEPAM, somente será válido enquanto a Acreditação, emitida pelo INMETRO ou de Reconhecimento, emitido pela Rede Metrológica RS, estiver em vigor;

3.4- o empreendedor deverá informar imediatamente à FEPAM, caso ocorra a perda da Acreditação, emitida pelo INMETRO, ou do

Documento Assinado Digitalmente

Reconhecimento, emitido pela Rede Metrológica RS.

III - <u>Documentos a apresentar para renovação desta Licença:</u>

1- acessar o SOL - Sistema On Line de Licenciamento Ambiental, em www.sol.rs.gov.br, e seguir as orientações preenchendo as informações e apresentando as documentações solicitadas. O Manual de Operação do SOL encontra-se disponível na sua tela de acesso.

Este certificado não dispensa nem substitui quaisquer alvarás ou certidões de qualquer natureza exigidos pela Legislação Federal, Estadual ou Municipal, nem exclui as demais licenças ambientais.

Data de emissão: Porto Alegre, 01 de dezembro de 2022.

Este documento é válido para as condições acima no período de 02/12/2022 a 02/12/2026.

Este documento foi certificado por assinatura digital, processo eletrônico baseado em sistema criptográfico assimétrico, assinado eletronicamente por chave privada, garantida integridade de seu conteúdo e está à disposição no site www.fepam.rs.gov.br.

fepam®.

Documento Assinado Digitalmente

PROCERGS
CENTRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL S.A.

Nome do arquivo: m2baqv31.gbr

Autenticidade: Documento íntegro

ICP Brasil

DOCUMENTO ASSINADO POR	DATA	CPF/CNPJ	VERIFICADOR
Renato das Chagas e Silva	05/12/2022 08:39:48 GMT-03:00	39553094015	Assinatura válida

Documento Assinado Digitalmente

Documento eletrônico assinado digitalmente conforme MP nº 2.200-2/2001 de 24/08/2001, que institui a infraestrutura de Chaves Públicas Brasileira - ICP-Brasil.

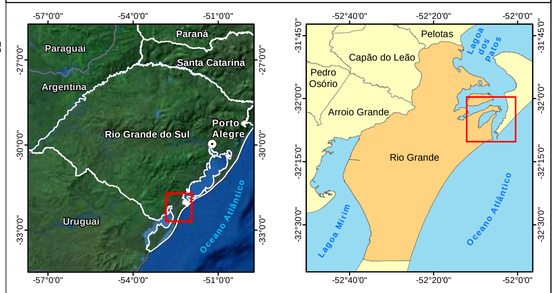
Anexo 11. Mapa hidrogeológico.

-52,2° -52,166667° -52,133333° -52,1° -52,066667° -52,033333°

-32° -32,033333° -32,066667° -32,1° -32,133333° -32,166667°

I. dos Marinheiros
I. do Leonídeo
I. do Terrapleno
I. da Pólvora
Lagoa dos Patos
Porto Velho
Vila Militar
Centro
qc1
Getúlio Vargas
Porto Novo
I. da Base
Cidade Nova
Parque
Coelho
Refinaria de Petróleo Riograndense
Santa Tereza
Vila Rural
Sao Miguel
ERS-734
Recreio
Vila Bernardeth
Vila Maria
Castelo Branco 1
Saco da Mangueira
Vila Mangueira
Yara
Estaleiro Rio Grande
Parque Marinha
Jardim do Sol
Parque Sao Pedro
Tergrasa
BR-392
BR-101
Tecon
Barra Nova
Estação Naval
Industrial Tamandaré
Senandes
Lagoa Verde
Praia do Mar Grosso
Oceano Atlântico
Balacha
Praia do Cassino
Molhes da Barra
Estaleiro Brasil - EBR
São José do Norte

Localização



Legenda

- Ponto de Referência
- Bairro
- Rodovia Federal
- Rodovia Estadual
- Ferrovia
- Limite Municipal
- Área Diretamente Afetada
- Área de Influência Indireta do Meio Físico - Meio Terrestre
- Área de Influência Indireta do Meio Físico - Meio Aquático

Sistema Aquífero

- qc1 - Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I

Produtividade do Aquífero

- Alta - Capacidade específica (Q/s) maior que 4 m³/h/m

Nota Explicativa I

Parâmetros Cartográficos:

N W E S

Sistema de Coordenadas Geográficas
Graus Decimais
Datum Horizontal: SIRGAS2000

km
0 0,5 1

Nota Explicativa II

Fonte das Informações:

- Trecho de Drenagem, Rodovia, Limite Municipal: Base Cartográfica do Estado do RS, Escala: 1:25.000 - BCRS25, Versão 1.0 - 2018.
- Localidade e Divisão Estadual: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2018.
- Sistemas Aquíferos, Produtividade dos Aquíferos: Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul. Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento (DRH). Escala 1:750.000. 11/2005.
- Áreas de Influência: Arvut Meio Ambiente, 07/04/2025.
- Imagem Base: Aplicativo Google Satellite.

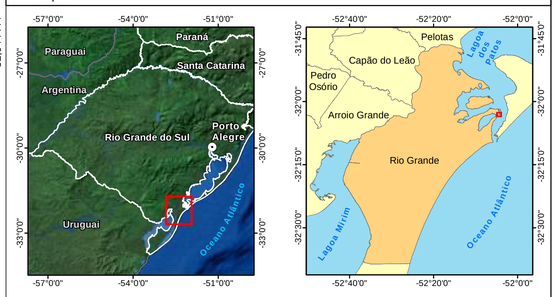
Projeto: Estudo de Impacto Ambiental com Vistas à Obtenção de Licença Prévia de Eia/Rima para Terminal Portuário Privado no Complexo Portuário do Rio Grande					Local: Rio Grande - RS
Título: Mapa Hidrogeológico					
Responsável Técnico: Eng. Civ. Kayo C. F. Soares CREA/RS 225372	Elaborado por: Geógrafo Eduardo Farina CREA/RS 177016	Aprovado por: Bióloga Thaís Ascoli Morrete CRBio 110870/03D			Executora: ARVUT SINERGIA EM MEIO AMBIENTE
Parâmetros Cartográficos: Ver nota explicativa I	Fonte de Dados: Ver nota explicativa II	Escala: 1:35.000	Prancha: 001/001	Data: maio/2025	
Documento Digital: 241_EIA_FISICO_AII_HIDROGEOLOGIA_A1		Contratante: TERMINAL RIO GRANDE DO SUL S.A.			

Anexo 12. Mapa de localização dos poços para amostragem de água subterrânea.

-52,079167° -52,075° -52,070833° -52,066667°

-32,044444° -32,047222° -32,05° -32,052778° -32,055556° -32,058333°

Localização



Legenda

- Poços de Monitoramento de Água Subterrânea
- Ponto de Referência
- Bairro
- Rodovia Federal
- Canal Porto Novo
- Área Diretamente Afetada

Nota Explicativa I

Parâmetros Cartográficos:

Sistema de Coordenadas Geográficas
Graus Decimais
Datum Horizontal: SIRGAS2000

0 50 100 m

Nota Explicativa II

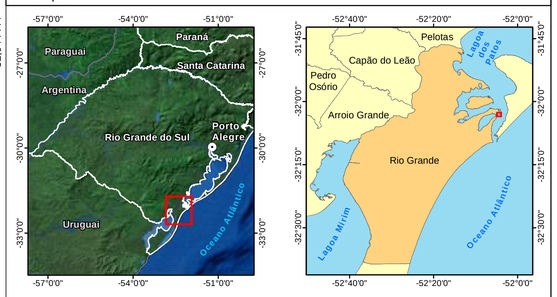
Fonte das Informações:

- Trecho de Drenagem, Rodovia, Limite Municipal: Base Cartográfica do Estado do RS, Escala: 1:25.000 - BCRS25, Versão 1.0 - 2018.
- Localidade e Divisão Estadual: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2018.
- Poços de Monitoramento de Água Subterrânea: Arvut Meio Ambiente, 05/2025.
- Área Diretamente Afetada: Planta do Arranjo Geral. Updated Conceptual Engineering - Mem. DESCRITIVO. Nº PÖYRY 109003203-001-224-D02-0006. Nº CMPC 224-003-00011. ESCALA 1:1.500.
- Imagem Base: Aplicativo Google Satellite.

Projeto: Estudo de Impacto Ambiental com Vistas à Obtenção de Licença Prévia de Eia/Rima para Terminal Portuário Privado no Complexo Portuário do Rio Grande			Local: Rio Grande - RS
Título: Mapa de Poços de Monitoramento de Água Subterrânea - Área Diretamente Afetada			
Responsável Técnico: Eng. Civ. Kayo C. F. Soares CREA/RS 225372	Elaborado por: Geógrafo Eduardo Farina CREA/RS 177016	Aprovado por: Bióloga Thaís Ascoli Morrete CRBio 110870/03D	Executora: ARVUT SINERGIA EM MEIO AMBIENTE
Parâmetros Cartográficos: Ver nota explicativa I	Fonte de Dados: Ver nota explicativa II	Escala: 1:3.000	Prancha: 001/001 / Data: maio/2025
Documento Digital: 241_EIA_FISICO_ADA_POCOS_MONIT_A1		Contratante: TERMINAL RIO GRANDE DO SUL S.A.	

Anexo 13. Mapa com as curvas isopotenciométricas indicando a direção preferencial do fluxo da água subterrânea na ADA do Terminal Rio Grande do Sul S.A.

Localização



Legenda

- Ponto de Referência
- Bairro
- Curva Isopotenciométrica
- Rodovia Federal
- Canal Porto Novo
- Área Diretamente Afetada

Nota Explicativa I

Parâmetros Cartográficos:

Sistema de Coordenadas Geográficas
Graus Decimais
Datum Horizontal: SIRGAS2000

0 50 100 m

Nota Explicativa II

Fonte das Informações:

- Trecho de Drenagem, Rodovia, Limite Municipal: Base Cartográfica do Estado do RS, Escala: 1:25.000 - BCRS25, Versão 1.0 - 2018.
- Localidade e Divisão Estadual: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2018.
- Curvas Isopotenciométricas: Arvut Meio Ambiente, 05/2025.
- Área Diretamente Afetada: Planta do Arranjo Geral. Updated Conceptual Engineering - Mem. DESCRITIVO. Nº PÖYRY 109003203-001-224-D02-0006. Nº CMPC 224-003-00011. ESCALA 1:1.500.
- Imagem Base: Aplicativo Google Satellite.

Projeto: Estudo de Impacto Ambiental com Vistas à Obtenção de Licença Prévia de Eia/Rima para Terminal Portuário Privado no Complexo Portuário do Rio Grande			Local: Rio Grande - RS
Título: Mapa de Curvas Isopotenciométricas - Área Diretamente Afetada			
Responsável Técnico: Eng. Civ. Kayo C. F. Soares CREA/RS 225372	Elaborado por: Geógrafo Eduardo Farina CREA/RS 177016	Aprovado por: Bióloga Thaís Ascoli Morrete CRBio 110870/03D	Executora: ARVUT SINERGIA EM MEIO AMBIENTE
Parâmetros Cartográficos: Ver nota explicativa I	Fonte de Dados: Ver nota explicativa II	Escala: 1:3.000	Prancha: 001/001 — Data: maio/2025
Documento Digital: 241_EIA_FISICO_ADA_ISOPOTENCIOM_A1		Contratante: TERMINAL RIO GRANDE DO SUL S.A.	

Anexo 14. Principais dados dos poços registrados junto ao Projeto SIAGAS (Dados obtidos junto a CPRM).

COTA	LAT.	LONG.	PROPRIETÁRIO	SITUAÇÃO	USO	DATA	PERFURADOR	CONDIÇÃO	PROF.	FORMAÇÃO	ND	NE	VAZÃO
3,00	-32,072777	-52,102777	ROULLIER BRASIL LTDA	Bombeando	Abastecimento Industrial	20/11/2004			8,00		3,72	3,53	63,158
5,00	-32,090833	-52,189444	CORSAN	Abandonado		12/02/2002	CORSAN	Livre	66,00	Depósitos Litorâneos	8,55	2,89	12,622
6,00	-32,071666	-52,256388	CORSAN	Abandonado		13/12/1977	CORSAN	Livre	46,00	Depósitos Litorâneos	36,00	2,76	0,401
6,00	-32,071666	-52,256666	CORSAN	Abandonado		21/06/1989	CORSAN	Livre	50,00	Depósitos Litorâneos	20,42	5,39	1,711
6,00	-32,071388	-52,256388	CORSAN	Abandonado		01/12/1999	CORSAN	Livre	29,00	Depósitos Litorâneos	14,00	0,50	2,069
6,00	-32,071944	-52,260833	CORSAN	Abandonado		28/11/1988	CORSAN	Livre	28,00	Depósitos Litorâneos	23,32	5,00	0,479
5,00	-31,926388	-52,228888	CORSAN	Bombeando	Abastecimento Urbano	30/05/1992	CORSAN	Livre	40,00	Depósitos Litorâneos	2,85	0,00	13,435
5,00	-31,926388	-52,228888	CORSAN	Abandonado		09/09/1984	CORSAN	Livre	14,00	Depósitos Litorâneos	3,00	0,88	0,615
5,00	-31,924722	-52,229166	CORSAN	Não Instalado		31/05/2002	CORSAN	Livre	39,16	Depósitos Litorâneos	5,03	1,02	17,930
6,00	-31,931388	-52,236666	CORSAN	Abandonado		13/12/1990	CORSAN	Livre	21,00	Depósitos Litorâneos	12,08	0,26	0,129
16,00	-31,933889	-52,304722	CORSAN	Bombeando	Abastecimento Doméstico	06/08/1977	CORSAN	Livre	33,00	Depósitos Litorâneos	19,35	8,22	1,586
3,00	-32,300555	-52,626388	JOSE CARLOS DE OLIVEIRA TORRES	Bombeando	Abastecimento Doméstico	26/01/1972	Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul	Livre	22,00	Depósitos Litorâneos	10,00	6,00	0,500
3,00	-32,311944	-52,622222	JOSE CARLOS DE OLIVEIRA TORRES	Abandonado		11/02/1972	Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul	Livre	20,00	Depósitos Litorâneos	14,00	7,00	0,171
3,00	-32,094722	-52,341666	JOAO RUBENS ALMEIDA	Abandonado		15/01/1972	Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul	Livre	17,00	Depósitos Litorâneos	9,00	4,00	0,600
5,00	-32,231111	-52,336666	RUBENS LOPES	Abandonado		30/04/1981	Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul	Livre	19,00	Depósitos Litorâneos	12,00	3,00	0,111
3,00	-31,853611	-52,330000	BRASIL MENDONCA ALBANDES	Abandonado		13/12/1971	Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul	Livre	12,50	Depósitos Litorâneos	9,00	3,00	0,200
3,00	-31,854166	-52,330277	RICARDO AMARO ALBANDES	Abandonado		07/12/1971	Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul	Livre	13,00	Depósitos Litorâneos	9,00	4,00	0,240
8,00	-32,537777	-52,538611	CORSAN	Abandonado		06/04/1986	CORSAN	Livre	10,00	Depósitos Litorâneos	2,80	1,85	2,105
	-32,071111	-52,104166	ROULLIER BRASIL LTDA	Bombeando	Abastecimento Industrial	18/01/2006	GEOREPP		8,00		4,42	3,21	29,752

Terminal Rio Grande do Sul S.A.

COTA	LAT.	LONG.	PROPRIETÁRIO	SITUAÇÃO	USO	DATA	PERFURADOR	CONDIÇÃO	PROF.	FORMAÇÃO	ND	NE	VAZÃO
16,00	-31,939444	-52,307778	CORSAN		Abastecimento Urbano	17/10/1985	CORSAN	Livre	37,00	Depósitos Litorâneos	29,36	8,61	1,276
3,00	-32,081667	-52,153611	CCB-CIMPOR CIMENTOS DO BRASIL LTDA		Abastecimento Industrial	20/02/2008		Livre	14,00	Depósitos Litorâneos		1,40	
7,39	-32,116944	-52,294444	FAURGS	Poço RIMAS Equipado Com Medidor Automático de Nível		24/02/2013	HIDROGEO Perfurações de Poços Artesianos Ltda.	Livre	23,50	Depósitos Litorâneos		1,69	
5,56	-32,151944	-52,268611	FAURGS			23/02/2013	HIDROGEO Perfurações de Poços Artesianos Ltda.	Livre	17,50	Depósitos Litorâneos		1,30	
5,38	-32,151667	-52,268611	FAURGS			23/02/2013	HIDROGEO Perfurações de Poços Artesianos Ltda.	Livre	47,00	Depósitos Litorâneos		1,10	
4,25	-32,188611	-52,210833	FAURGS			20/02/2013	HIDROGEO Perfurações de Poços Artesianos Ltda.	Livre	17,50	Depósitos Litorâneos		1,01	
4,44	-32,188611	-52,210833	FAURGS	Poço RIMAS Equipado Com Medidor Automático de Nível		20/02/2013	HIDROGEO Perfurações de Poços Artesianos Ltda.	Livre	35,00	Depósitos Litorâneos		0,96	
	-32,093611	-52,314167	AREVA TRANSMISSAO E DISTRIBUICAO DE ENERGIA			14/12/2006	HIDROGEO Perfurações de Poços Artesianos Ltda.	Livre	60,00	Depósitos Litorâneos		5,00	
	-32,092778	-52,320000	AREVA TRANSMISSAO E DISTRIBUICAO DE ENERGIA			15/12/2006	HIDROGEO Perfurações de Poços Artesianos Ltda.	Livre	60,00	Depósitos Litorâneos		6,00	
	-32,059722	-52,269722	CONSTRUTORA TRIUNFO S.A.			05/08/2010	HIDROGEO Perfurações de Poços Artesianos Ltda.	Livre	42,00	Depósitos Litorâneos	13,44	3,70	1,848

Terminal Rio Grande do Sul S.A.

COTA	LAT.	LONG.	PROPRIETÁRIO	SITUAÇÃO	USO	DATA	PERFURADOR	CONDIÇÃO	PROF.	FORMAÇÃO	ND	NE	VAZÃO
	-31,930833	-52,278333	PAMPASUL ALIMENTOS			18/02/2004	HIDROGEO Perfurações de Poços Artesianos Ltda.	Livre	50,00	Depósitos Litorâneos	12,20	8,80	2,647
7,00	-32,538056	-52,539444	IBAMA			27/11/1997	HIDROGEO Perfurações de Poços Artesianos Ltda.	Livre	58,00	Depósitos Litorâneos	8,74	2,10	0,545
7,00	-32,400833	-52,356111	SETA ENGENHARIA S.A.	Bombeando	Abastecimento Industrial	01/03/2013	Cristal Poços Artesianos LTDA ME	Livre	40,00	Depósitos Eólicos Litorâneos	36,00	10,00	0,316
6,00	-32,092778	-52,311944	HAMBURGO ENERGIA PARTICIPAÇOES LTDA			15/07/2006	HIDROPEL - Hidrogeologia e Perfurações Ltda.	Livre	64,00	Depósitos Flúvio-Lagunares	22,91	8,50	1,390
	-32,076389	-52,098333	ADUBOS TREVO			24/11/2004	HIDROPEL - Hidrogeologia e Perfurações Ltda.	Livre	40,00	Depósitos Litorâneos		3,18	
6,00	-32,115000	-52,123056	COMERCIAL BUFFON COMBUSTIVEIS E TRANSPORTES LTDA		Abastecimento Múltiplo	21/12/2009		Livre	12,00	Depósitos Litorâneos			
3,00	-32,047222	-52,138889	COMERCIAL BUFFON COMBUSTIVEIS E TRANSPORTES LTDA			21/12/2009		Livre	12,00	Depósitos Litorâneos			
3,00	-32,042222	-52,101944	COMERCIAL BUFFON COMBUSTIVEIS E TRANSPORTES LTDA		Abastecimento Múltiplo	21/12/2009		Livre	12,00	Depósitos Litorâneos			
5,00	-32,053889	-52,126944	COMERCIAL BUFFON COMBUSTIVEIS E			21/12/2009		Livre	12,00	Depósitos Litorâneos			

Terminal Rio Grande do Sul S.A.

COTA	LAT.	LONG.	PROPRIETÁRIO	SITUAÇÃO	USO	DATA	PERFURADOR	CONDIÇÃO	PROF.	FORMAÇÃO	ND	NE	VAZÃO
			TRANSPORTES LTDA										
6,00	-32,088611	-52,180000	COMERCIAL BUFFON COMBUSTIVEIS E TRANSPORTES LTDA			21/12/2009		Livre	12,00	Depósitos Litorâneos			
	-32,552778	-52,513056	CPRM	Poço RIMAS Equipado Com Medidor Automático de Nível	Sem Uso	01/08/2014	Cristal Poços Artesianos	Livre	42,00	Depósitos Litorâneos			
	-32,204722	-52,224444	STK SISTEMAS DO BRASIL LTDA			17/03/2013	HIDROGEO Perfurações de Poços Artesianos Ltda.	Livre	70,00	Formação Serra Geral		8,50	
11,00	-31,996944	-52,262500	SETA ENGENHARIA S.A.	Bombeando	Abastecimento Industrial	08/03/2015	HIDROGEO Perfurações de Poços Artesianos Ltda.	Livre	60,00	Depósitos Litorâneos	15,01	8,32	0,897
7,00	-32,186389	-52,156111	CORSAN		Abastecimento Urbano	23/05/1962	CORSAN	Livre	62,50	Depósitos Flúvio-Marinhos	18,00	0,00	0,698
3,00	-32,186667	-52,155833	CORSAN			06/05/1962	CORSAN	Livre	60,00	Depósitos Litorâneos			
6,00	-32,071389	-52,256667	CORSAN		Abastecimento Urbano	01/12/1999	CORSAN	Livre	126,00	Depósitos Litorâneos	14,00	1,20	2,344
8,00	-32,069444	-52,254444	CORSAN			25/07/1985	CORSAN	Livre	19,00	Depósitos Litorâneos	2,16	0,85	2,008
5,00	-31,918333	-52,153889	CORSAN			16/05/1984	CORSAN	Livre	22,00	Depósitos Litorâneos		1,20	
11,00	-32,306944	-52,621667	JOSE CARLOS DE OLIVEIRA TORRES	Abandonado		07/02/1972	Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul	Livre	23,00	Depósitos Flúvio-Lagunares	11,00	7,00	0,600
17,00	-31,939460	-52,308016	CORSAN	Fechado		14/07/2020	SOPS - PAP	Confinado	24,00	Depósitos Eólicos Litorâneos			
8,00	-31,939313	-52,307464	CORSAN	Bombeando		26/07/2020	SOPS - PAP	Semi-confinado	66,00	Depósitos Eólicos Litorâneos	23,53	14,18	2,498
	-32,081697	-52,154778		Bombeando	Abastecimento Industrial	17/12/2020	Não informada		7,00			1,07	
	-32,084201	-52,107100		Bombeando	Outros (Lazer,etc.)	05/08/2021			3,00				
	-32,084685	-52,249929		Bombeando	Outros (Lazer,etc.)	03/05/2018			9,00			4,00	
4,00	-32,055949	-52,163338				24/01/2012		Livre	14,00	Depósitos Eólicos Litorâneos			

COTA	LAT.	LONG.	PROPRIETÁRIO	SITUAÇÃO	USO	DATA	PERFURADOR	CONDIÇÃO	PROF.	FORMAÇÃO	ND	NE	VAZÃO
13,00	-32,405147	-52,552637		Bombeando	Abastecimento Doméstico	03/05/2018			50,00	Depósitos Flúvio-Lagunares			
10,00	-32,268389	-52,557120		Bombeando	Abastecimento Doméstico	28/08/2013			16,00	Depósitos Flúvio-Lagunares			
16,00	-32,243355	-52,491264		Bombeando	Abastecimento Doméstico	28/08/2013			16,00	Depósitos Flúvio-Lagunares			
16,00	-32,194130	-52,438998		Bombeando	Abastecimento Doméstico	28/08/2013			30,00	Depósitos Flúvio-Lagunares			
9,00	-32,263930	-52,559839		Bombeando	Abastecimento Doméstico	28/08/2013			6,00	Depósitos Flúvio-Lagunares			
2,00	-32,095669	-52,250281		Bombeando	Abastecimento Doméstico	07/04/2011			18,00				
4,00	-32,035670	-52,118200		Bombeando									
3,00	-32,088882	-52,102010		Bombeando	Irrigação	29/09/2001			6,00	Depósitos Eólicos Litorâneos			
2,00	-32,088704	-52,102813		Bombeando	Irrigação	29/09/2011			6,00	Depósitos Eólicos Litorâneos			
4,00	-32,088445	-52,103541		Bombeando	Irrigação	29/09/2011			6,00	Depósitos Eólicos Litorâneos			
4,00	-32,088222	-52,104301		Bombeando	Irrigação	29/09/2011			6,00	Depósitos Eólicos Litorâneos			
6,00	-32,088809	-52,106301		Bombeando	Irrigação	29/09/2011			6,00	Depósitos Eólicos Litorâneos			
6,00	-32,089600	-52,106564		Bombeando	Irrigação	29/09/2011			6,00	Depósitos Eólicos Litorâneos			
7,00	-31,865002	-52,359603		Bombeando	Pecuária	22/11/2018			66,00	Depósitos Flúvio-Lagunares			
4,00	-32,070905	-52,103903		Bombeando	Abastecimento Industrial	18/06/2019			42,00	Depósitos Eólicos Litorâneos	18,00	4,10	1,338
5,00	-32,111005	-52,125201		Bombeando	Abastecimento Industrial	25/03/2020			24,50	Depósitos Eólicos Litorâneos	7,03	2,59	1,351
11,00	-31,929610	-52,310616		Bombeando	Abastecimento Industrial	23/10/2020			62,00	Depósitos Flúvio-Lagunares	19,14	10,94	4,195
8,00	-31,928800	-52,341600		Bombeando	Abastecimento Múltiplo	27/08/2013	Hdropel Hidrogeologia e Perfurações LTDA		58,00	Depósitos Flúvio-Lagunares	26,97	7,00	0,508
5,00	-32,110000	-52,126000		Bombeando	Abastecimento Industrial	09/06/2022			25,00	Depósitos Eólicos Litorâneos	6,07	2,31	1,862
3,00	-31,850805	-52,326104		Bombeando	Abastecimento Urbano	24/11/2020			60,00	Depósitos Flúvio-Lagunares	4,52	2,32	3,409
14,00	-32,021703	-52,287711		Bombeando	Abastecimento Urbano	25/03/2021			70,00	Depósitos Flúvio-Lagunares	38,23	10,48	0,270
4,00	-32,042901	-52,104202		Bombeando	Abastecimento Múltiplo	05/04/2021			26,00	Depósitos Eólicos Litorâneos	6,37	1,77	2,609

Terminal Rio Grande do Sul S.A.

COTA	LAT.	LONG.	PROPRIETÁRIO	SITUAÇÃO	USO	DATA	PERFURADOR	CONDIÇÃO	PROF.	FORMAÇÃO	ND	NE	VAZÃO
5,00	-32,104008	-52,116700		Bombeando	Abastecimento Industrial	03/11/2021			25,00	Depósitos Eólicos Litorâneos	7,08	2,58	2,104
7,00	-31,865207	-52,360611		Bombeando	Pecuária	21/05/2016			66,00	Depósitos Flúvio-Lagunares	24,00	4,85	0,522
5,00	-32,071211	-52,104012		Bombeando	Abastecimento Industrial	17/06/2019			42,00	Depósitos Eólicos Litorâneos	15,00	4,75	1,854

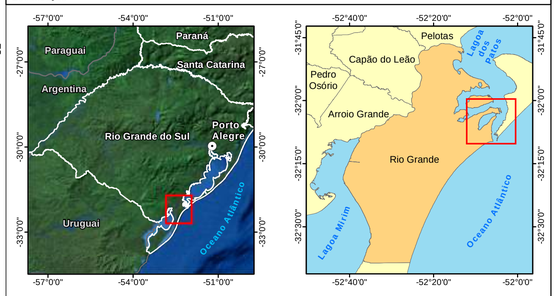
Anexo 15. Mapa de localização dos poços registrados junto ao Projeto SIAGAS.

-52,2° -52,166667° -52,133333° -52,1° -52,066667° -52,033333°

-32° -32,033333° -32,066667° -32,1° -32,133333° -32,166667°

I. dos Marinheiros
I. do Leonídeo
I. do Cerrito
I. da Pólvora
I. da Boca
Lagoa dos Patos
Oceano Atlântico
Saco da Mangueira
Porto Velho
Vila Militar
Centro
Getúlio Vargas
Porto Novo
Cidade Nova
Parque Coelho
Refinaria de Petróleo Riograndense
Santa Tereza
Detalhe 1
Vila Rural
São Miguel
ERS-734
Recreio
Vila Bernardeth
Vila Maria
Castelo Branco 1
Vila Mangueira
Yara
Estaleiro Rio Grande
São José do Norte
Estaleiro Brasil - EBR
Parque Marinha
Jardim do Sol
Parque São Pedro
Tergrasa
BR-392
BR-101
Tecon
Senandes
Lagoa Verde
Barra Nova
Estação Naval
Industrial Tamandaré
Praia do Mar Grosso
Praia do Cassino
Molhes da Barra
Bolacha

Localização



Legenda

- Ponto de Referência
- Bairro
- Rodovia Federal
- Rodovia Estadual
- Ferrovia
- Limite Municipal
- Área Diretamente Afetada
- Área de Influência Indireta do Meio Físico - Meio Terrestre
- Área de Influência Indireta do Meio Físico - Meio Aquático

Localização dos Poços

- Abastecimento Múltiplo
- Irrigação
- Outros (Lazer,etc.)

Nota Explicativa I

Parâmetros Cartográficos:

N W E S

Sistema de Coordenadas Geográficas
Graus Decimais
Datum Horizontal: SIRGAS2000

0 0,5 1 km

Nota Explicativa II

Fonte das Informações:

- Trecho de Drenagem, Rodovia, Limite Municipal: Base Cartográfica do Estado do RS, Escala: 1:25.000 - BCRS25, Versão 1.0 - 2018.
- Localidade e Divisão Estadual: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2018.
- Áreas de Influência: Arvut Meio Ambiente, 07/04/2025.
- Localização dos Poços: Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS/CPRM), 05/2025
- Imagem Base: Aplicativo Google Satellite.

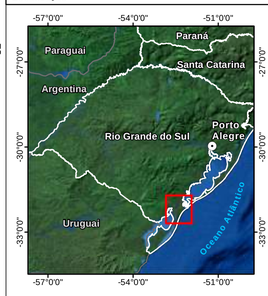
Projeto: Estudo de Impacto Ambiental com Vistas à Obtenção de Licença Prévia de Eia/Rima para Terminal Portuário Privado no Complexo Portuário do Rio Grande					Local: Rio Grande - RS
Título: Mapa dos Poços Cadastrados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS/CPRM)					
Responsável Técnico: Eng. Civ. Kayo C. F. Soares CREA/RS 225372	Elaborado por: Geógrafo Eduardo Farina CREA/RS 177016	Aprovado por: Bióloga Thaís Ascoli Morrete CRBio 110870/03D			Executora: ARVUT SINERGIA EM MEIO AMBIENTE
Parâmetros Cartográficos: Ver nota explicativa I	Fonte de Dados: Ver nota explicativa II	Escala: 1:35.000	Prancha: 001/001	Data: maio/2025	
Documento Digital: 241_EIA_FISICO_AII_POCOS_SIAGAS_A1		Contratante: TERMINAL RIO GRANDE DO SUL S.A.			

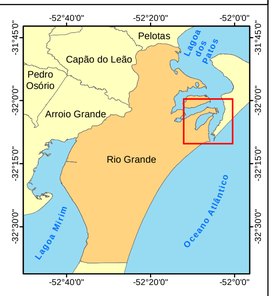
Anexo 16. Mapa de localização dos poços registrados junto ao SIOUT.

-52,2° -52,166667° -52,133333° -52,1° -52,066667° -52,033333°

-32° -32,033333° -32,066667° -32,1° -32,133333° -32,166667°

Localização





Legenda

Localização dos Poços

- Abastecimento Industrial
- Abastecimento Industrial, Combate a Incêndios
- Desassoreamento de Rio
- Harmonia Paisagística
- Irrigação, Limpeza Geral
- Lavagem Coletiva de Veículos
- Lavagem de Veículos
- Lavagem de Veículos, Limpeza Geral
- Lavagem de Veículos, Limpeza Geral, Vasos Sanitários e/ou Mictórios
- Limpeza Geral
- Monitoramento Qualitativo
- Monitoramento Qualitativo, Monitoramento Quantitativo
- Monitoramento Quantitativo
- Paisagismo
- Processo Industrial
- Sistema de Combate a Incêndios
- Não Informado

- Ponto de Referência
- Bairro
- Rodovia Federal
- Rodovia Estadual
- Ferrovia
- Limite Municipal
- Área Diretamente Afetada
- Área de Influência Indireta do Meio Físico - Meio Terrestre
- Área de Influência Indireta do Meio Físico - Meio Aquático

Nota Explicativa I

Parâmetros Cartográficos:

Sistema de Coordenadas Geográficas
Graus Decimais
Datum Horizontal: SIRGAS2000

0 0,5 1 km

Nota Explicativa II

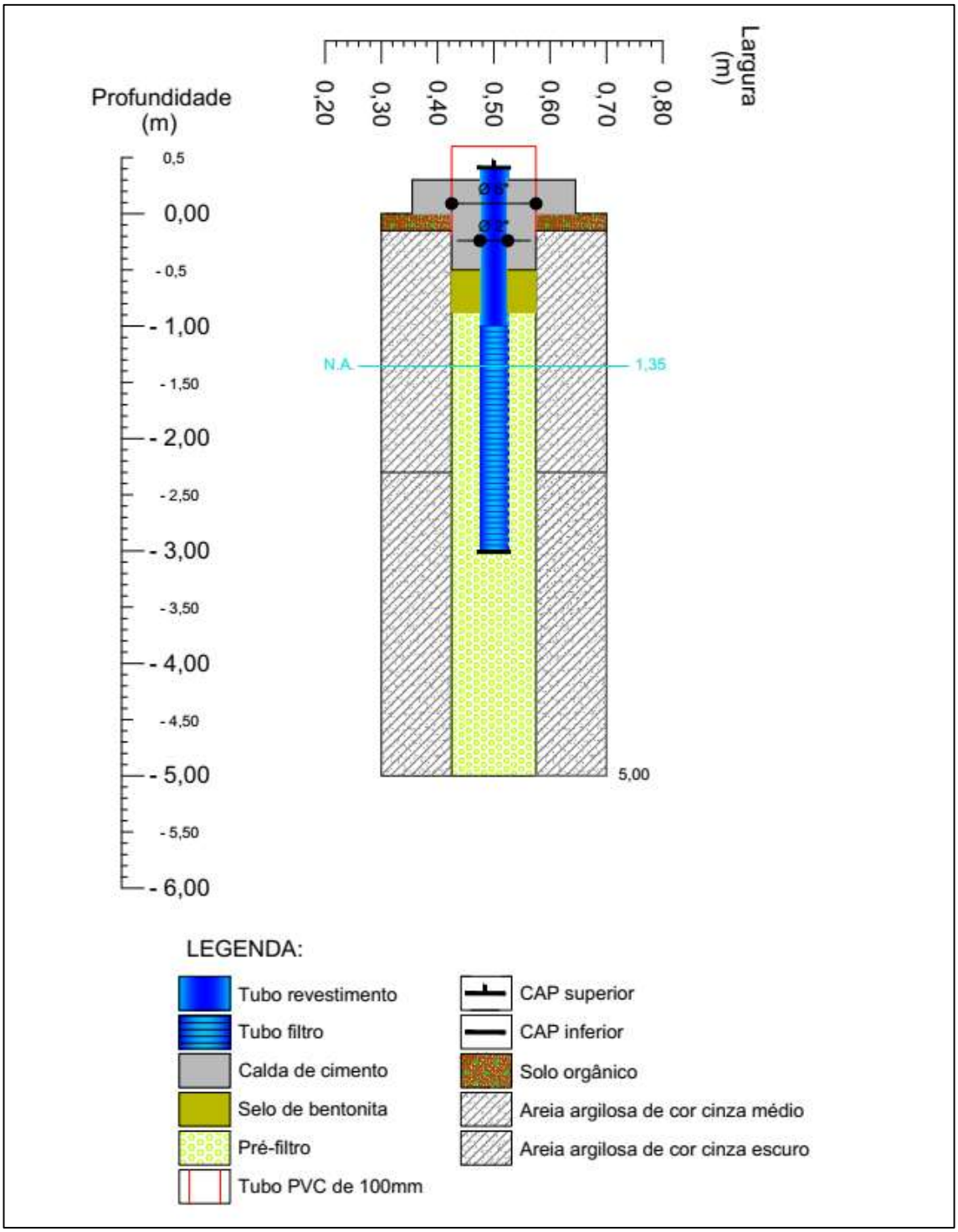
Fonte das Informações:

- Trecho de Drenagem, Rodovia, Limite Municipal: Base Cartográfica do Estado do RS, Escala: 1:25.000 - BCRS25, Versão 1.0 - 2018.
- Localidade e Divisão Estadual: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2018.
- Áreas de Influência: Arvut Meio Ambiente, 07/04/2025.
- Localização dos Poços: Sistema de Outorga de Água do Rio Grande do Sul. Sistema de Informações Geográficas (SIG - SIOUT RS), 05/2025
- Imagem Base: Aplicativo Google Satellite.

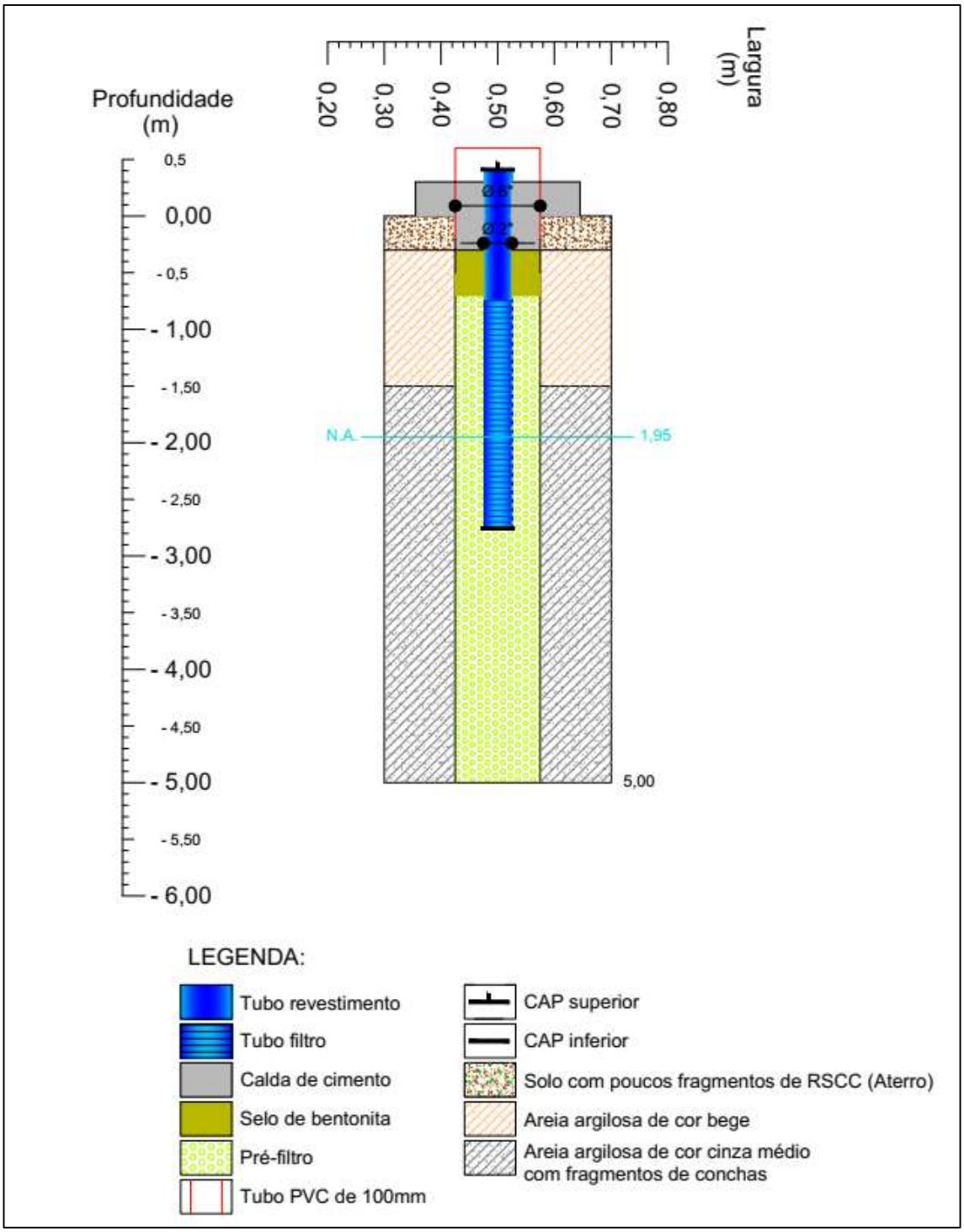
Projeto: Estudo de Impacto Ambiental com Vistas à Obtenção de Licença Prévia de Eia/Rima para Terminal Portuário Privado no Complexo Portuário do Rio Grande			Local: Rio Grande - RS
Título: Mapa dos Poços Cadastrados no Sistema de Outorga de Água do Rio Grande do Sul (SIOUT-RS)			
Responsável Técnico: Eng. Civ. Kayo C. F. Soares CREA/RS 225372	Elaborado por: Geógrafo Eduardo Farina CREA/RS 177016	Aprovado por: Bióloga Thaís Ascoli Morrete CRBio 110870/03D	Executora: ARVUT
Parâmetros Cartográficos: Ver nota explicativa I	Fonte de Dados: Ver nota explicativa II	Escala: 1:35.000	Prancha: 001/001 / Data: maio/2025
Documento Digital: 241_EIA_FISICO_AII_POCOS_SIOUT_A1		Contratante: TERMINAL RIO GRANDE DO SUL S.A.	

Anexo 17. Perfil construtivo de cada poço de monitoramento.

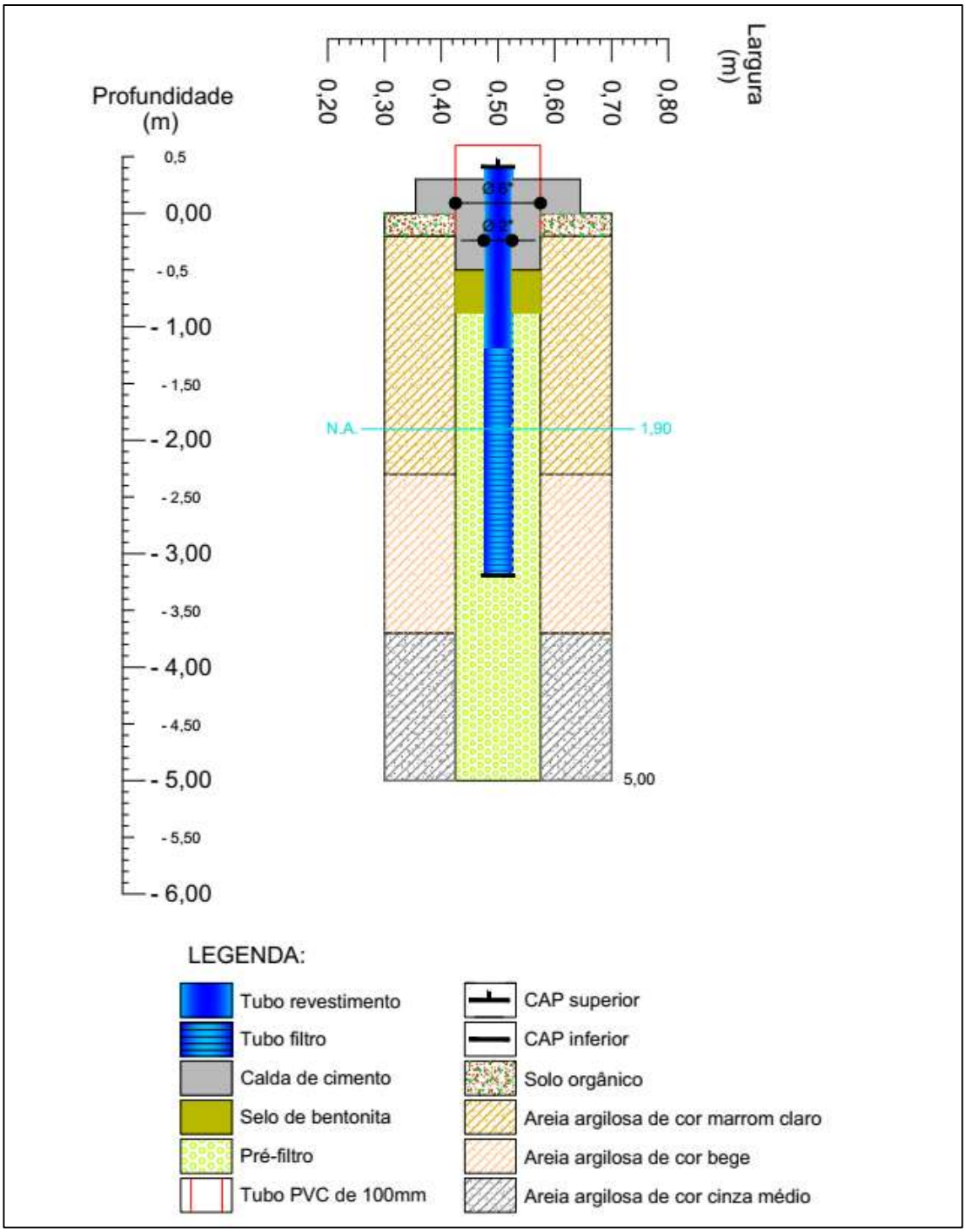
PM 01



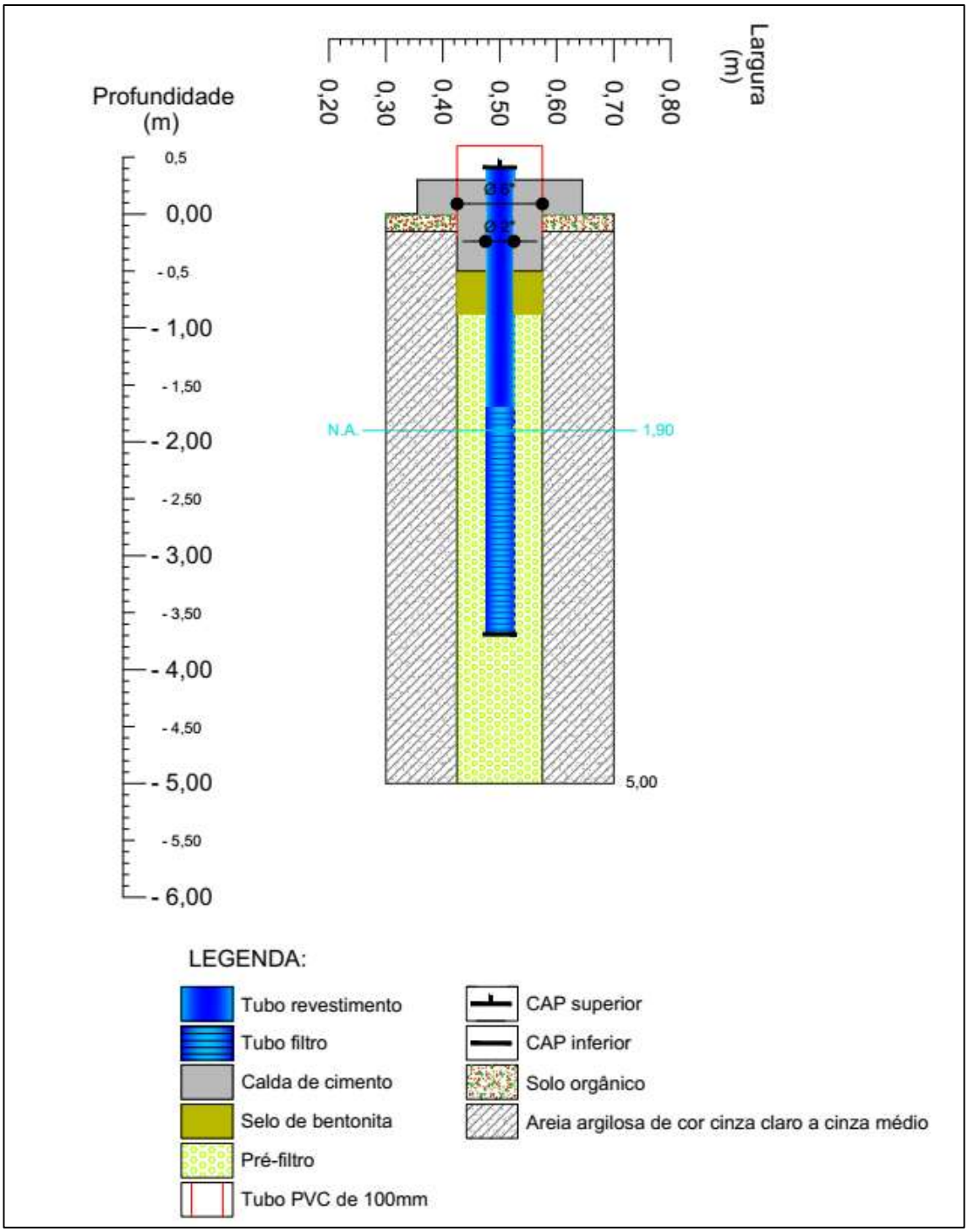
PM 02


Profundidade (m)
0,5
0,00
- 0,5
- 1,00
- 1,50
- 2,00
- 2,50
- 3,00
- 3,50
- 4,00
- 4,50
- 5,00
- 5,50
- 6,00
0,20
0,30
0,40
0,50
0,60
0,70
0,80
Largura (m)
Ø 6"
Ø 3"
N.A.
1,95
5,00
LEGENDA:
Tubo revestimento
Tubo filtro
Calda de cimento
Selo de bentonita
Pré-filtro
Tubo PVC de 100mm
CAP superior
CAP inferior
Solo com poucos fragmentos de RSCC (Aterro)
Areia argilosa de cor bege
Areia argilosa de cor cinza médio com fragmentos de conchas

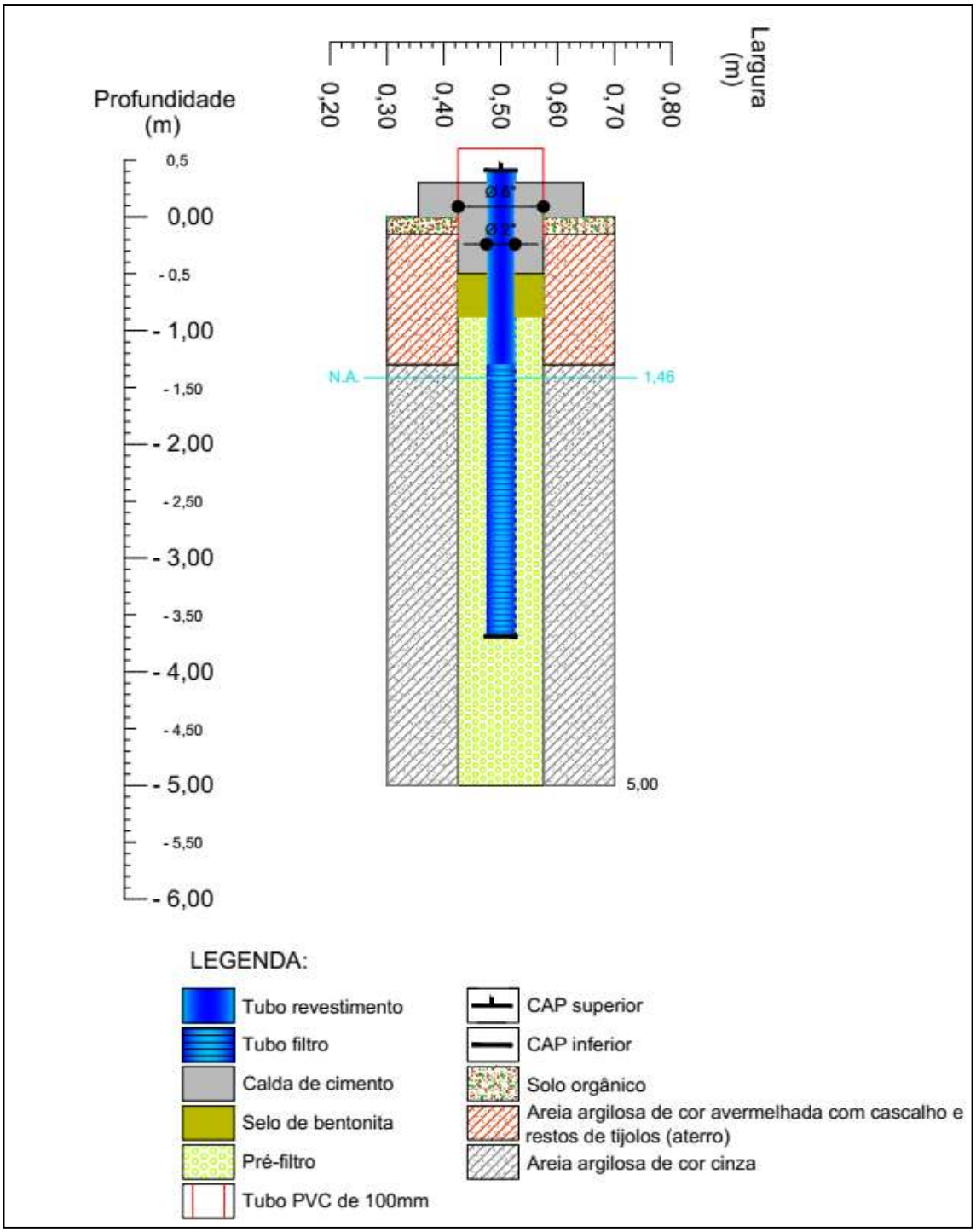
PM 03


Profundidade (m)
0,5
0,00
- 0,5
- 1,00
- 1,50
- 2,00
- 2,50
- 3,00
- 3,50
- 4,00
- 4,50
- 5,00
- 5,50
- 6,00
Largura (m)
0,20
0,30
0,40
0,50
0,60
0,70
0,80
Ø 6"
Ø 2"
N.A.
1,90
5,00
LEGENDA:
Tubo revestimento
Tubo filtro
Calda de cimento
Selo de bentonita
Pré-filtro
Tubo PVC de 100mm
CAP superior
CAP inferior
Solo orgânico
Areia argilosa de cor marrom claro
Areia argilosa de cor bege
Areia argilosa de cor cinza médio

PM 04


Profundidade (m)
0,5
0,00
- 0,5
- 1,00
- 1,50
- 2,00
- 2,50
- 3,00
- 3,50
- 4,00
- 4,50
- 5,00
- 5,50
- 6,00
0,20
0,30
0,40
0,50
0,60
0,70
0,80
Largura (m)
Ø6"
Ø3"
N.A.
1,90
5,00
LEGENDA:
Tubo revestimento
Tubo filtro
Calda de cimento
Selo de bentonita
Pré-filtro
Tubo PVC de 100mm
CAP superior
CAP inferior
Solo orgânico
Areia argilosa de cor cinza claro a cinza médio

PM 05


Profundidade (m)
0,5
0,00
- 0,5
- 1,00
- 1,50
- 2,00
- 2,50
- 3,00
- 3,50
- 4,00
- 4,50
- 5,00
- 5,50
- 6,00
Largura (m)
0,20
0,30
0,40
0,50
0,60
0,70
0,80
N.A.
1,46
5,00
LEGENDA:
Tubo revestimento
Tubo filtro
Calda de cimento
Selo de bentonita
Pré-filtro
Tubo PVC de 100mm
CAP superior
CAP inferior
Solo orgânico
Areia argilosa de cor avermelhada com cascalho e restos de tijolos (aterro)
Areia argilosa de cor cinza

Anexo 18. Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas laboratoriais para verificação da qualidade das águas subterrâneas.

CMPC - P1 **01024726/25**

SOLICITANTE: ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA **14/05/2025**

AVALIADO: CMPC CELULOSE RIOGRANDENSE - RIO GRANDE

RELATÓRIO DE AMOSTRAGEM

Tipo de amostra:	Água subterrânea
Objetivo:	Estabelecer método de purga de poços de monitoramento usados para investigação e programas de monitoramento de qualidade de água subterrânea em atendimento a Norma ABNT NBR 15847:2010.
Número do plano de amostragem:	04/25

AMOSTRAGEM PURGA

Data da purga:	13/05/2025
Hora da purga:	10:25
Responsável pela purga:	Paulo Silveira - Toxilab
Condições ambientais:	Tempo bom

AMOSTRAGEM COLETA

Técnica de coleta:	Purga por bailer
Data da Coleta:	12/05/2025
Hora da coleta:	15:00
Responsável pela coleta:	Paulo Silveira - Toxilab
Temperatura do Ar (ºC):	23,2
Temperatura da amostra (ºC):	22,2
Condições ambientais:	Tempo bom
Coleta realizada com chuva:	Não
Chuva nos dias anteriores:	Não
Líquido do poço com sobrenadante:	Não
Líquido do poço com material sedimentado:	Não
Fase livre:	Ausente
Manchas de óleo:	Ausente
Odor:	Não objetável
Infiltração na caixa do poço:	Não
Filtragem em campo:	Não

ANÁLISES: MANUSEIO E PRESERVAÇÃO DAS AMOSTRAS

Análises	Tipo de Preservação	Tempo de Preservação	Tipo de Frasco
Nitrito (como N)		48 dias	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Nitrato (como N)		48 dias	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Escherichia coli	Tiosulfato de sódio	24 horas	POLIETILENO NA2S2O3
Condutividade		28 dias	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
pH		15 minutos	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Sólidos Dissolvidos Totais		7 dias	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Sulfato		28 dias	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Temperatura da amostra		-	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Arsênio	HNO3 pH <2	6 meses	POLIETILENO 500mL

Chave de Validação

1edecjscqcnnf4757ec8673643e56590a39e6aecb639

Emitido Em 22/05/2025

F-SGQ-23 Rev. 02

www.toxilab.com.br - fone (51) 3232.0010
Rua 24 de Outubro, 111 – 5ª Avenida Center, loja37 – CEP: 90510-900 – Moinhos de Vento – Porto Alegre/RS – CRF: 10.170
Central de Produção: Rua Gomes Jardim, 165 - CEP: 90620-130

Responsável Técnico: Dr. Renato Nesralla Mattar - CRF: 1952

by Agilework®

CMPC - P1 **01024726/25**

SOLICITANTE: ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA **14/05/2025**

AVALIADO: CMPC CELULOSE RIOGRANDENSE - RIO GRANDE

Chumbo	HNO3 pH <2	6 meses	POLIETILENO 500mL
Cromo	HNO3 pH <2	6 meses	POLIETILENO 500mL
Ferro	HNO3 pH <2	6 meses	POLIETILENO 500mL

Chave de Validação

1edecjscqcnnf4757ec8673643e56590a39e6aecb639

Emitido Em 22/05/2025

F-SGQ-23 Rev. 02

www.toxilab.com.br - fone (51) 3232.0010
Rua 24 de Outubro, 111 – 5ª Avenida Center, loja37 – CEP: 90510-900 – Moinhos de Vento – Porto Alegre/RS – CRF: 10.170
Central de Produção: Rua Gomes Jardim, 165 - CEP: 90620-130

Responsável Técnico: Dr. Renato Nesralla Mattar - CRF: 1952

by Agilework®

CMPC - P1 **01024726/25**

SOLICITANTE: ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA **14/05/2025**

AVALIADO: CMPC CELULOSE RIOGRANDENSE - RIO GRANDE

RELATÓRIO DE ENSAIO

Data e Hora do recebimento no laboratório: 13/05/2025 - 10:00

PARÂMETRO	RESULTADO	VALOR MÁXIMO PERMITIDO	UNIDADE	LQ	MÉTODO
Nitrito (como N)	*Não Detectado*	-	mg/L	0,15	SMWW, 24ed. 2023, 4110 B
Nitrato (como N)	*Não Detectado*	-	mg/L	0,11	SMWW, 24ed. 2023, 4110 B
Escherichia coli	*<1*	-	mL	-	SMWW, 24ª ed. 2023, 9223 B
Condutividade	*558,8*	-	uS/cm	0,10	SMWW, 24ed. 2023, 2510 B
pH	*7,0*	-	-	0 a 14	SMWW, 24ed. 2023, 4500 H+ B
Sólidos Dissolvidos Totais	*404*	-	mg/L	5	SMWW, 24ed. 2023, 2540 C
Sulfato	*48,08*	-	mg/L	0,50	SMWW, 24ed. 2023, 4110 B
Temperatura da amostra	*22,2*	-	ºC	0 - 50 ºC	SMWW, 24ed. 2023, 2550 B
Arsênio	*Não detectado*	-	mg/L	0,01	EPA 200.7 Rev. 4.4:1994
Chumbo	*Não detectado*	-	mg/L	0,0090	EPA 200.7 Rev. 4.4:1994
Cromo	*0,004*	-	mg/L	0,0010	EPA 200.7 Rev. 4.4:1994
Ferro	*2,41*	-	mg/L	0,01	EPA 200.7 Rev. 4.4:1994

Observações:

pH	*Análise realizada nas instalações do cliente.*
Temperatura da amostra	*Análise realizada nas instalações do cliente.*

Amostragem realizada pelos técnicos do Toxilab são de acordo com POP de coleta.
POP-AMOST-01 - Garantia da qualidade.
POP-AMOST-02 - Análises subsequentes.
POP-AMOST-06 - Água subterrânea.

Os resultados referem-se somente à amostra analisada.

Para relatórios com conclusão/declaração de conformidade, a regra de decisão definida pelo laboratório é a não utilização da incerteza de medição dos ensaios e/ou amostragem.

O relatório de ensaio não pode ser reproduzido parcialmente sem prévia autorização do laboratório.

Legenda: LQ = Limite de Quantificação.

Final de Relatório.

Alexsandra Pacheco
CRQ 052004874

Jully C. dos Santos
CRBM-5 9306

Bruna Yeckel da C. Almeida
CRQ 13043

Chave de Validação

1edecjscqcnnf4757ec8673643e56590a39e6aecb639

Emitido Em 22/05/2025

F-SGQ-23 Rev. 02

www.toxilab.com.br - fone (51) 3232.0010
Rua 24 de Outubro, 111 – 5ª Avenida Center, loja37 – CEP: 90510-900 – Moinhos de Vento – Porto Alegre/RS – CRF: 10.170
Central de Produção: Rua Gomes Jardim, 165 - CEP: 90620-130

Responsável Técnico: Dr. Renato Nesralla Mattar - CRF: 1952

by Agilework®

CMPC - P2 **01024725/25**

SOLICITANTE: ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA **14/05/2025**

AVALIADO: CMPC CELULOSE RIOGRANDENSE - RIO GRANDE

RELATÓRIO DE AMOSTRAGEM

Tipo de amostra:	Água subterrânea
Objetivo:	Estabelecer método de purga de poços de monitoramento usados para investigação e programas de monitoramento de qualidade de água subterrânea em atendimento a Norma ABNT NBR 15847:2010.
Número do plano de amostragem:	04/25

AMOSTRAGEM PURGA

Data da purga:	13/05/2025
Hora da purga:	10:25
Responsável pela purga:	Paulo Silveira - Toxilab
Condições ambientais:	Tempo bom

AMOSTRAGEM COLETA

Técnica de coleta:	Purga por bailer
Data da Coleta:	12/05/2025
Hora da coleta:	15:00
Responsável pela coleta:	Paulo Silveira - Toxilab
Temperatura do Ar (ºC):	23,2
Temperatura da amostra (ºC):	22,2
Condições ambientais:	Tempo bom
Coleta realizada com chuva:	Não
Chuva nos dias anteriores:	Não
Líquido do poço com sobrenadante:	Não
Líquido do poço com material sedimentado:	Não
Fase livre:	Ausente
Manchas de óleo:	Ausente
Odor:	Não objetável
Infiltração na caixa do poço:	Não
Filtragem em campo:	Não

ANÁLISES: MANUSEIO E PRESERVAÇÃO DAS AMOSTRAS

Análises	Tipo de Preservação	Tempo de Preservação	Tipo de Frasco
Nitrito (como N)		48 dias	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Nitrato (como N)		48 dias	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Escherichia coli	Tiosulfato de sódio	24 horas	POLIETILENO NA2S2O3
Condutividade		28 dias	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
pH		15 minutos	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Sólidos Dissolvidos Totais		7 dias	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Sulfato		28 dias	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Temperatura da amostra		-	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Arsênio	HNO3 pH <2	6 meses	POLIETILENO 500mL

Chave de Validação

1edecjscncnl9a27594cb3c4896aa99c2b9aea06e45a

Emitido Em 22/05/2025

F-SGQ-23 Rev. 02

www.toxilab.com.br - fone (51) 3232.0010
Rua 24 de Outubro, 111 – 5ª Avenida Center, loja37 – CEP: 90510-900 – Moinhos de Vento – Porto Alegre/RS – CRF: 10.170
Central de Produção: Rua Gomes Jardim, 165 - CEP: 90620-130

Responsável Técnico: Dr. Renato Nesralla Mattar - CRF: 1952

by Agilework®

CMPC - P2 **01024725/25**

SOLICITANTE: ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA **14/05/2025**

AVALIADO: CMPC CELULOSE RIOGRANDENSE - RIO GRANDE

Chumbo	HNO3 pH <2	6 meses	POLIETILENO 500mL
Cromo	HNO3 pH <2	6 meses	POLIETILENO 500mL
Ferro	HNO3 pH <2	6 meses	POLIETILENO 500mL

Chave de Validação

1edecjscncnl9a27594cb3c4896aa99c2b9aea06e45a

Emitido Em 22/05/2025

F-SGQ-23 Rev. 02

www.toxilab.com.br - fone (51) 3232.0010
Rua 24 de Outubro, 111 – 5ª Avenida Center, loja37 – CEP: 90510-900 – Moinhos de Vento – Porto Alegre/RS – CRF: 10.170
Central de Produção: Rua Gomes Jardim, 165 - CEP: 90620-130

Responsável Técnico: Dr. Renato Nesralla Mattar - CRF: 1952

by Agilework®

CMPC - P2 **01024725/25**

SOLICITANTE: ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA **14/05/2025**

AVALIADO: CMPC CELULOSE RIOGRANDENSE - RIO GRANDE

RELATÓRIO DE ENSAIO

Data e Hora do recebimento no laboratório: 13/05/2025 - 10:00

PARÂMETRO	RESULTADO	VALOR MÁXIMO PERMITIDO	UNIDADE	LQ	MÉTODO
Nitrito (como N)	*Não Detectado*	-	mg/L	0,15	SMWW, 24ed. 2023, 4110 B
Nitrato (como N)	*0,11*	-	mg/L	0,11	SMWW, 24ed. 2023, 4110 B
Escherichia coli	*2,0*	-	mL	-	SMWW, 24ª ed. 2023, 9223 B
Condutividade	*506,3*	-	uS/cm	0,10	SMWW, 24ed. 2023, 2510 B
pH	*7,0*	-	-	0 a 14	SMWW, 24ed. 2023, 4500 H+ B
Sólidos Dissolvidos Totais	*403*	-	mg/L	5	SMWW, 24ed. 2023, 2540 C
Sulfato	*27,31*	-	mg/L	0,50	SMWW, 24ed. 2023, 4110 B
Temperatura da amostra	*22,0*	-	ºC	0 - 50 ºC	SMWW, 24ed. 2023, 2550 B
Arsênio	*Não detectado*	-	mg/L	0,01	EPA 200.7 Rev. 4.4:1994
Chumbo	*Não detectado*	-	mg/L	0,0090	EPA 200.7 Rev. 4.4:1994
Cromo	*0,0012*	-	mg/L	0,0010	EPA 200.7 Rev. 4.4:1994
Ferro	*1,27*	-	mg/L	0,01	EPA 200.7 Rev. 4.4:1994

Observações:

pH	*Análise realizada nas instalações do cliente.*
Temperatura da amostra	*Análise realizada nas instalações do cliente.*

Amostragem realizada pelos técnicos do Toxilab são de acordo com POP de coleta.
POP-AMOST-01 - Garantia da qualidade.
POP-AMOST-02 - Análises subsequentes.
POP-AMOST-06 - Água subterrânea.

Os resultados referem-se somente à amostra analisada.

Para relatórios com conclusão/declaração de conformidade, a regra de decisão definida pelo laboratório é a não utilização da incerteza de medição dos ensaios e/ou amostragem.

O relatório de ensaio não pode ser reproduzido parcialmente sem prévia autorização do laboratório.

Legenda: LQ = Limite de Quantificação.

Final de Relatório.

Alexsandra Pacheco
CRQ 052004874

Jully C. dos Santos
CRBM-5 9306

Bruna Yeckel da C. Almeida
CRQ 13043

Chave de Validação

1edecjscncnl9a27594cb3c4896aa99c2b9aea06e45a

Emitido Em 22/05/2025

F-SGQ-23 Rev. 02

www.toxilab.com.br - fone (51) 3232.0010
Rua 24 de Outubro, 111 – 5ª Avenida Center, loja37 – CEP: 90510-900 – Moinhos de Vento – Porto Alegre/RS – CRF: 10.170
Central de Produção: Rua Gomes Jardim, 165 - CEP: 90620-130

Responsável Técnico: Dr. Renato Nesralla Mattar - CRF: 1952

by Agilework®

CMPC - P3 **01024727/25**

SOLICITANTE: ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA **14/05/2025**

AVALIADO: CMPC CELULOSE RIOGRANDENSE - RIO GRANDE

RELATÓRIO DE AMOSTRAGEM

Tipo de amostra:	Água subterrânea
Objetivo:	Estabelecer método de purga de poços de monitoramento usados para investigação e programas de monitoramento de qualidade de água subterrânea em atendimento a Norma ABNT NBR 15847:2010.
Número do plano de amostragem:	04/25

AMOSTRAGEM PURGA

Data da purga:	13/05/2025
Hora da purga:	10:25
Responsável pela purga:	Paulo Silveira - Toxilab
Condições ambientais:	Tempo bom

AMOSTRAGEM COLETA

Técnica de coleta:	Purga por bailer
Data da Coleta:	12/05/2025
Hora da coleta:	15:00
Responsável pela coleta:	Paulo Silveira - Toxilab
Temperatura do Ar (ºC):	23,2
Temperatura da amostra (ºC):	22,2
Condições ambientais:	Tempo bom
Coleta realizada com chuva:	Não
Chuva nos dias anteriores:	Não
Líquido do poço com sobrenadante:	Não
Líquido do poço com material sedimentado:	Não
Fase livre:	Ausente
Manchas de óleo:	Ausente
Odor:	Não objetável
Infiltração na caixa do poço:	Não
Filtragem em campo:	Não

ANÁLISES: MANUSEIO E PRESERVAÇÃO DAS AMOSTRAS

Análises	Tipo de Preservação	Tempo de Preservação	Tipo de Frasco
Nitrito (como N)		48 dias	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Nitrato (como N)		48 dias	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Escherichia coli	Tiosulfato de sódio	24 horas	POLIETILENO NA2S2O3
Condutividade		28 dias	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
pH		15 minutos	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Sólidos Dissolvidos Totais		7 dias	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Sulfato		28 dias	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Temperatura da amostra		-	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Arsênio	HNO3 pH <2	6 meses	POLIETILENO 500mL

Chave de Validação

1edecjscscndae1552f2ef466e51a56740338125dbc6

Emitido Em 22/05/2025

F-SGQ-23 Rev. 02

www.toxilab.com.br - fone (51) 3232.0010
Rua 24 de Outubro, 111 – 5ª Avenida Center, loja37 – CEP: 90510-900 – Moinhos de Vento – Porto Alegre/RS – CRF: 10.170
Central de Produção: Rua Gomes Jardim, 165 - CEP: 90620-130

Responsável Técnico: Dr. Renato Nesralla Mattar - CRF: 1952

by Agilework®

CMPC - P3 **01024727/25**

SOLICITANTE: ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA **14/05/2025**

AVALIADO: CMPC CELULOSE RIOGRANDENSE - RIO GRANDE

Chumbo	HNO3 pH <2	6 meses	POLIETILENO 500mL
Cromo	HNO3 pH <2	6 meses	POLIETILENO 500mL
Ferro	HNO3 pH <2	6 meses	POLIETILENO 500mL

www.toxilab.com.br - fone (51) 3232.0010
Rua 24 de Outubro, 111 – 5ª Avenida Center, loja37 – CEP: 90510-900 – Moinhos de Vento – Porto Alegre/RS – CRF: 10.170
Central de Produção: Rua Gomes Jardim, 165 - CEP: 90620-130

Responsável Técnico: Dr. Renato Nesralla Mattar - CRF: 1952

by Agilework®

CMPC - P3 **01024727/25**

SOLICITANTE: ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA **14/05/2025**

AVALIADO: CMPC CELULOSE RIOGRANDENSE - RIO GRANDE

RELATÓRIO DE ENSAIO

Data e Hora do recebimento no laboratório: 13/05/2025 - 10:00

PARÂMETRO	RESULTADO	VALOR MÁXIMO PERMITIDO	UNIDADE	LQ	MÉTODO
Nitrito (como N)	*0,40*	-	mg/L	0,15	SMWW, 24ed. 2023, 4110 B
Nitrato (como N)	*9,52*	-	mg/L	0,11	SMWW, 24ed. 2023, 4110 B
Escherichia coli	*<1*	-	mL	-	SMWW, 24ª ed. 2023, 9223 B
Condutividade	*510,1*	-	uS/cm	0,10	SMWW, 24ed. 2023, 2510 B
pH	*6,6*	-	-	0 a 14	SMWW, 24ed. 2023, 4500 H+ B
Sólidos Dissolvidos Totais	*433*	-	mg/L	5	SMWW, 24ed. 2023, 2540 C
Sulfato	*17,89*	-	mg/L	0,50	SMWW, 24ed. 2023, 4110 B
Temperatura da amostra	*22,5*	-	ºC	0 - 50 ºC	SMWW, 24ed. 2023, 2550 B
Arsênio	*Não detectado*	-	mg/L	0,01	EPA 200.7 Rev. 4.4:1994
Chumbo	*Não detectado*	-	mg/L	0,0090	EPA 200.7 Rev. 4.4:1994
Cromo	*0,0013*	-	mg/L	0,0010	EPA 200.7 Rev. 4.4:1994
Ferro	*0,12*	-	mg/L	0,01	EPA 200.7 Rev. 4.4:1994

Observações:

pH	*Análise realizada nas instalações do cliente.*
Temperatura da amostra	*Análise realizada nas instalações do cliente.*

Amostragem realizada pelos técnicos do Toxilab são de acordo com POP de coleta.
POP-AMOST-01 - Garantia da qualidade.
POP-AMOST-02 - Análises subsequentes.
POP-AMOST-06 - Água subterrânea.

Os resultados referem-se somente à amostra analisada.

Para relatórios com conclusão/declaração de conformidade, a regra de decisão definida pelo laboratório é a não utilização da incerteza de medição dos ensaios e/ou amostragem.

O relatório de ensaio não pode ser reproduzido parcialmente sem prévia autorização do laboratório.

Legenda: LQ = Limite de Quantificação.

Final de Relatório.

Alexsandra Pacheco
CRQ 052004874

Jully C. dos Santos
CRBM-5 9306

Bruna Yeckel da C. Almeida
CRQ 13043

Chave de Validação

1edecjscscndae1552f2ef466e51a56740338125dbc6

Emitido Em 22/05/2025

F-SGQ-23 Rev. 02

www.toxilab.com.br - fone (51) 3232.0010
Rua 24 de Outubro, 111 – 5ª Avenida Center, loja37 – CEP: 90510-900 – Moinhos de Vento – Porto Alegre/RS – CRF: 10.170
Central de Produção: Rua Gomes Jardim, 165 - CEP: 90620-130

Responsável Técnico: Dr. Renato Nesralla Mattar - CRF: 1952

by Agilework®

CMPC - P4 **01024723/25**

SOLICITANTE: ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA **14/05/2025**

AVALIADO: CMPC CELULOSE RIOGRANDENSE - RIO GRANDE

RELATÓRIO DE AMOSTRAGEM

Tipo de amostra:	Água subterrânea
Objetivo:	Estabelecer método de purga de poços de monitoramento usados para investigação e programas de monitoramento de qualidade de água subterrânea em atendimento a Norma ABNT NBR 15847:2010.
Número do plano de amostragem:	04/25

AMOSTRAGEM PURGA

Data da purga:	13/05/2025
Hora da purga:	10:25
Responsável pela purga:	Paulo Silveira - Toxilab
Condições ambientais:	Tempo bom

AMOSTRAGEM COLETA

Técnica de coleta:	Purga por bailer
Data da Coleta:	12/05/2025
Hora da coleta:	15:00
Responsável pela coleta:	Paulo Silveira - Toxilab
Temperatura do Ar (ºC):	23,2
Temperatura da amostra (ºC):	22,2
Condições ambientais:	Tempo bom
Coleta realizada com chuva:	Não
Chuva nos dias anteriores:	Não
Líquido do poço com sobrenadante:	Não
Líquido do poço com material sedimentado:	Não
Fase livre:	Ausente
Manchas de óleo:	Ausente
Odor:	Não objetável
Infiltração na caixa do poço:	Não
Filtragem em campo:	Não

ANÁLISES: MANUSEIO E PRESERVAÇÃO DAS AMOSTRAS

Análises	Tipo de Preservação	Tempo de Preservação	Tipo de Frasco
Nitrito (como N)		48 dias	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Nitrato (como N)		48 dias	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Escherichia coli	Tiosulfato de sódio	24 horas	POLIETILENO NA2S2O3
Condutividade		28 dias	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
pH		15 minutos	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Sólidos Dissolvidos Totais		7 dias	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Sulfato		28 dias	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Temperatura da amostra		-	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Arsênio	HNO3 pH <2	6 meses	POLIETILENO 500mL

Chave de Validação

1edecjscicnq541d92a4dbe54733652c44c3ee6f026d

Emitido Em 22/05/2025

F-SGQ-23 Rev. 02

www.toxilab.com.br - fone (51) 3232.0010
Rua 24 de Outubro, 111 – 5ª Avenida Center, loja37 – CEP: 90510-900 – Moinhos de Vento – Porto Alegre/RS – CRF: 10.170
Central de Produção: Rua Gomes Jardim, 165 - CEP: 90620-130

Responsável Técnico: Dr. Renato Nesralla Mattar - CRF: 1952

by Agilework®

CMPC - P4 **01024723/25**

SOLICITANTE: ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA **14/05/2025**

AVALIADO: CMPC CELULOSE RIOGRANDENSE - RIO GRANDE

Chumbo	HNO3 pH <2	6 meses	POLIETILENO 500mL
Cromo	HNO3 pH <2	6 meses	POLIETILENO 500mL
Ferro	HNO3 pH <2	6 meses	POLIETILENO 500mL

Chave de Validação

1edecjscicnq541d92a4dbe54733652c44c3ee6f026d

Emitido Em 22/05/2025

F-SGQ-23 Rev. 02

www.toxilab.com.br - fone (51) 3232.0010
Rua 24 de Outubro, 111 – 5ª Avenida Center, loja37 – CEP: 90510-900 – Moinhos de Vento – Porto Alegre/RS – CRF: 10.170
Central de Produção: Rua Gomes Jardim, 165 - CEP: 90620-130

Responsável Técnico: Dr. Renato Nesralla Mattar - CRF: 1952

by Agilework®

CMPC - P4 **01024723/25**

SOLICITANTE: ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA **14/05/2025**

AVALIADO: CMPC CELULOSE RIOGRANDENSE - RIO GRANDE

RELATÓRIO DE ENSAIO

Data e Hora do recebimento no laboratório: 13/05/2025 - 10:00

PARÂMETRO	RESULTADO	VALOR MÁXIMO PERMITIDO	UNIDADE	LQ	MÉTODO
Nitrito (como N)	*Não Detectado*	-	mg/L	0,15	SMWW, 24ed. 2023, 4110 B
Nitrato (como N)	*1,72*	-	mg/L	0,11	SMWW, 24ed. 2023, 4110 B
Escherichia coli	*2,0*	-	mL	-	SMWW, 24ª ed. 2023, 9223 B
Condutividade	*614,9*	-	uS/cm	0,10	SMWW, 24ed. 2023, 2510 B
pH	*6,9*	-	-	0 a 14	SMWW, 24ed. 2023, 4500 H+ B
Sólidos Dissolvidos Totais	*463*	-	mg/L	5	SMWW, 24ed. 2023, 2540 C
Sulfato	*47,59*	-	mg/L	0,50	SMWW, 24ed. 2023, 4110 B
Temperatura da amostra	*22,2*	-	ºC	0 - 50 ºC	SMWW, 24ed. 2023, 2550 B
Arsênio	*Não detectado*	-	mg/L	0,01	EPA 200.7 Rev. 4.4:1994
Chumbo	*0,011*	-	mg/L	0,0090	EPA 200.7 Rev. 4.4:1994
Cromo	*0,002*	-	mg/L	0,0010	EPA 200.7 Rev. 4.4:1994
Ferro	*1,39*	-	mg/L	0,01	EPA 200.7 Rev. 4.4:1994

Observações:

pH	*Análise realizada nas instalações do cliente.*
Temperatura da amostra	*Análise realizada nas instalações do cliente.*

Amostragem realizada pelos técnicos do Toxilab são de acordo com POP de coleta.
POP-AMOST-01 - Garantia da qualidade.
POP-AMOST-02 - Análises subsequentes.
POP-AMOST-06 - Água subterrânea.

Os resultados referem-se somente à amostra analisada.

Para relatórios com conclusão/declaração de conformidade, a regra de decisão definida pelo laboratório é a não utilização da incerteza de medição dos ensaios e/ou amostragem.

O relatório de ensaio não pode ser reproduzido parcialmente sem prévia autorização do laboratório.

Legenda: LQ = Limite de Quantificação.

Final de Relatório.

Alexsandra Pacheco
CRQ 052004874

Jully C. dos Santos
CRBM-5 9306

Bruna Yeckel da C. Almeida
CRQ 13043

Chave de Validação

1edecjscicnq541d92a4dbe54733652c44c3ee6f026d

Emitido Em 22/05/2025

F-SGQ-23 Rev. 02

www.toxilab.com.br - fone (51) 3232.0010
Rua 24 de Outubro, 111 – 5ª Avenida Center, loja37 – CEP: 90510-900 – Moinhos de Vento – Porto Alegre/RS – CRF: 10.170
Central de Produção: Rua Gomes Jardim, 165 - CEP: 90620-130

Responsável Técnico: Dr. Renato Nesralla Mattar - CRF: 1952

by Agilework®

CMPC - P5 **01024724/25**

SOLICITANTE: ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA **14/05/2025**

AVALIADO: CMPC CELULOSE RIOGRANDENSE - RIO GRANDE

RELATÓRIO DE AMOSTRAGEM

Tipo de amostra:	Água subterrânea
Objetivo:	Estabelecer método de purga de poços de monitoramento usados para investigação e programas de monitoramento de qualidade de água subterrânea em atendimento a Norma ABNT NBR 15847:2010.
Número do plano de amostragem:	04/25

AMOSTRAGEM PURGA

Data da purga:	13/05/2025
Hora da purga:	10:25
Responsável pela purga:	Paulo Silveira - Toxilab
Condições ambientais:	Tempo bom

AMOSTRAGEM COLETA

Técnica de coleta:	Purga por bailer
Data da Coleta:	12/05/2025
Hora da coleta:	15:00
Responsável pela coleta:	Paulo Silveira - Toxilab
Temperatura do Ar (ºC):	23,2
Temperatura da amostra (ºC):	22,2
Condições ambientais:	Tempo bom
Coleta realizada com chuva:	Não
Chuva nos dias anteriores:	Não
Líquido do poço com sobrenadante:	Não
Líquido do poço com material sedimentado:	Não
Fase livre:	Ausente
Manchas de óleo:	Ausente
Odor:	Não objetável
Infiltração na caixa do poço:	Não
Filtragem em campo:	Não

ANÁLISES: MANUSEIO E PRESERVAÇÃO DAS AMOSTRAS

Análises	Tipo de Preservação	Tempo de Preservação	Tipo de Frasco
Nitrito (como N)		48 dias	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Nitrato (como N)		48 dias	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Escherichia coli	Tiosulfato de sódio	24 horas	POLIETILENO NA2S2O3
Condutividade		28 dias	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
pH		15 minutos	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Sólidos Dissolvidos Totais		7 dias	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Sulfato		28 dias	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Temperatura da amostra		-	POLIETILENO S\ PRESERVANTE
Arsênio	HNO3 pH <2	6 meses	POLIETILENO 500mL

Chave de Validação

1edecjscjcnc0a528cb61f395db0e8e1c9ad9ce8c673

Emitido Em 22/05/2025

F-SGQ-23 Rev. 02

www.toxilab.com.br - fone (51) 3232.0010
Rua 24 de Outubro, 111 – 5ª Avenida Center, loja37 – CEP: 90510-900 – Moinhos de Vento – Porto Alegre/RS – CRF: 10.170
Central de Produção: Rua Gomes Jardim, 165 - CEP: 90620-130

Responsável Técnico: Dr. Renato Nesralla Mattar - CRF: 1952

by Agilework®

CMPC - P5 **01024724/25**

SOLICITANTE: ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA **14/05/2025**

AVALIADO: CMPC CELULOSE RIOGRANDENSE - RIO GRANDE

Chumbo	HNO3 pH <2	6 meses	POLIETILENO 500mL
Cromo	HNO3 pH <2	6 meses	POLIETILENO 500mL
Ferro	HNO3 pH <2	6 meses	POLIETILENO 500mL

Chave de Validação

1edecjscjcnc0a528cb61f395db0e8e1c9ad9ce8c673

Emitido Em 22/05/2025

F-SGQ-23 Rev. 02

www.toxilab.com.br - fone (51) 3232.0010
Rua 24 de Outubro, 111 – 5ª Avenida Center, loja37 – CEP: 90510-900 – Moinhos de Vento – Porto Alegre/RS – CRF: 10.170
Central de Produção: Rua Gomes Jardim, 165 - CEP: 90620-130

Responsável Técnico: Dr. Renato Nesralla Mattar - CRF: 1952

by Agilework®

CMPC - P5 **01024724/25**

SOLICITANTE: ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA **14/05/2025**

AVALIADO: CMPC CELULOSE RIOGRANDENSE - RIO GRANDE

RELATÓRIO DE ENSAIO

Data e Hora do recebimento no laboratório: 13/05/2025 - 10:00

PARÂMETRO	RESULTADO	VALOR MÁXIMO PERMITIDO	UNIDADE	LQ	MÉTODO
Nitrito (como N)	*Não Detectado*	-	mg/L	0,15	SMWW, 24ed. 2023, 4110 B
Nitrato (como N)	*4,54*	-	mg/L	0,11	SMWW, 24ed. 2023, 4110 B
Escherichia coli	*2,0*	-	mL	-	SMWW, 24ª ed. 2023, 9223 B
Condutividade	*497,6*	-	uS/cm	0,10	SMWW, 24ed. 2023, 2510 B
pH	*7,0*	-	-	0 a 14	SMWW, 24ed. 2023, 4500 H+ B
Sólidos Dissolvidos Totais	*406*	-	mg/L	5	SMWW, 24ed. 2023, 2540 C
Sulfato	*26,83*	-	mg/L	0,50	SMWW, 24ed. 2023, 4110 B
Temperatura da amostra	*22,2*	-	ºC	0 - 50 ºC	SMWW, 24ed. 2023, 2550 B
Arsênio	*Não detectado*	-	mg/L	0,01	EPA 200.7 Rev. 4.4:1994
Chumbo	*Não detectado*	-	mg/L	0,0090	EPA 200.7 Rev. 4.4:1994
Cromo	*Não detectado*	-	mg/L	0,0010	EPA 200.7 Rev. 4.4:1994
Ferro	*0,45*	-	mg/L	0,01	EPA 200.7 Rev. 4.4:1994

Observações:

pH	*Análise realizada nas instalações do cliente.*
Temperatura da amostra	*Análise realizada nas instalações do cliente.*

Amostragem realizada pelos técnicos do Toxilab são de acordo com POP de coleta.
POP-AMOST-01 - Garantia da qualidade.
POP-AMOST-02 - Análises subsequentes.
POP-AMOST-06 - Água subterrânea.

Os resultados referem-se somente à amostra analisada.

Para relatórios com conclusão/declaração de conformidade, a regra de decisão definida pelo laboratório é a não utilização da incerteza de medição dos ensaios e/ou amostragem.

O relatório de ensaio não pode ser reproduzido parcialmente sem prévia autorização do laboratório.

Legenda: LQ = Limite de Quantificação.

Final de Relatório.

Alexsandra Pacheco
CRQ 052004874

Jully C. dos Santos
CRBM-5 9306

Bruna Yeckel da C. Almeida
CRQ 13043

Chave de Validação

1edecjscjcnc0a528cb61f395db0e8e1c9ad9ce8c673

Emitido Em 22/05/2025

F-SGQ-23 Rev. 02

www.toxilab.com.br - fone (51) 3232.0010
Rua 24 de Outubro, 111 – 5ª Avenida Center, loja37 – CEP: 90510-900 – Moinhos de Vento – Porto Alegre/RS – CRF: 10.170
Central de Produção: Rua Gomes Jardim, 165 - CEP: 90620-130

Responsável Técnico: Dr. Renato Nesralla Mattar - CRF: 1952

by Agilework®

Anexo 19. Mapa da área de influência para investigação preliminar de passivos ambientais.

-52,083333° -52,075° -52,066667°

-32,041667° -32,05° -32,058333°

ERS-734

BR-392

Saco da Mangueira

Lagoa dos Patos

I. da Base

Getúlio Varras

Santa Tereza

Ponto de Gás e Água

ACE Estética Automotiva

Borracharia do Amigo

Passarela Mármore de Itaipu

Oficina Elétrica e Autopeças Elétricas, Serralheria, Soldagens Elétricas e Venda de Baterias

Depósito Abandonado

Estacionamento de Veículos Pesados

Tubo Cambiarua

Posto Ipiranga

Porto Novo de Rio Grande

Fertisul Cal Adubos e Fertilizantes

Transportadora Caminhão Fiuni

Borracharia Cruz

Oficina Mendonça

Cabeleireiro Matheusinho

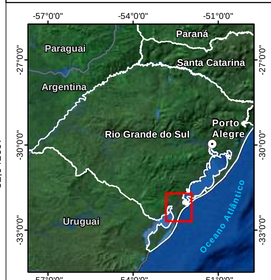
UBSF Santa Tereza

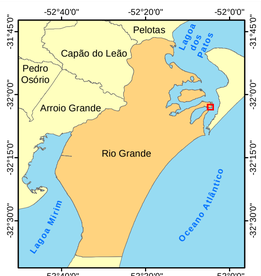
Gás do Gás e Conveniência

Q Padeiros

Oficina

Estaleiro Honório Bicalho





Legenda

Passivos Ambientais

- Cais
- Depósito Abandonado
- Distribuidora de Gás
- Distribuidora de Gás Butano
- Estacionamento de Veículos Pesados
- Estaleiro
- Fertilizantes
- Hotel
- Marcenaria
- Oficina Mecânica
- Porto
- Posto de Combustível
- Transportadora
- Unidade Básica de Saúde Familiar
- Bairro
- Rodovia Federal
- Rodovia Estadual
- Canal Porto Novo
- Área Diretamente Afetada

Nota Explicativa I

Parâmetros Cartográficos:

Sistema de Coordenadas Geográficas
Graus Decimais
Datum Horizontal: SIRGAS2000

0 100 200 m

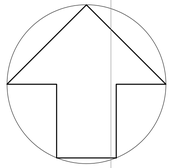
Nota Explicativa II

Fonte das Informações:

- Trecho de Drenagem, Rodovia, Limite Municipal: Base Cartográfica do Estado do RS, Escala: 1:25.000 - BCRS25, Versão 1.0 - 2018.
- Localidade e Divisão Estadual: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2018.
- Passivos Ambientais: Arvut Meio Ambiente, 05/2025.
- Área Diretamente Afetada: Planta do Arranjo Geral. Updated Conceptual Engineering - Mem. DESCRITIVO. Nº PÖYRY 109003203-001-224-D02-0006. Nº CMPC 224-003-00011. ESCALA 1:1.500.
- Imagem Base: Aplicativo Google Satellite.

Projeto: Estudo de Impacto Ambiental com Vistas à Obtenção de Licença Prévia de Eia/Rima para Terminal Portuário Privado no Complexo Portuário do Rio Grande				Local: Rio Grande - RS
Título: Mapa das Potenciais Fontes de Contaminação				
Responsável Técnico: Eng. Civ. Kayo C. F. Soares CREA/RS 225372	Elaborado por: Geógrafo Eduardo Farina CREA/RS 177016	Aprovado por: Bióloga Thaís Ascoli Morrete CRBio 110870/03D		Executora: ARVUT SINERGIA EM MEIO AMBIENTE
Parâmetros Cartográficos: Ver nota explicativa I	Fonte de Dados: Ver nota explicativa II	Escala: 1:4.000	Prancha: 001/001	Data: maio/2025
Documento Digital: 241_EIA_SOCIO_ADA_PASSIVOS_AMB_A1		Contratante: TERMINAL RIO GRANDE DO SUL S.A.		

Anexo 20. Planta Planialtimétrica.



E=398025.00
E=398100.00
E=398175.00
E=398250.00
E=398325.00
E=398400.00
N=6453975.00
N=6453900.00
N=6453825.00
N=6453750.00
N=6453675.00
MEIO FIO ALTURA = 0,20m LARGURA = 0,20m
RUA DA ESTAÇÃO DEADLOCK
GRAMADO
CALÇADA ALTURA = 0,20m LARGURA = 0,20m
RUA DA ESTAÇÃO DEADLOCK
RUA DE PARALELEPÍPEDO
TALUDE DE ACABAMENTO
Rampa de Acesso
Caixa (1,20m x 1,20m)
Caixa (1,20m x 1,20m)
Caixa (1,20m x 1,20m)
Caixa (1,20m x 1,20m)
Rampa de Acesso
Caixa (1,20m x 1,20m)
Rampa de Acesso
Caixa (1,20m x 1,20m)
ESTAÇÃO DEADLOCK
ESTAÇÃO DEADLOCK
ESTAÇÃO DEADLOCK

E=398475.00
E=398550.00
E=398625.00
E=398700.00
E=398775.00
E=398850.00
N=6453975.00
N=6453900.00
N=6453825.00
N=6453750.00
N=6453675.00
Cabo (1,40m x 1,20m)
Cabo (1,40m x 1,10m)
Calçada (LARG. 4m variável)
PONTINHA
Calçada (LARG. 4m variável)
Cabo (1,20m x 1,10m)
MURO de ALVENARIA ALTURA = 2,00m LARGURA = 0,20m
Rua de paralelepípedo
Faixa de pedestre
MURO ALTURA = 2,40m LARGURA = 0,20m
Rua de paralelepípedo
Cabo (1,20m x 0,70m)
Cabo (1,20m x 1,10m)
Sentido de fluxo
Cabo (1,20m x 1,10m)
Cabo (1,20m x 1,10m)
Cabo (1,20m x 1,10m)

LEGENDA

CONVENÇÕES TOPOGRÁFICAS

curvas de nível 105 / 100	Edificação	Muro	Caminho	Cerca	Árvore Isolada	Limite Levantamento
ponto cotado 723.560	Plataforma	Norte Verdadeiro	Alambrado	Caixa	Candeia	Poste
Rio	Pilar concreto	Pav. ou edificação demolida	Vala	Estrutura de concreto	Estrutura metálica	Guindaste
Trilho de rolamento	Tubo	Talude	Fio elétrico	Muro com alambrado	Portão	Cais
Ponto de controle						

CONFORME NBR – 13133

NOTAS

1 – UNIDADE EM METRO, EXCETO ONDE INDICADO DE FORMA CONTRÁRIA.
2 – SISTEMA DE COORDENADAS SIRGAS 2000, UTM 22S.
3 – A PROFUNDIDADE DE ALGUMAS CAIXAS NÃO FOI REGISTRADA, POIS ESTAVAM DESATIVADAS OU NÃO FOI POSSÍVEL ABRI-LAS

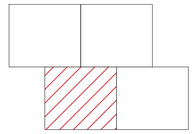
IDENTIFICAÇÃO DA ESTAÇÃO GPS

Base correção IBGE:	RSPL
Elipsóide:	SIRGAS2000
Fuso:	22S
Modelo de antena:	CHCC220GR2 CHCD

Coordenadas
Latitude: −31° 45' 12,6347"
Longitude: −52° 19' 05,1056"
Altitude normal: 23,74 m

Coordenadas Planas (UTM)
UTM (N): 6486129.608 m
UTM (E): 375162.971 m
MC: −51

ARTICULAÇÃO



REV.	DATA	TIPO	POR	
5	02/10/25			REVISÃO
4	16/09/25			REVISÃO
3	08/09/25			REVISÃO
2	04/09/25			REVISÃO
1	04/09/25			REVISÃO
0	25/08/25	E		EMISSÃO INICIAL

FIRMA CONTRATADA: METRO CÚBICO ENGENHARIA

TÍTULO: PORTO – DEEP

ASSUNTO: DESENHO CADASTRAL

RESPONSÁVEL		DATA
PROJ.	MATHEUS HIROYUKI YAMAMURA, ENGENHEIRO CIVIL	02/10/25
DES.	MATHEUS HIROYUKI YAMAMURA, ENGENHEIRO CIVIL	02/10/25
VER.	PAOLA FRANQUETO, ENGENHEIRO CIVIL	02/10/25
APROV.	ENGENHEIRO CIVIL	

FOLHA: 03/04

ESCALA: 1:750

Nº PROG

Nº PROJ.: 1128_PORTO_DEEP_DESENHO_CADASTRAL_R4

E=398500.00
E=398625.00
E=398700.00
E=398775.00
E=398850.00
E=398925.00
E=399000.00
N=6453600.00
N=6453525.00
N=6453450.00
N=6453375.00
N=6453300.00
N=6453225.00
GRAMADO
CAMINHO DE TERRA
ESTRUTURA DE CONCRETO
DIQUE ENTRE PLATAFORMA E MAR
ESCAVAÇÃO ESCALONADA
BASE DE ESCAVAÇÃO
Poste Iluminação
Caixa (1,20m x 1,20m)
PISO DA ESCAVAÇÃO ESCALONADA
Caixa Seção (1,20m x 1,20m) Profundidade 50 cm
Caixa (1,40m x 1,10m)
Caixa Seção (1,20m x 1,10m) Profundidade 50 cm
Caixa Seção (1,20m x 0,60m) Profundidade 50 cm
Caixa (1,20m x 1,20m)
Caixa Seção (1,20m x 0,60m) Profundidade 50 cm
Caixa Seção (1,20m x 0,60m) Profundidade 100 cm
Caixa (1,20m x 1,20m)
Caixa (1,20m x 1,20m)
Caixa Seção (1,20m x 0,60m) Profundidade 50 cm
Caixa Seção (1,20m x 0,60m) Profundidade 100 cm
Caixa (1,20m x 1,20m)
Caixa Seção (1,20m x 0,60m) Profundidade 50 cm
Caixa Seção (1,20m x 0,60m) Profundidade 100 cm
Caixa (1,20m x 1,20m)
Caixa (1,20m x 1,20m)
Caixa Seção (1,20m x 0,60m) Profundidade 50 cm
Caixa Seção (1,20m x 0,60m) Profundidade 100 cm

Anexo 21. ART do Responsável Técnico pela Elaboração do Relatório de Avaliação Preliminar de Passivos Ambientais.

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul

CREA-RS

ART Número
14139126

Tipo: OBRA OU SERVIÇO
Participação Técnica: INDIVIDUAL/PRINCIPAL
Convênio: NÃO É CONVÊNIO
Motivo: SUBSTITUIÇÃO DE ART
ART Vínculo: 13790316

Contratado

Carteira: RS194793 **Profissional:** EVANDRO ENIO EIFLER NETO **E-mail:** evandro.eiflerneto@gmail.com
RNP: 2211748112 **Título:** Engenheiro Ambiental, Engenheiro de Segurança do Trabalho
Empresa: ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA **Nr.Reg.:** 225372

Contratante

Nome: CMPC CELULOSE RIOGRANDENSE LTDA **E-mail:**
Endereço: AVENIDA HONÓRIO BICALHO 1722 **Telefone:** **CPF/CNPJ:** 11234954000185
Cidade: RIO GRANDE **Bairro:** GETÚLIO VARGAS **CEP:** 96201020 **UF:** RS

Identificação da Obra/Serviço

Proprietário: CMPC CELULOSE RIOGRANDENSE LTDA
Endereço da Obra/Serviço: Avenida ALMIRANTE MAXIMILIANO FONSECA **CPF/CNPJ:** 11234954000185
Cidade: RIO GRANDE **Bairro:** ZONA PORTUÁRIA **CEP:** **UF:** RS
Finalidade: AMBIENTAL **Vlr Contrato(R$):** 1.340.193,28 **Honorários(R$):**
Data Início: 26/11/2024 **Prev.Fim:** 26/11/2025 **Ent.Classe:**

Atividade Técnica	Descrição da Obra/Serviço	Quantidade	Unid.
Coordenação Técnica	EIA/RIMA		
Coordenação Técnica	PROGRAMAS AMBIENTAIS		
Coordenação Técnica	MEDIDAS MITIGATÓRIAS		
Coordenação Técnica	PROGRAMA DE GERENCIAMENTO DE RISCO - PGR		
Elaboração	IDENTIFICAÇÃO DE IMPACTOS		
Coordenação Técnica	IDENTIFICAÇÃO DE IMPACTOS		
Elaboração	AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE PASSIVOS		
Coordenação Técnica	AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE PASSIVOS		
Elaboração	AVALIAÇÃO PRELIMINAR AMBIENTAL		
Coordenação Técnica	AVALIAÇÃO PRELIMINAR AMBIENTAL		
Elaboração	INVESTIGAÇÃO DO HISTÓRICO DO EMPREENDIMENTO		
Coordenação Técnica	INVESTIGAÇÃO DO HISTÓRICO DO EMPREENDIMENTO		

ART registrada (paga) no CREA-RS em 01/12/2025

Porto Alegre, 1º/12/2025	Declaro serem verdadeiras as informações acima	De acordo
Local e Data	EVANDRO ENIO EIFLER NETO Profissional	CMPC CELULOSE RIOGRANDENSE LTDA... Contratante

Evandro Eifler
CPF 009.244.190-40
Arvut Meio Ambiente

Signed by:
Claus Zimmer
D3B9184ARD3A17A...

A AUTENTICIDADE DESTA ART PODE SER CONFIRMADA NO SITE DO CREA-RS, LINK SOCIEDADE - ART CONSULTA.

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul

CREA-RS
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul

ART Número
14139126

Contratado

Nr.Carteira: RS194793 **Profissional:** EVANDRO ENIO EIFLER NETO **E-mail:** evandro.eiflerneto@gmail.com
Nr.RNP: 2211748112 **Título:** Engenheiro Ambiental, Engenheiro de Segurança do Trabalho
Empresa: ARVUT MEIO AMBIENTE LTDA **Nr.Reg.:** 225372

Contratante

Nome: CMPC CELULOSE RIOGRANDENSE LTDA **E-mail:**
Endereço: AVENIDA HONÓRIO BICALHO 1722 **Telefone:** **CPF/CNPJ:** 11234954000185
Cidade: RIO GRANDE **Bairro:** GETÚLIO VARGAS **CEP:** 96201020 **UF:** RS

RESUMO DO(S) CONTRATO(S)

Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) a partir do Termo de Referência (TR) contendo descrição e caracterização do empreendimento, definição das áreas de influência, diagnóstico ambiental de meio físico, biótico e socioeconômico, análise integrada, avaliação de impactos ambientais, prognóstico, medidas mitigadoras e RIMA, para o licenciamento ambiental de implantação de Terminal de Uso Privado – TUP, na ponta sul do Porto Público de Rio Grande, que constará a instalação de dois berços de atracação, depósito para celulose, AWT, dragagens de aprofundamento junto aos novos berços e bacia de evolução. O porto será dedicado para exportação de celulose, com uma movimentação de até 5 milhões de toneladas/ano.

Porto Alegre, 1º/12/2025	Declaro serem verdadeiras as informações acima	De acordo
Local e Data	Profissional	Contratante

Evandro Eifler
CPF 009.744.190-40
Arvut Meio Ambiente

Signed by:
Claus Zimmer
D368484ABD3A47A...