

II.6. MODELAGEM NUMÉRICA

II.6.1. Modelagem da Dispersão de Óleo e Dispersão de Poluentes

Esse item foi elaborado pela empresa PROOCEANO (CLS BRASIL), não apenas de acordo com o Termo de Referência (TR) SEI/IBAMA Nº 8947550, específico para a Atividade de Perfuração Marítima no Bloco Pau-Brasil, na Bacia de Santos, mas levando em consideração as últimas solicitações do IBAMA, no que se refere à modelagem hidrodinâmica e de transporte de óleo.

Dessa forma, são descritos e apresentados, no presente item, os resultados obtidos na modelagem hidrodinâmica e de transporte de óleo no mar, no Bloco Pau-Brasil.

Modelagem Hidrodinâmica

Bloco Pau Brasil / Bacia de Santos

RELATÓRIO TÉCNICO [REV.00]

26 DE JULHO DE 2022

Preparado para:

BP Energy do Brasil

Preparado por:

Gabriel Medeiros Zielinsky

Gabriel Vieira de Carvalho

Henery Ferreira Garção

Marcelo Montenegro Cabral

Prooceano

Av. Rio Branco, 311/1205 - Centro
CEP 20.040-009 - Rio de Janeiro - RJ
Tel./Fax + 55 21 2532.5666
www.prooceano.com.br

© PROOCEANO 2022

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

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

Controle de revisão

Revisão nº 01

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

Revisão nº 02

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

Revisão nº 03

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

Revisão nº 04

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

Revisão nº 05

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

Equipe técnica

Gabriel Medeiros Zielinsky

Registro no Conselho de Classe: Não Aplicável

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 8119469

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura:



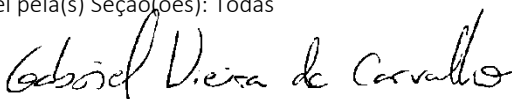
Gabriel Vieira de Carvalho

Registro no Conselho de Classe: Não Aplicável

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 5416625

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura:



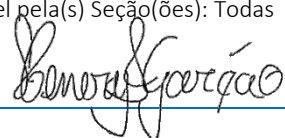
Henery Ferreira Garção

Registro no Conselho de Classe: Não Aplicável

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

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura:



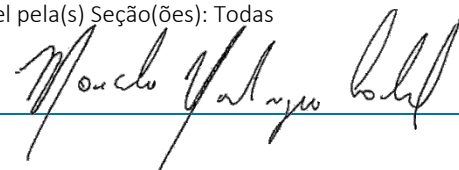
Marcelo Montenegro Cabral

Registro no Conselho de Classe: 2010110225 - CREA/RJ

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

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura:



Sumário

1. Introdução.....	6
2. Modelo Numérico Utilizado	8
3. Limitações do Modelo.....	12
4. Período e Domínio do Modelo	12
5. Condições Iniciais	14
6. Condições de Contorno	18
6.1. Condição de Contorno de Fundo	18
6.2. Condição de Contorno de Superfície	20
6.3. Condição de Contorno Laterais.....	28
6.4. Maré Astronômica	28
7. Estabilização da Energia Cinética	37
8. Resultados.....	38
8.1. Campos de Corrente	39
8.2. Seções verticais.....	100
8.3. Rosas mensais de corrente	106
8.4. Processos de mesoescala	127
8.5. Considerações	129
9. Avaliação do Modelo.....	129
9.1. Maré.....	129
9.2. Temperatura da Superfície do Mar.....	137

9.3. Estrutura Termohalina	152
9.4. Correntes	171
9.5. Transporte de volume	191
10. Considerações Finais	193
11. Bibliografia	194
Anexo	199

1. Introdução

O presente relatório descreve os resultados obtidos na modelagem numérica hidrodinâmica para o Bloco Pau-Brasil e seu entorno (Figura 1), com objetivo de subsidiar estudos de dispersão de poluentes (e.g. óleo, cascalho, fluidos de perfuração, água de produção) no mar para os cenários acidentais de vazamento.

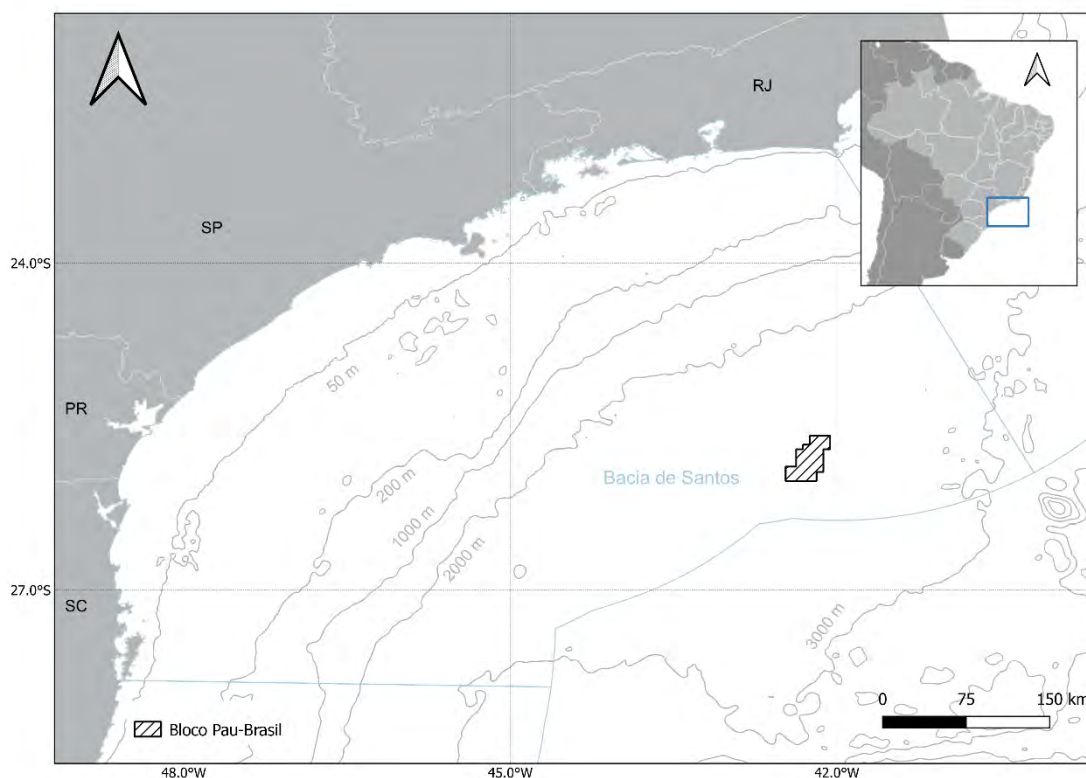


Figura 1: Localização do Bloco Pau Brasil considerado na modelagem de cascalho e fluido de perfuração.

Este estudo consiste na análise das características meteorológicas e simulações hidrodinâmicas da região, mais especificamente dos parâmetros capazes de afetar o comportamento de poluentes lançados/derramados.

Para simular o transporte de qualquer material no oceano é necessário conhecer o comportamento das correntes marinhas da região em questão. Para tal, pode-se recorrer à técnica conhecida como fluidodinâmica computacional, que consiste em reproduzir o comportamento de fluidos em resposta às forças atuantes no meio, através da solução numérica das equações que governam os processos envolvidos. Com isso, podem ser obtidos resultados sinóticos e sob diferentes condições de contorno e iniciais, como por exemplo, condições de verão e inverno, de maré de sizígia e quadratura etc.

A capacidade de simular diferentes condições, aliada à obtenção de resultados sinóticos em quatro dimensões (as três do espaço e o tempo), faz da fluidodinâmica computacional uma opção interessante, e em determinados casos, como em regiões com pouca ou nenhuma medição, a única para obter os resultados necessários à modelagem de transporte de materiais no oceano. É imprescindível, no entanto, a realização de comparações dos resultados obtidos pelo modelo hidrodinâmico com dados observados na região, para se obter uma medida da representatividade do modelo em relação ao observado.

Sob o entendimento de que os termos de referência recentes não estabelecem a extensão temporal da base hidrodinâmica a ser utilizada nos estudos de modelagem de dispersão de óleo, a Prooceano tem usualmente utilizado bases hidrodinâmicas com extensão de um ano para as bacias brasileiras. Contudo, com o entendimento de que o uso de uma base de hidrodinâmica mais longa quanto possível pode trazer benefícios aos estudos de dispersão, a Prooceano tem buscado a incorporação de outros anos em algumas de suas bases. Por exemplo, para blocos e campos localizados entre as bacias do Espírito Santo e Pelotas, a extensão da base utilizada nos relatórios de modelagem de dispersão de óleo tem sido de dois anos.

Conscientes da relevância dessa questão e visando a construção conjunta de sistemas cada vez mais robustos e adequados aos processos de licenciamento, a BP Energy do Brasil e a Shell Brasil subsidiaram a extensão da base hidrodinâmica utilizada para as bacias sul e sudeste do Brasil, contemplando os anos de 2012, 2013 e 2014. Para este período utilizado existem dados medidos que serão utilizados para comparação e avaliação do modelo no item 9. Desta forma, é agregada à base hidrodinâmica e aos resultados da modelagem de dispersão de óleo a possibilidade de ampliação da variabilidade ambiental e sua consequente influência na confiabilidade da representação dos fenômenos.

2. Modelo Numérico Utilizado

Para as simulações hidrodinâmicas na região foi utilizado o modelo *Regional Ocean Modeling System* - ROMS (HAIDVOGEL *et al.*, 2008). O ROMS é um modelo oceânico de superfície livre, coordenadas seguidoras de terreno e equações primitivas, utilizado amplamente pela comunidade científica em uma vasta gama de aplicações (por exemplo, HAIDVOGEL *et al.*, 2000; MARCHESIELLO *et al.*, 2003; PELIZ *et al.*, 2003). Os algoritmos não lineares que formam o cerne computacional do ROMS são descritos em detalhes em Shchepetkin & McWilliams (2003, 2005). O ROMS inclui modelos acoplados para processos biogeoquímicos, bio-ópticos, transporte de sedimentos e também inclui diversos regimes de mistura vertical (WARNER *et al.*, 2005), níveis múltiplos de aninhamento e grades compostas.

As equações hidrostáticas primitivas de momento são resolvidas utilizando um passo de tempo dividido explicitamente e modos barotrópico (bidimensional) e baroclínico (tridimensional) acoplados. Um número finito de passos de tempo barotrópicos é efetuado em cada passo de tempo baroclínico para resolver as equações de superfície livre e momento verticalmente integrado. No intuito de evitar erros associados com o *aliasing* de frequências resolvidas no modo barotrópico, mas não no baroclínico, são realizadas médias temporais nos campos barotrópicos antes de serem trocados com os valores obtidos com um passo baroclínico de maior duração. Um filtro de tempo cossenoidal, centrado no novo nível de tempo, é usado para fazer as médias dos campos barotrópicos (SHCHEPETKIN; MCWILLIAMS, 2005). Adicionalmente, o passo de tempo separado é forçado a manter a conservação de volume e a preservação de consistência, propriedades que são necessárias para as equações de traçadores (p.ex. temperatura e salinidade) (SHCHEPETKIN; MCWILLIAMS, 2005).

Atualmente, todas as equações em duas e três dimensões são discretizadas no tempo usando um algoritmo de passo de tempo previsor (*Leap-Frog*) e corretor (Adams-Molton) de terceira ordem, que é altamente robusto e estável. A estabilidade reforçada pelo esquema permite passos de tempo mais longos, por um fator de aproximadamente quatro, o qual mais do que compensa o custo elevado do algoritmo previsor-corretor.

As equações primitivas são discretizadas verticalmente sobre a variável topográfica utilizando coordenadas seguidoras de terreno “estiradas” (SONG; HAIDVOGEL, 1994). As coordenadas estiradas permitem o aumento da resolução em áreas de interesse, como na termoclina e nas camadas limites de fundo. A grade padrão utiliza diferenças finitas de segunda ordem, centradas em uma grade vertical irregular. Opções para grades de ordens maiores são disponíveis via uma reconstrução conservativa de derivadas verticais (SHCHEPETKIN; MCWILLIAMS, 2005). Esta classe de modelo apresenta grande sensibilidade à topografia, resultando em erros do gradiente de pressão. Estes erros aumentam devido à divisão do termo do gradiente de pressão em um componente ao longo da coordenada sigma e uma correção hidrostática (para maiores detalhes, veja Haidvogel & Beckmann, 1999). O algoritmo numérico no ROMS é desenvolvido para minimizar tais erros (SHCHEPETKIN & MCWILLIAMS, 2003).

Na horizontal, as equações primitivas são calculadas usando coordenadas ortogonais curvilíneas ajustadas ao contorno em uma grade irregular do tipo C de Arakawa. A formulação geral das coordenadas curvilíneas inclui as coordenadas cartesianas e as esféricas. Contornos de costa também podem ser especificados como uma grade discretizada finitamente pela máscara terra/mar. Assim como na vertical, a grade horizontal utiliza diferenças finitas de segunda ordem centradas. Entretanto, o código também é desenvolvido para fazer a implementação de grades de maior ordem.

Existem várias opções para esquemas de advecção: diferenças centradas de segunda e quarta ordens; e terceira ordem, *upstream biased*. Este último esquema, padrão do modelo, apresenta uma dissipação hiper-difusa dependente da velocidade como erro dominante de truncamento (SHCHEPETKIN; MCWILLIAMS, 1998). Estes esquemas são estáveis para a metodologia de previsão e correção do modelo. Além disso, há uma opção para representação da advecção vertical, utilizando *spline* parabólico conservativo, que tem propriedades de dispersão similares a um esquema convencional preciso de oitava ordem.

Várias parametrizações de escala de sub-grade estão presentes no ROMS. A mistura vertical de momento e de traçadores pode ocorrer nos níveis verticais, superfícies geopotenciais (profundidade constante), ou superfícies isopícnas (densidade constante). O operador de mistura pode ser harmônico (arranjo de 3 pontos) ou bi-harmônico (arranjo de 5 pontos). Em Haidvogel & Beckmann (1999) podem ser obtidos maiores esclarecimentos sobre estes operadores.

A parametrização vertical de mistura no ROMS pode ser tanto por esquemas de fechamento locais, como não-locais. Os esquemas de fechamento locais são baseados nas equações de energia cinética turbulenta de nível 2,5 de Mellor & Yamada (1982) e na parametrização de Escala Genérica de Dimensão (EGD) (UMLAUF & BUCHARD, 2003). O esquema de fechamento não-local é baseado na formulação da camada limite, perfil-K, definida por Large *et al.* (1994). O esquema de perfil-K tem sido expandido para incluir tanto os limites de camadas de superfície quanto os de fundo. O EGD é um modelo de turbulência de duas equações que permite uma ampla variedade de fechamentos de mistura vertical, incluindo os esquemas k-kl (Mellor-Yamada level 2,5), k-e e k-w. Muitas funções de estabilidade têm sido empregadas para favorecer a flexibilidade. Um estudo recente (WARNER *et al.*, 2005) avaliou a performance desses fechamentos de turbulência no ROMS, em aplicações de transporte de sedimentos idealizado. Além disso, existe um esquema de camada limite de fundo onda/corrente que provoca o estresse de fundo (STYLES; GLENN, 2000) e o transporte de sedimentos, que tem ganhado importância em aplicações costeiras.

A camada limite de interação ar-mar utilizada no ROMS, baseia-se na parametrização de Fairall *et al.* (1996). Esta foi adaptada do algoritmo do COARE (*Coupled Ocean-Atmosphere Response Experiment*) para o cálculo de fluxos de *momentum* de superfície, calor sensível, e calor latente. Esta camada limite é utilizada para o acoplamento com modelos atmosféricos.

O ROMS possui um código altamente moderno e modular escrito em F90 e 95. Utiliza pré-processamento C para ativar as diversas opções físicas e numéricas. Muitos padrões de códigos têm sido estabelecidos para facilitar a leitura, manutenção e portabilidade do modelo. Todas as variáveis

de estado do modelo são dinamicamente alocadas e passadas como argumento das rotinas computacionais.

O conjunto de equações governantes do ROMS é formado pelas equações primitivas do movimento, fazendo uso das aproximações de *Boussinesq*, plano β e hidrostática. Referenciando-se a um sistema de coordenadas cartesianas ortogonais, com valores positivos de x , no sentido leste, e de y , no sentido norte, e realizando a transformação para coordenada *sigma*, tem-se o conjunto de equações básicas utilizadas pelo ROMS.

Equação da continuidade:

$$\frac{\partial DU}{\partial x} + \frac{\partial DV}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

Equação da conservação da quantidade de movimento na direção zonal:

$$\begin{aligned} \frac{\partial UD}{\partial t} + \frac{\partial U^2 D}{\partial x} + \frac{\partial UVD}{\partial y} + \frac{\partial U\omega}{\partial \sigma} - fVD + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gD^2}{\rho_o} \int_{\sigma}^o \left[\frac{\partial \rho'}{\partial x} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial x} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma} \right] d\sigma' \\ = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right] + F_x \end{aligned} \quad (2)$$

Equação da conservação da quantidade de movimento na direção meridional:

$$\begin{aligned} \frac{\partial VD}{\partial t} + \frac{\partial UVD}{\partial x} + \frac{\partial V^2 D}{\partial y} + \frac{\partial V\omega}{\partial \sigma} + fUD + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gD^2}{\rho_o} \int_{\sigma}^o \left[\frac{\partial \rho'}{\partial y} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial y} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma} \right] d\sigma' \\ = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right] + F_y \end{aligned} \quad (3)$$

Equação da conservação de calor:

$$\frac{\partial \theta D}{\partial t} + \frac{\partial \theta UD}{\partial x} + \frac{\partial \theta VD}{\partial y} + \frac{\partial \theta \omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial \theta}{\partial \sigma} \right] + F_{\theta} - \frac{\partial R}{\partial z} \quad (4)$$

Equação da conservação de sal:

$$\frac{\partial SD}{\partial t} + \frac{\partial SUD}{\partial x} + \frac{\partial SVD}{\partial y} + \frac{\partial S\omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right] + F_S \quad (5)$$

Equação de estado da água do mar:

$$\rho = \rho(S, \theta, P) \quad (6)$$

Nestas equações $D = H + \eta$ representa a altura da coluna d'água, U e V são os componentes zonal e meridional da velocidade, respectivamente, f é o parâmetro de Coriolis, g é a aceleração da gravidade, ρ é a densidade, ρ_o é a densidade de referência, ρ' é a anomalia de densidade, θ é a temperatura potencial, S é a salinidade, KM é o coeficiente de viscosidade cinemática vertical, KH é o coeficiente de difusão de calor vertical, $\partial R / \partial z$ é o termo de fluxo de calor radiativo e ω é a velocidade vertical transformada, correspondente à componente de velocidade normal às superfícies sigma. Essa transformação se dá segundo:

$$W = \omega + U \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial x} + \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) + V \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) + \sigma \frac{\partial D}{\partial t} + \frac{\partial \eta}{\partial t} \quad (7)$$

Todas as constantes e os parâmetros físicos utilizados no modelo hidrodinâmico são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros e constantes utilizadas no modelo hidrodinâmico.

Parâmetro	Valor	Descrição
TNU2 (m ⁴ /s)	0,0	Operador bi-harmônico de difusão horizontal de traçadores
VISC2 (m ² /s)	5,0	Coeficiente de viscosidade horizontal
AKT_BAK (m ² /s)	1,0x10 ⁻⁶	Coeficiente vertical de mistura para traçadores
AKV_BAK (m ² /s)	1,0x10 ⁻⁵	Coeficiente vertical de mistura de momentum
AKK_BAK (m ² /s)	5,0x10 ⁻⁶	Coeficiente vertical de mistura para energia cinética turbulenta
AKP_BAK (m ² /s)	5,0x10 ⁻⁶	Coeficiente vertical de mistura para campos estatísticos
RDRG2	3,0x10 ⁻³	Coeficiente quadrático de atrito com o fundo
ZOS (m)	2,0x10 ⁻²	Rugosidade da superfície
DT (s)	300	Passo de tempo baroclínico
NDTFAST (s)	8,57	Passo de tempo barotrópico
GAMMA2	1	Parâmetro de deslizamento

3. Limitações do Modelo

Modelos numéricos de circulação do oceano geram resultados que são aproximações do estado real e possuem limitações e erros inerentes ao método, e o modelo hidrodinâmico ROMS não é exceção. Destes pode-se citar, por exemplo, o ROMS por ser um modelo de discretização vertical em camadas sigma, uma das principais limitações seria o erro no cálculo do gradiente de pressão quando há uma variação abrupta de profundidade entre um ponto de grade, e outro adjacente. Este erro é minimizado com o aumento da resolução, e normalmente, aplica-se um alisamento na batimetria utilizada no modelo.

Além do erro no gradiente de pressão, outros erros inerentes à modelagem numérica em geral estão embutidos nos resultados do modelo, tais como: erro de truncamento, erro de aproximação, parametrização de processos físicos não resolvíveis etc. Todas essas fontes contribuem para divergências entre o estado real e o simulado do oceano, sendo difícil uma quantificação da contribuição individual de cada fonte de erro nos resultados.

Contudo, o ROMS é um modelo amplamente utilizado pela comunidade científica e citado em diversas referências bibliográficas, sendo considerado como estado da arte em modelagem numérica do oceano. O ROMS é um modelo regional, desenvolvido para ser aplicado em porções definidas do oceano, seja em qualquer hemisfério. O modelo foi aplicado em estudos envolvendo diversas escalas, inclusive na costa brasileira (SOUTELINO, 2012; FRAGOSO *et al.*, 2016; MENDOÇA *et al.*, 2017) e com resultados satisfatórios.

4. Período e Domínio do Modelo

Em estudos de modelagem são necessárias delimitações para que seja avaliado o esforço computacional na representação de fenômenos em diferentes escalas nos resultados de cada estudo para que possa atender todos os requisitos solicitados. O IBAMA, em termos de referências recentes, tem apresentado o seguinte texto:

“a extensão temporal e espacial dos resultados gerados a partir da modelagem hidrodinâmica que serão utilizados nas modelagens de transporte e dispersão de efluentes deve ser suficientemente grande para conter todas as feições meteorológicas e oceanográficas e fenômenos transientes relevantes”.

Assim, tendo em vista o grande esforço computacional necessário para realização de simulações com bases hidrodinâmicas, foi configurado um modelo hidrodinâmico para simular as correntes da região entre janeiro de 2012 e dezembro de 2014, abarcando três (03) anos de base. A extensão temporal mostra-se suficiente longa para reproduzir bem a circulação oceânica na região estudada, com a observação das principais feições (ex: Corrente do Brasil) e suas variações espaço-temporais, levando-se em conta mudanças sazonais (ex: meandros e vórtices).

Ainda se destaca que o período selecionado para simulação hidrodinâmica (2012, 2013 e 2014) se encontra inserido no contexto mais recente das tendências de mudanças climáticas. Os estudos reportados em Hoegh-Guldberg *et al* (2018) avaliam tendências em períodos de cerca de 40 anos (~1979-2019) e a escala de tempo dessas mudanças é muito superior à diferença de tempo entre as simulações utilizadas (2012 a 2014) e o tempo presente.

Com relação a extensão espacial, foi projetada uma grade numérica (Figura 2), que se estende de 39° S a 14° S, e 60° W a 25° W. O domínio da grade abrange a costa leste brasileira desde o estado da Bahia até o final do Rio Grande do Sul. Além disso, ela se prolonga ainda mais ao sul, terminando logo após a cidade de Mar del Plata, na Argentina. A grade engloba a plataforma continental, o talude e parte das bacias oceânicas adjacentes.

A resolução da grade é de 1/16° (~6 km) e foi escolhida tanto para que as principais feições batimétricas e da linha de costa pudessem ser reproduzidas de forma satisfatória (Figura 3) como para permitir um desempenho computacional compatível. Essa escolha resultou em uma grade com 254.694 pontos em cada nível horizontal (camada sigma), com 30 níveis verticais (camadas sigma).

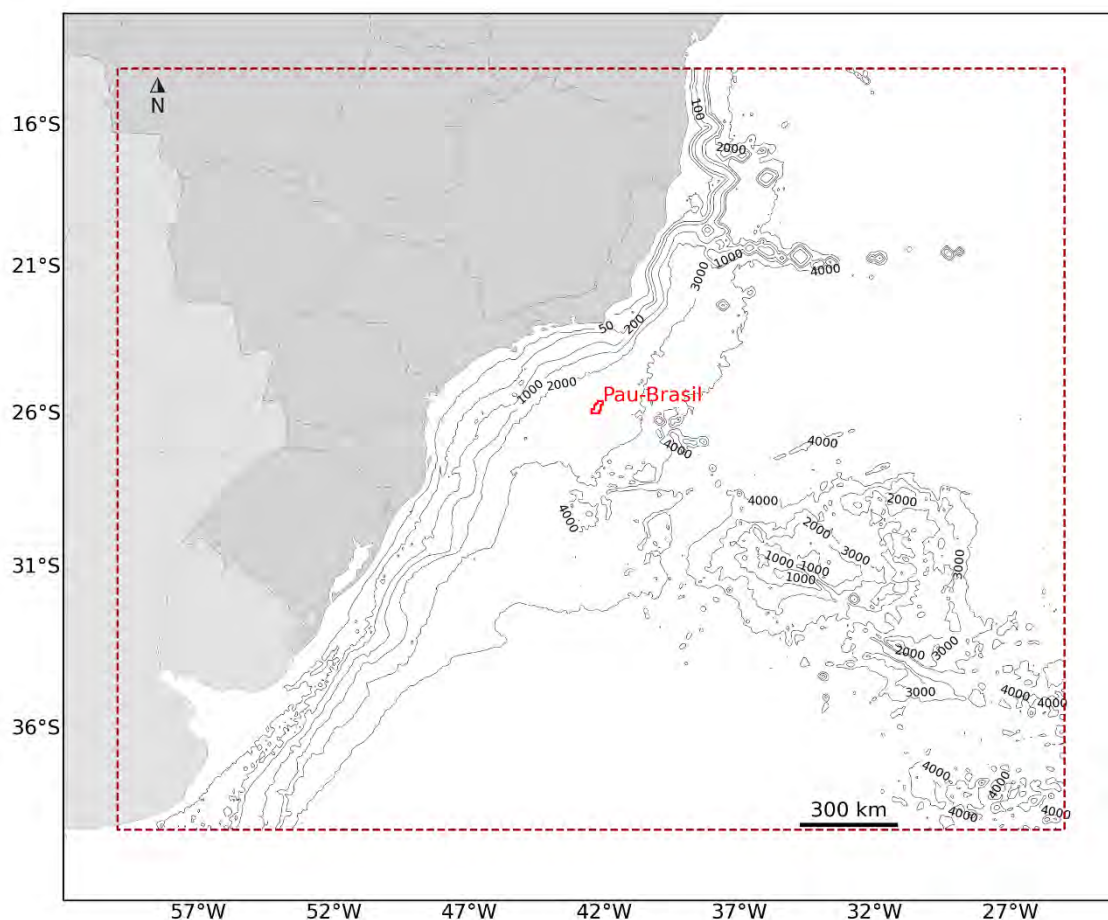


Figura 2: Região de modelagem. Polígono vermelho pontilhado representa os limites da grade do modelo hidrodinâmico.

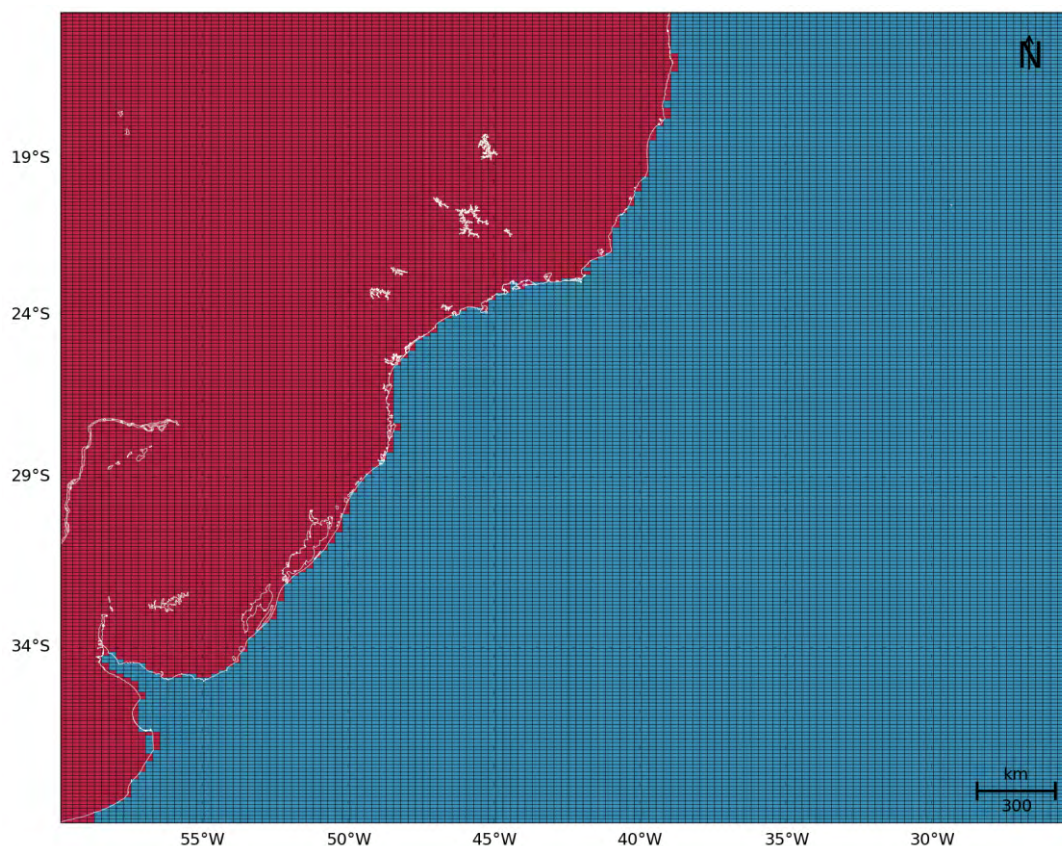


Figura 3: Detalhamento da representação da linha de costa pela grade do modelo hidrodinâmico. Os retângulos em vermelho representam as células consideradas como terra pelo modelo e a linha branca mostra a linha de costa da região.

5. Condições Iniciais

A situação ideal para se inicializar um modelo seria obter, *in situ*, dados de temperatura, salinidade e correntes em cada ponto de grade (nas três dimensões), observados simultaneamente, o que é inviável. Desta forma, deve-se procurar uma alternativa, como a obtenção de informações de bancos de dados que contenham o máximo de observações simultâneas com a resolução mais próxima à grade do modelo em questão.

Como condição inicial e de contorno para o sistema de previsão oceânica referente a região de estudo foram utilizados os dados de temperatura, salinidade, altura da superfície do mar e de correntes da Análise Global do Mercator. Este projeto disponibiliza, semanalmente, os resultados da análise e previsão oceânica global por um período de 14 dias, com resolução espacial de $1/12^\circ$ e temporal de 24 h. O modelo oceânico global utilizado no Mercator é o NEMO (*Nucleus for European Models of the Ocean*), forçado pelos campos atmosféricos obtidos da Análise do ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*). O NEMO assimila dados de correntes, altura da

superfície e TSM obtidos de satélites, além de dados de temperatura e salinidade obtidos *in situ*, que passam por um criterioso controle de qualidade (LARNICOL *et al.*, 2006).

O modelo foi inicializado com os resultados da simulação do Mercator, interpolados para a resolução espacial (vertical e horizontal) da grade usada no ROMS, o que é considerado um aninhamento de modelos. Nesse caso, se está aninhando o modelo regional para a região simulada (ROMS) em um modelo global (Mercator) em modo *offline*, ou seja, as condições de contorno usadas no modelo de menor área e maior resolução foram extraídas de um modelo de maior área e menor resolução rodado previamente. Exemplos dos campos iniciais com dados do Mercator fornecidos ao modelo são apresentados da Figura 4 à Figura 7.

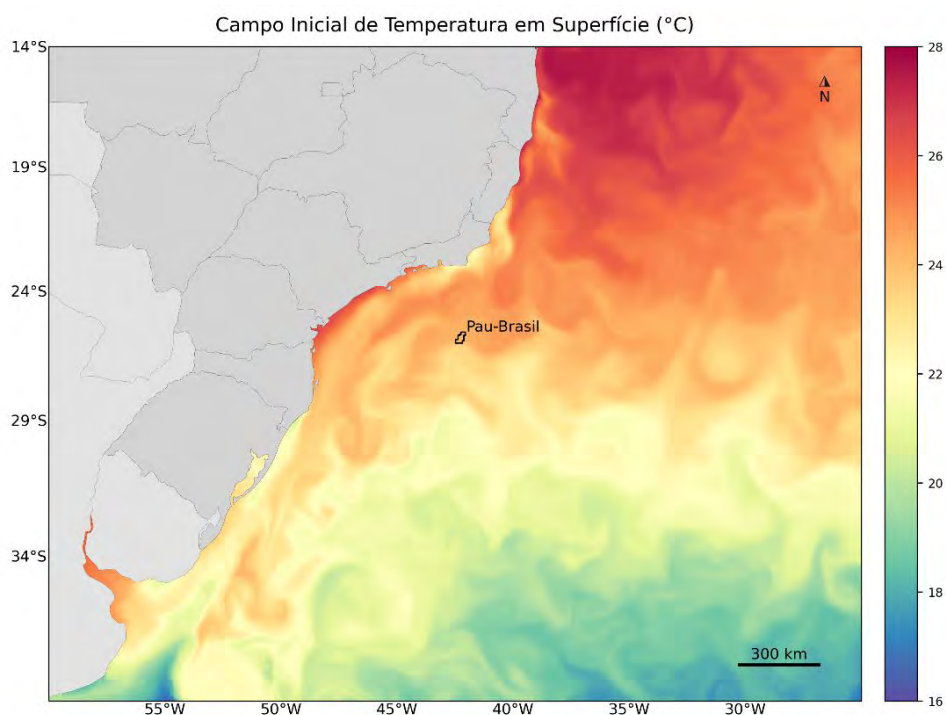


Figura 4: Campo de temperatura superficial do Mercator (°C) no dia 1º de janeiro de 2012 interpolado para a grade do ROMS.

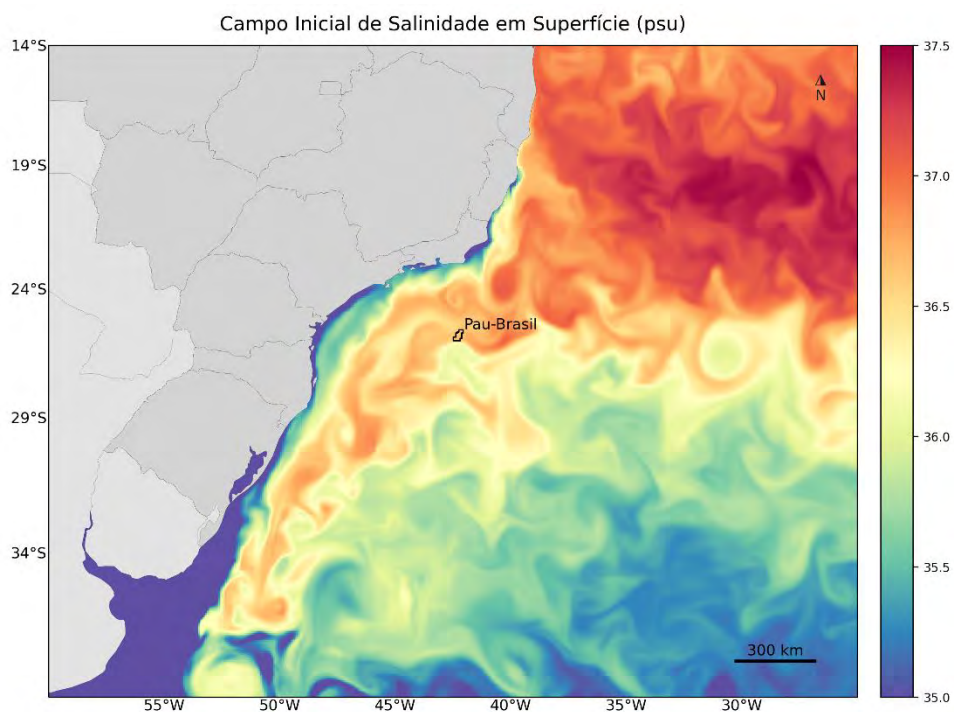


Figura 5: Campo de salinidade superficial do Mercator (°C) no dia 1º de janeiro de 2012 interpolado para a grade do ROMS.

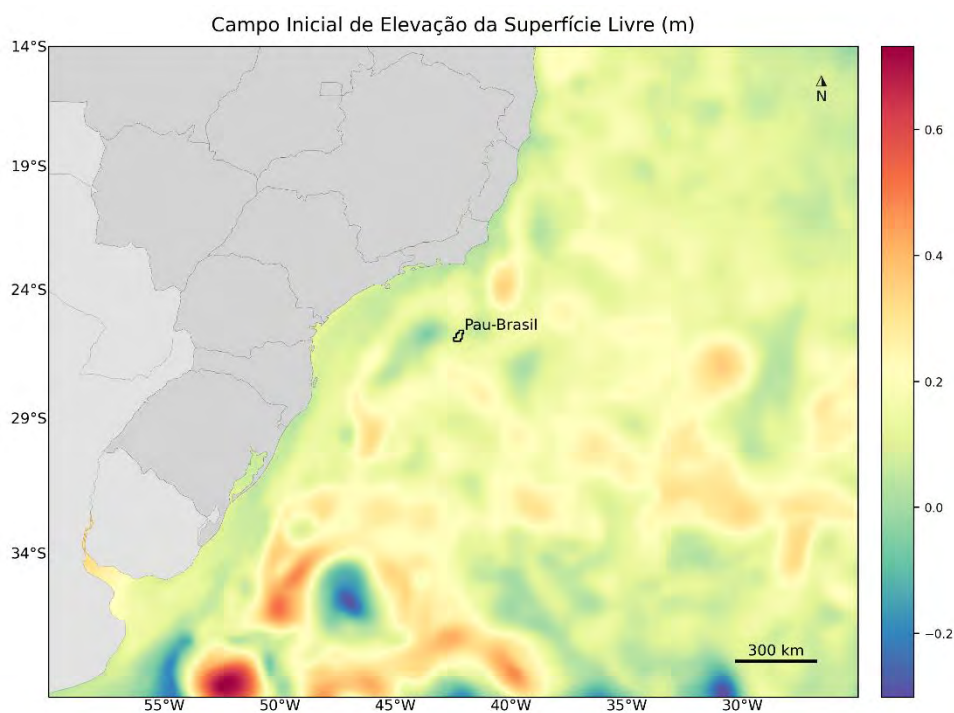


Figura 6: Campo de Elevação da Superfície Livre (m) do Mercator (°C) no dia 1º de janeiro de 2012 interpolado para a grade do ROMS.

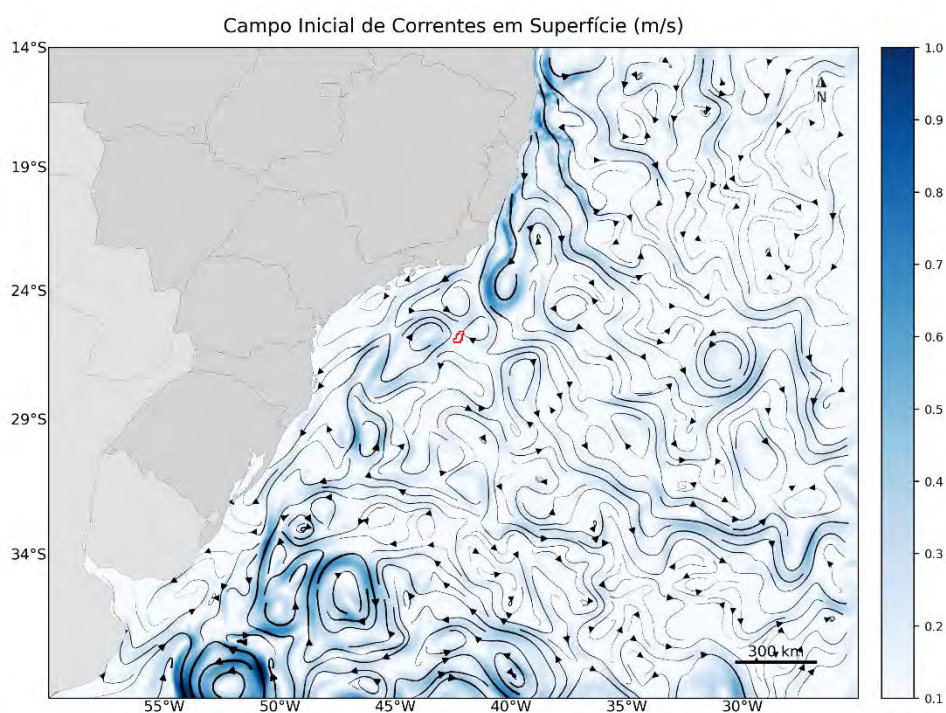


Figura 7: Campo de Correntes superficiais (m/s) do Mercator (°C) no dia 1º de janeiro de 2012 interpolado para a grade do ROMS.

6. Condições de Contorno

Quando se utiliza um modelo de área limitada, como é o caso do ROMS, um dos fatores primordiais é uma escolha adequada das condições de contorno do modelo (Figura 8). Tal escolha deve ser realizada com bastante critério, uma vez que os resultados serão consequência das condições escolhidas.

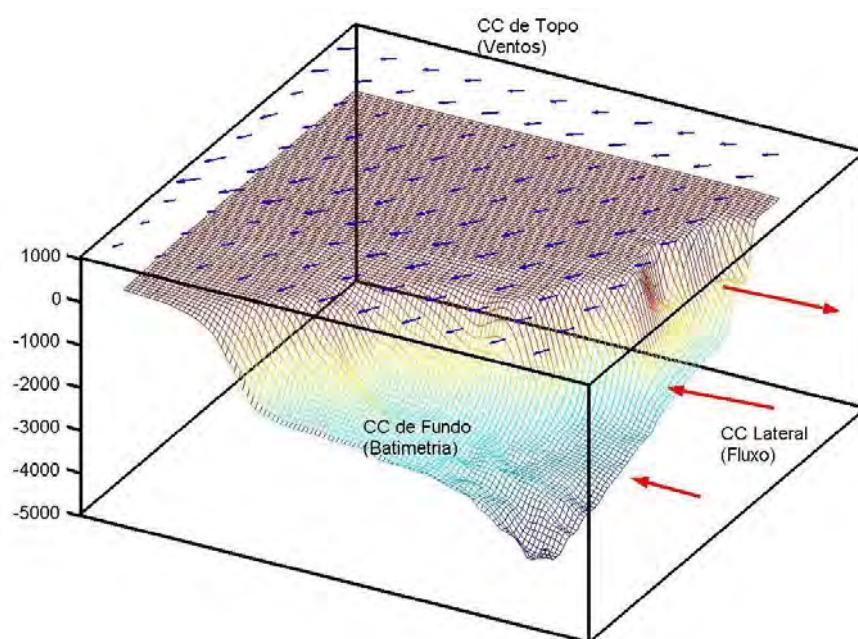


Figura 8: Representação esquemática das condições de contorno a serem definidas em um modelo de área limitada.

6.1. Condição de Contorno de Fundo

Para a confecção da matriz de batimetria da grade do modelo, foram utilizados dados obtidos através de digitalização de cartas náuticas e da base global ETOPO1 (AMANTE & EAKINS, 2009). O ETOPO1 é um modelo global do relevo da superfície terrestre, com resolução espacial de 1 minuto de arco, que integra topografia e batimetria do oceano. As cartas náuticas digitalizadas (Tabela 2) foram obtidas através do site da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Após interpolação cúbica, obteve-se a matriz de topografia do fundo para a grade utilizada no modelo hidrodinâmico (Figura 9).

Tabela 2: Lista das cartas náuticas digitalizadas.

Número	Região
B1300	Da Ponta de Cumuruxatiba ao Rio Doce
B1400	Do Rio Doce ao Cabo de São Tomé
B1401	Portos de Vitória e Tubarão
B1410	Área adjacente aos Portos de Vitória e Tubarão
B1500	Do Cabo de São Tomé ao Rio de Janeiro
B1508	Do Cabo Frio à Ponta Negra
B1506	Proximidades da Baía de Guanabara
B1600	Do Rio de Janeiro à Ilha de São Sebastião
B1700	Da Ilha de São Sebastião à Ilha do Bom Abrigo
B1800	Da Ilha do Bom Abrigo à Ilha do Arvoredo
B1900	Da Ilha do Arvoredo a Torres

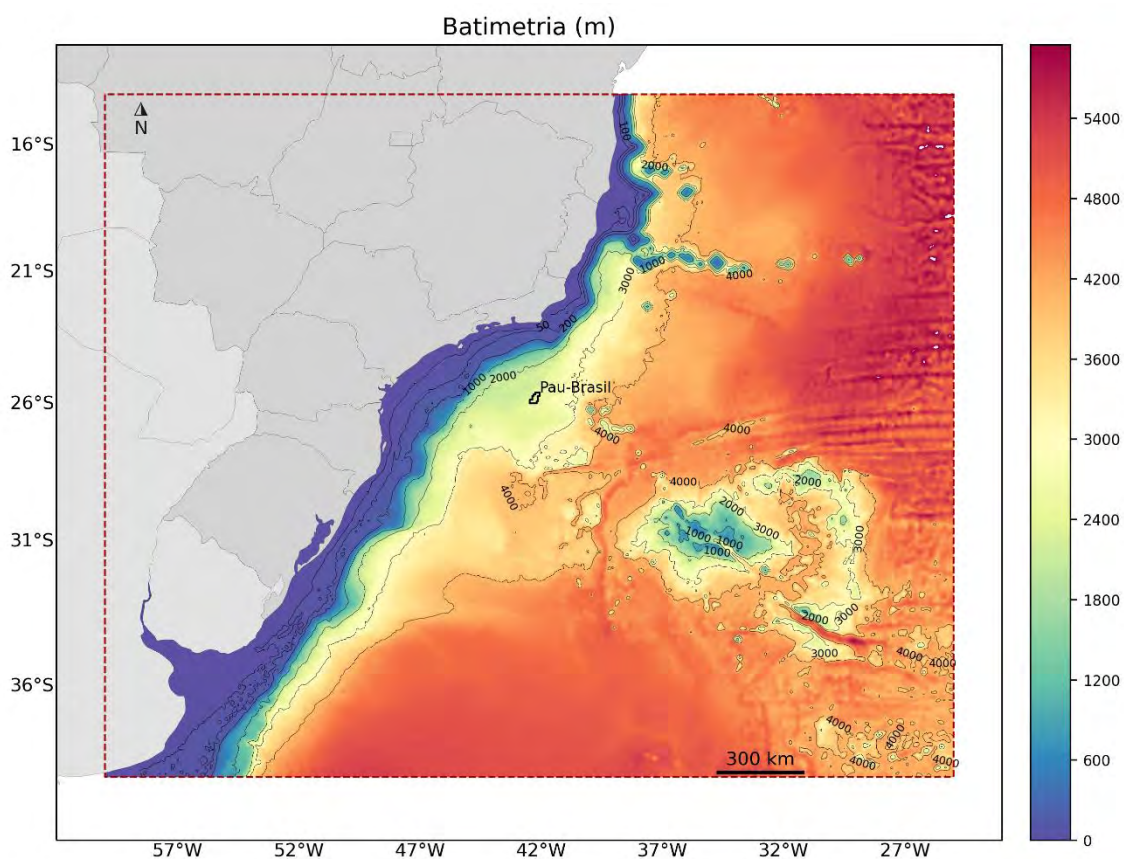


Figura 9: Batimetria da grade do modelo numérico ROMS.

6.2. Condição de Contorno de Superfície

No ROMS, os fluxos na interface oceano/atmosfera necessários para forçar o modelo podem ser inseridos de duas formas. O usuário pode fornecer dados com o fluxo total de calor, ou ativar a camada limite (oceano/atmosfera) do modelo para calcular tanto o fluxo total de calor quanto o atrito do vento através dos campos atmosféricos. Essa camada limite é baseada na parametrização das trocas ar/mar descrita por Liu *et al.* (1979) e calculada pela rotina `bulk_flux.F`, que foi adaptada do código do COARE, descrito em Fairall *et al.* (1996). Os fluxos turbulentos de vento, calor e mistura são calculados usando a teoria de similaridade Monin-Obukhov (LIU *et al.*, 1979).

Se a camada limite oceano/atmosfera é ativada, como neste caso, o usuário necessita informar os seguintes campos atmosféricos superficiais:

- Componente zonal do vento;
- Componente meridional do vento;
- Temperatura do ar;
- Pressão atmosférica;
- Umidade relativa do ar;
- Taxa de precipitação;
- Radiação de onda curta;
- Radiação de onda longa.

Estes campos foram obtidos através do projeto ERA5, a última geração da Reanálise do ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) e a primeira produzida como serviço operacional, com resolução temporal horária e espacial de 31 km em 137 níveis atmosféricos, desde a superfície a 0.01 hPa.

As Reanálises climáticas do ECMWF começaram com o FGGE na década de 1980, seguida pelo ERA-15, ERA-40, ERA-Interim e ERA5. Esta base de dados foi utilizada por se tratar de uma reanálise que assimila dados meteo-oceanográficos de diversas fontes, apresenta resolução espacial e temporal compatíveis com a natureza do estudo, e disponibiliza informações de todas as oito variáveis meteorológicas necessárias para forçar o ROMS.

Como exemplo dos campos atmosféricos utilizados como condição de contorno de topo do modelo, da Figura 10 à Figura 16, são apresentados os campos médios de cada variável, calculados para o período sazonais identificados para a região: **Período 1, de setembro a fevereiro, e Período 2, março a agosto**. Essa divisão em dois cenários foi feita a partir da observação das informações de ventos e correntes da região das bacias e está coerente com a divisão sazonal apresentada no relatório de modelagem de dispersão de óleo.

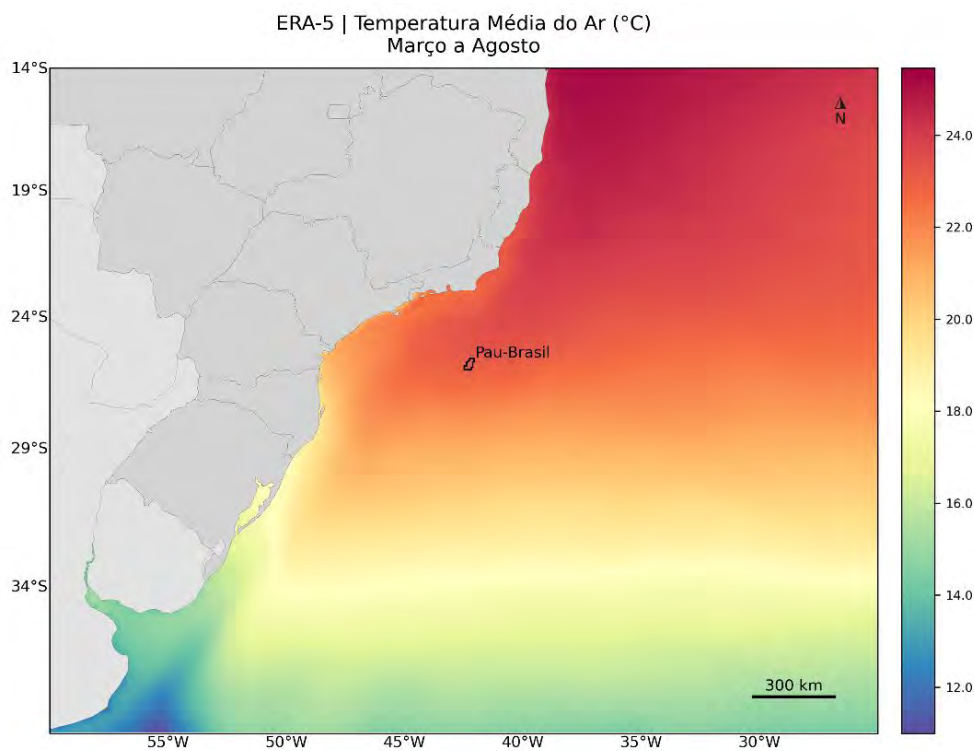
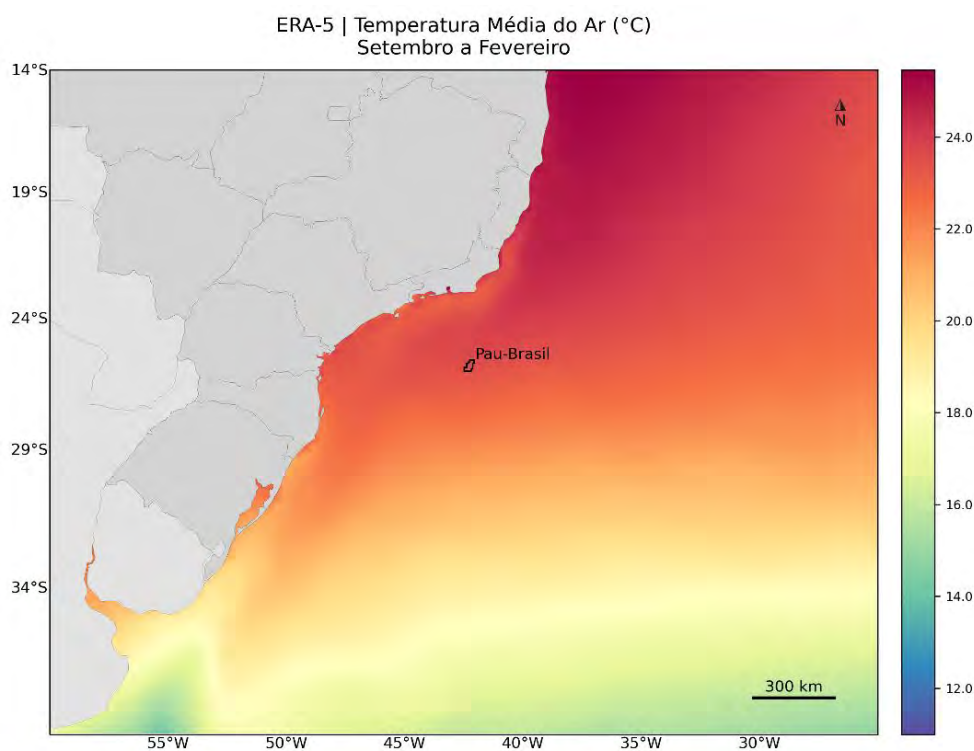


Figura 10: Campo médio dos dados de temperatura do ar a 2 m do ERA5 utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior).

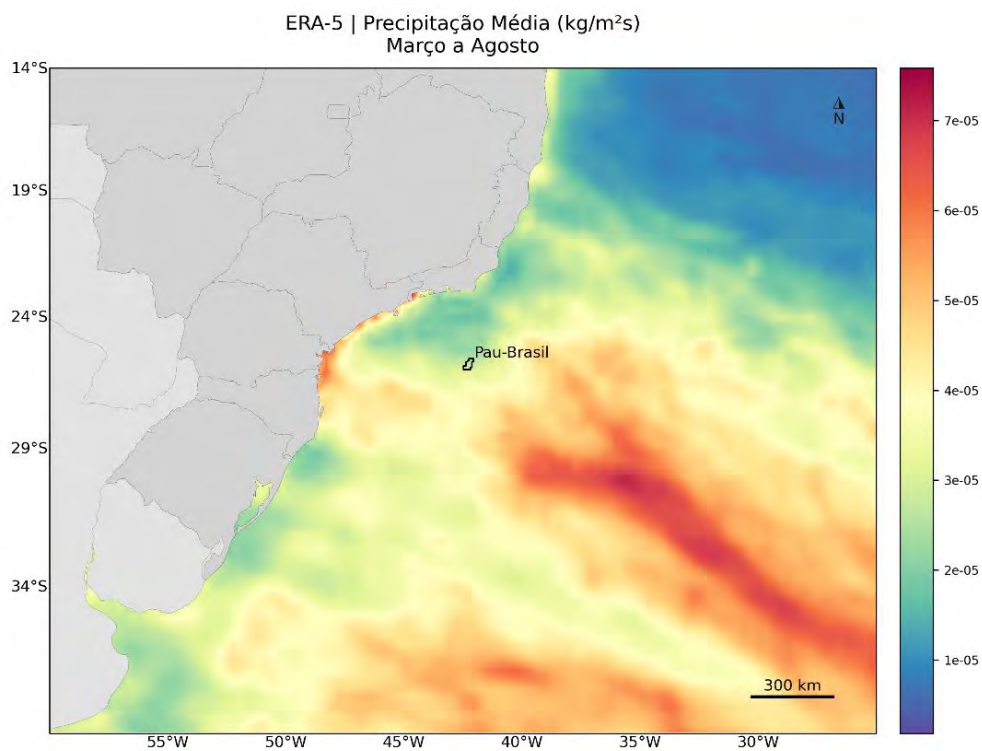
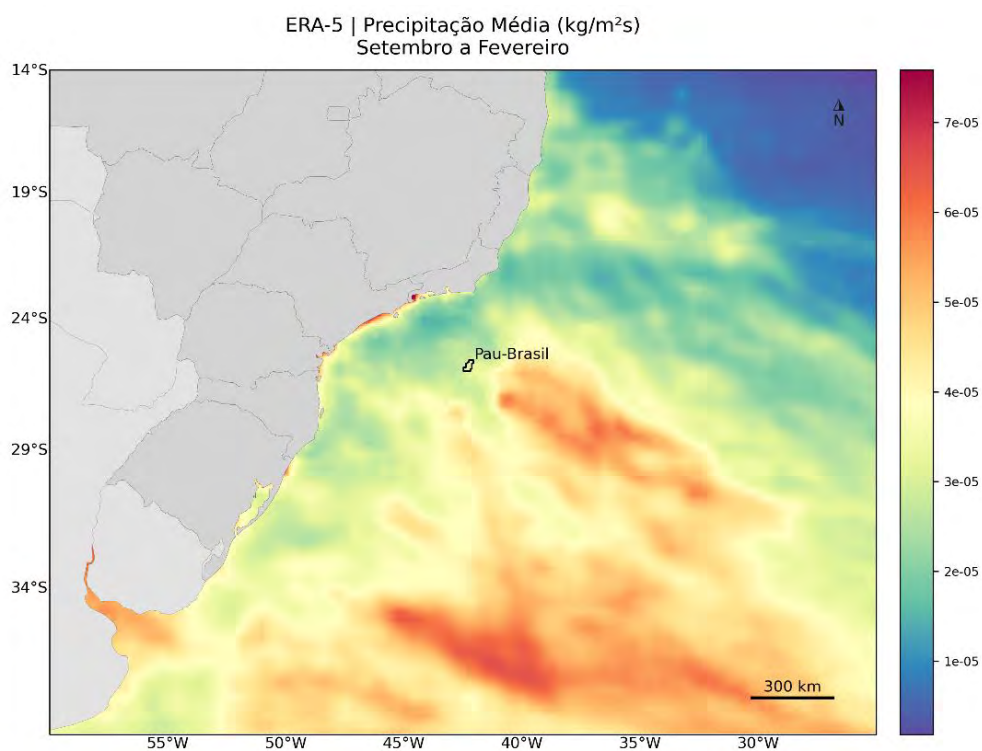


Figura 11: Campo médio dos dados de precipitação do ERA5 utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior).

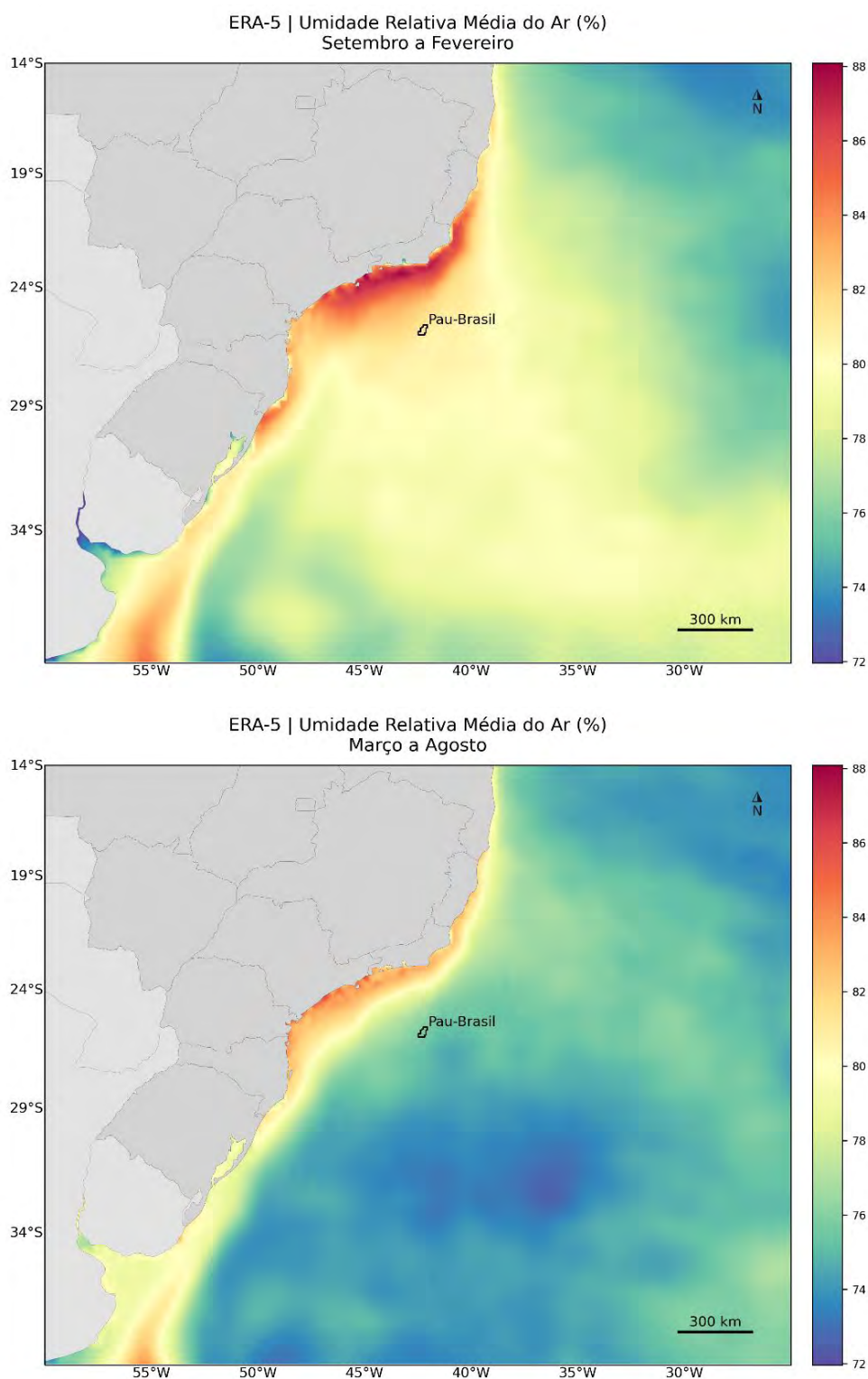


Figura 12: Campo médio dos dados de umidade relativa do ar do ERA5 utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior).

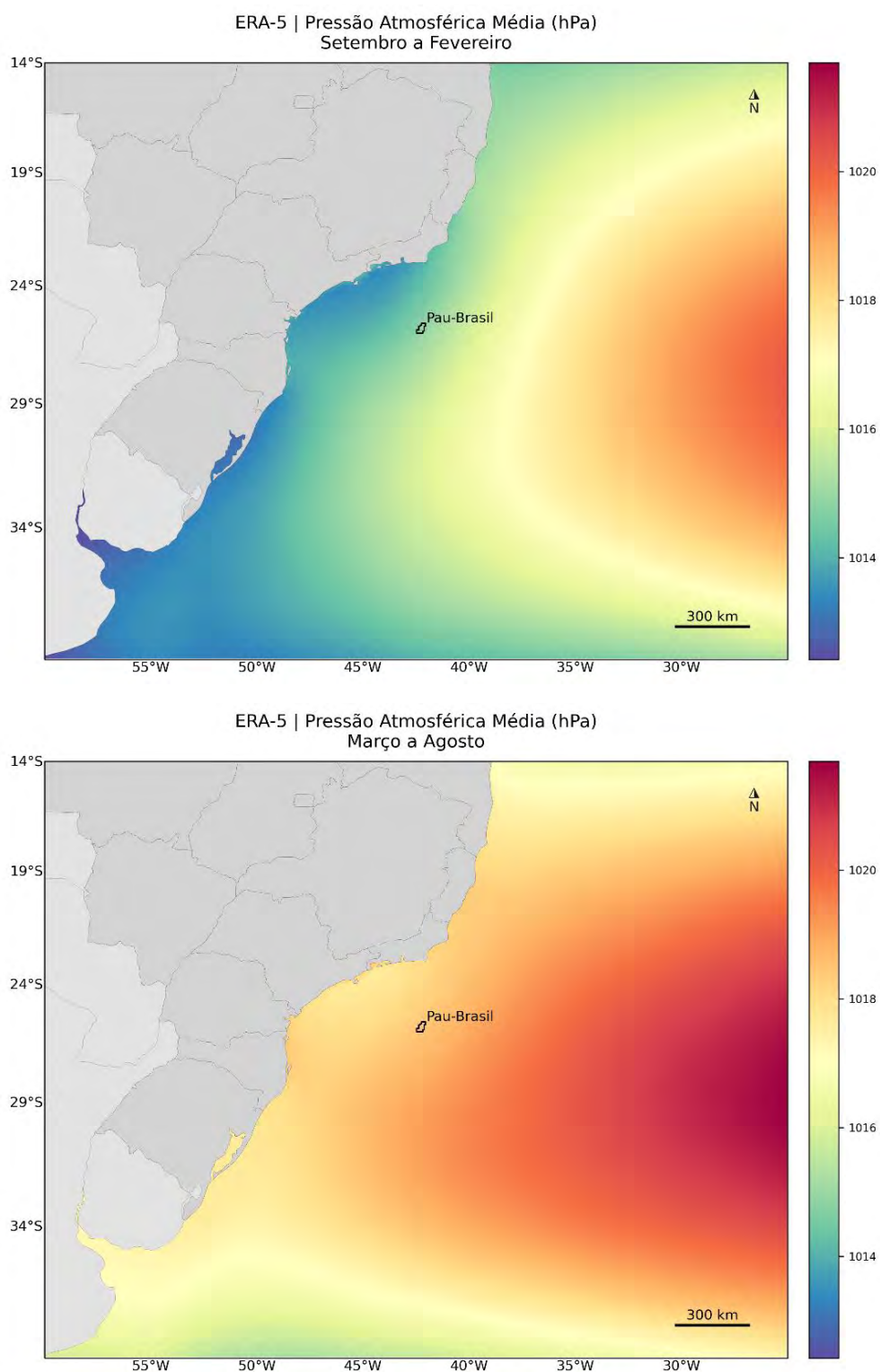


Figura 13: Campo médio dos dados de pressão atmosférica do ERA5 utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior).

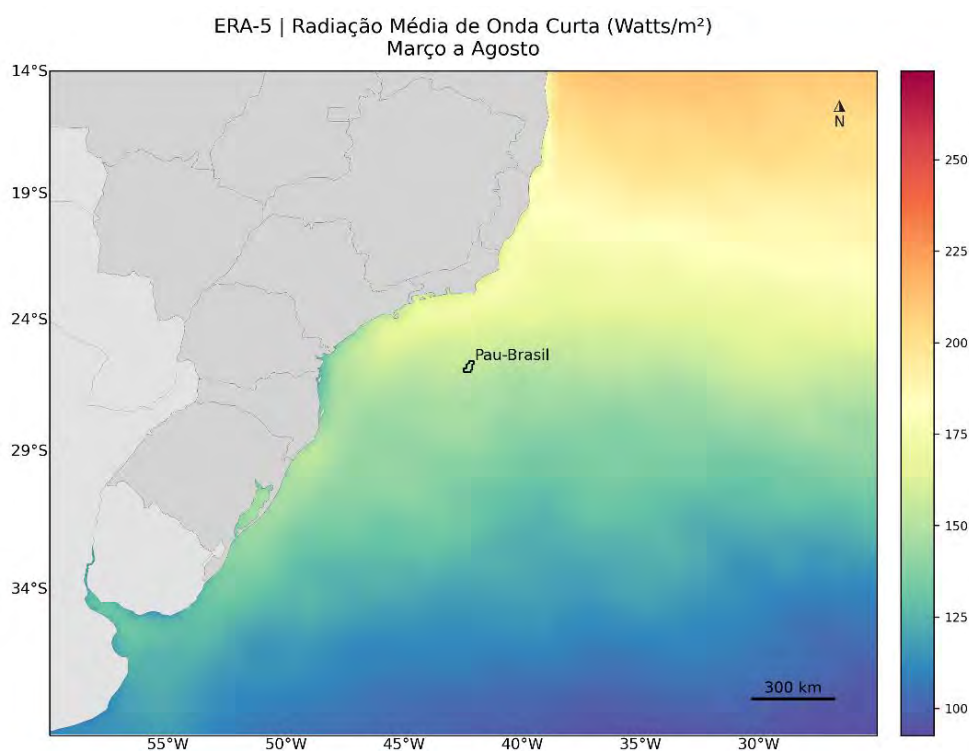
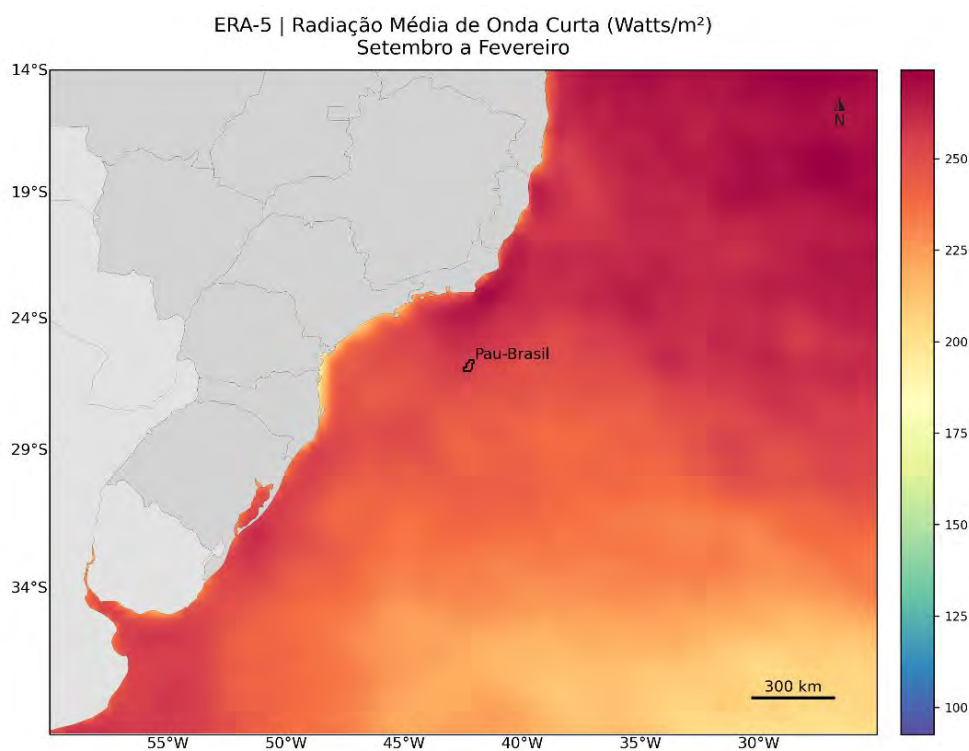


Figura 14: Campo médio dos dados de radiação de onda curta do ERA5 utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior).

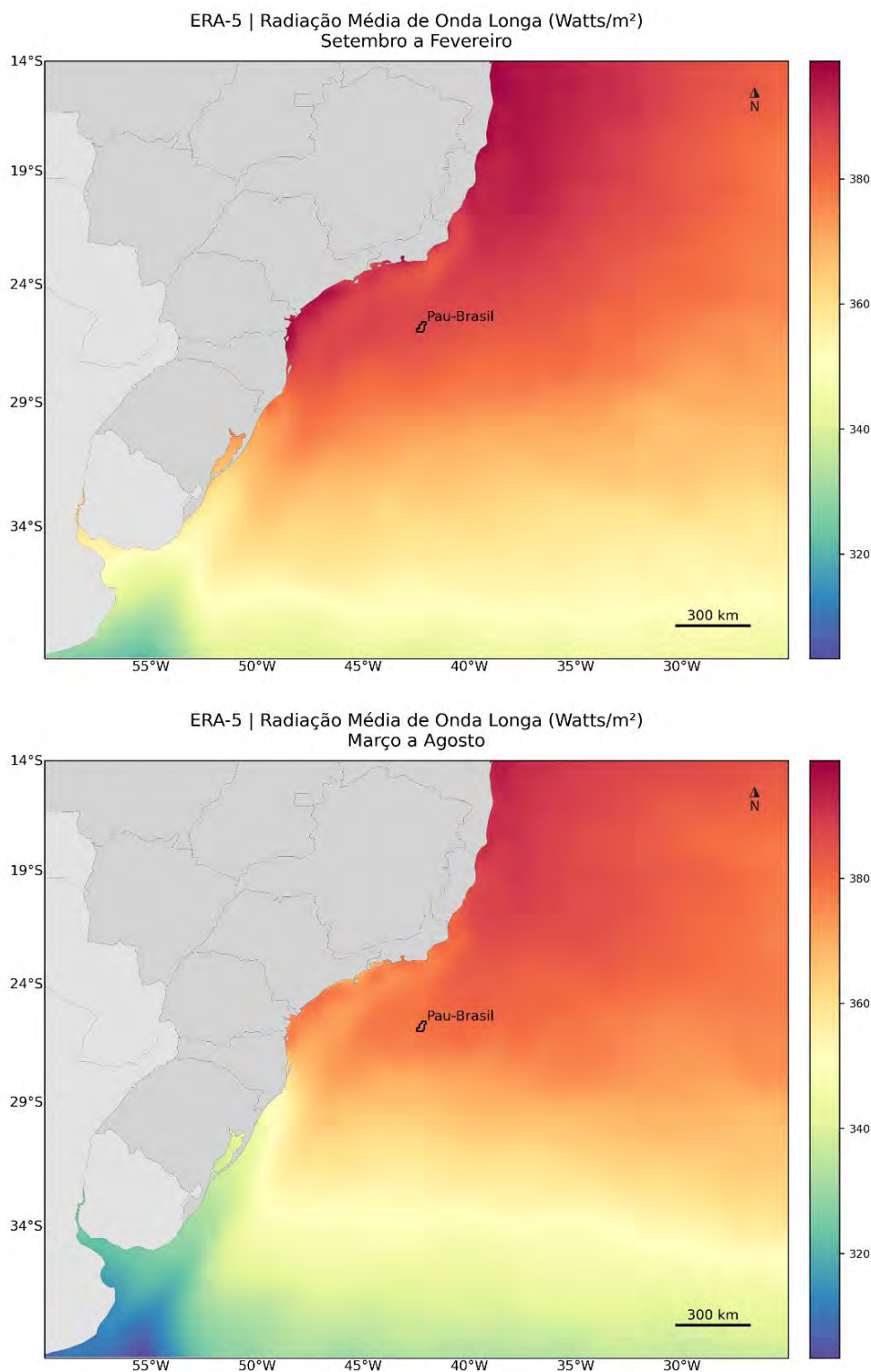


Figura 15: Campo médio dos dados de radiação de onda longa do ERA5 utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior).

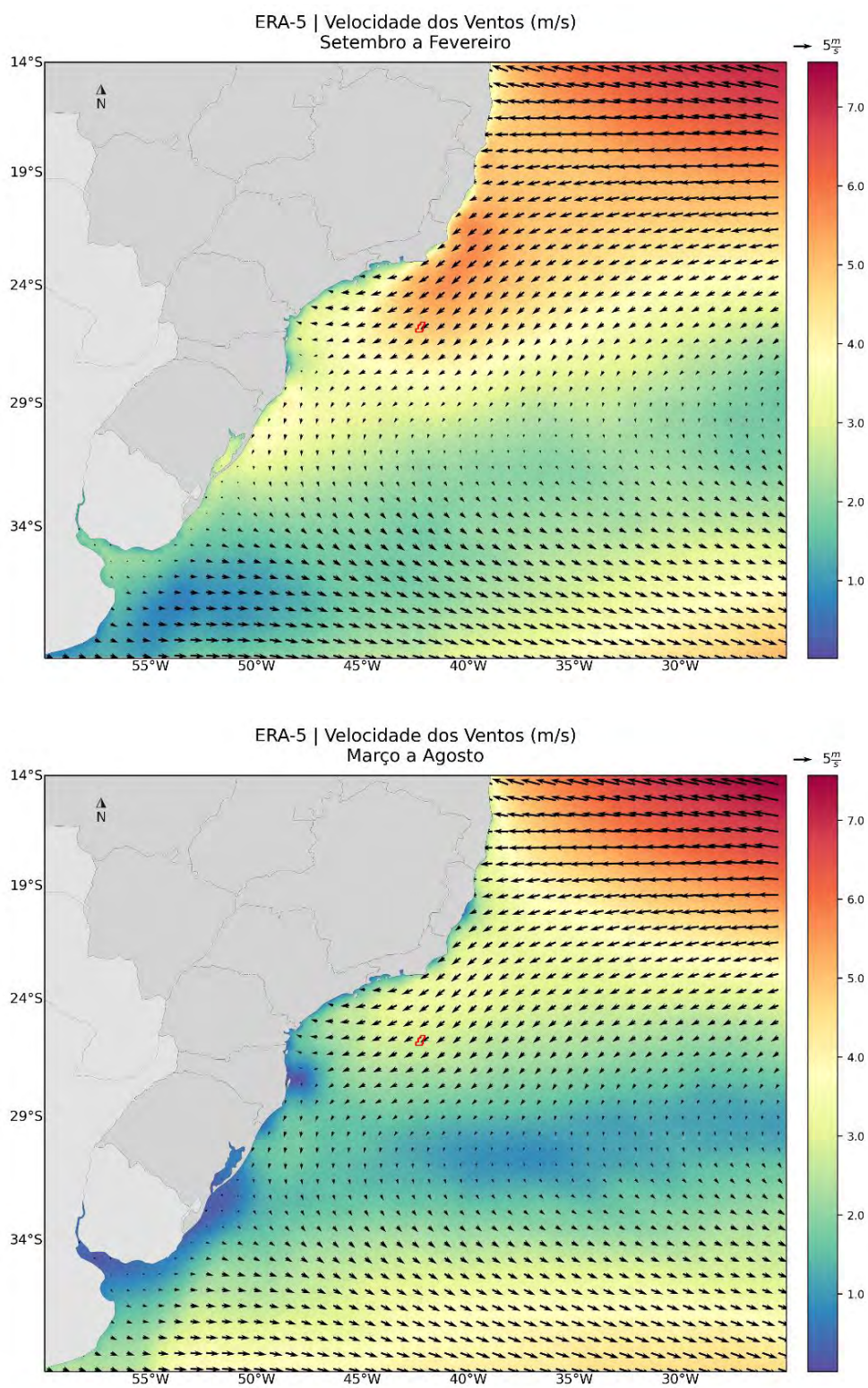


Figura 16: Campo médio dos dados de vento do ERA5 utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior).

[Handwritten signature]

6.3. Condição de Contorno Laterais

O modelo possui três fronteiras abertas (norte, leste e sul) e uma fechada (oeste). Na fronteira fechada foram utilizadas as condições de contorno, com velocidades normais ao contorno nulas e *free-slip*, ou seja, velocidades tangenciais ao contorno podendo ser diferentes de zero.

Por se tratar de um modelo regional, para as fronteiras abertas há a necessidade de se obter informações de regiões exteriores ao domínio do modelo. Nesse caso, foram utilizados os resultados do Mercator (temperatura, salinidade, altura da superfície do mar e correntes) com resolução espacial de $1/12^\circ$ e temporal de 1 dia. Para passar estas informações ao ROMS, os resultados do Mercator foram interpolados em seções verticais localizadas nas bordas do modelo. Assim, a cada dia simulado, o modelo faz a leitura destas informações no contorno, propagando-as para o interior do domínio.

6.4. Maré Astronômica

Para simular o efeito da elevação do nível do mar no domínio de modelagem, foram utilizadas as constantes harmônicas do modelo global de marés TPX08 (EGBERT; EROFEEVA, 2002). Este modelo possui resolução de $1/30^\circ$ e utiliza dados do satélite altimétrico TOPEX/POSEIDON como fonte primária para assimilação.

A seguir, da Figura 17 à Figura 24, são apresentados os campos de amplitude e fase das oito primeiras constantes harmônicas do TPX08 fornecidas ao modelo para o cálculo da elevação de maré, ressaltando que o ROMS utiliza apenas os dados nos contornos como forçante.

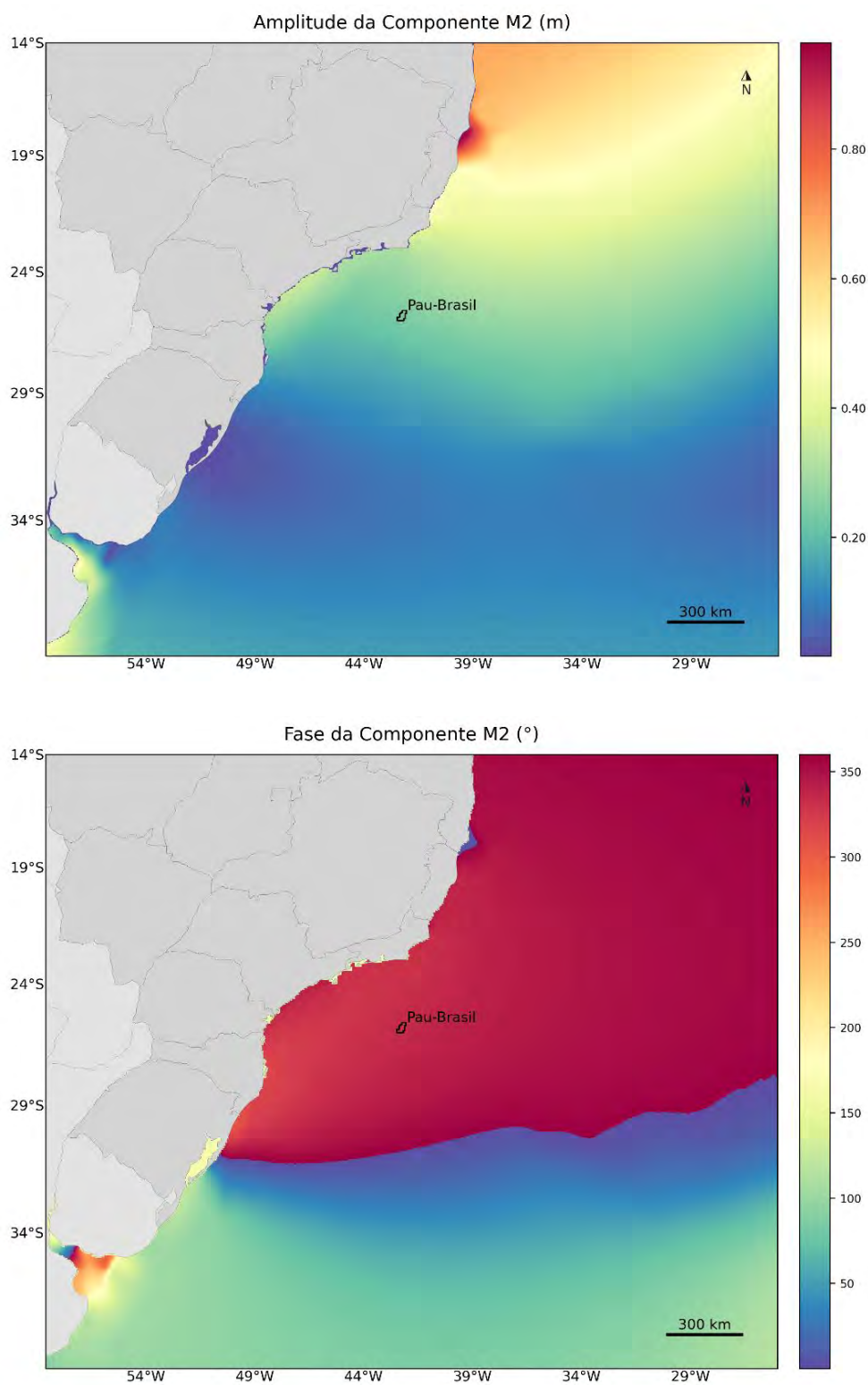


Figura 17: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente M2. Fonte: TPX08.

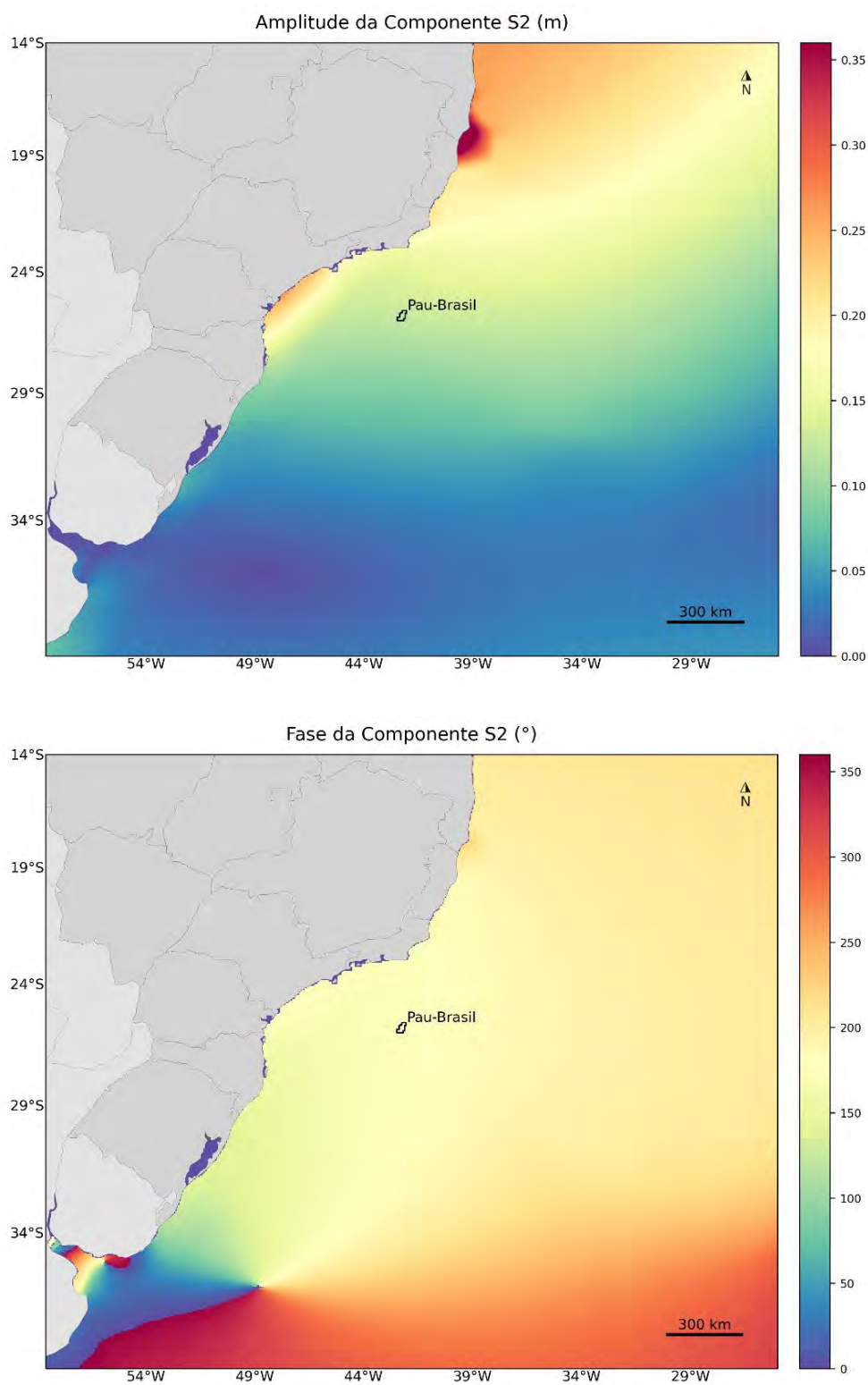


Figura 18: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente S2. Fonte: TPX08.

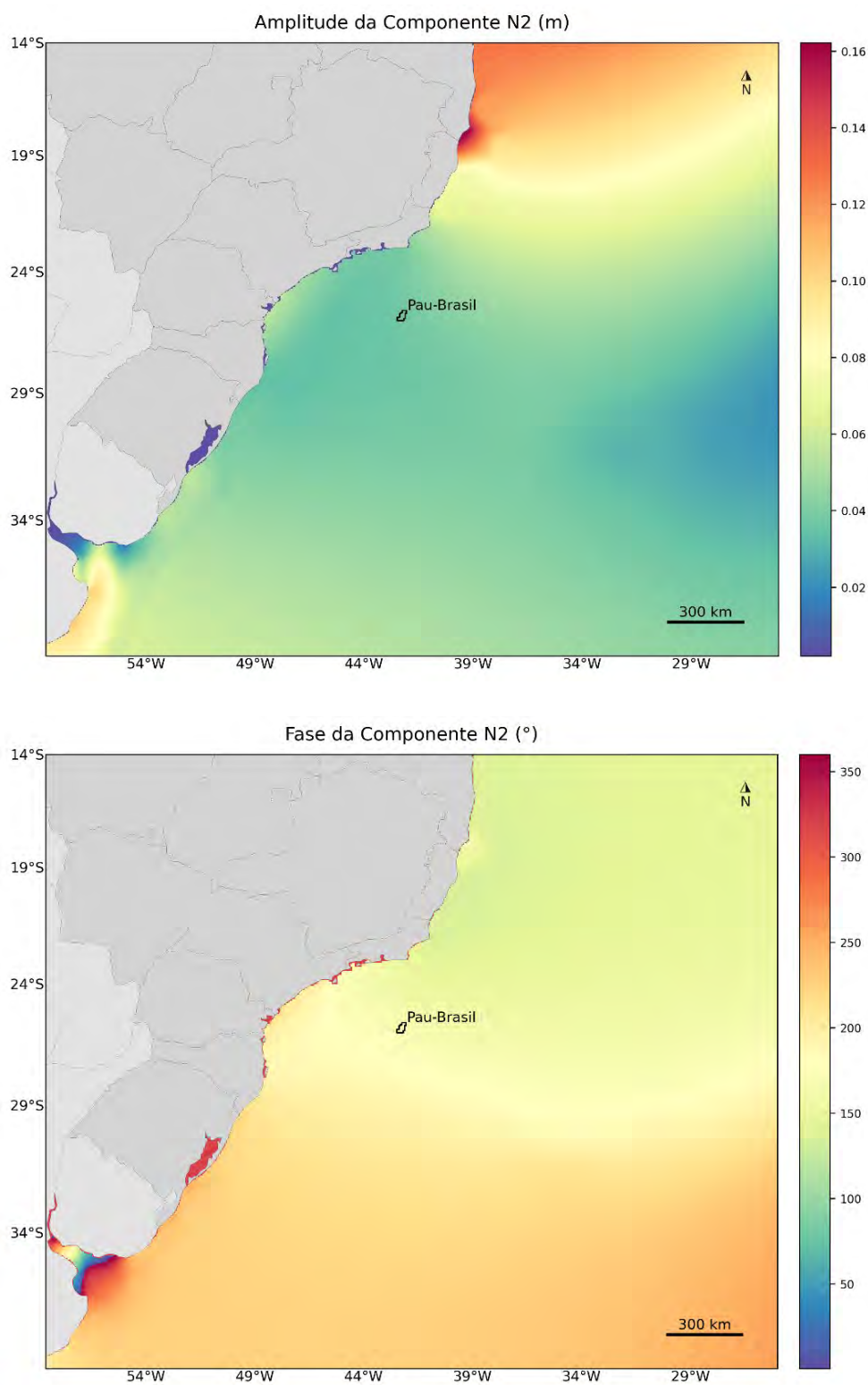


Figura 19: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente N2. Fonte: TPX08.

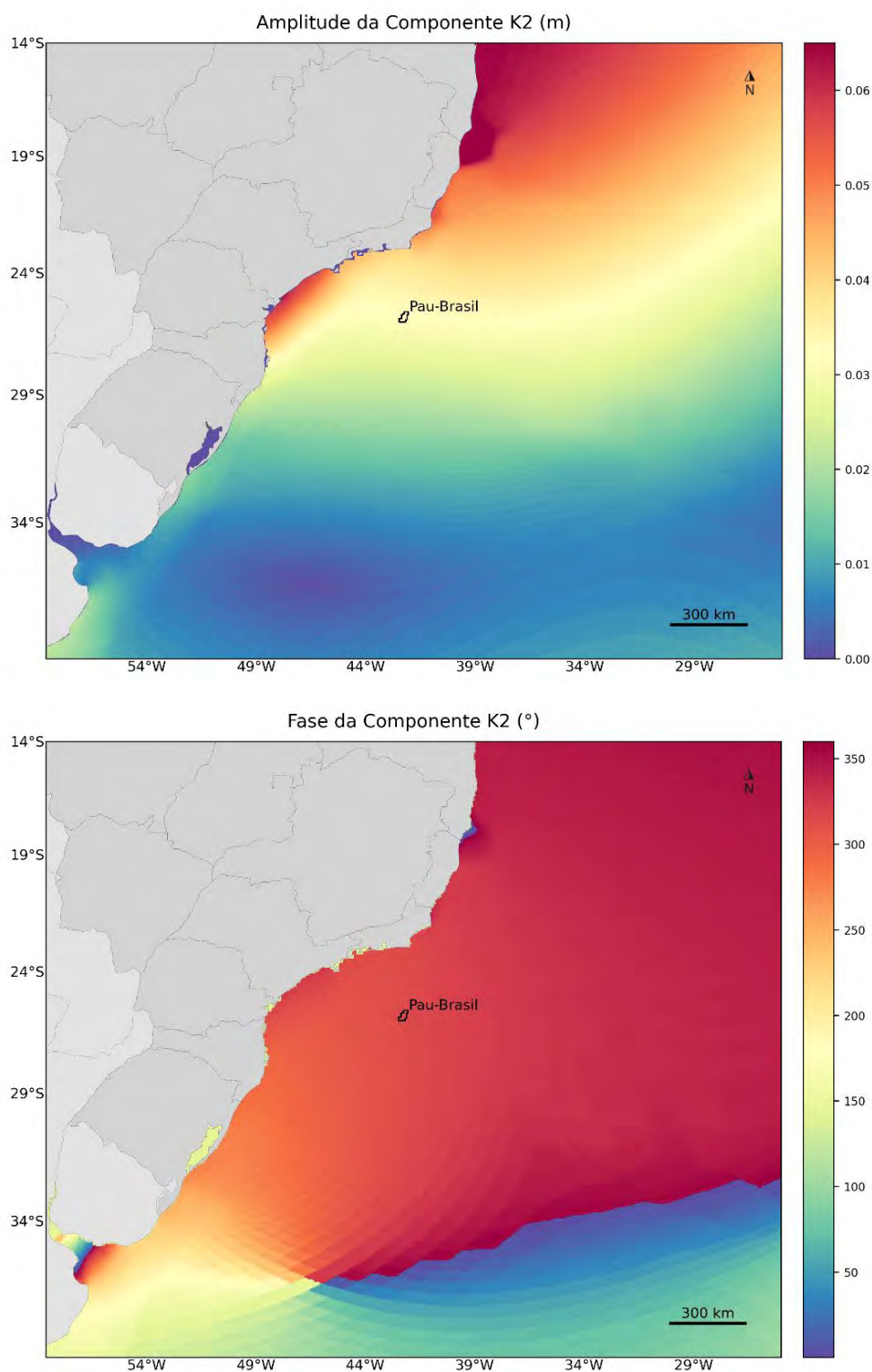


Figura 20: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente K2. Fonte: TPX08.

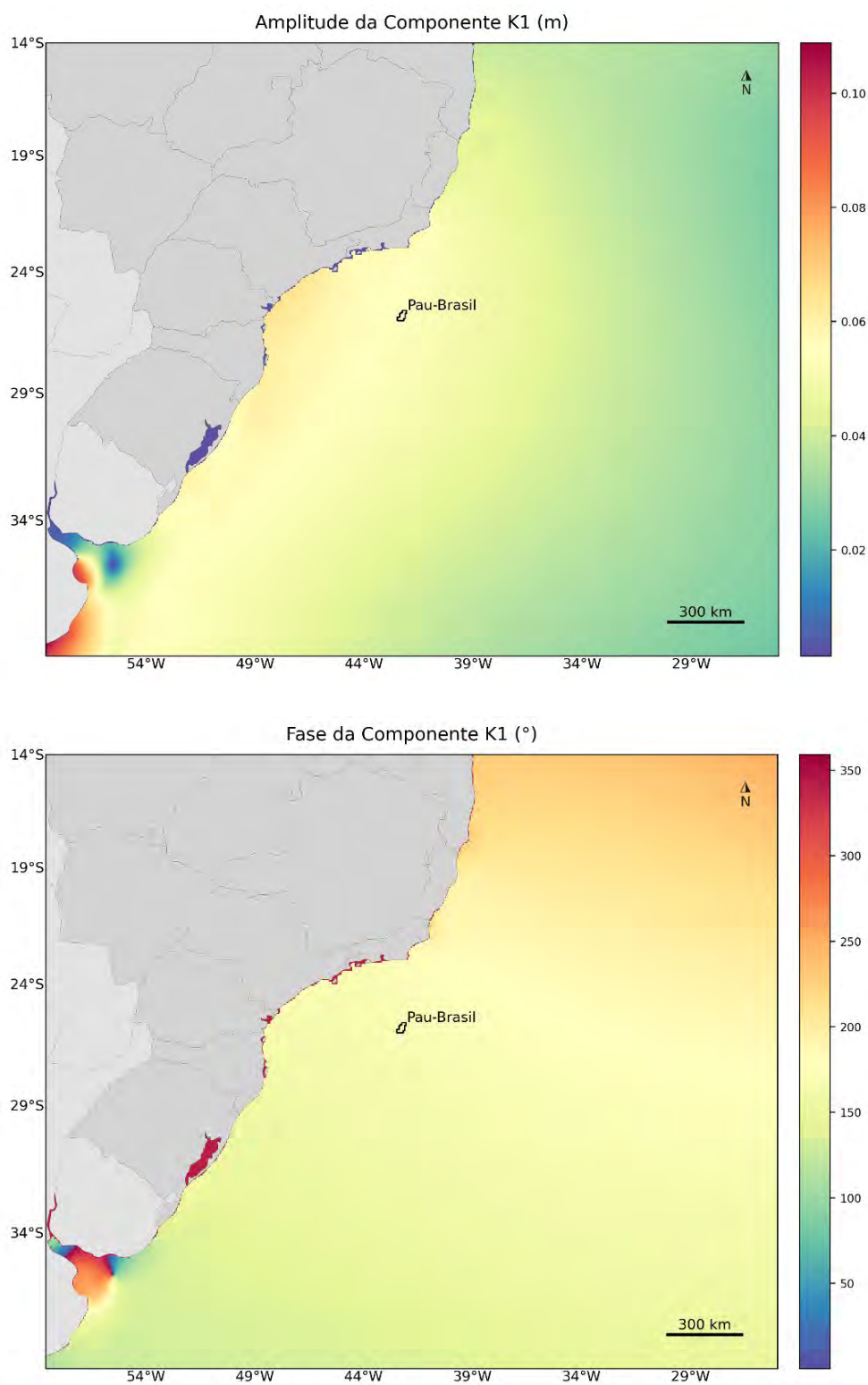


Figura 21: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente K1. Fonte: TPX08.

[Handwritten signature]

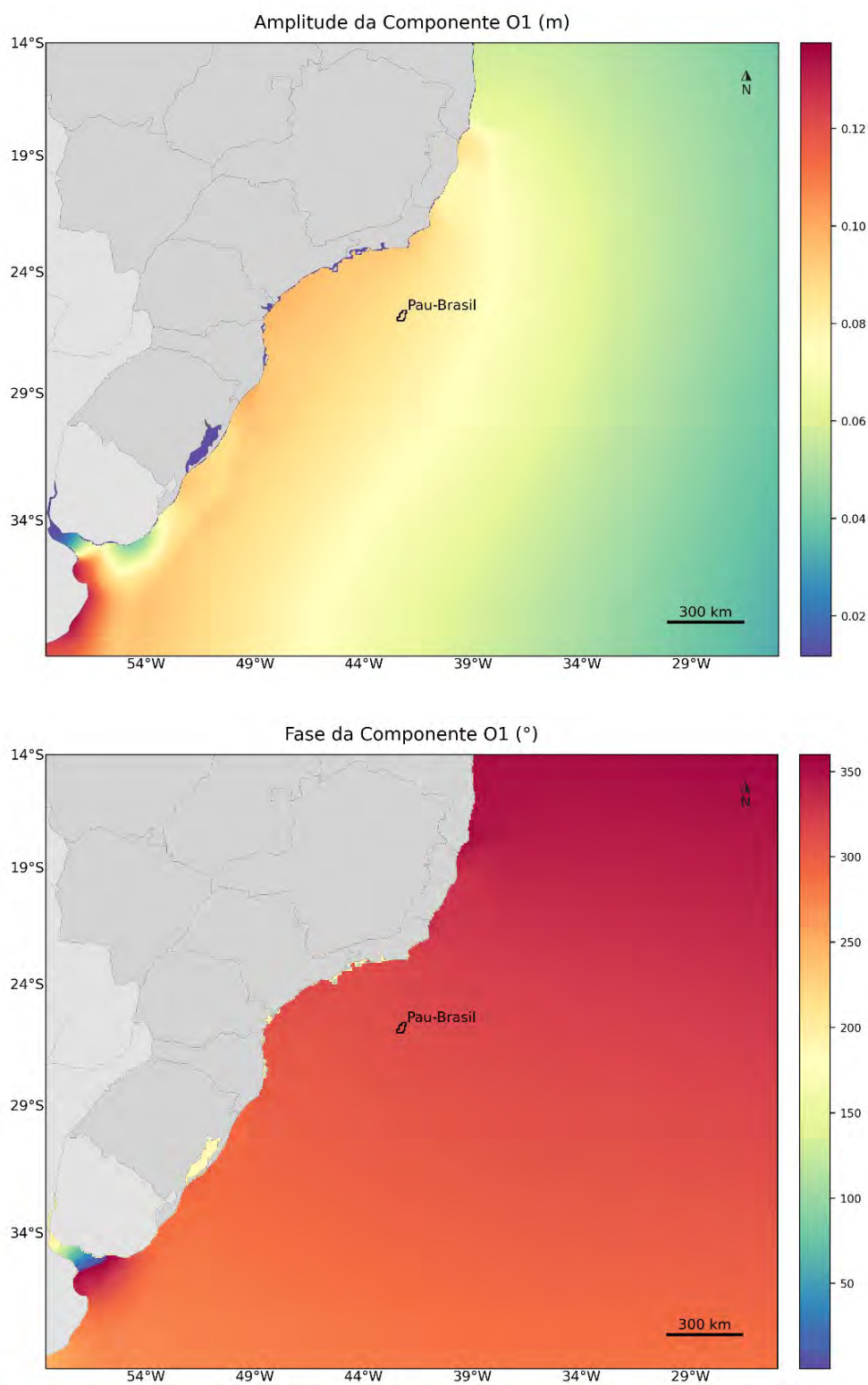


Figura 22: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente O1. Fonte: TPX08.

[Handwritten signature]

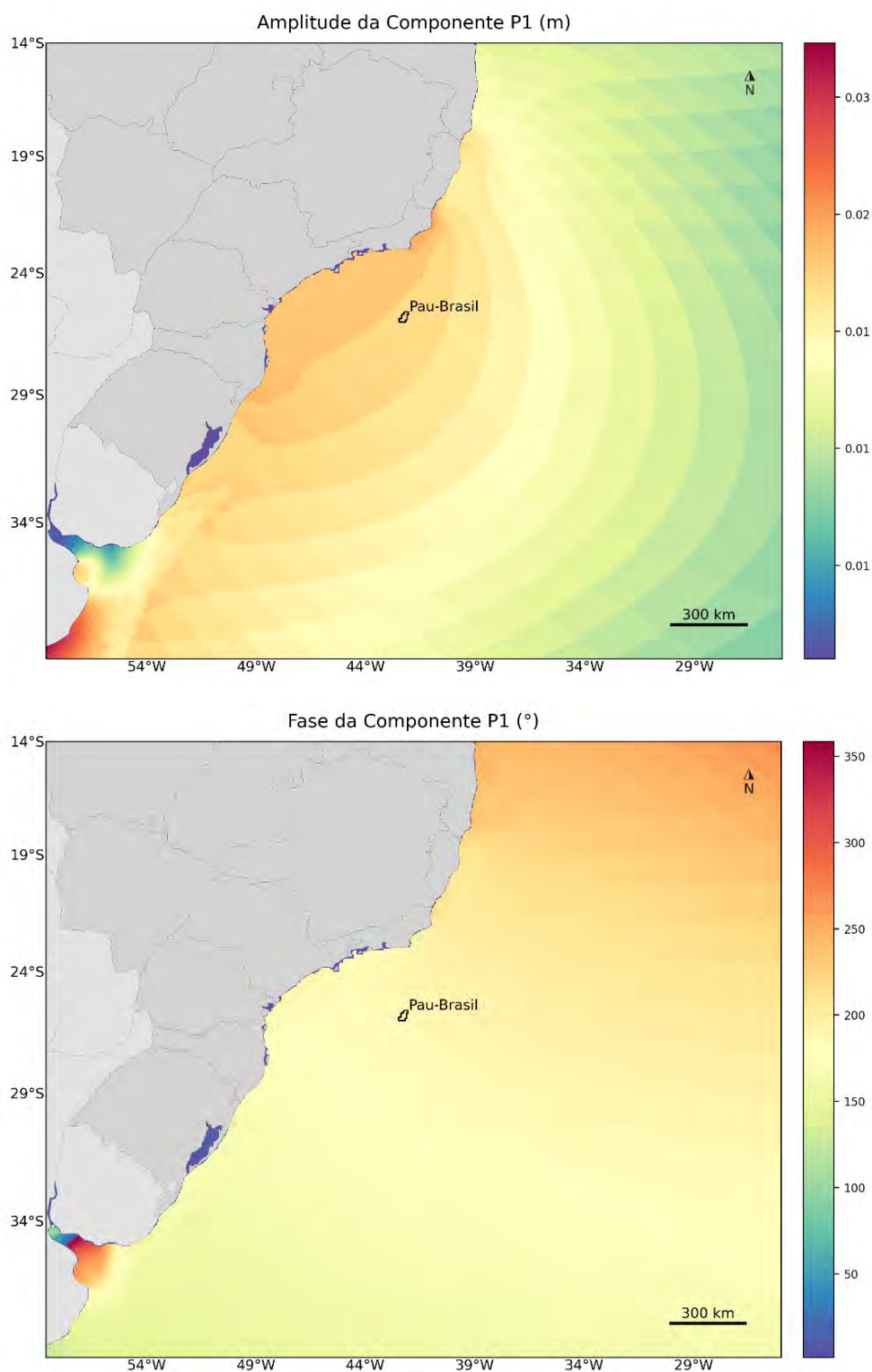


Figura 23: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente P1. Fonte: TPX08.

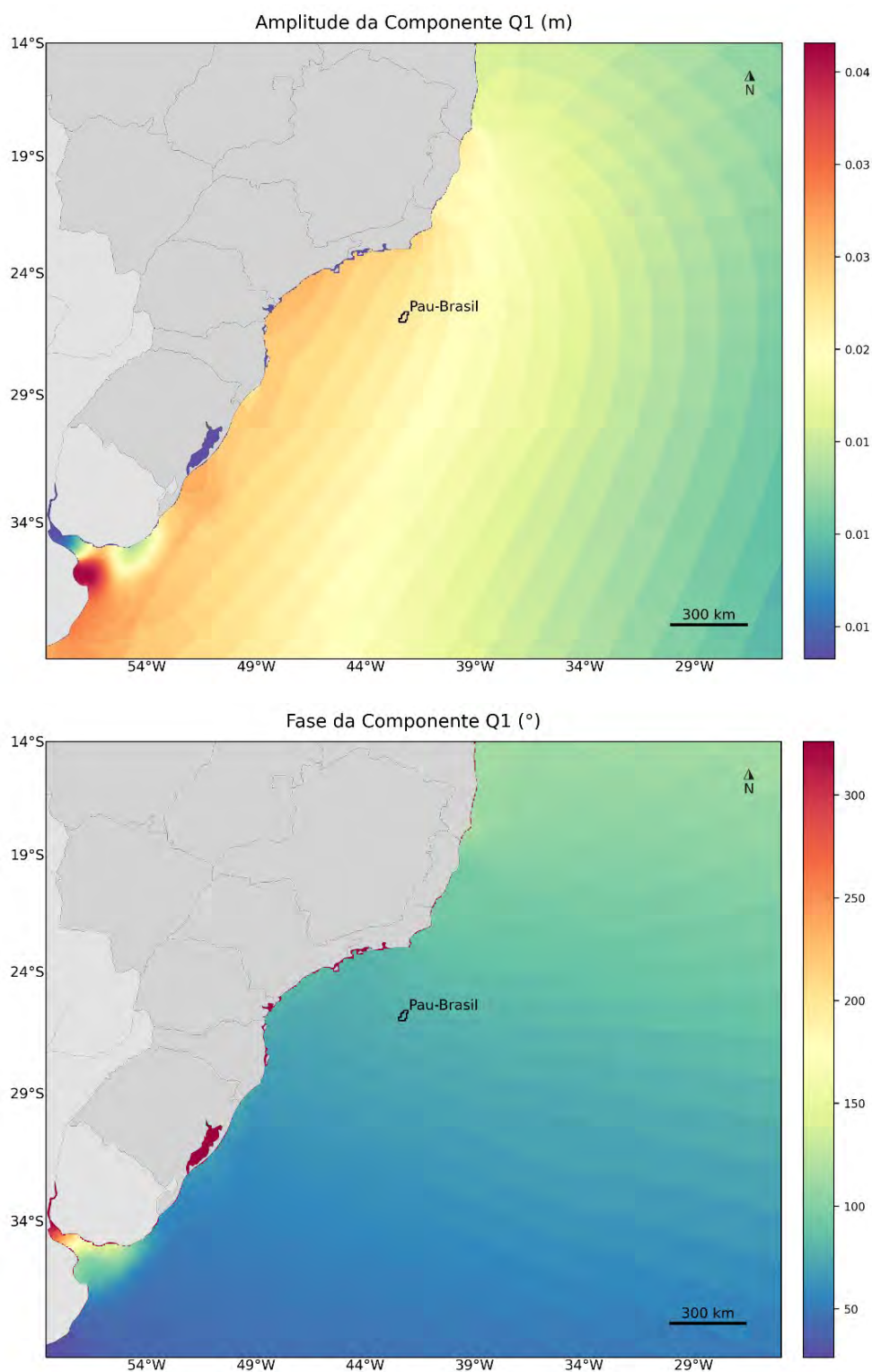


Figura 24: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente Q1. Fonte: TPX08.

A propagação da elevação de maré foi gerada utilizando-se a combinação de condições de contorno do tipo Flather, para as velocidades barotrópicas, e Chapman, para a elevação.

A condição de contorno proposta por Flather (1976) combina a equação de Summerfeld com uma versão unidimensional da equação da continuidade aplicada à direção normal ao contorno aberto e pode ser representada por:

$$\overline{u_n} = \overline{u_n^{ext}} - \sqrt{\frac{g}{h}}(n - n^{ext}) \quad (8)$$

onde $\overline{u_n^{ext}}$ representa os dados externos, h a profundidade local, g a aceleração da gravidade e n a elevação do nível do mar. Esta condição de contorno é apropriada para fluxos barotrópicos, porém potencialmente instável quando a condição CFL não é respeitada.

Já a condição de contorno Chapman (CHAPMAN, 1985) considera a propagação de ondas de gravidade e pode ser representada por:

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \sqrt{g(n + h_0)} \frac{\partial n}{\partial x} = 0 \quad (9)$$

onde h_0 é a profundidade local.

7. Estabilização da Energia Cinética

O modelo ROMS, além de usar os resultados do Mercator como condição inicial e de contorno, foi configurado para ler os resultados do Mercator em todo o seu domínio (X, Y e Z), inserindo um termo de tendência (*Nudging*), que faz com que os resultados do ROMS se aproximem aos do Mercator.

O termo de tendência (*Nudging*) nos resultados do ROMS é inserido da seguinte forma: o usuário deve fornecer a escala de tempo relativa ao *nudging* (nesse caso 1 dia) e então os resultados, em cada ponto de grade do ROMS são alterados em direção ao valor do resultado do Mercator através da seguinte equação:

$$\Delta\phi = \frac{Dt}{T}(\phi - \phi^{ext}) \quad (10)$$

Onde ϕ representa uma variável do modelo (ROMS), ϕ^{ext} representa um dado externo (Mercator), Dt é o passo de tempo do modelo ROMS, $\Delta\phi$ é o incremento imposto à variável e T é a escala de tempo para o *nudging*.

O emprego desta técnica tem o objetivo de aproveitar as vantagens do modelo Mercator (modelo global com sistema robusto de assimilação de dados) e conseguir uma representação das escalas temporais e espaciais adequadas para o problema proposto com o modelo ROMS (resultados de 2 em 2 horas, resolução de 1/16°). Com isso consegue-se a representação de processos físicos não representados no modelo Mercator, como a maré.

Consequentemente, não é necessário que o modelo seja integrado por certo período para atingir a estabilidade (*spin-up*), como demonstrado pelo gráfico da variação da energia cinética média do modelo ao longo da simulação (Figura 25).

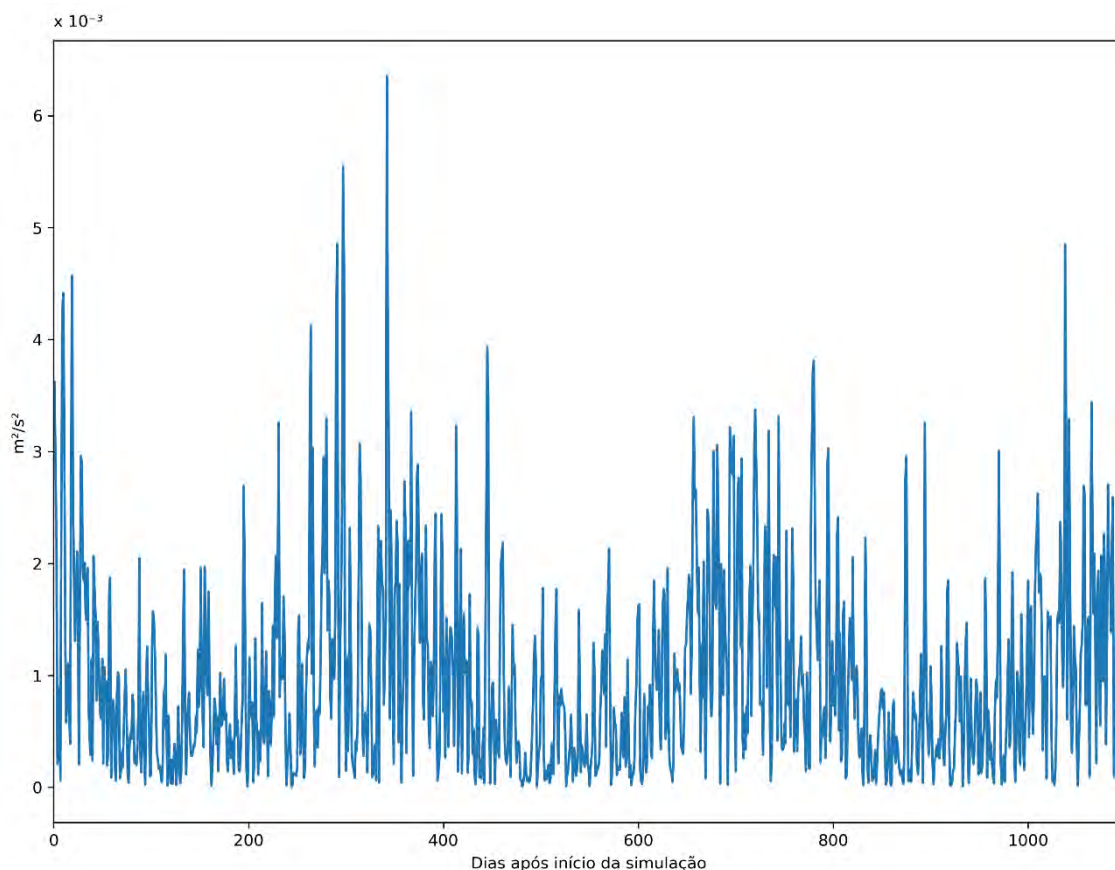


Figura 25: Variação da energia cinética média em superfície ao longo da simulação.

8. Resultados

Neste capítulo serão apresentados campos médios mensais, seções verticais e rosa de correntes obtidos a partir dos resultados do modelo. Objetiva-se apresentar os resultados da modelagem, assim como verificar se sua variabilidade sazonal está de acordo com o descrito na literatura especializada, constituindo assim mais uma forma de avaliação do modelo. Para além da análise sazonal, são apresentados instantâneos do modelo no sentido de demonstrar a capacidade de representação da atividade de mesoescala e de reflexos no oceano de fenômenos meteorológicos como a passagem de sistemas frontais.

Conforme descrito na caracterização meteorológica realizada por Carvalho (2003), o padrão característico das condições meteorológicas na plataforma continental sudeste brasileira é

dominado pelo Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e pela passagem de sistemas frontais (frentes frias). Devido ao caráter permanente do ASAS, ventos de NE são predominantes durante o ano, com intensidade média de 5,5 a 8 m/s. Durante a passagem de frentes frias, os ventos sobre a plataforma se invertem para o quadrante Sul (principalmente SW e W/SW), podendo atingir até 20 m/s. A passagem de frentes frias ocorre com uma média de 3 a 6 vezes por mês (intervalo entre frentes de 5 a 10 dias), com maior frequência durante os meses de inverno.

As correntes sobre a plataforma continental se encontram em um equilíbrio dinâmico com os ventos sobrejacentes e apresentam conhecida sazonalidade. Durante o predomínio do ASAS, os ventos paralelos à costa são responsáveis pelo transporte das correntes superficiais em direção ao mar aberto, resultando em um abaixamento do nível do mar junto a costa. Esse abaixamento do nível gera uma força de gradiente de pressão em direção à costa que, entrando em equilíbrio com a força de Coriolis, resulta em uma corrente paralela à costa e na mesma direção do vento, fluindo com sentido sul. Durante a passagem de frentes frias, esse equilíbrio se dá no sentido inverso e a corrente resultante é no sentido do vento, fluindo paralela à costa com sentido norte (CASTRO FILHO, 1990 *apud* CARVALHO, 2003). A maior frequência de passagem de frentes frias no período de inverno resulta em uma corrente costeira residual sobre a plataforma (a Corrente Costeira do Brasil, ou CCB), com direção nordeste, que transporta água mais fria e rica em nutrientes até a latitude 24°S (MENDONÇA *et al.*, 2017; SOUZA & ROBINSON, 2004). No verão o predomínio da influência do ASAS resulta em uma corrente residual com direção sul.

Explorando a circulação ao largo (depois da quebra do talude), tem-se o domínio da Corrente do Brasil (CB). A CB é a corrente de contorno oeste que completa o giro do Atlântico Sul; é formada entre 10°S e 20°S pela bifurcação da porção sul da Corrente Sul Equatorial e flui em um padrão meandrante para sudoeste na região do talude continental até a confluência Brasil-Malvinas (PETERSON & STRAMMA, 1991). Na região do litoral norte do Rio de Janeiro, a orientação da costa sofre uma brusca mudança e, com isso, o padrão meandrante da CB é acentuado, dando origem a vórtices ciclônicos e anticiclônicos.

A costa sul do Brasil é influenciada por variações sazonais nos padrões de ventos e correntes, destacando-se a circulação associada às correntes de contorno oeste, a posição da Convergência Subtropical e a descarga continental (SEELIGER & ODEBRECHT, 1998).

8.1. Campos de Corrente

Os padrões descritos em literatura para a região oceânica e para a circulação sobre a plataforma podem ser bem observados nos campos médios mensais apresentados da Figura 26 à Figura 85. Para além dos campos superficiais, serão apresentados nos subitens seguintes os campos mensais para as profundidades de 200 m, 500 m, 1.000 m e 2.000 m.

Sobre a plataforma continental, os campos mensais indicam correntes com fluxo sudoeste nos meses de setembro a fevereiro. No período compreendido entre março e agosto, estas são menos intensas e há inversão do fluxo nos meses de junho e julho, devido à presença da Corrente Costeira.

8.1.1 Superfície

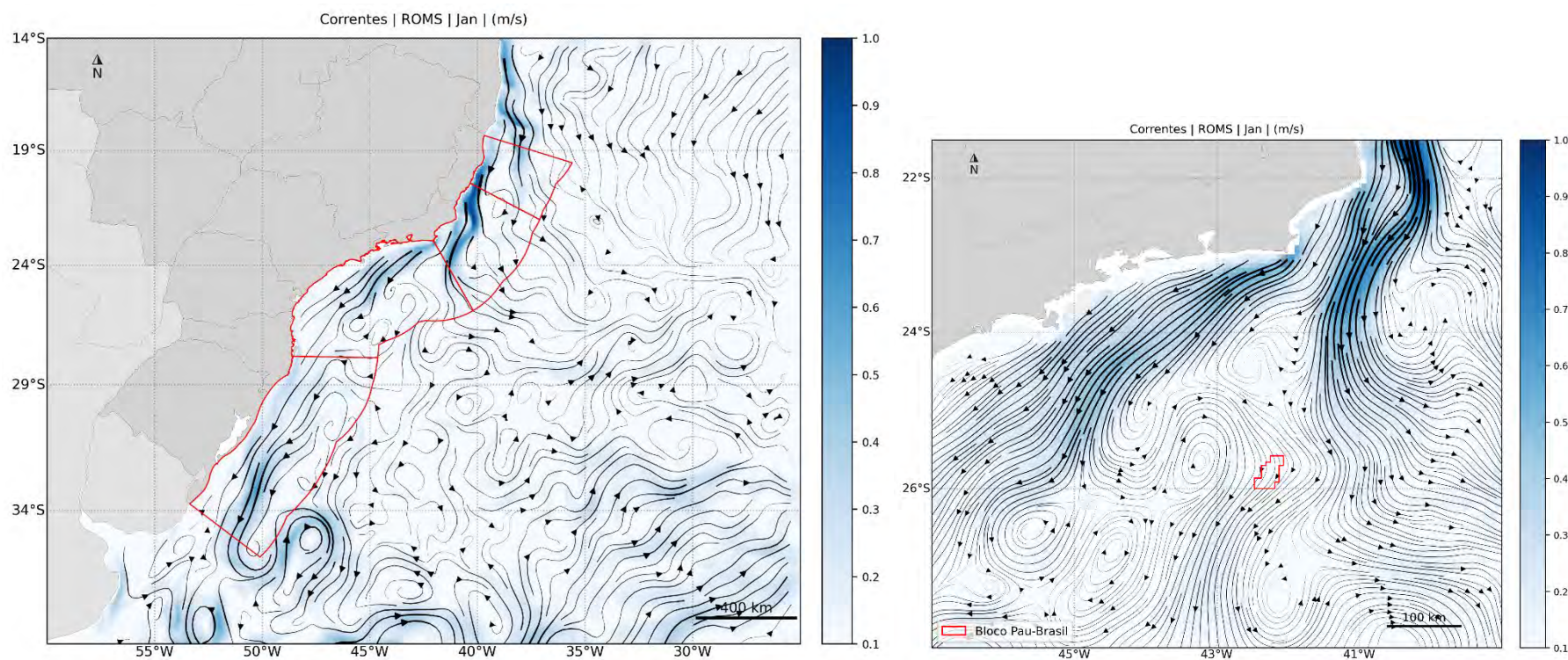


Figura 26: Campo médio de circulação para o mês de janeiro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

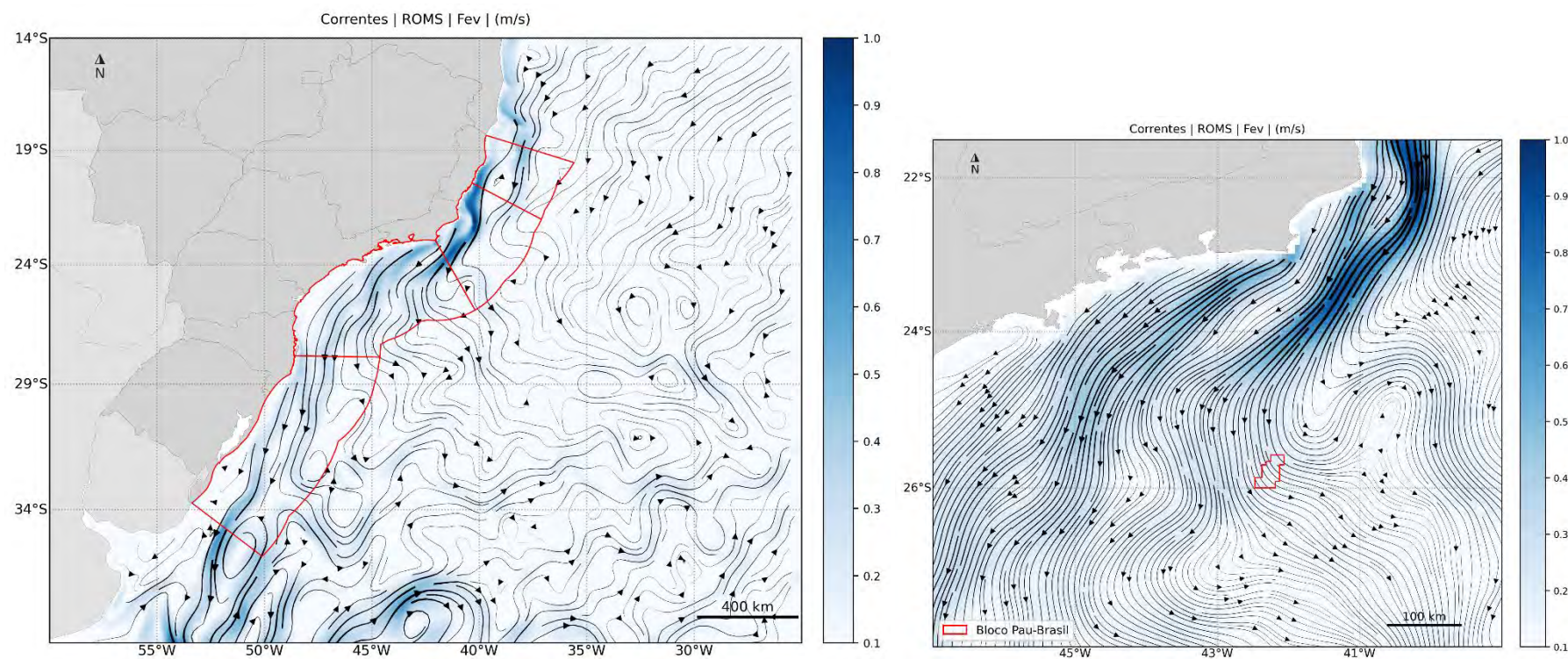


Figura 27: Campo médio de circulação para o mês de fevereiro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

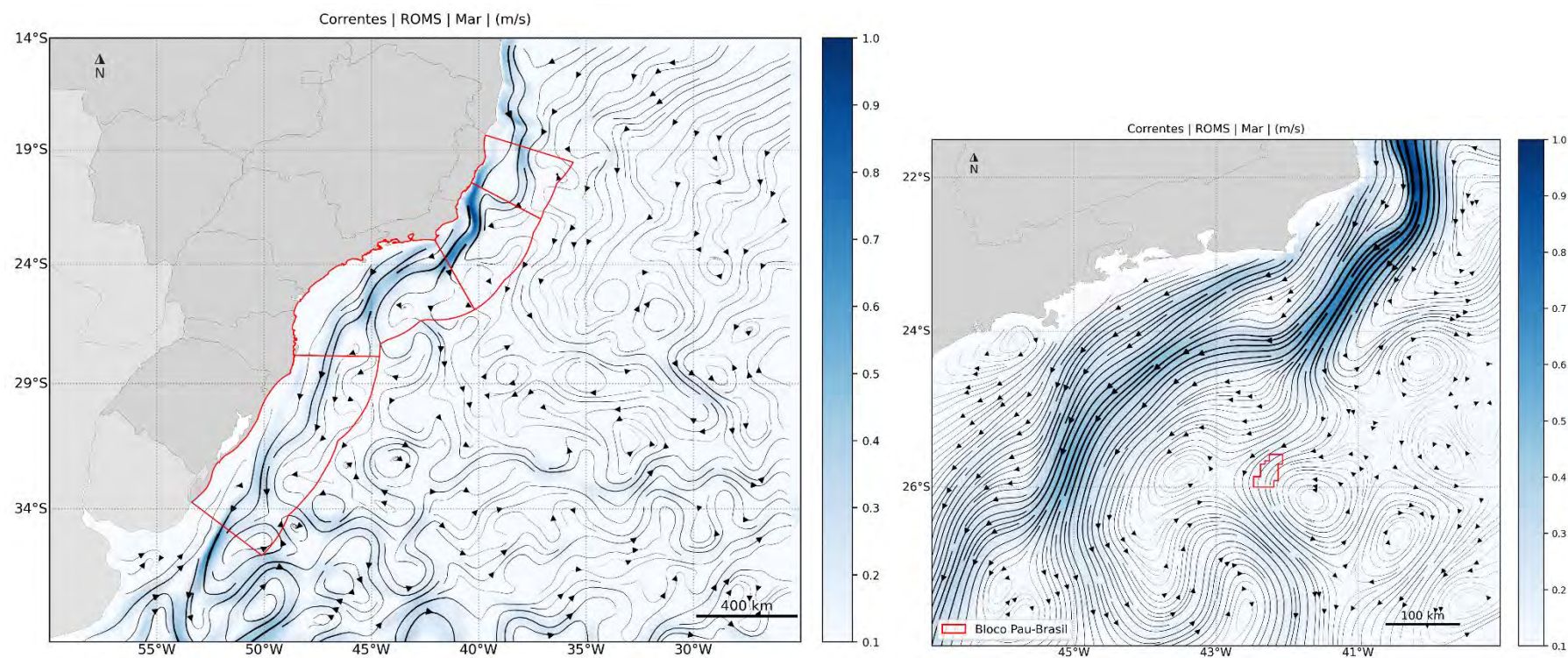


Figura 28: Campo médio de circulação para o mês de março. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

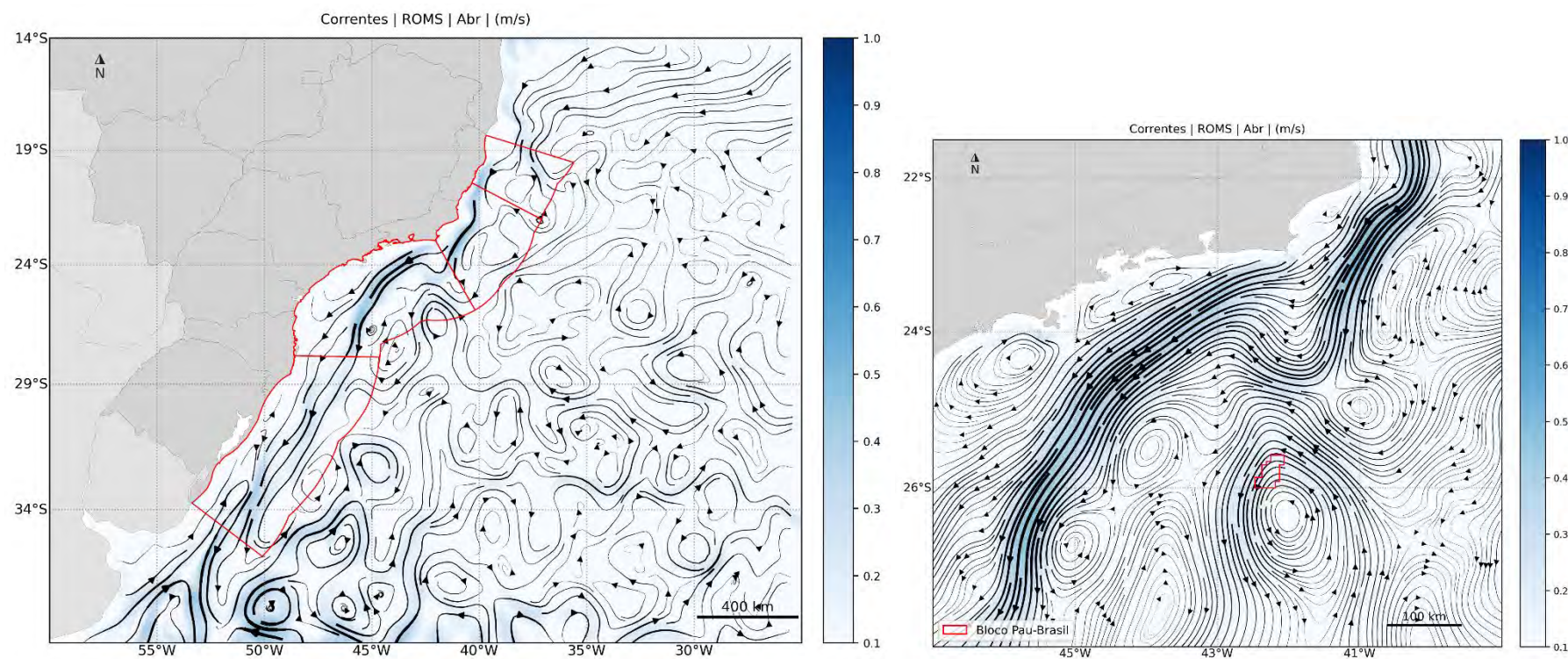


Figura 29: Campo médio de circulação para o mês de abril. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

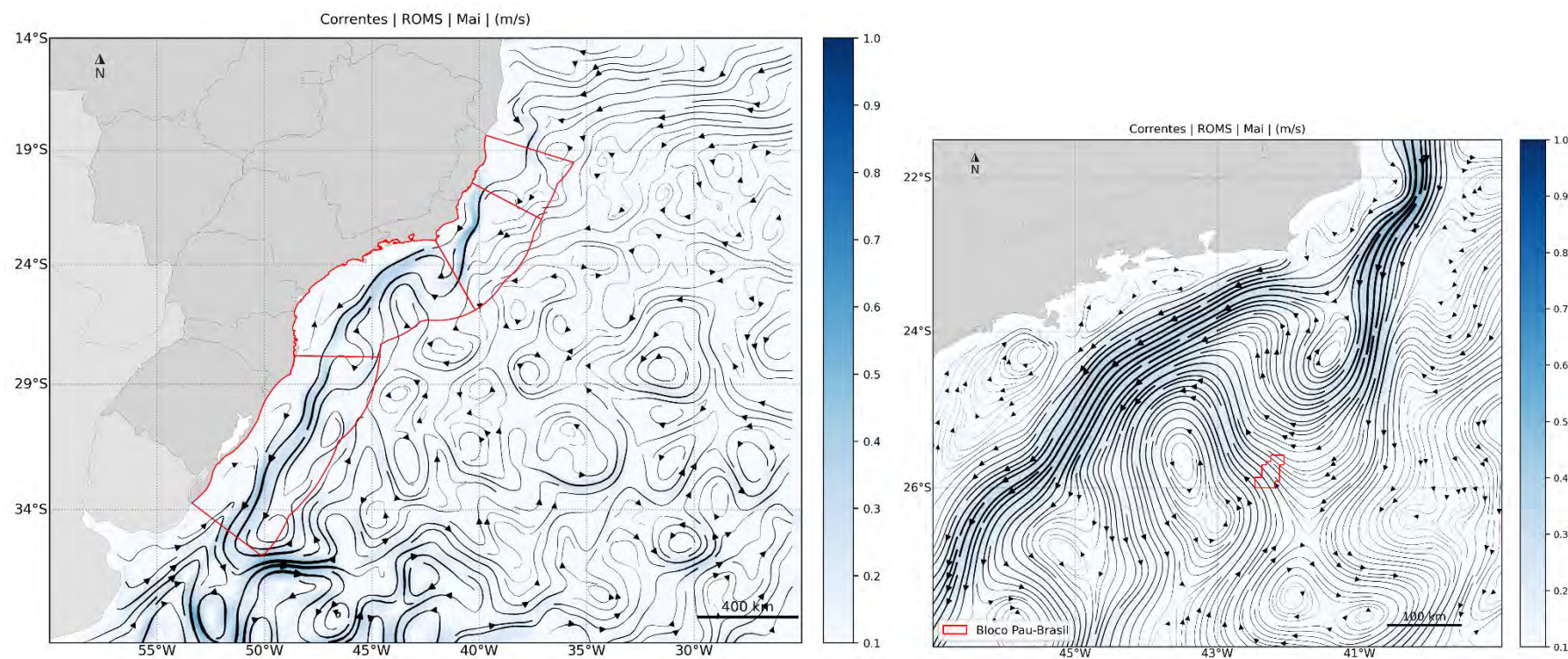


Figura 30: Campo médio de circulação para o mês de maio. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

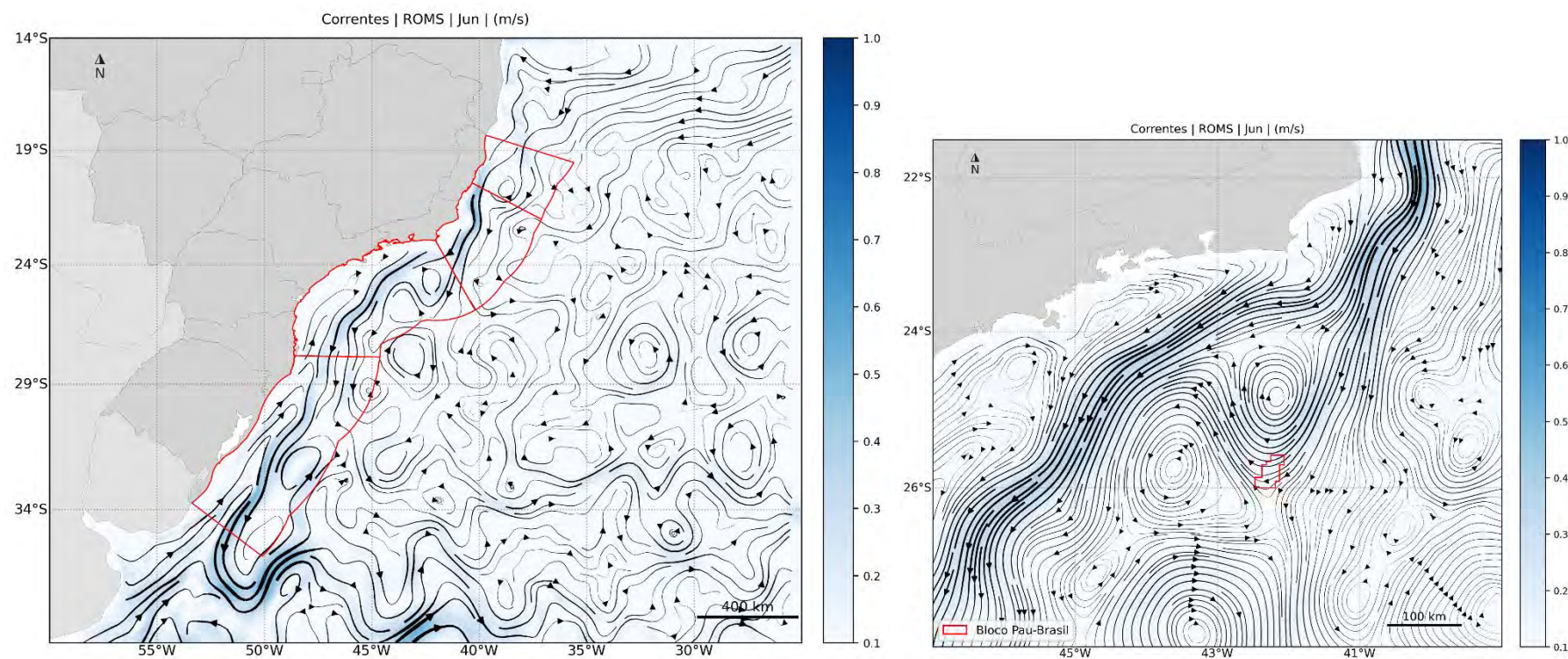


Figura 31: Campo médio de circulação para o mês de junho. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

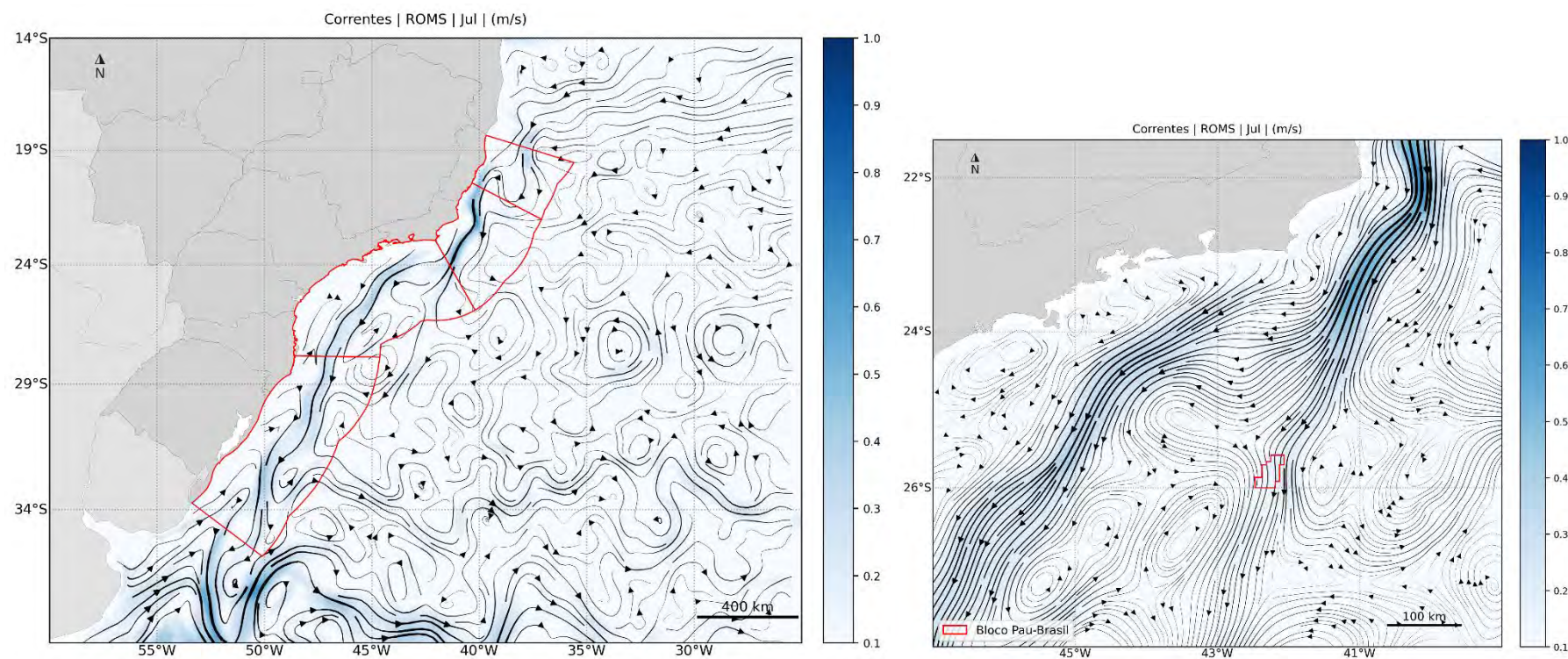


Figura 32: Campo médio de circulação para o mês de julho. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

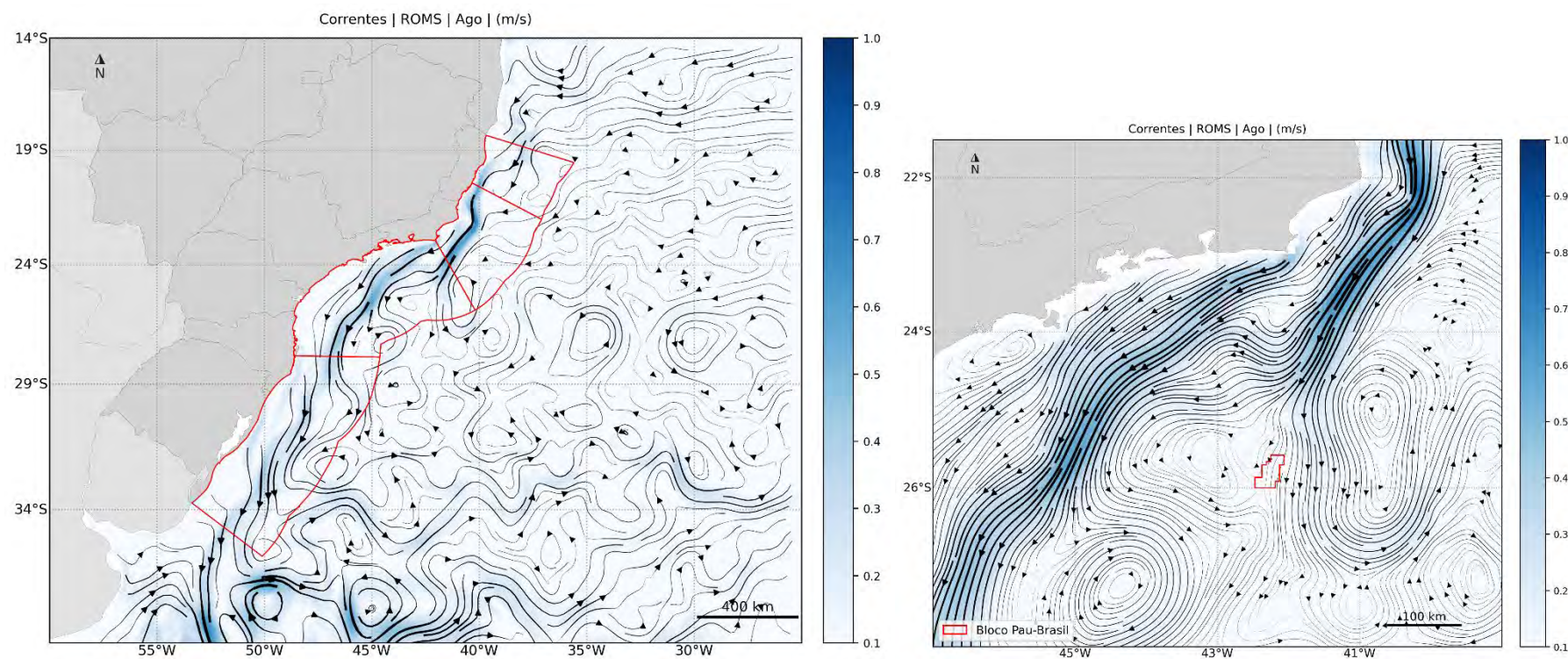


Figura 33: Campo médio de circulação para o mês de agosto. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

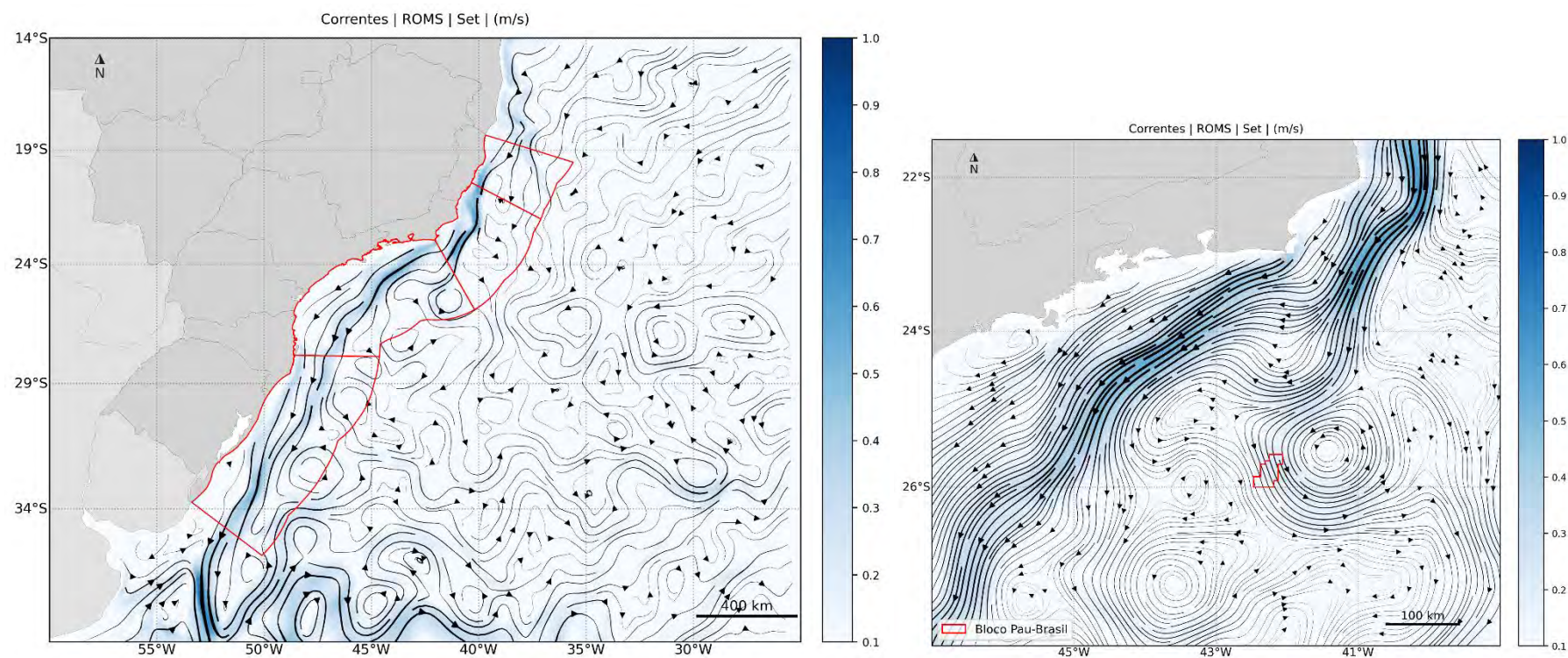


Figura 34: Campo médio de circulação para o mês de setembro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

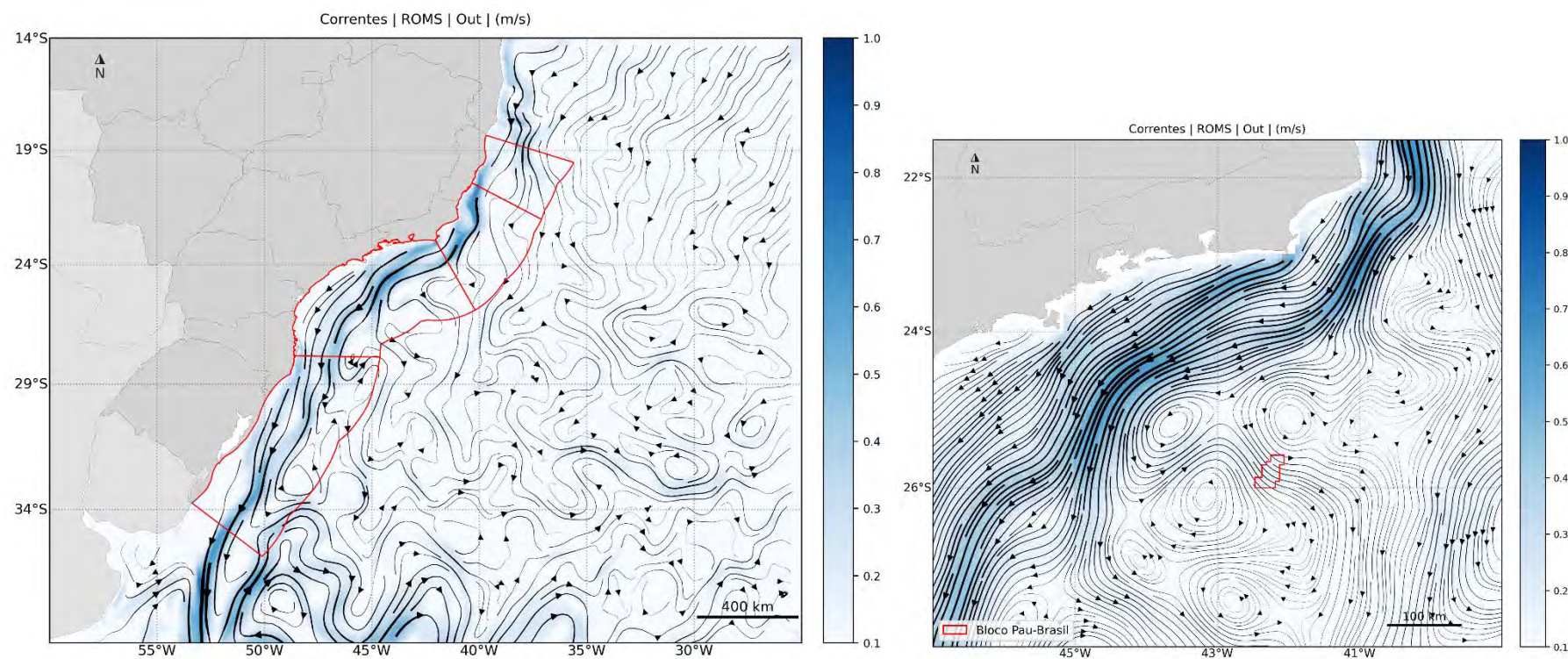


Figura 35: Campo médio de circulação para o mês de outubro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

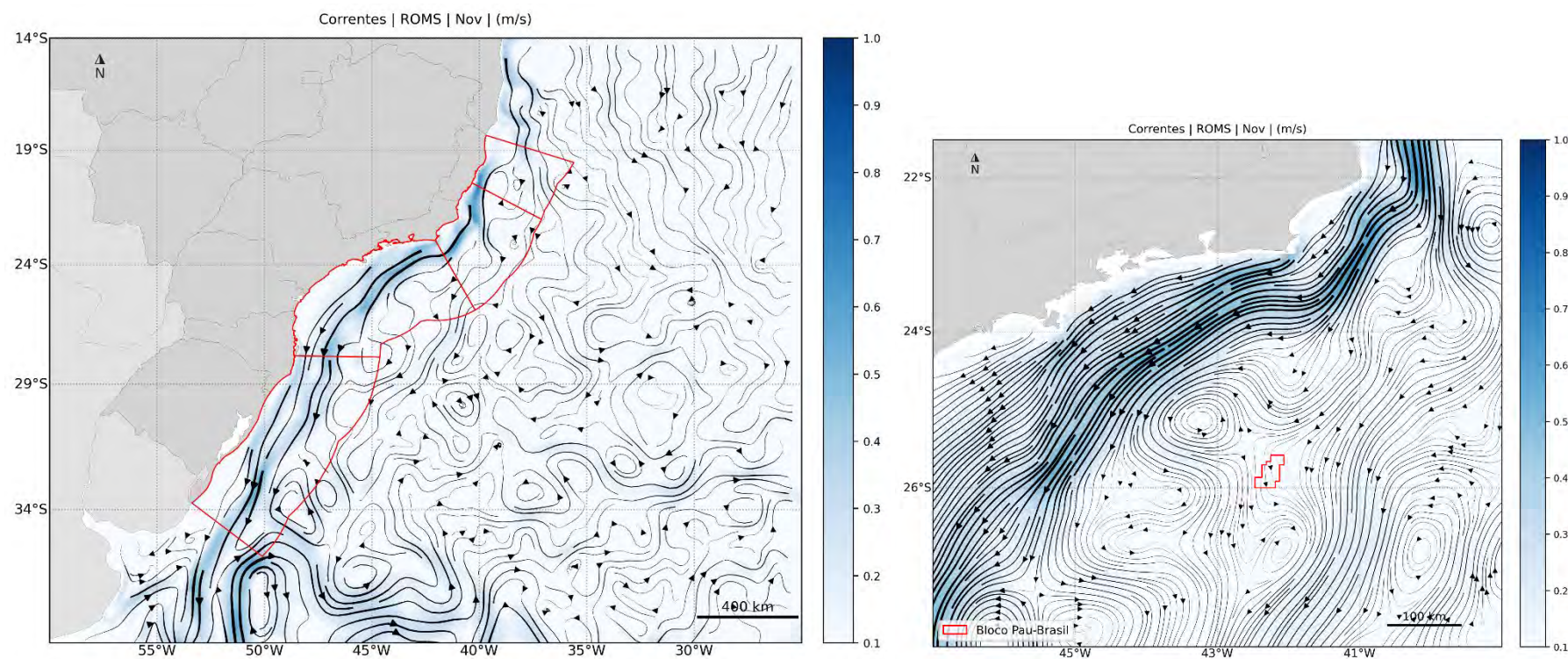


Figura 36: Campo médio de circulação para o mês de novembro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

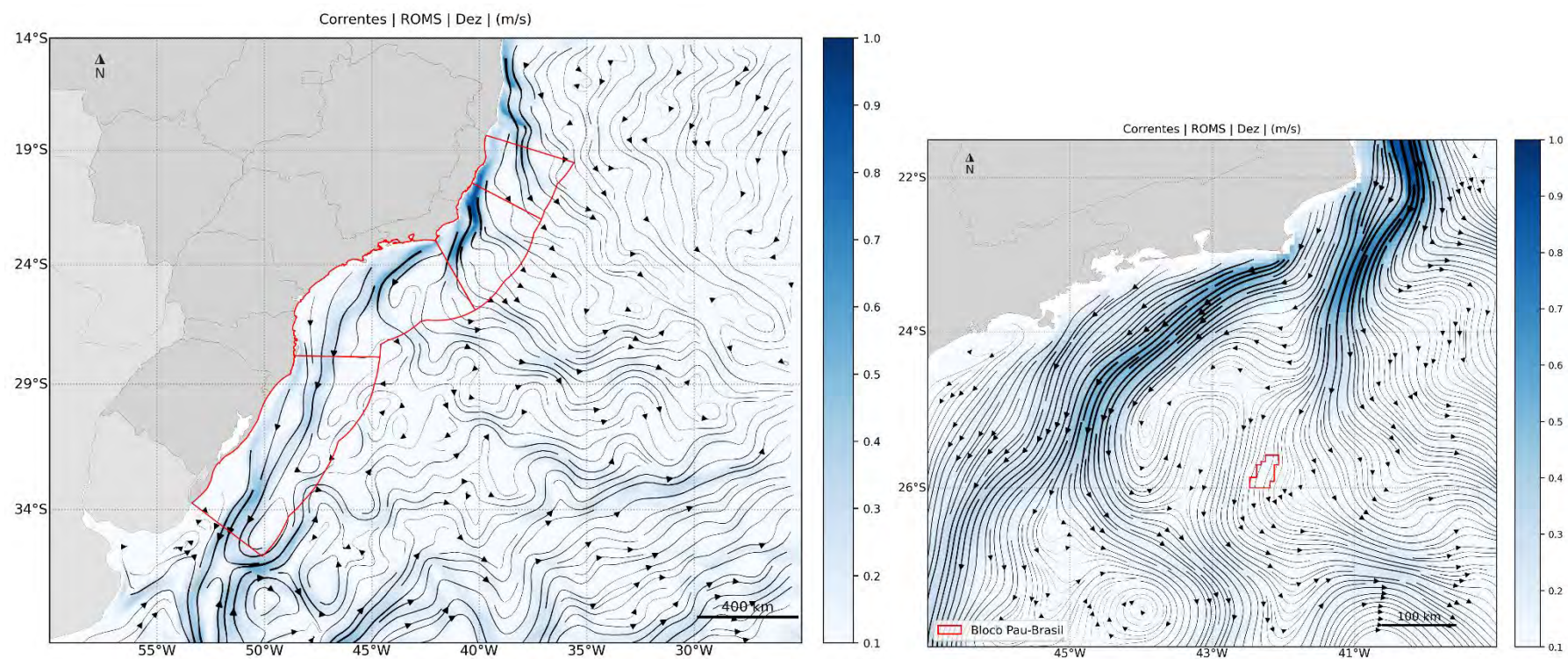


Figura 37: Campo médio de circulação para o mês de dezembro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

8.1.2 200 m de profundidade

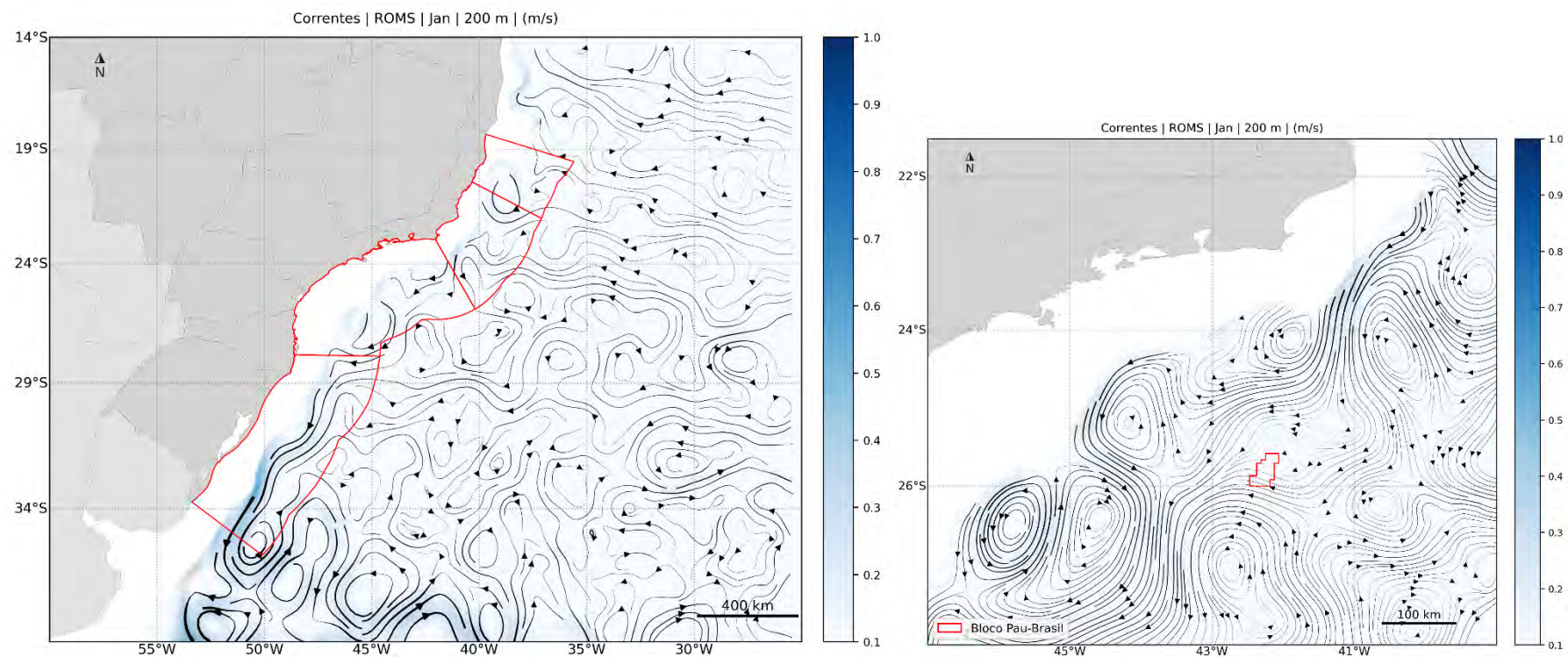


Figura 38: Campo médio de circulação em 200 m de profundidade para o mês de janeiro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

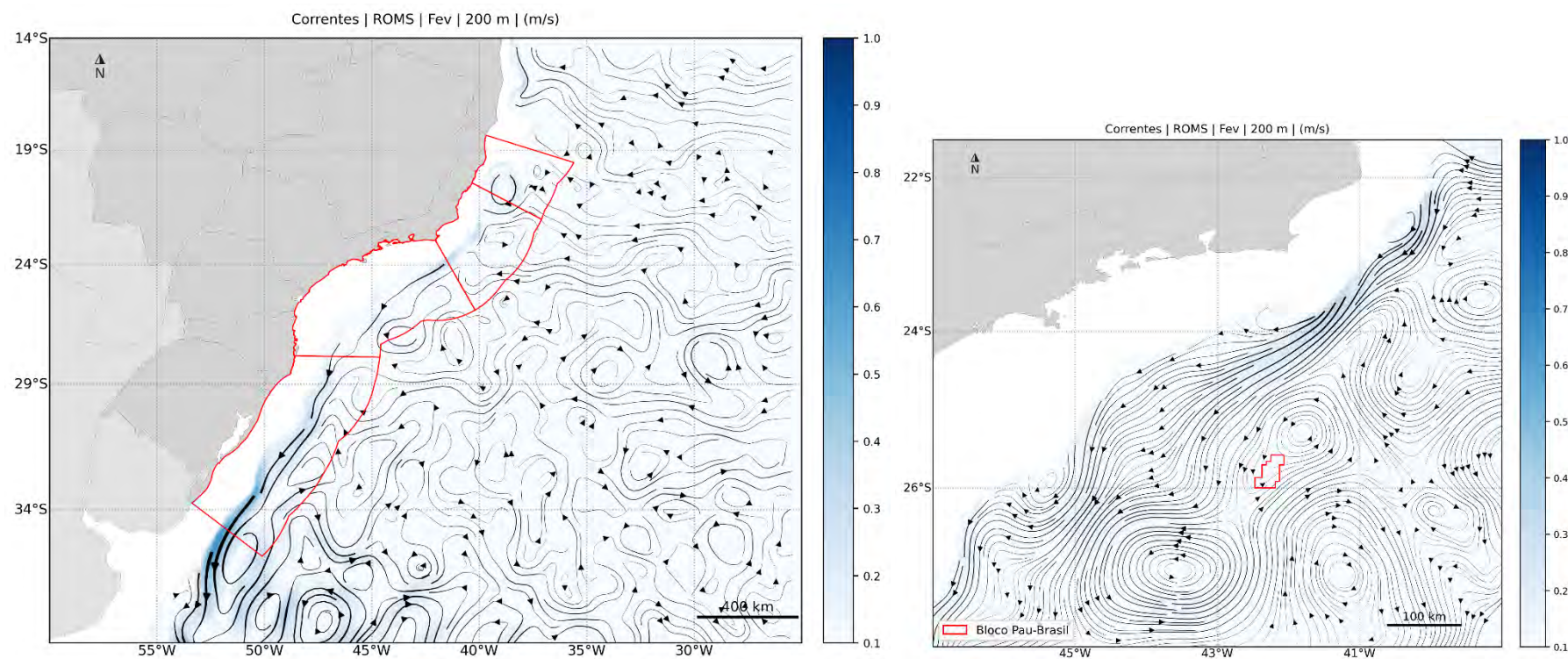


Figura 39: Campo médio de circulação em 200 m de profundidade para o mês de fevereiro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

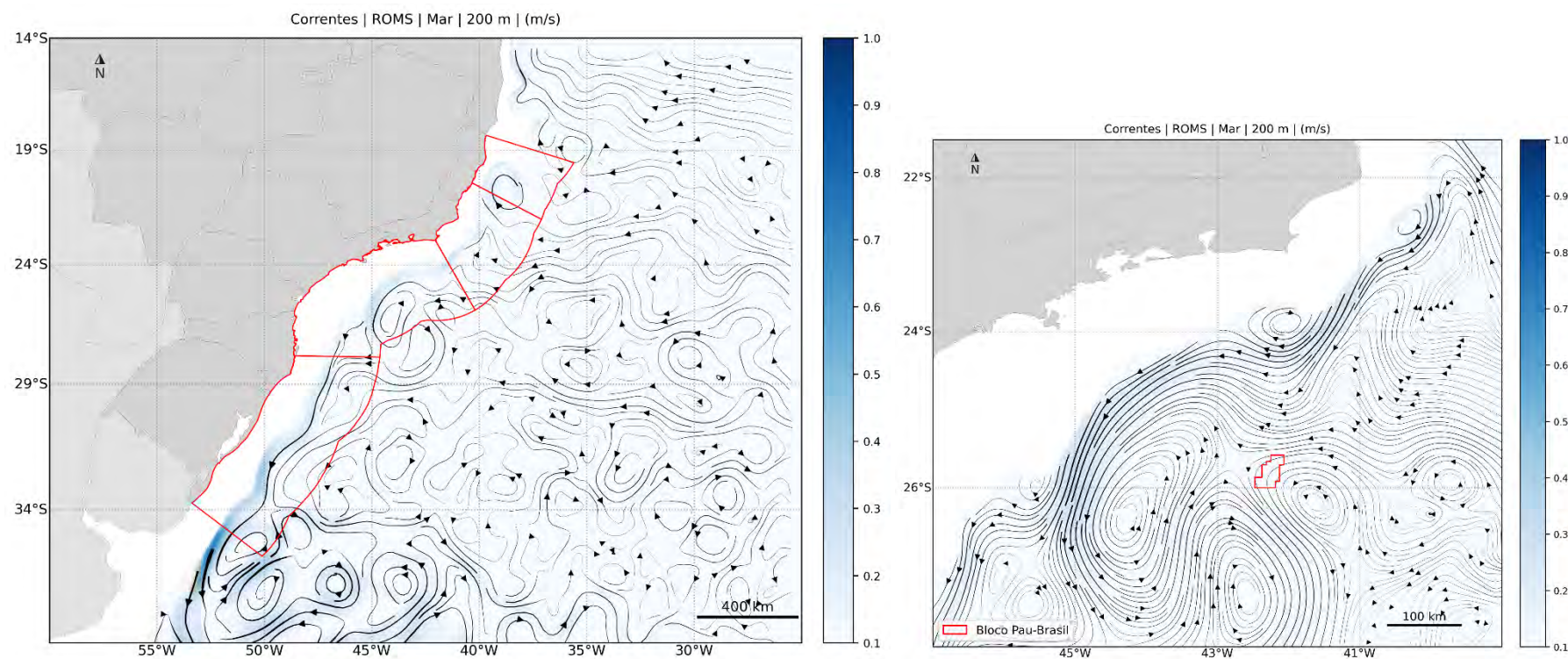


Figura 40: Campo médio de circulação em 200 m de profundidade para o mês de março. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

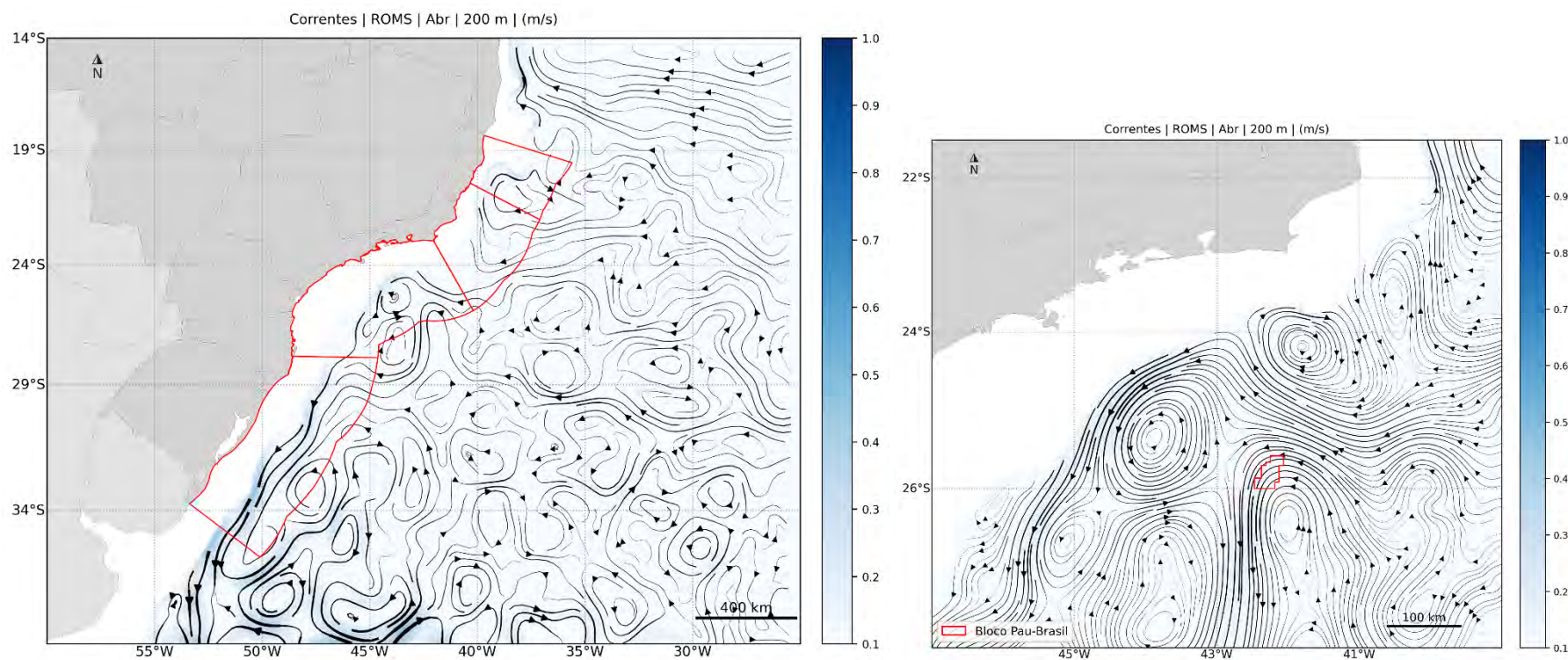


Figura 41: Campo médio de circulação em 200 m de profundidade para o mês de abril. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

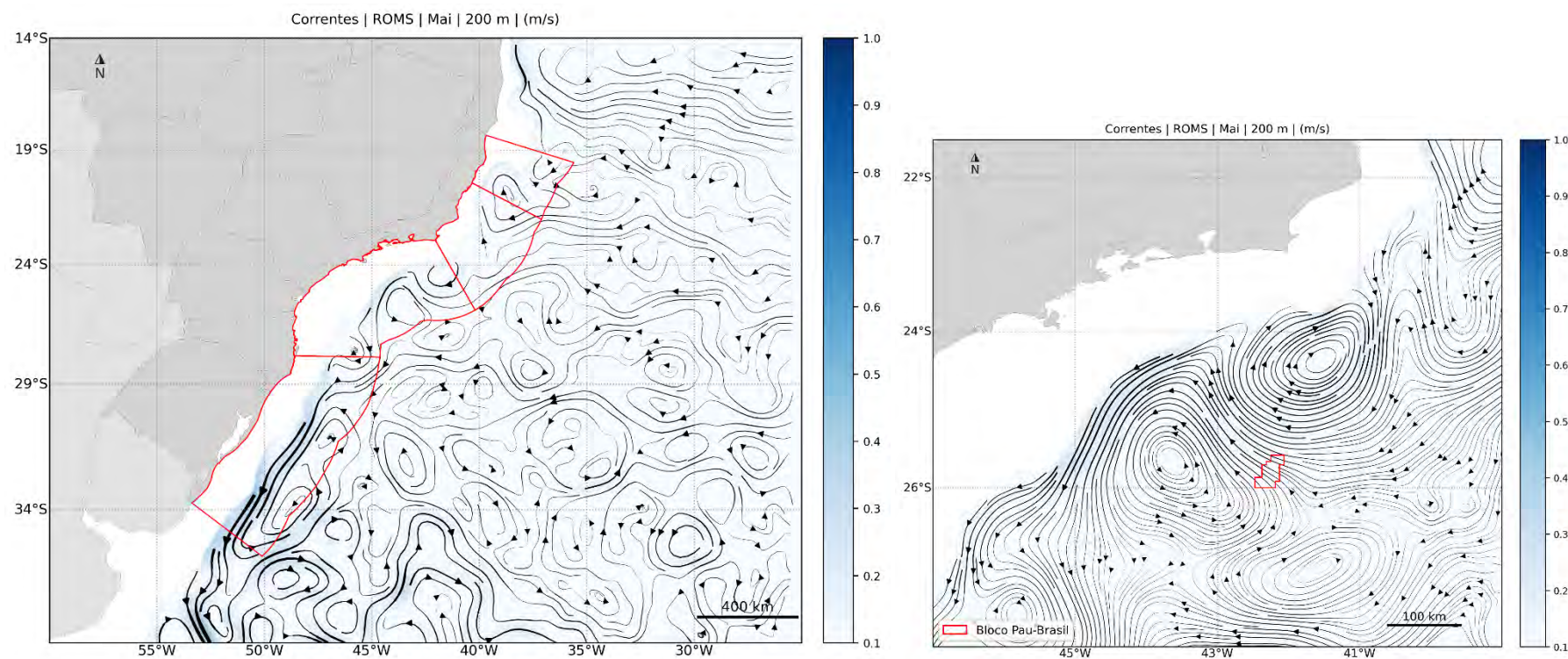


Figura 42: Campo médio de circulação em 200 m de profundidade para o mês de maio. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

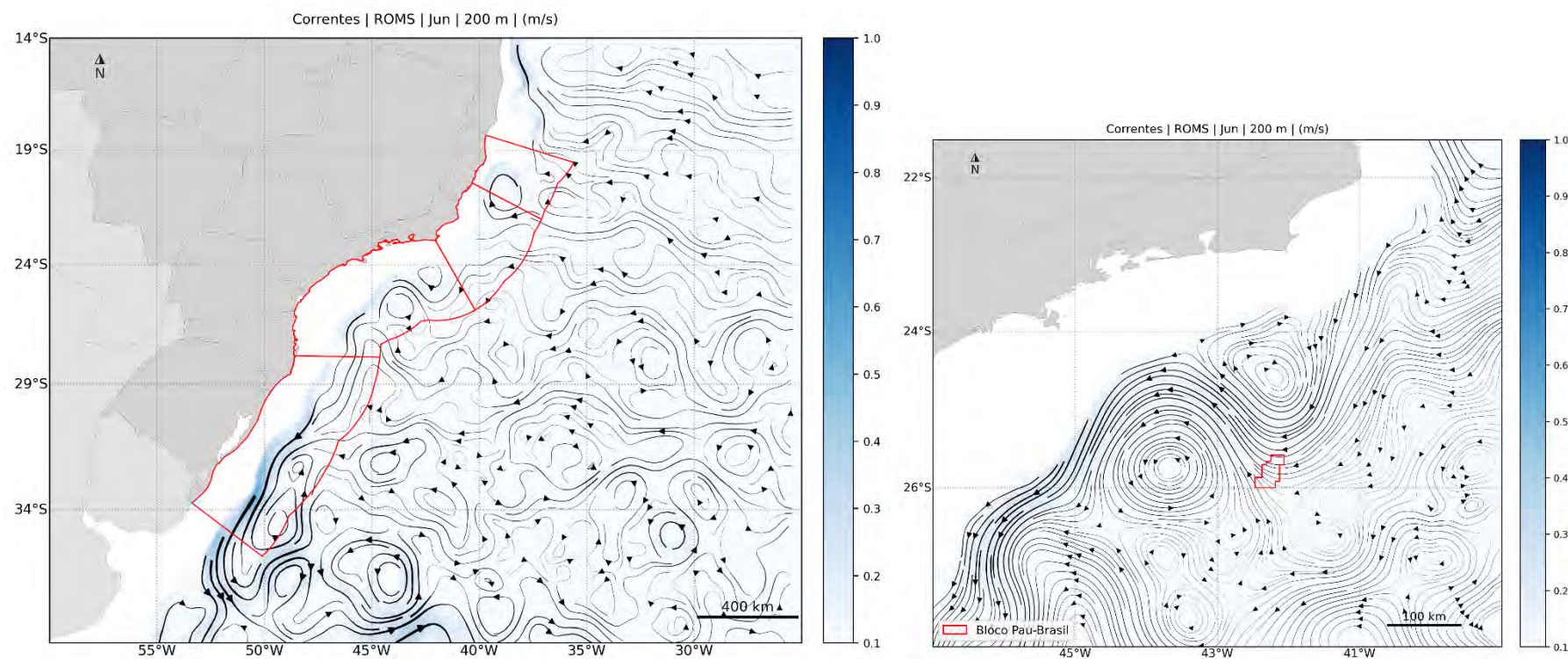


Figura 43: Campo médio de circulação em 200 m de profundidade para o mês de junho. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

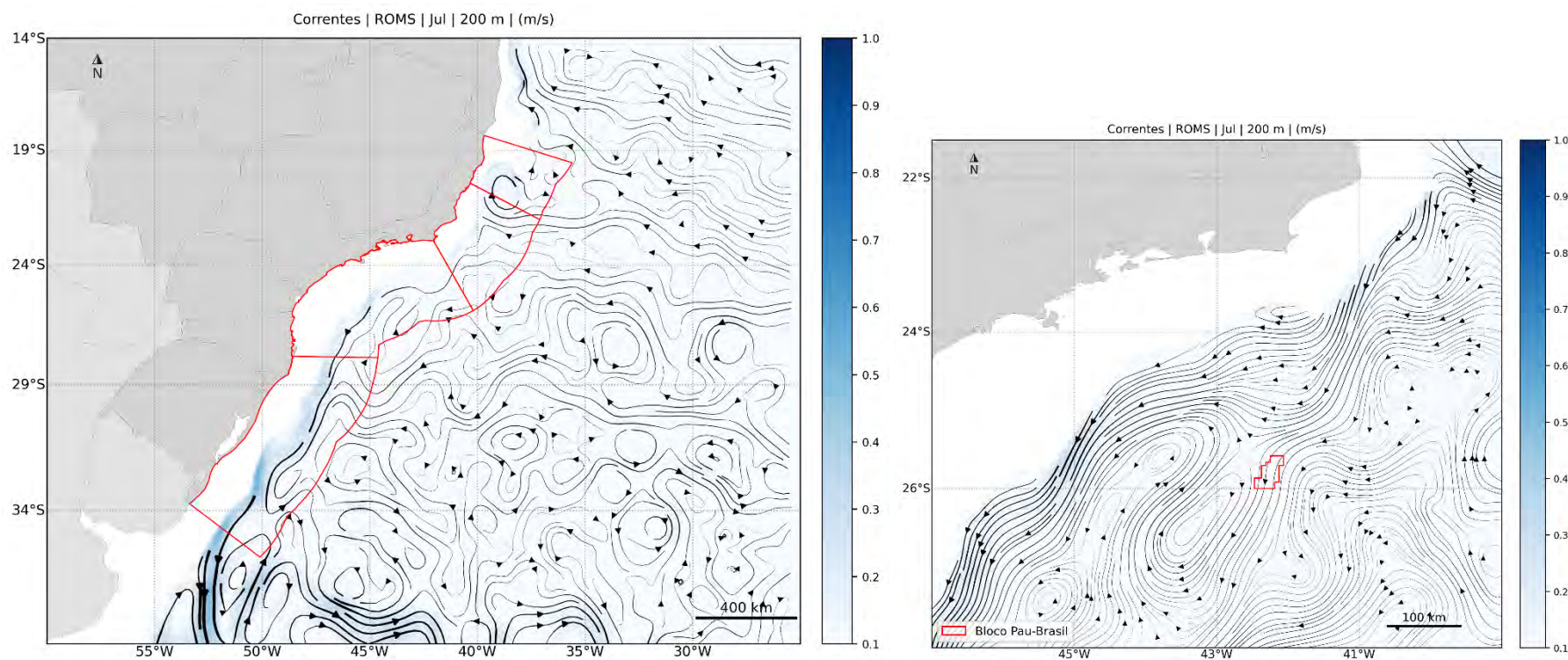


Figura 44: Campo médio de circulação em 200 m de profundidade para o mês de julho. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

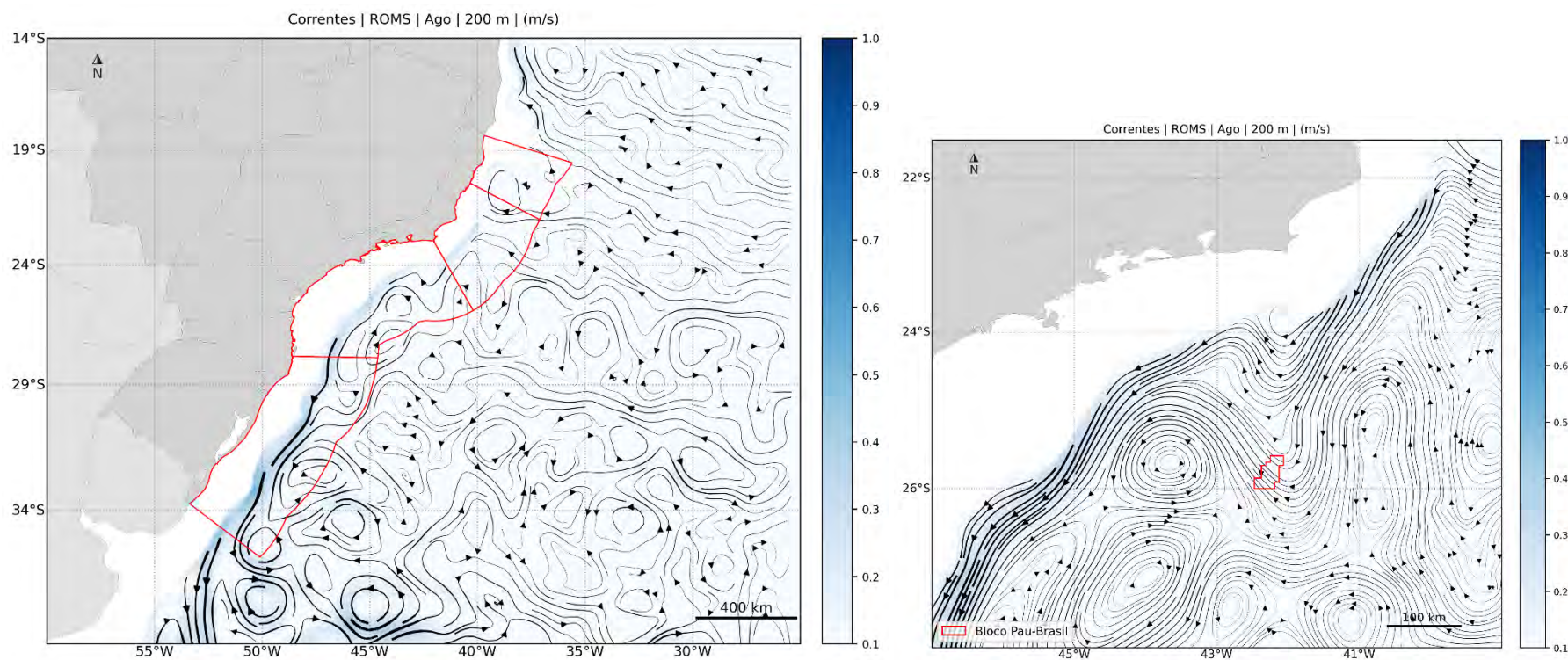


Figura 45: Campo médio de circulação em 200 m de profundidade para o mês de agosto. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

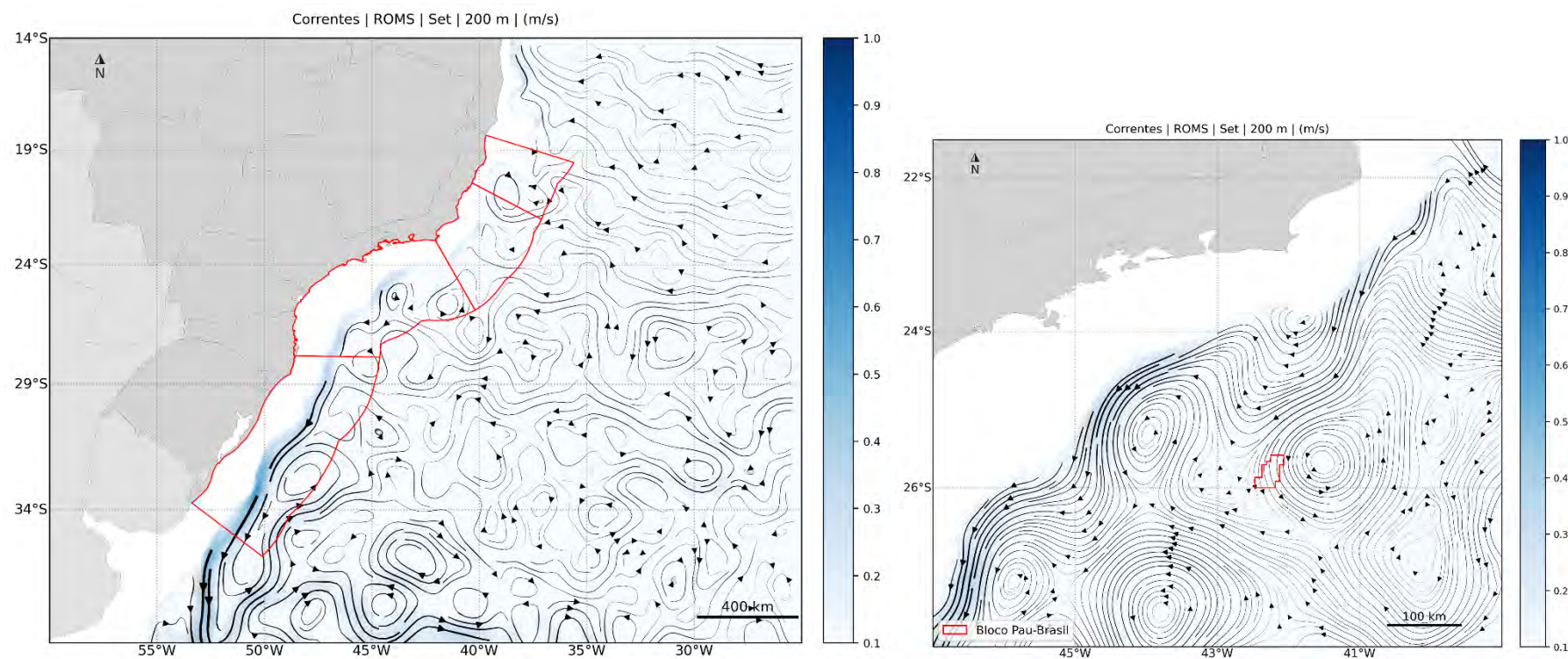


Figura 46: Campo médio de circulação em 200 m de profundidade para o mês de setembro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

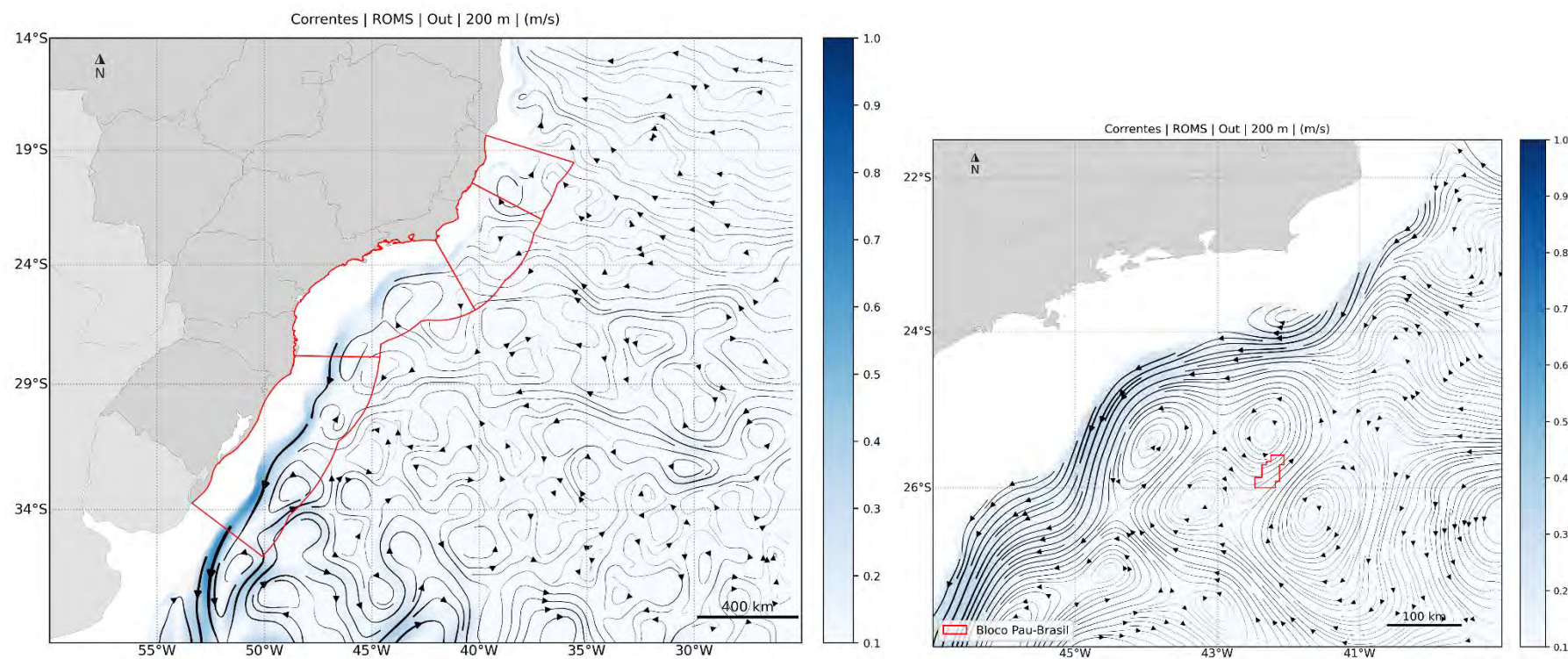


Figura 47: Campo médio de circulação em 200 m de profundidade para o mês de outubro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

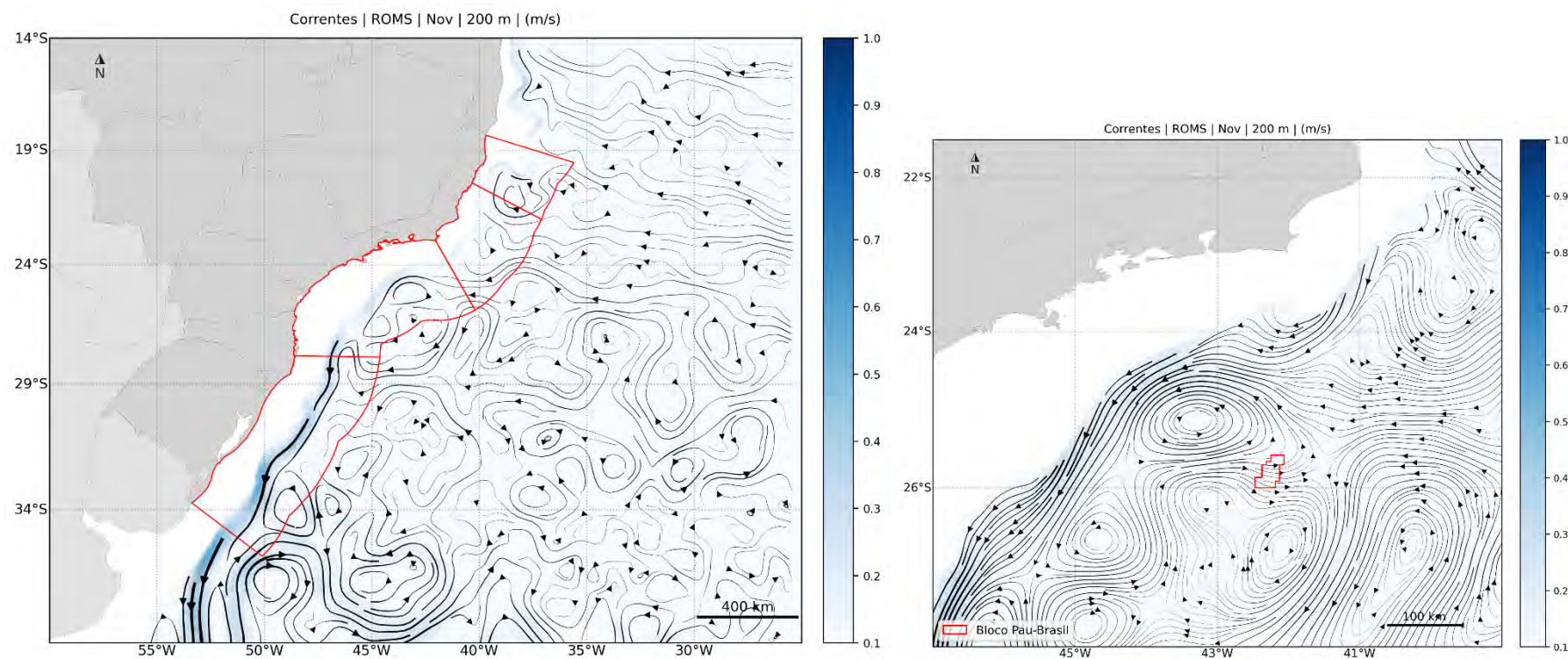


Figura 48: Campo médio de circulação em 200 m de profundidade para o mês de novembro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

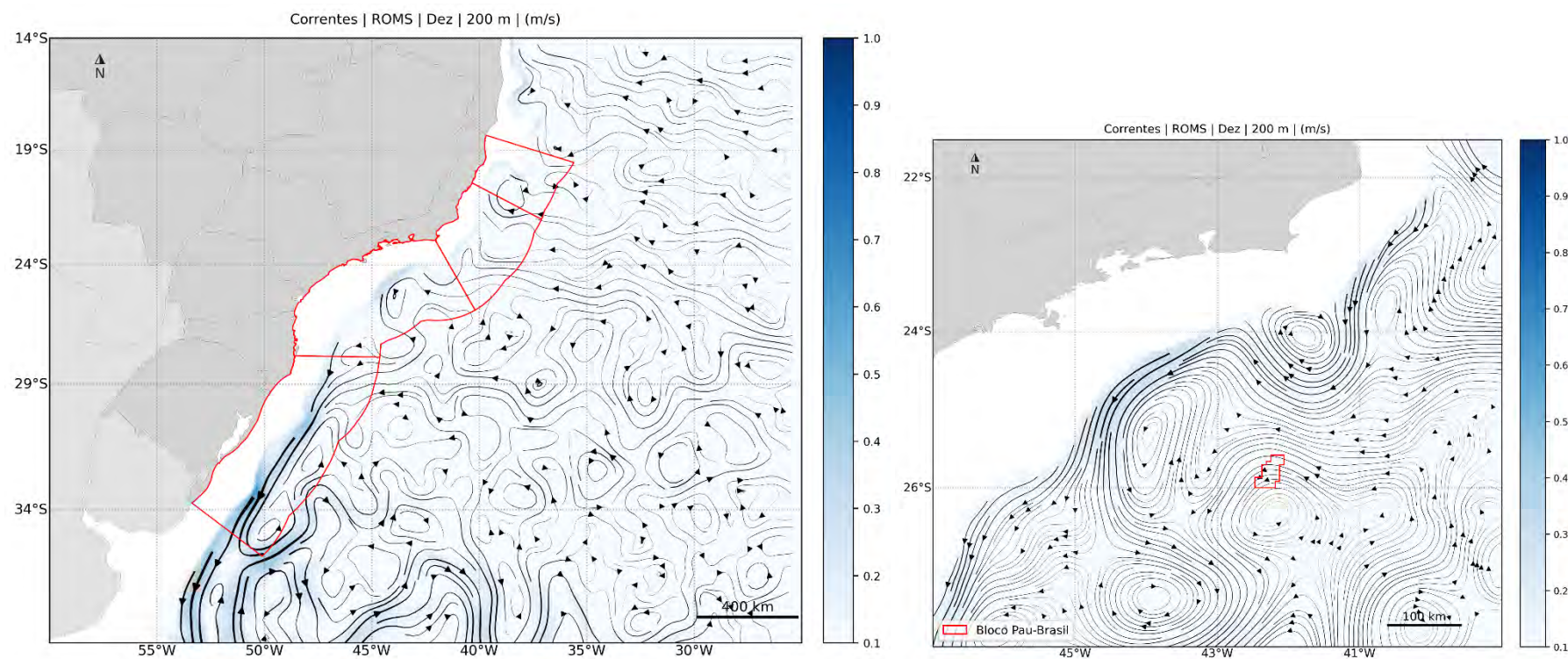


Figura 49: Campo médio de circulação em 200 m de profundidade para o mês de dezembro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

8.1.3 500 m de profundidade

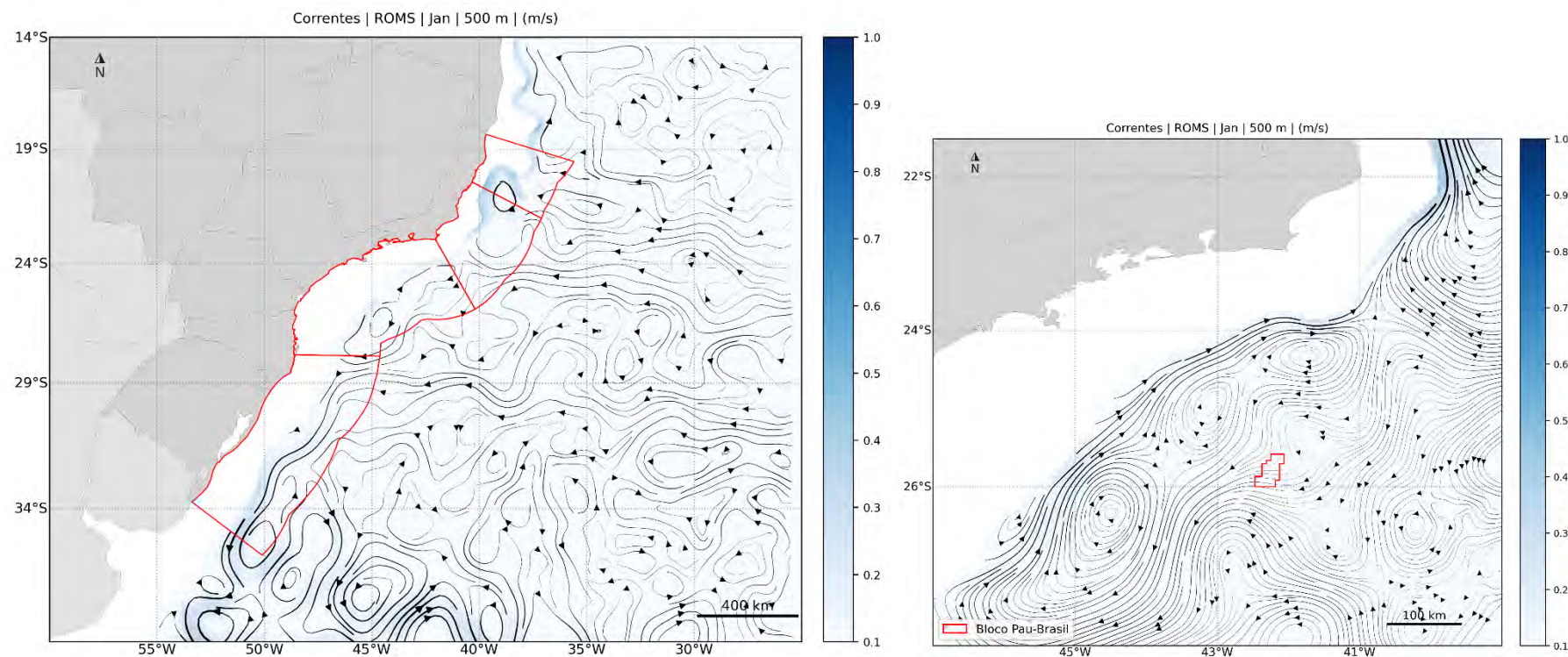


Figura 50: Campo médio de circulação em 500 m de profundidade para o mês de janeiro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

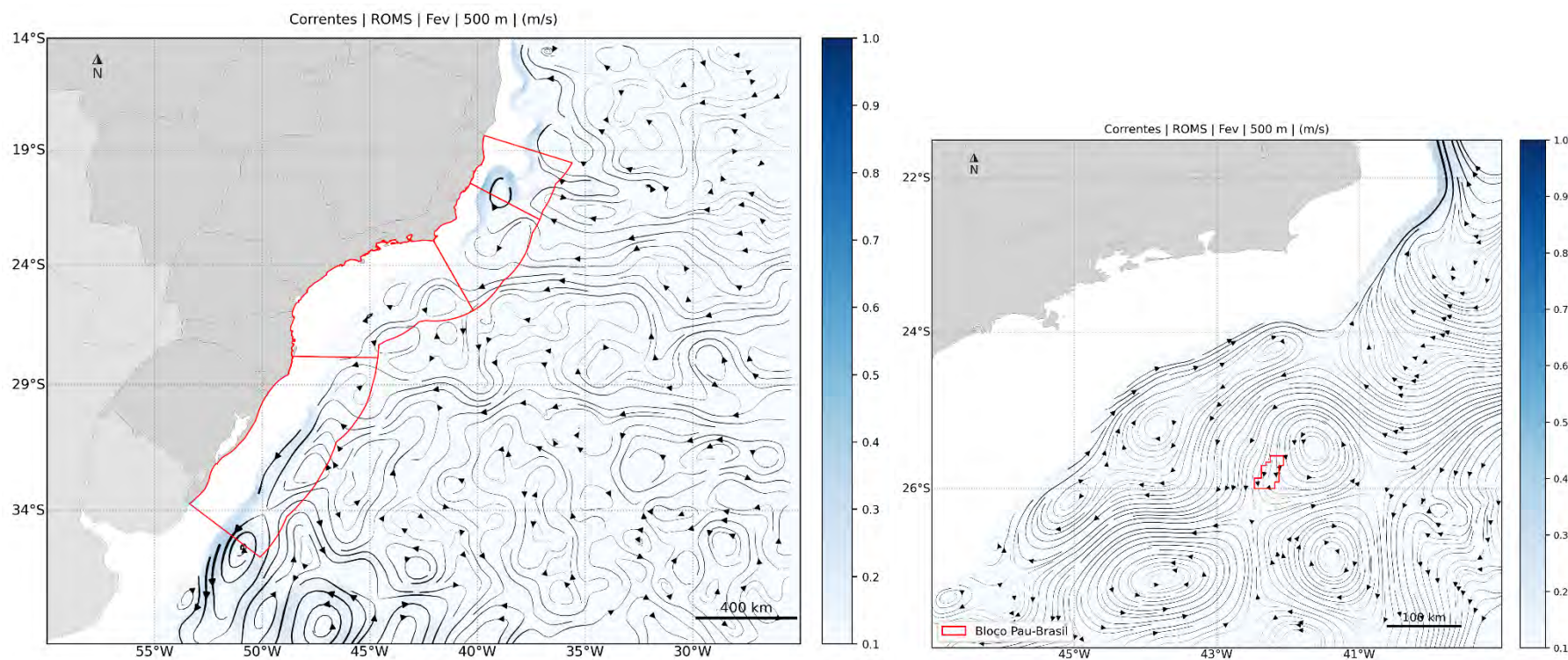


Figura 51: Campo médio de circulação em 500 m de profundidade para o mês de fevereiro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

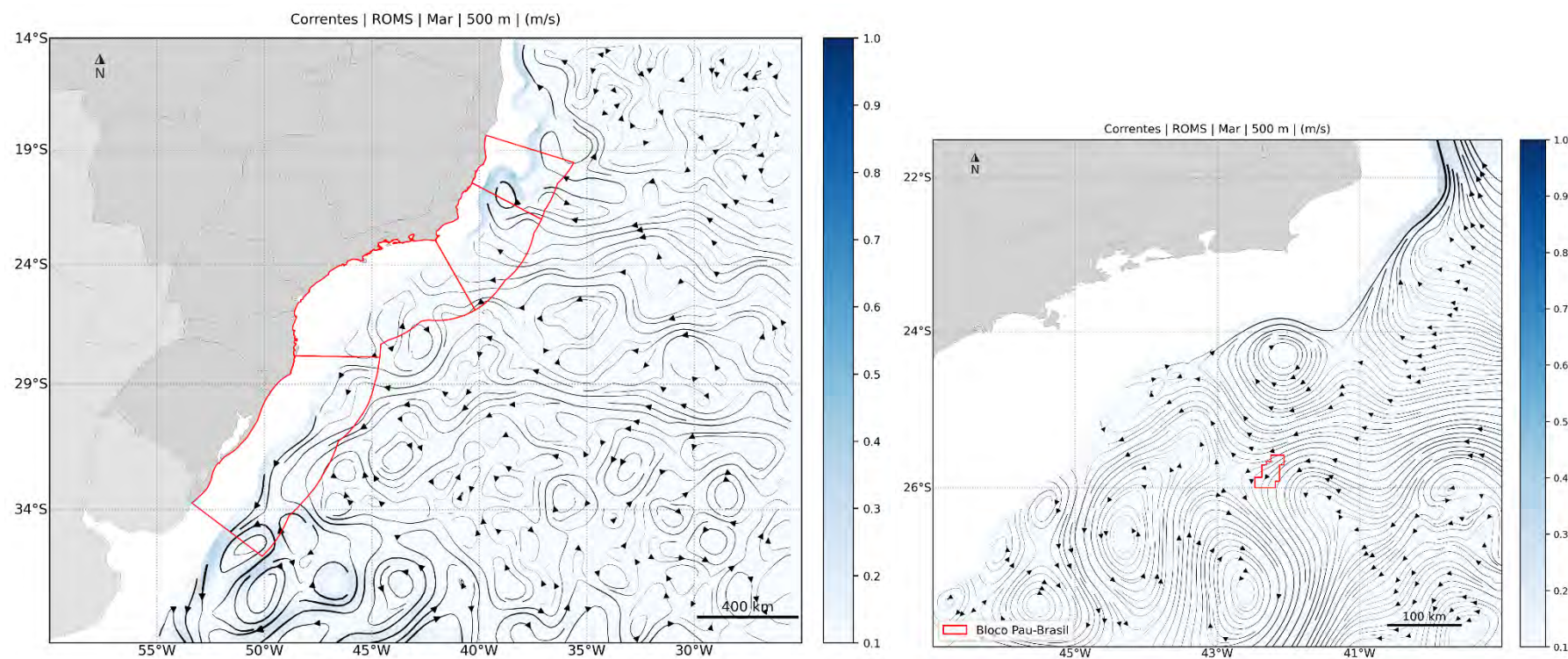


Figura 52: Campo médio de circulação em 500 m de profundidade para o mês de março. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

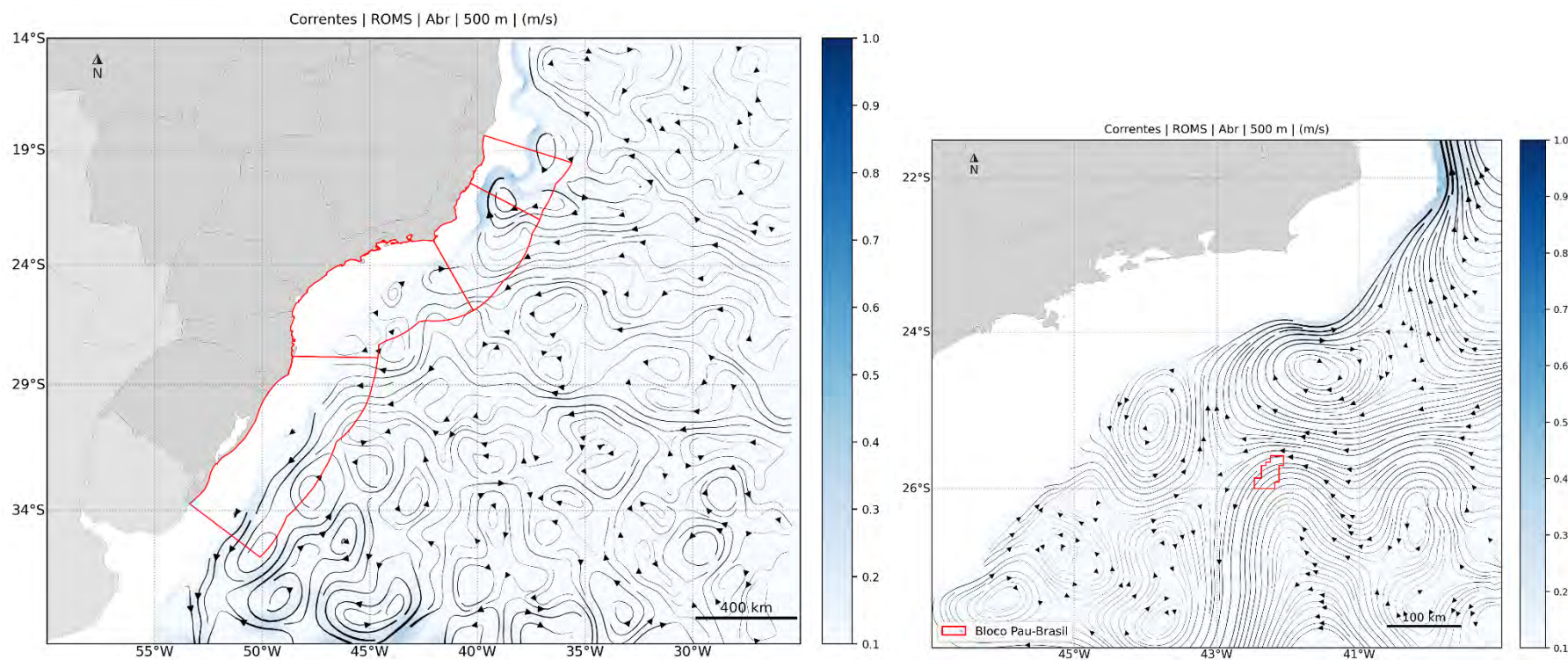


Figura 53: Campo médio de circulação em 500 m de profundidade para o mês de abril. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

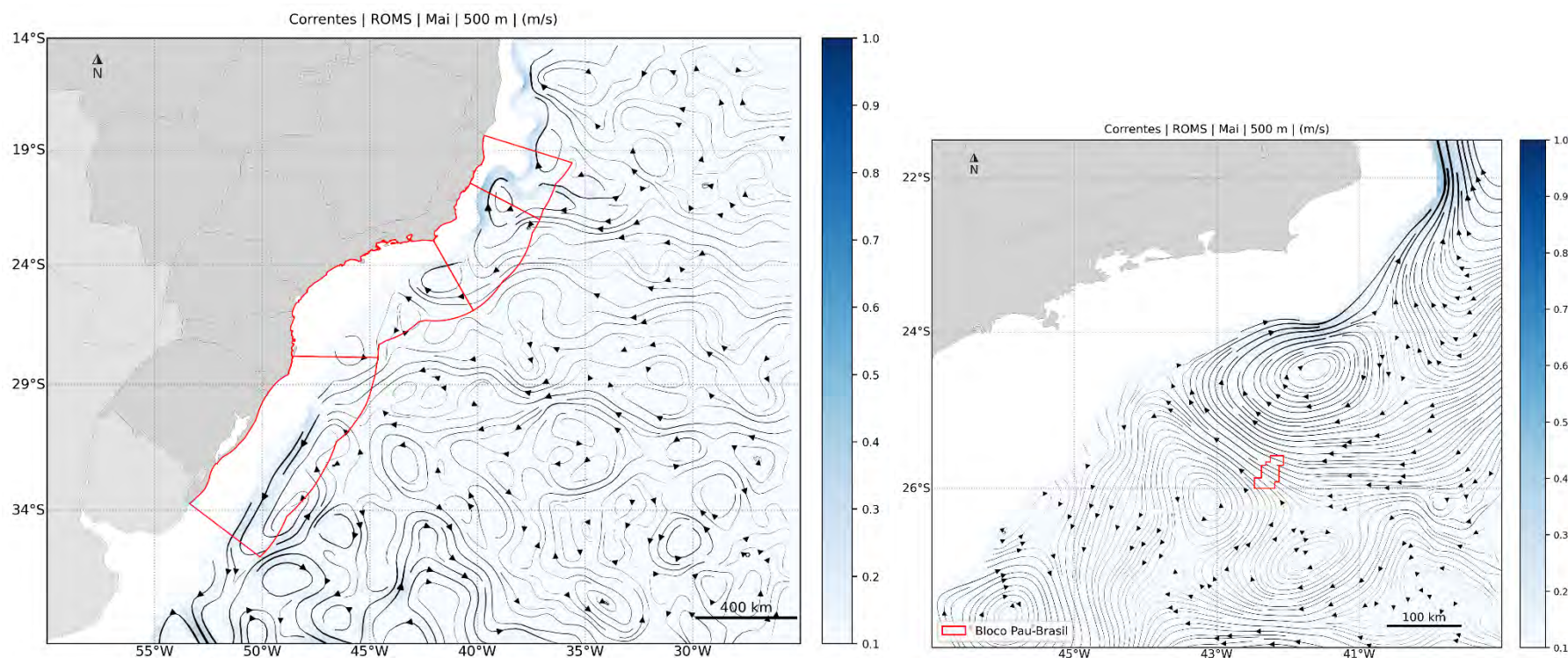


Figura 54: Campo médio de circulação em 500 m de profundidade para o mês de maio. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

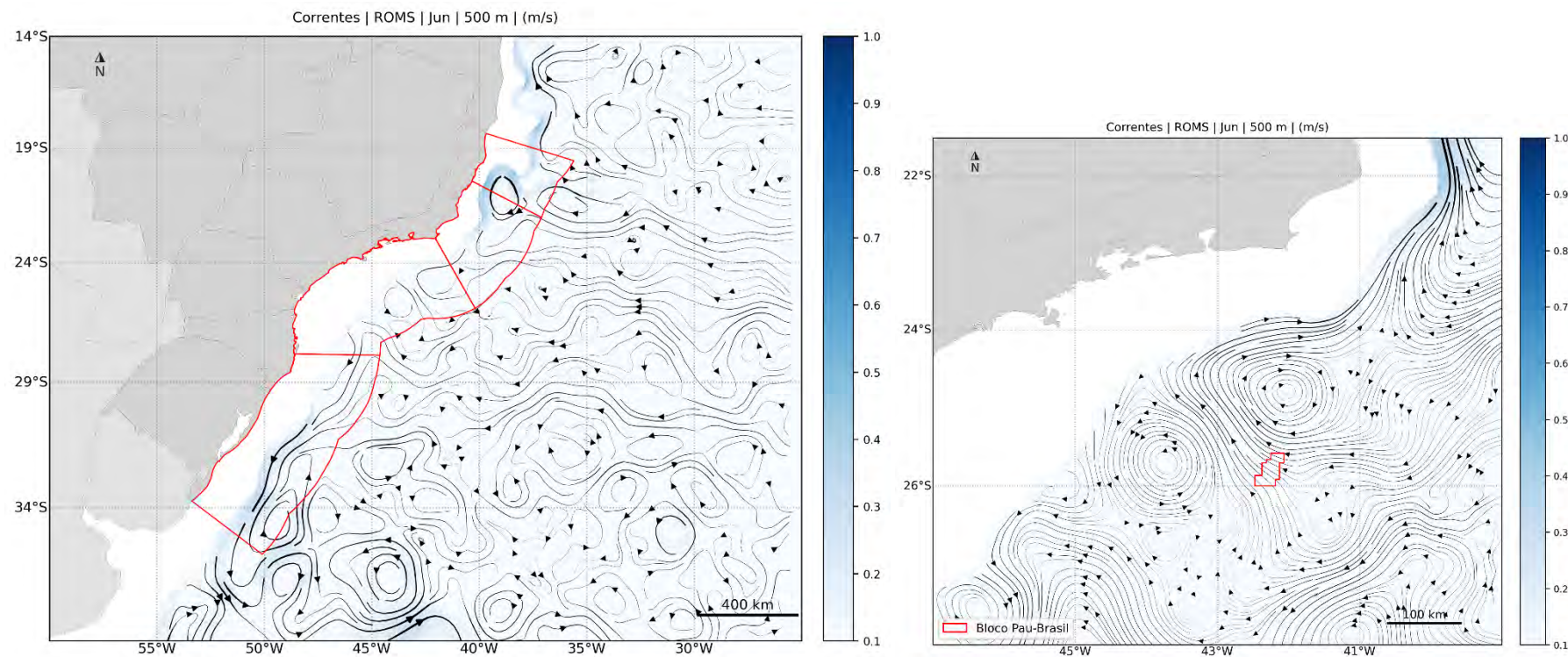


Figura 55: Campo médio de circulação em 500 m de profundidade para o mês de junho. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

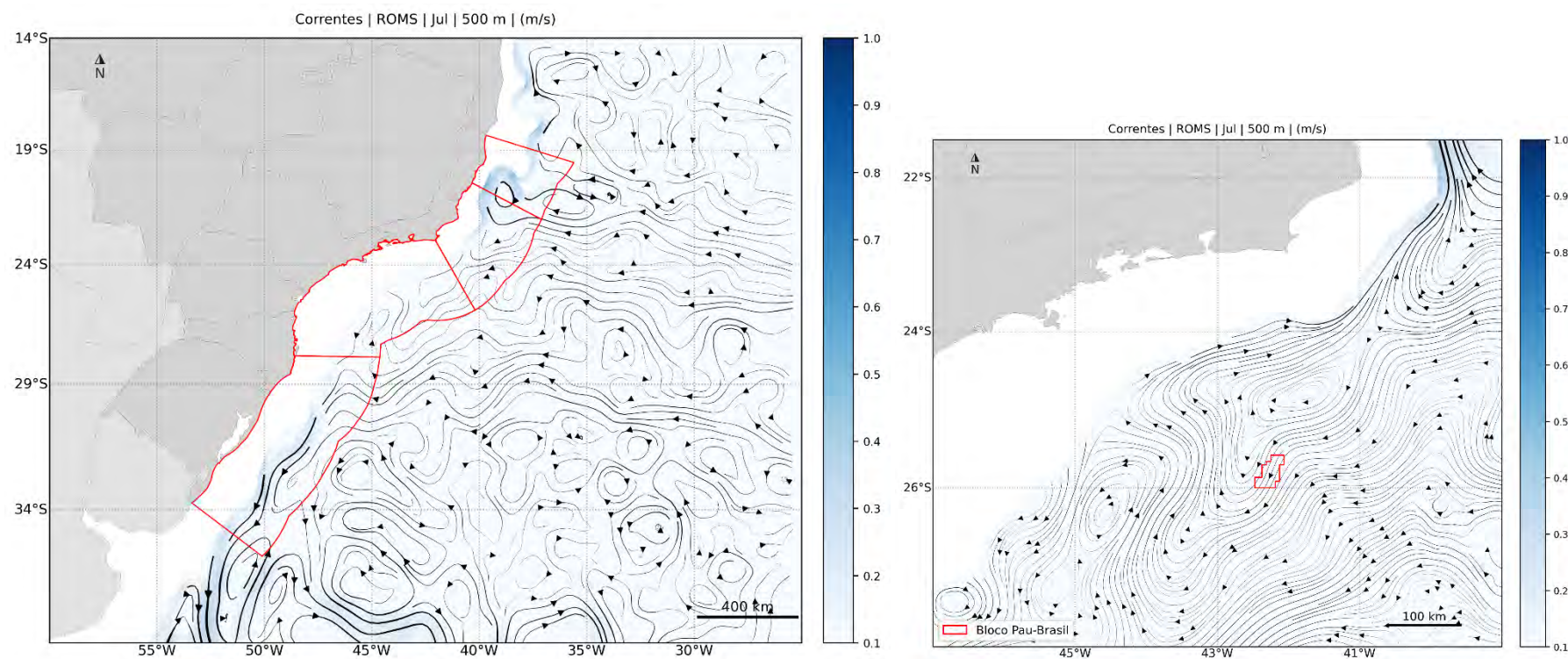


Figura 56: Campo médio de circulação em 500 m de profundidade para o mês de julho. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

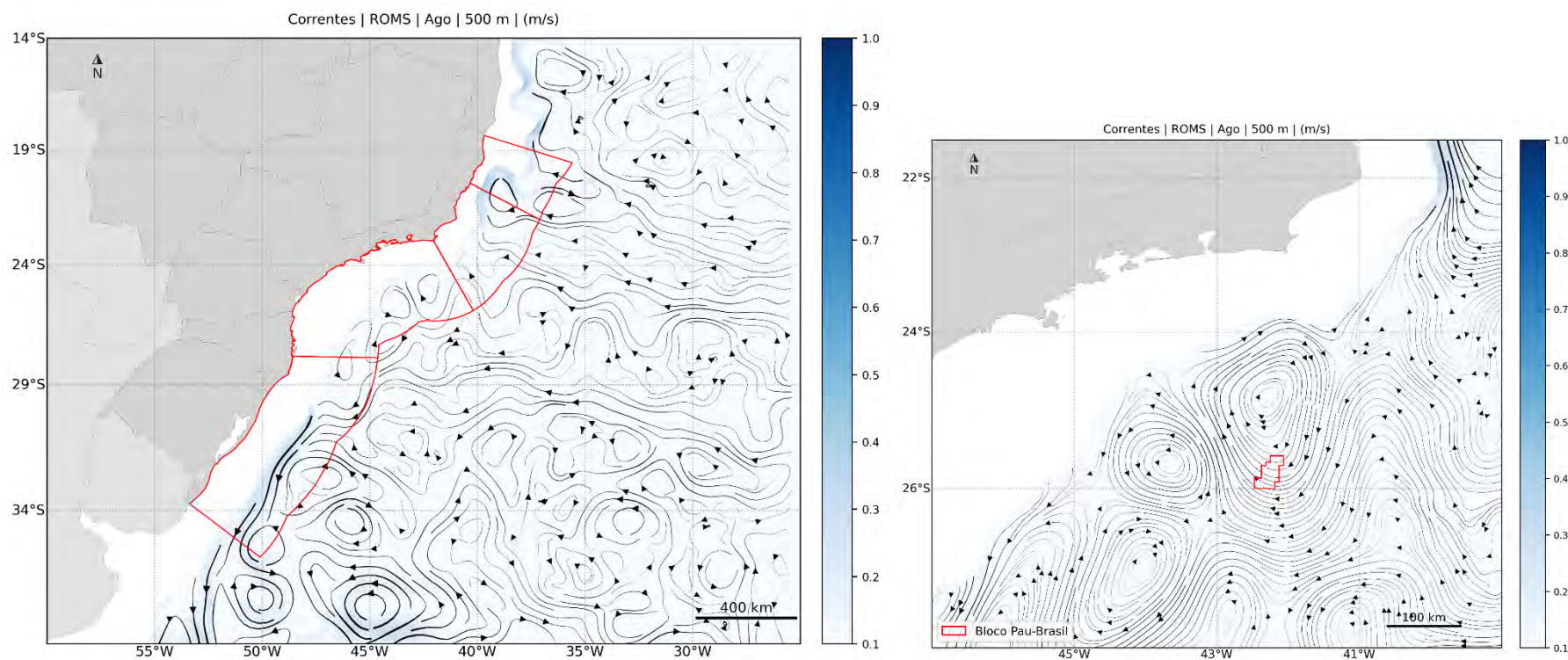


Figura 57: Campo médio de circulação em 500 m de profundidade para o mês de agosto. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

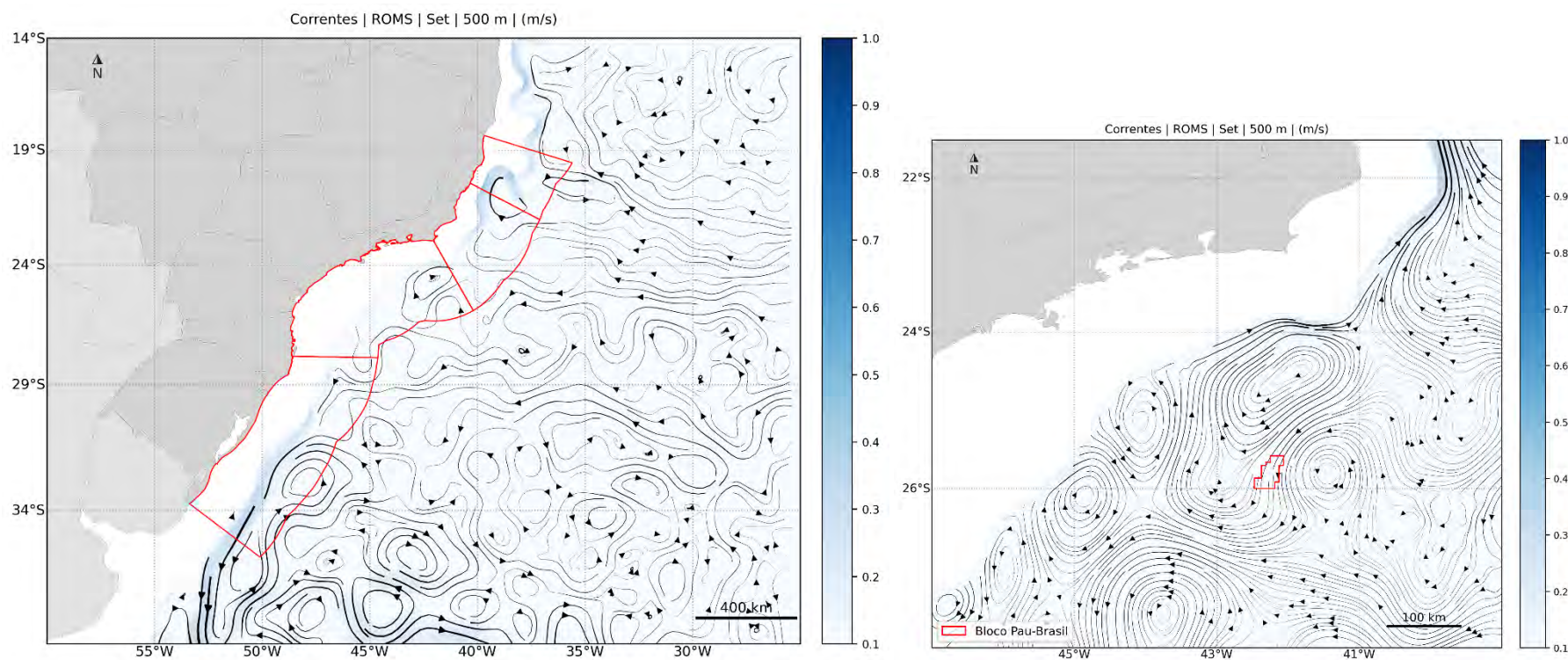


Figura 58: Campo médio de circulação em 500 m de profundidade para o mês de setembro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

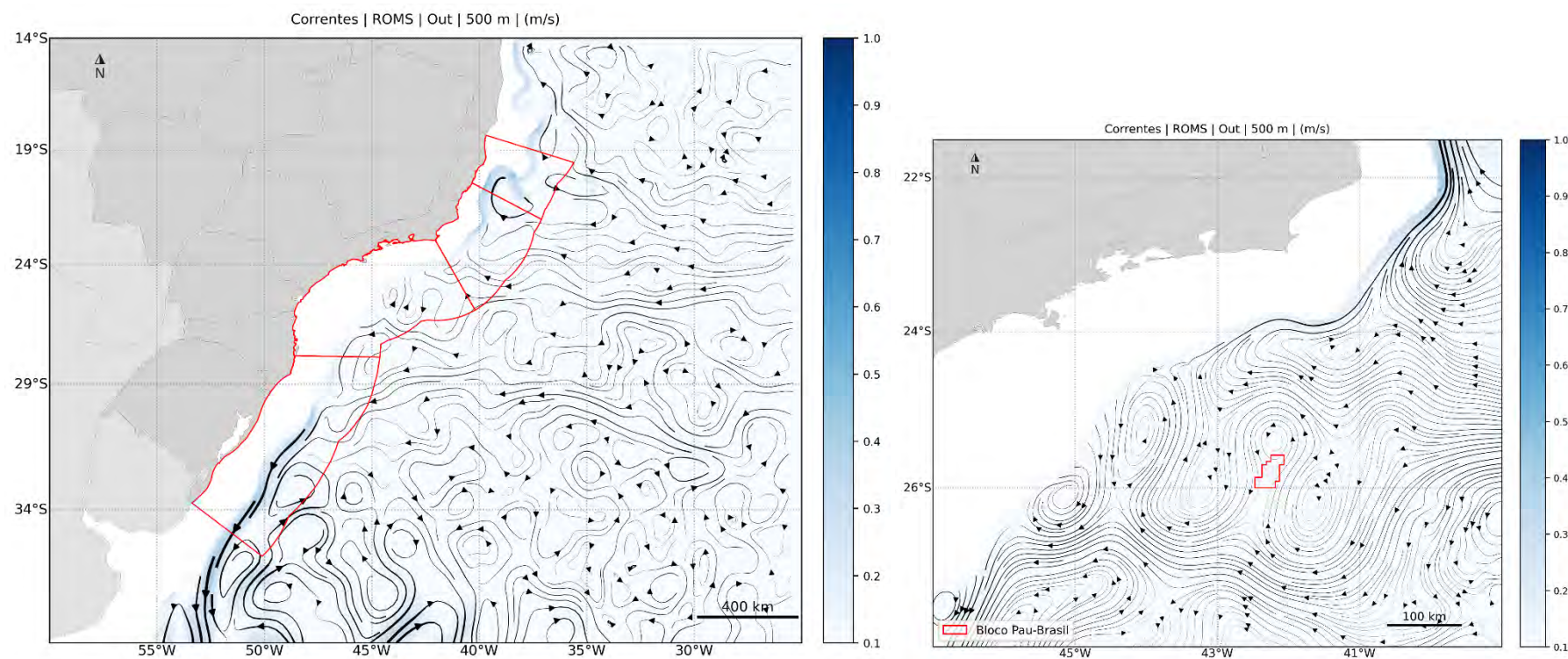


Figura 59: Campo médio de circulação em 500 m de profundidade para o mês de outubro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

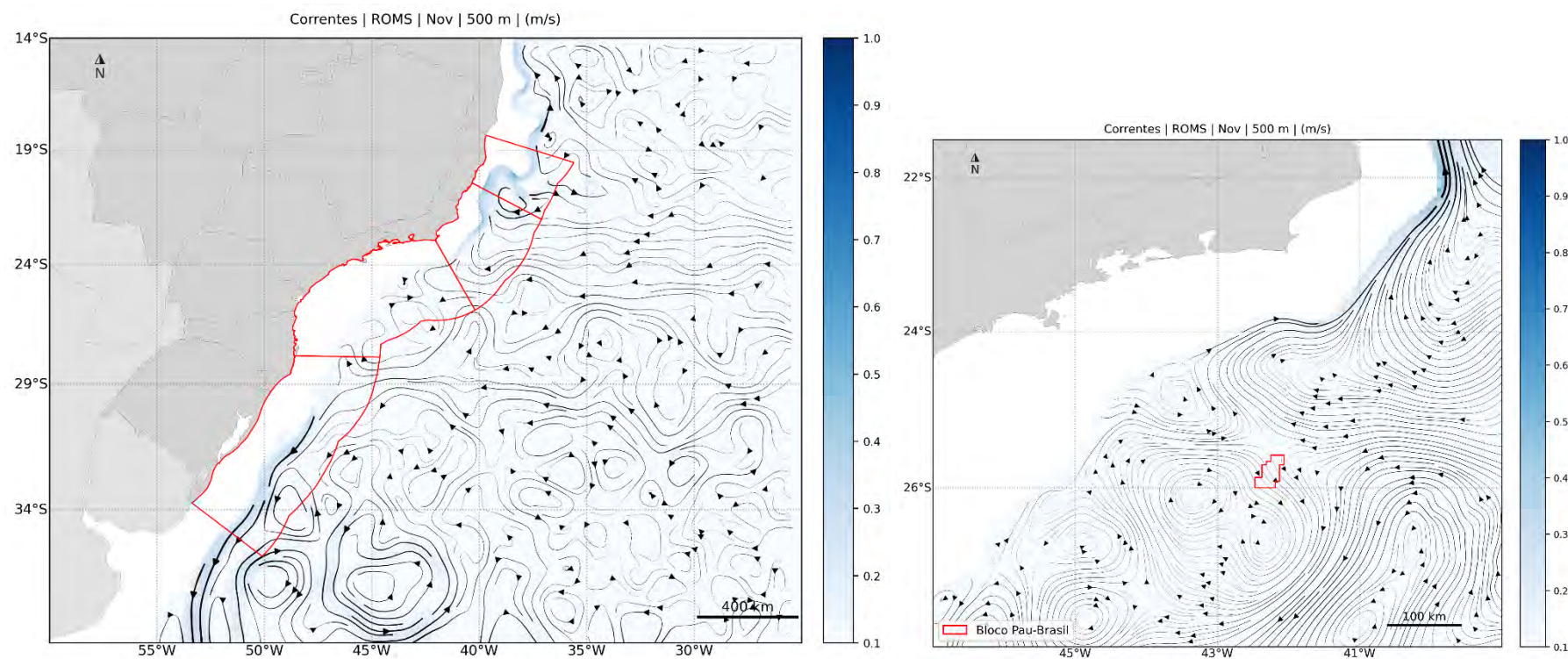


Figura 60: Campo médio de circulação em 500 m de profundidade para o mês de novembro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

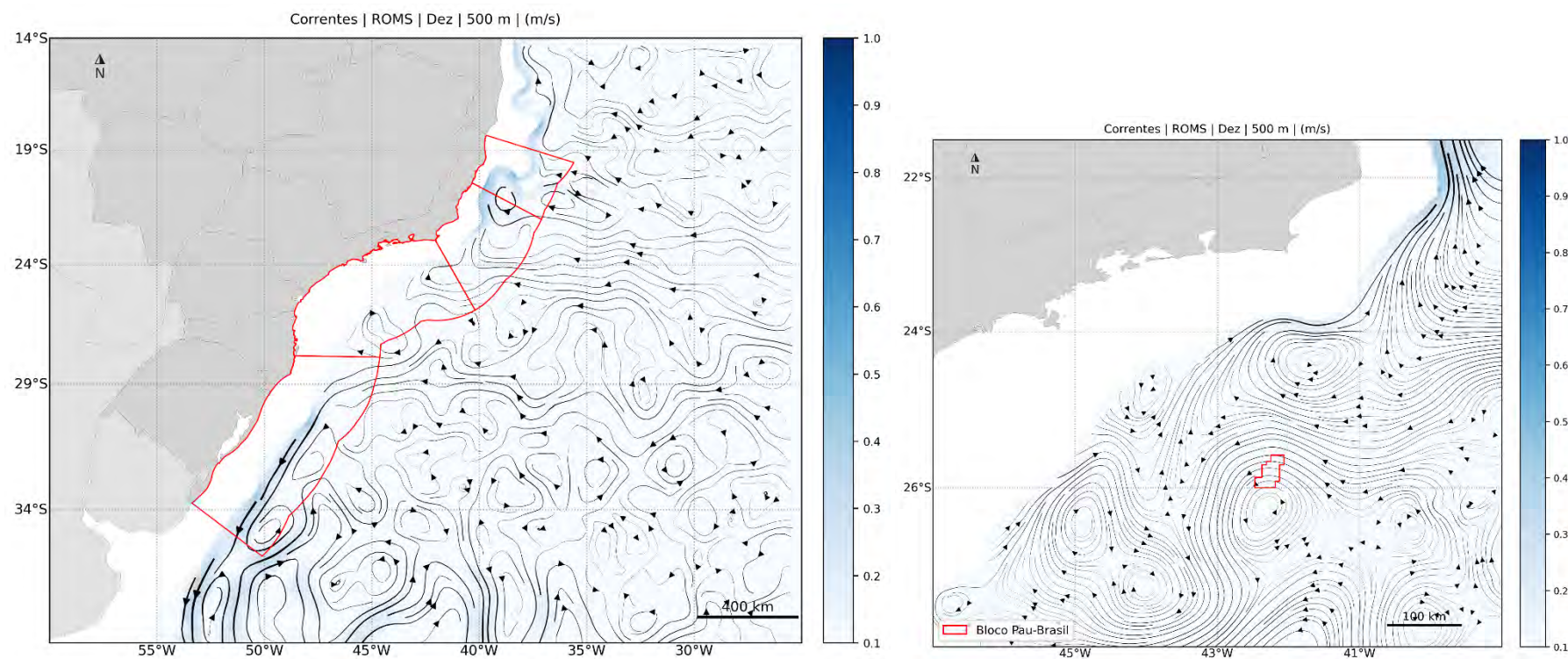


Figura 61: Campo médio de circulação em 500 m de profundidade para o mês de dezembro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

8.1.4 1.000 m de profundidade

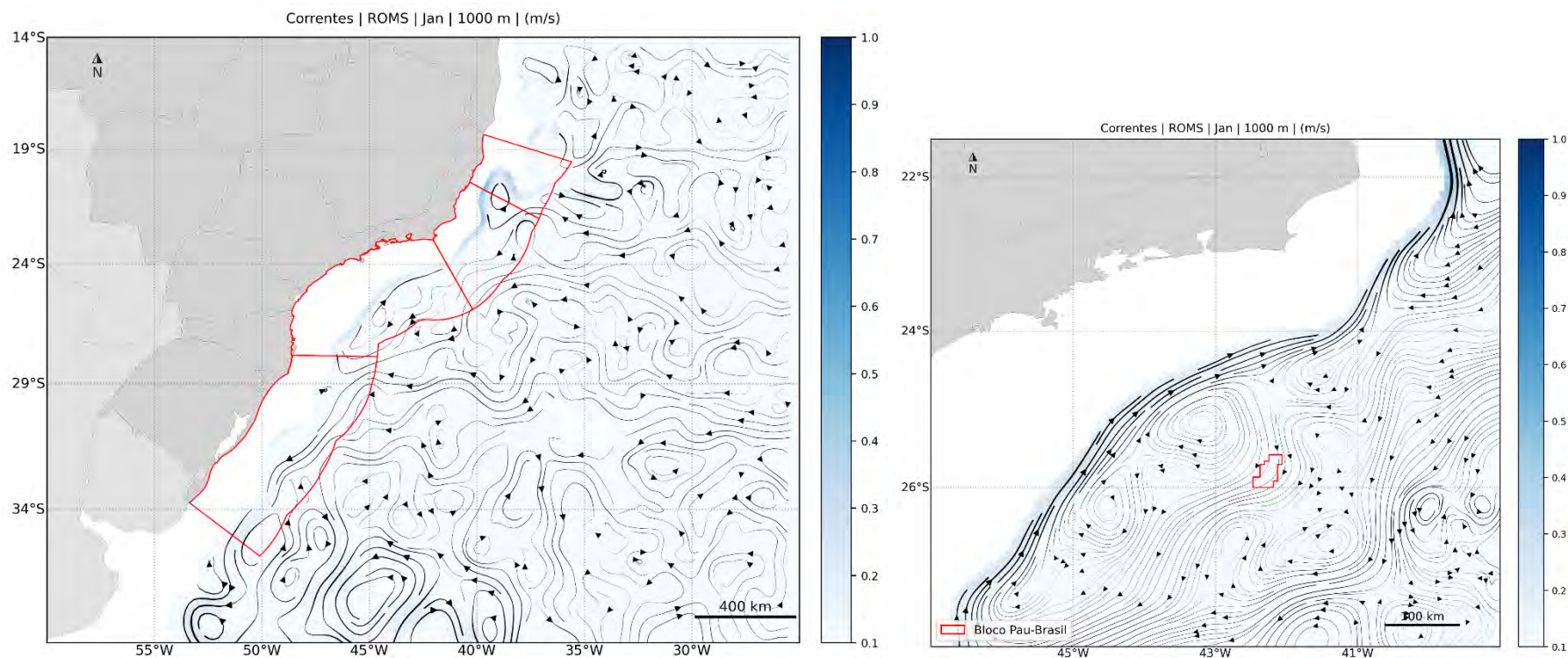


Figura 62: Campo médio de circulação em 1.000 m de profundidade para o mês de janeiro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

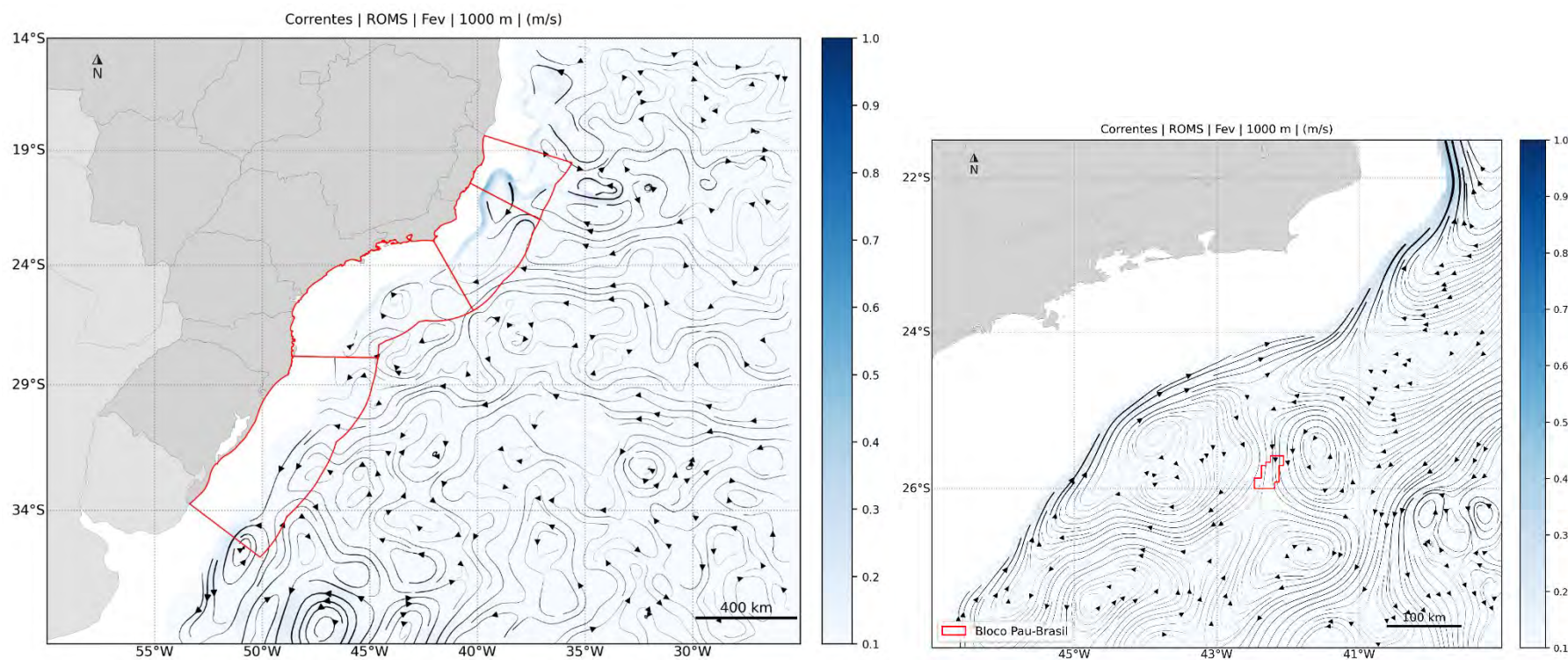


Figura 63: Campo médio de circulação em 1.000 m de profundidade para o mês de fevereiro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

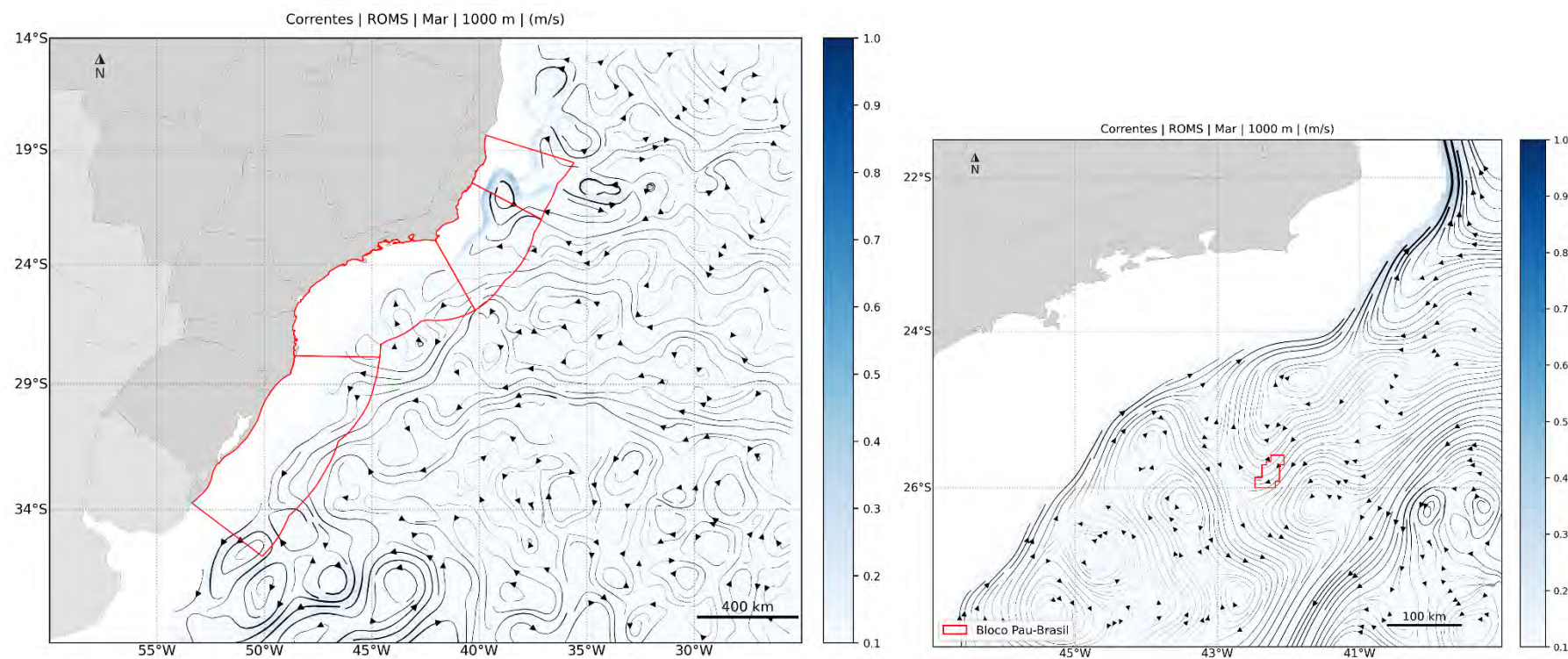


Figura 64: Campo médio de circulação em 1.000 m de profundidade para o mês de março. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

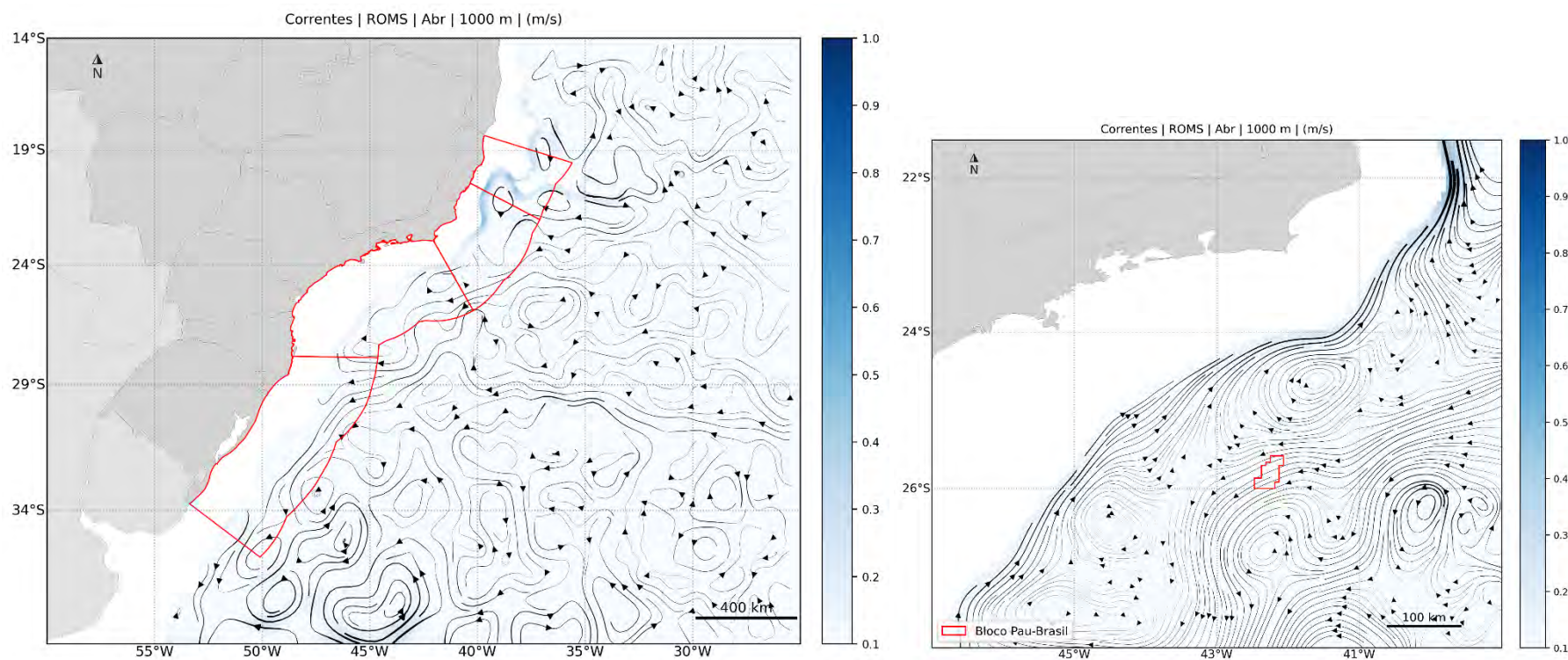


Figura 65: Campo médio de circulação em 1.000 m de profundidade para o mês de abril. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

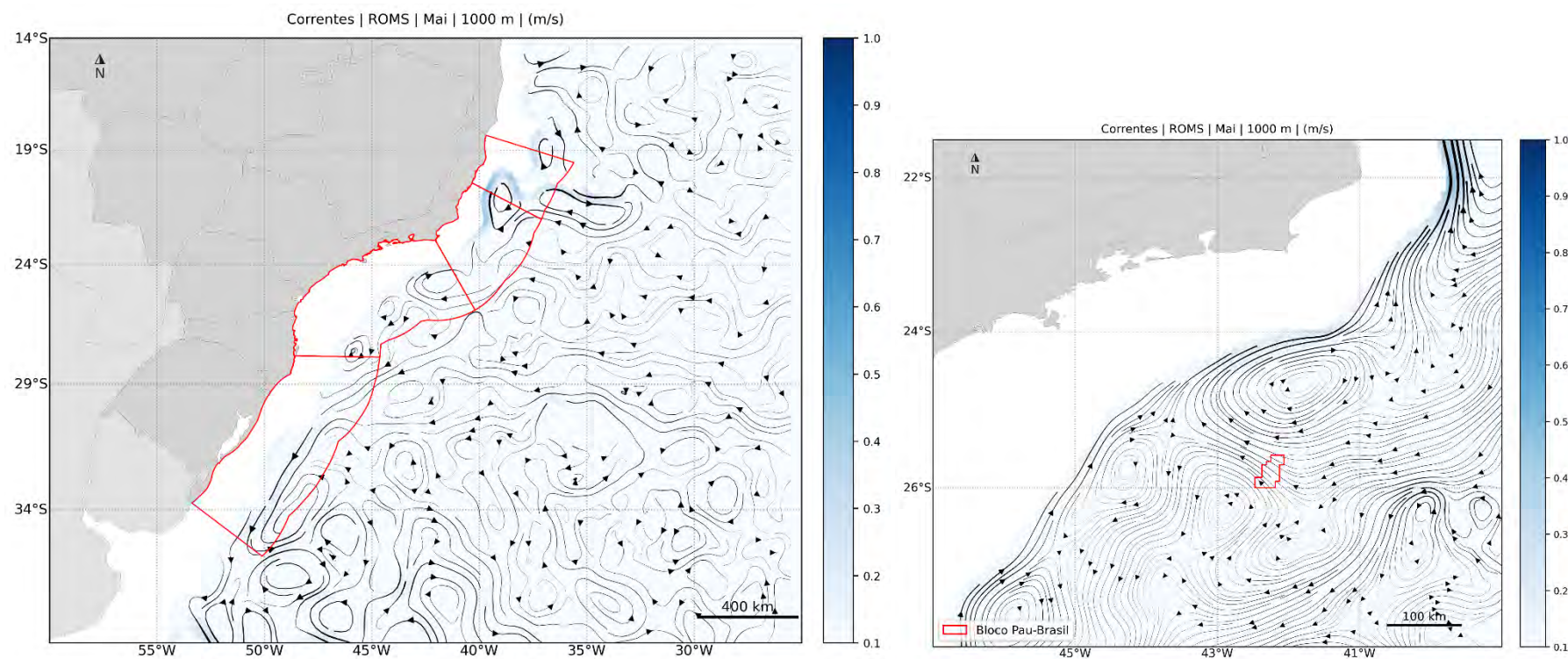


Figura 66: Campo médio de circulação em 1.000 m de profundidade para o mês de maio. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

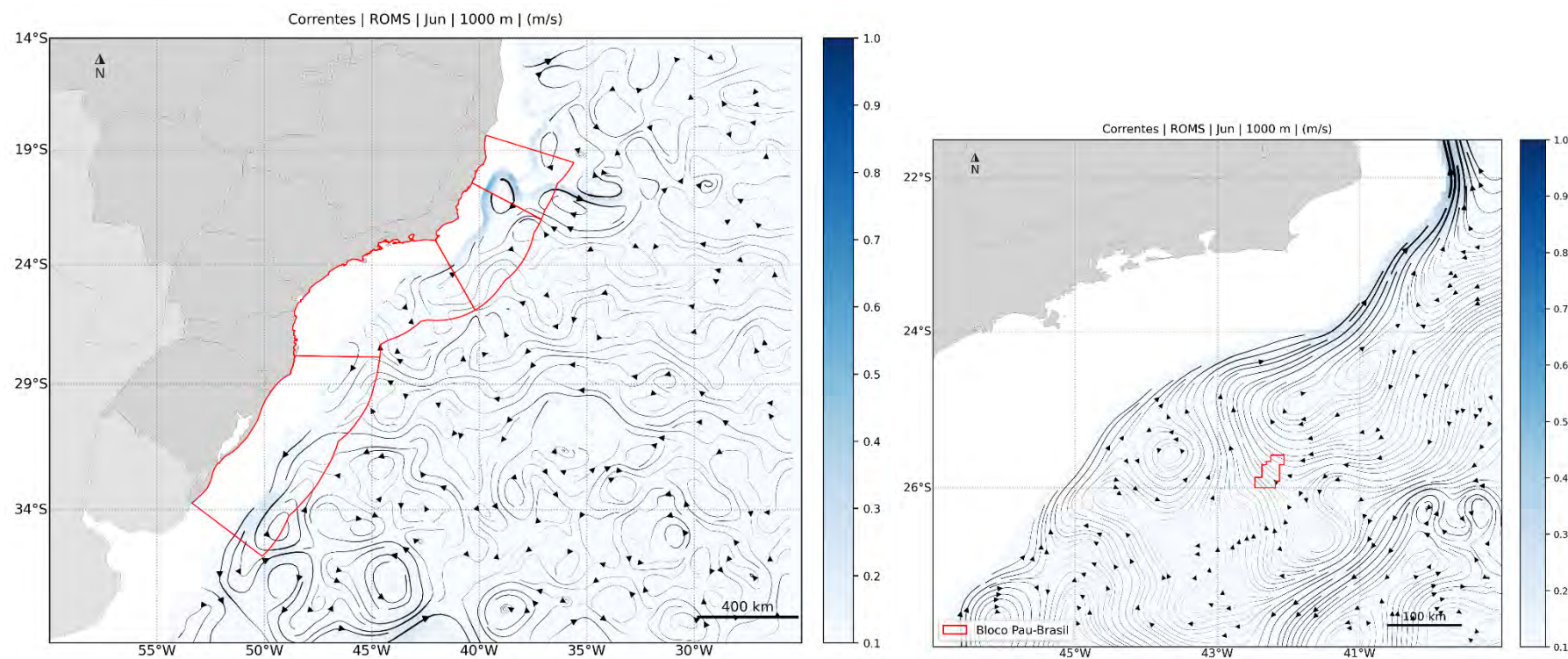


Figura 67: Campo médio de circulação em 1.000 m de profundidade para o mês de junho. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

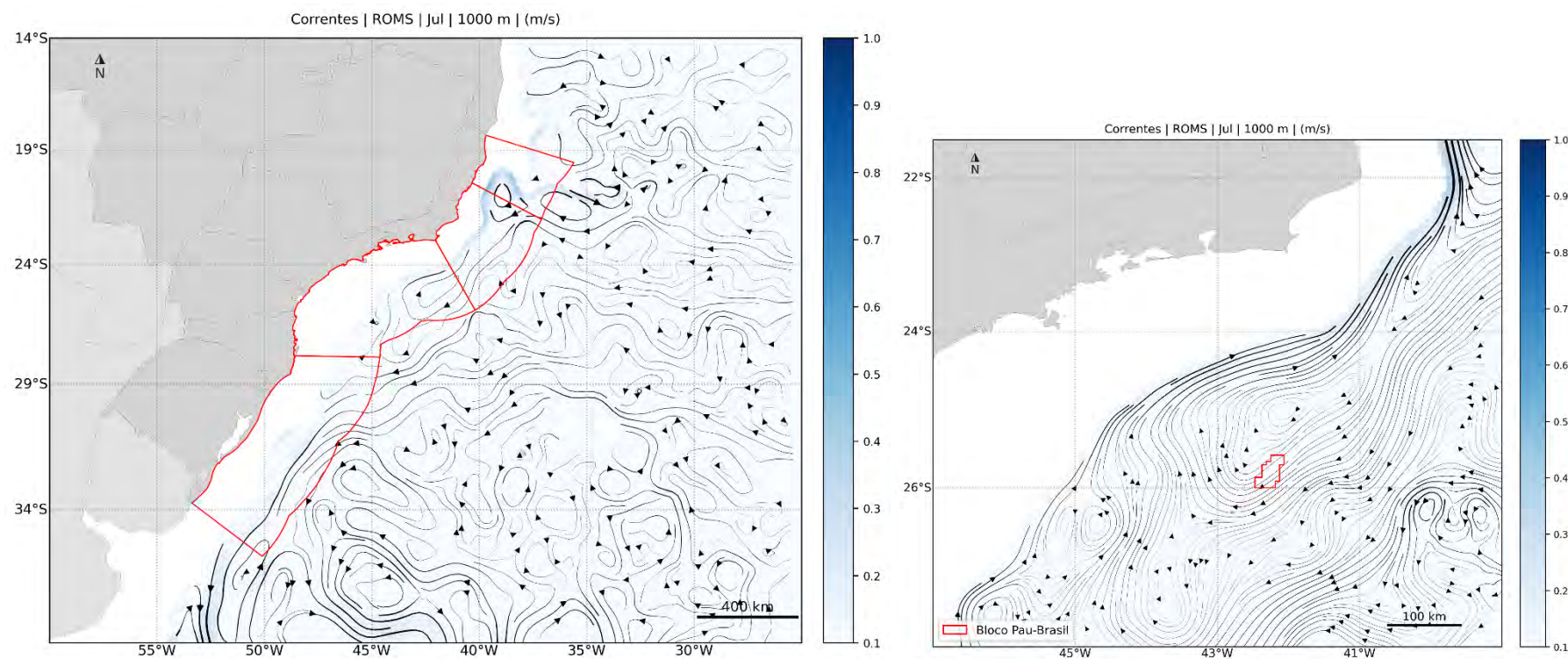


Figura 68: Campo médio de circulação em 1.000 m de profundidade para o mês de julho. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

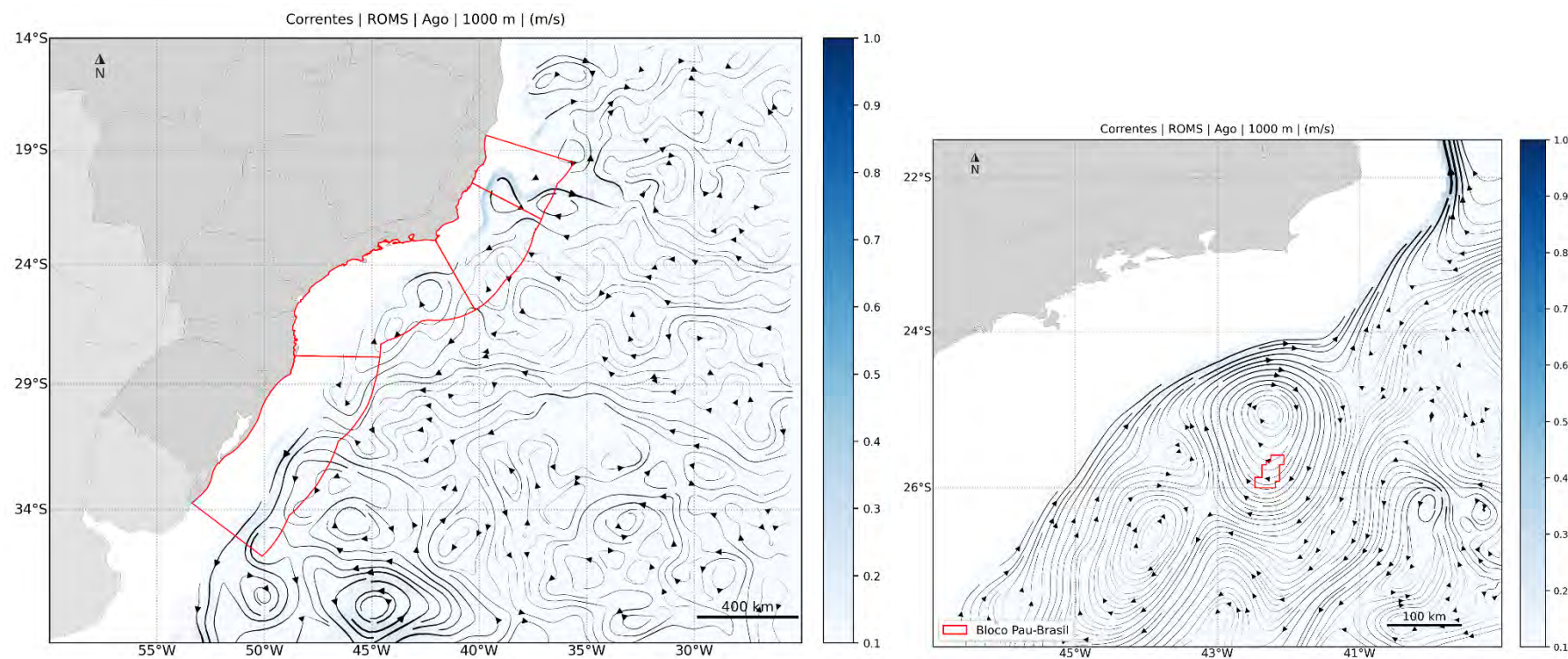


Figura 69: Campo médio de circulação em 1.000 m de profundidade para o mês de agosto. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

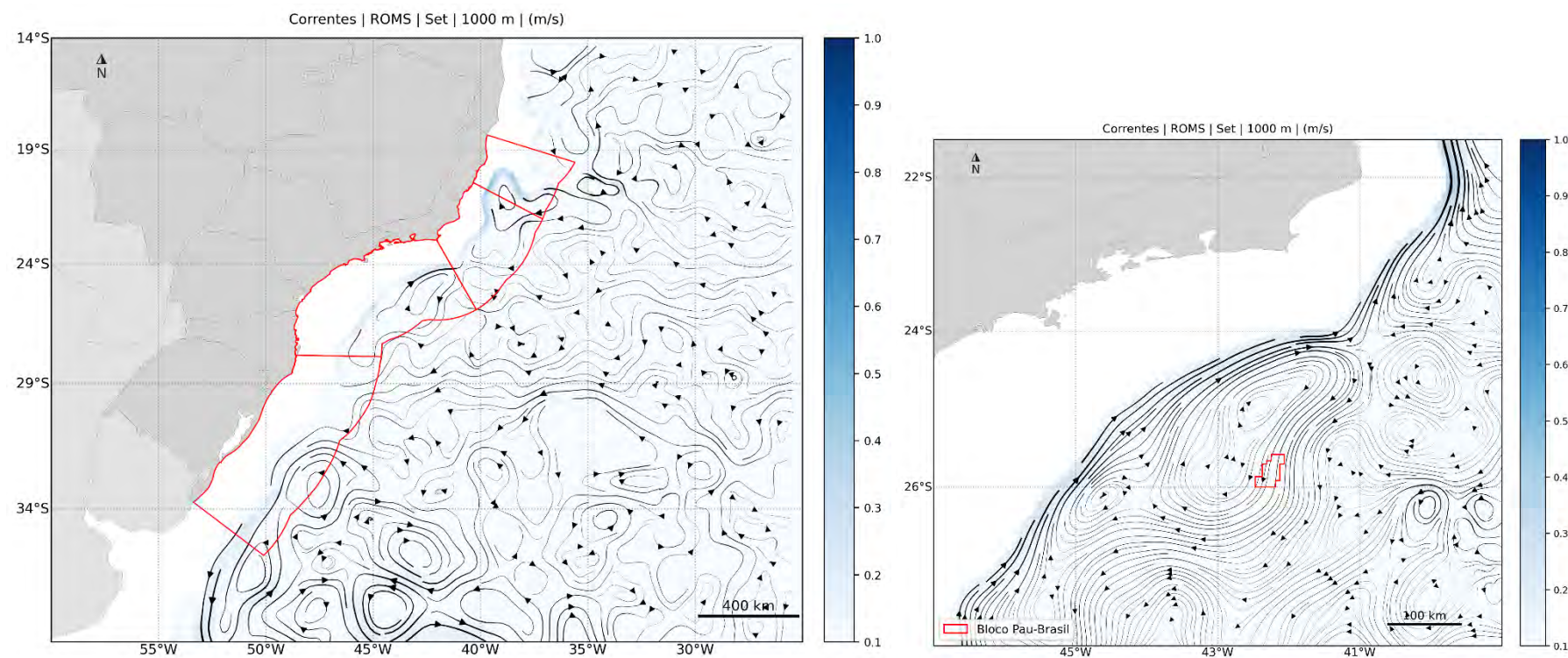


Figura 70: Campo médio de circulação em 1.000 m de profundidade para o mês de setembro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

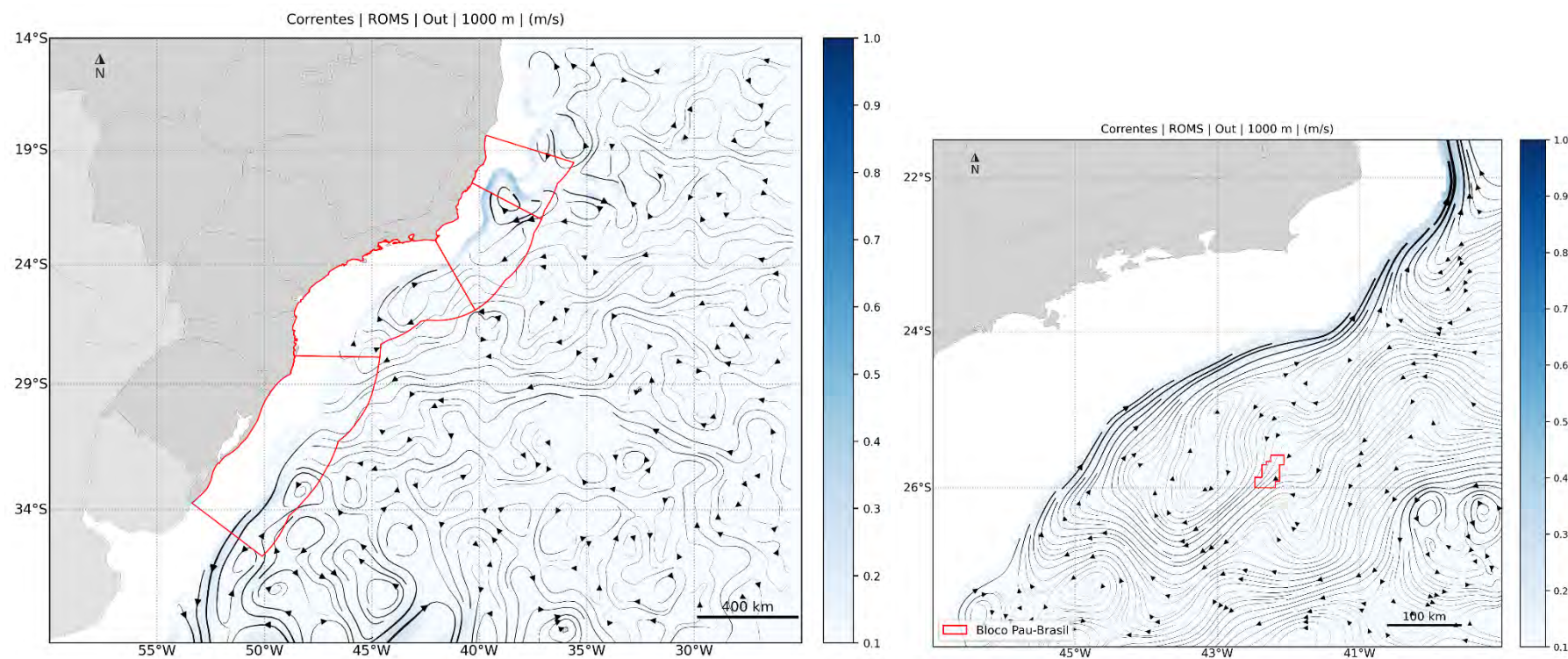


Figura 71: Campo médio de circulação em 1.000 m de profundidade para o mês de outubro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

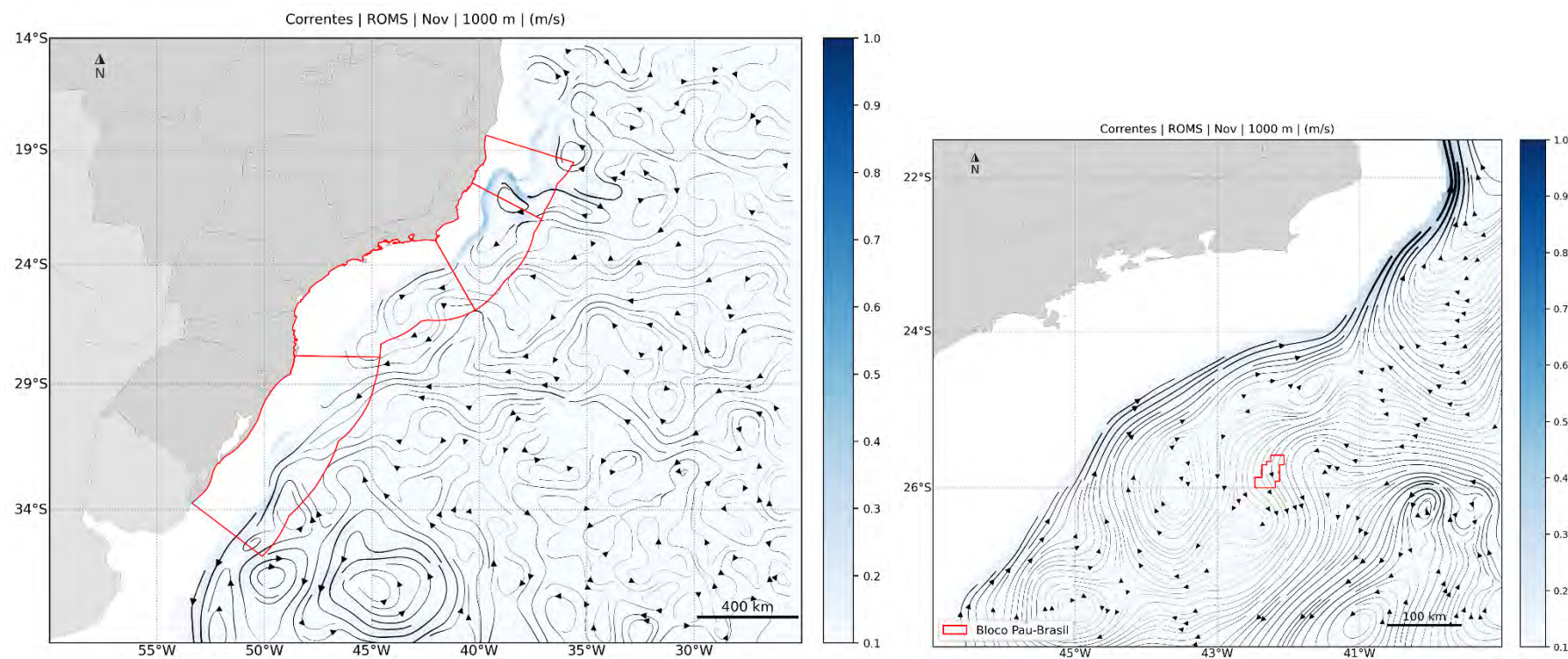


Figura 72: Campo médio de circulação em 1.000 m de profundidade para o mês de novembro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

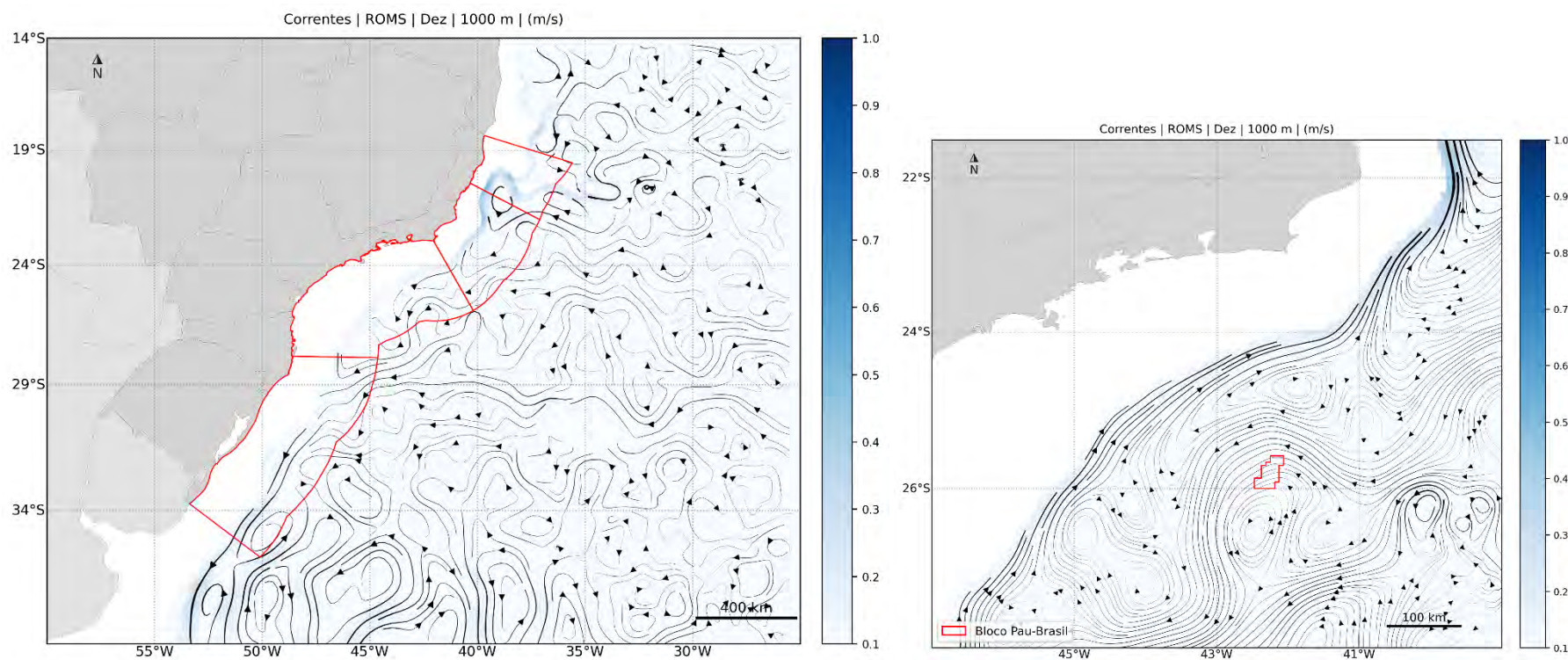


Figura 73: Campo médio de circulação em 1.000 m de profundidade para o mês de dezembro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

8.1.5 2.000 m de profundidade

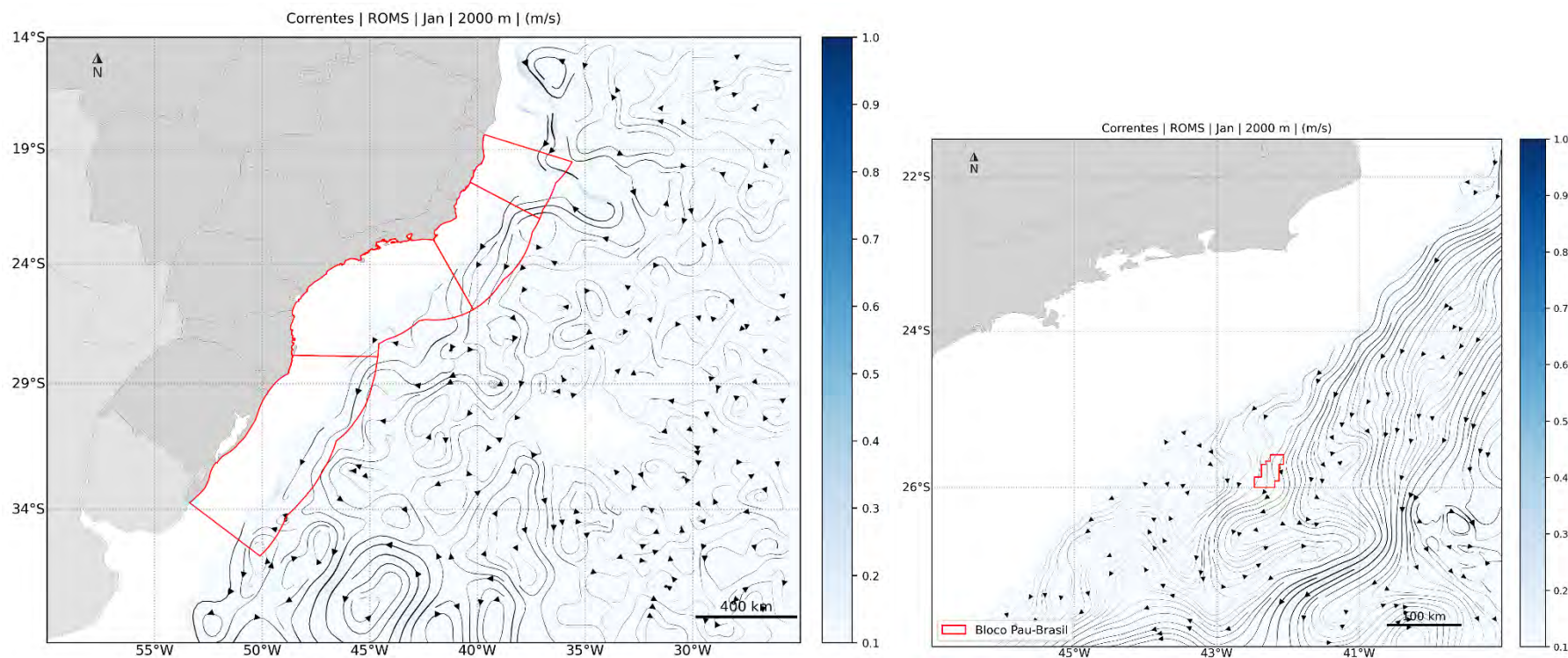


Figura 74: Campo médio de circulação em 2.000 m de profundidade para o mês de janeiro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

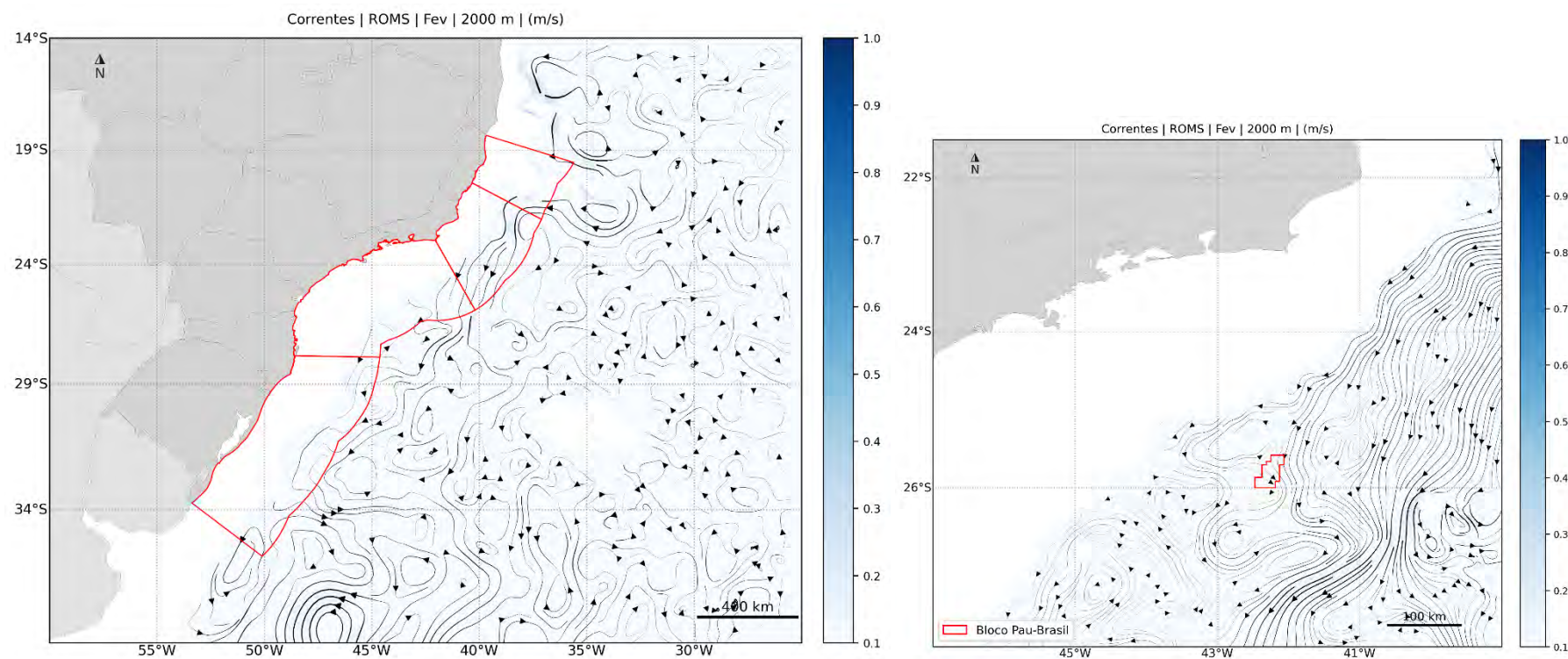


Figura 75: Campo médio de circulação em 2.000 m de profundidade para o mês de fevereiro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

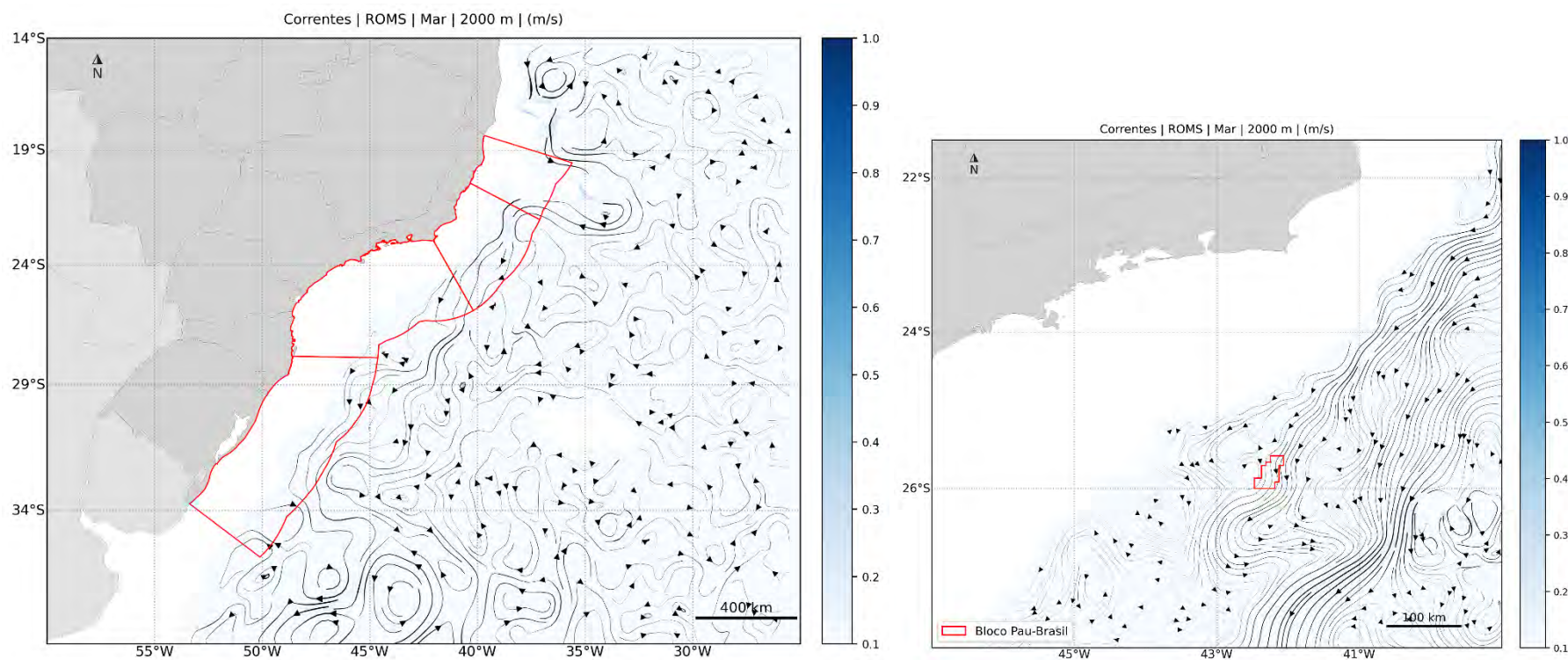


Figura 76: Campo médio de circulação em 2.000 m de profundidade para o mês de março. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

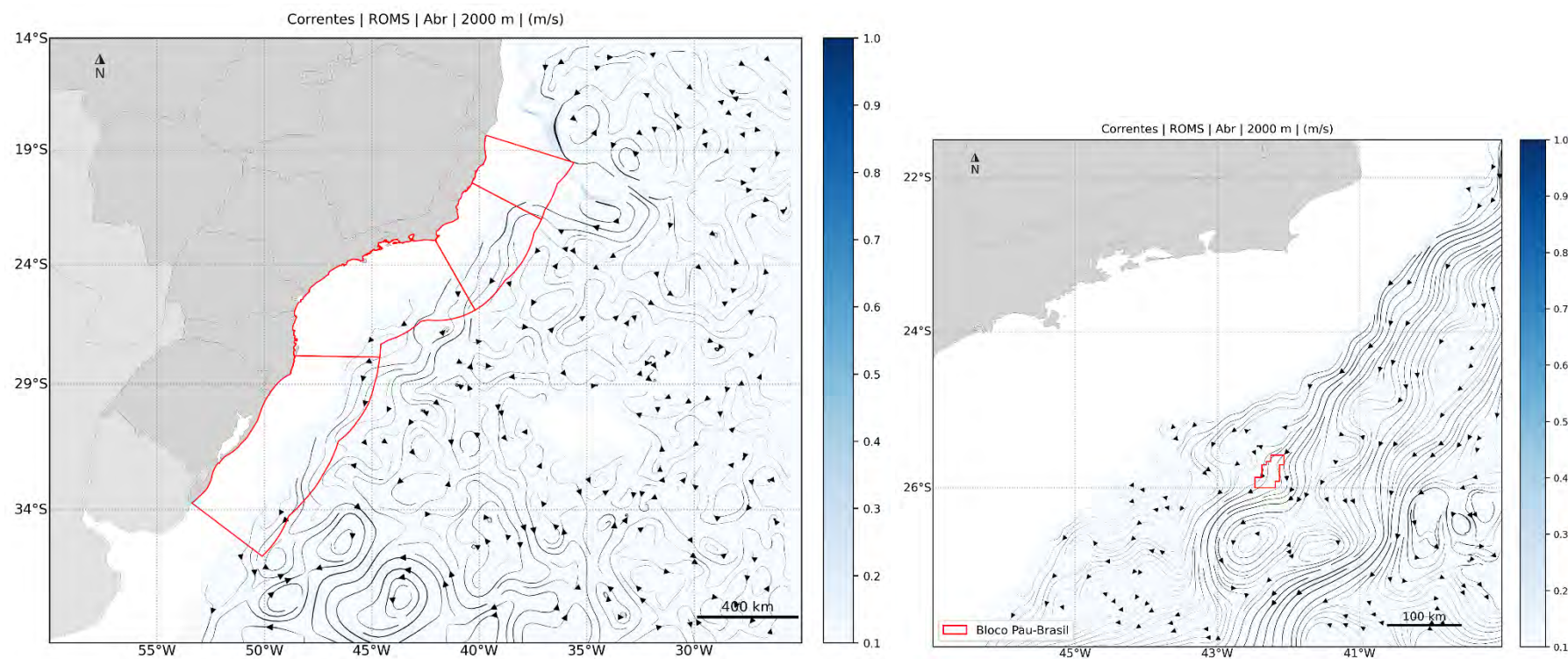


Figura 77: Campo médio de circulação em 2.000 m de profundidade para o mês de abril. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

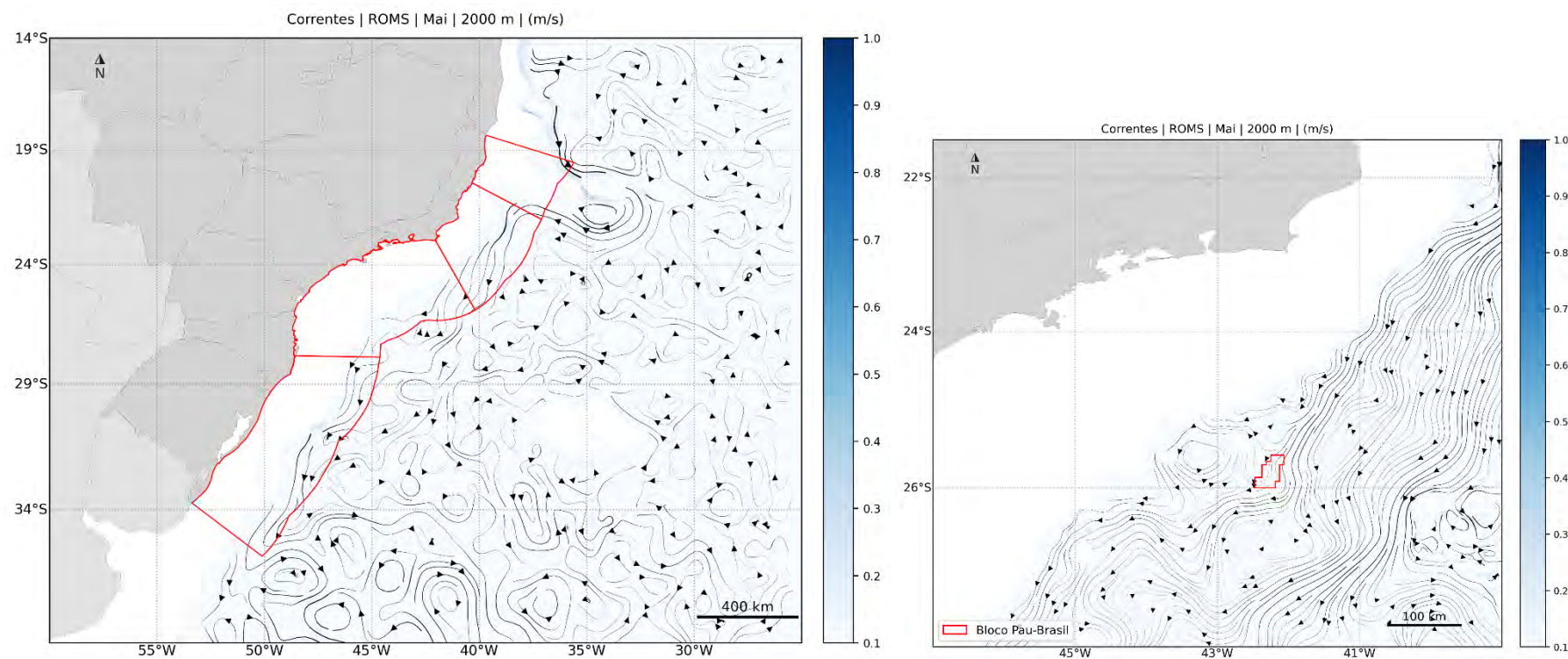


Figura 78: Campo médio de circulação em 2.000 m de profundidade para o mês de maio. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

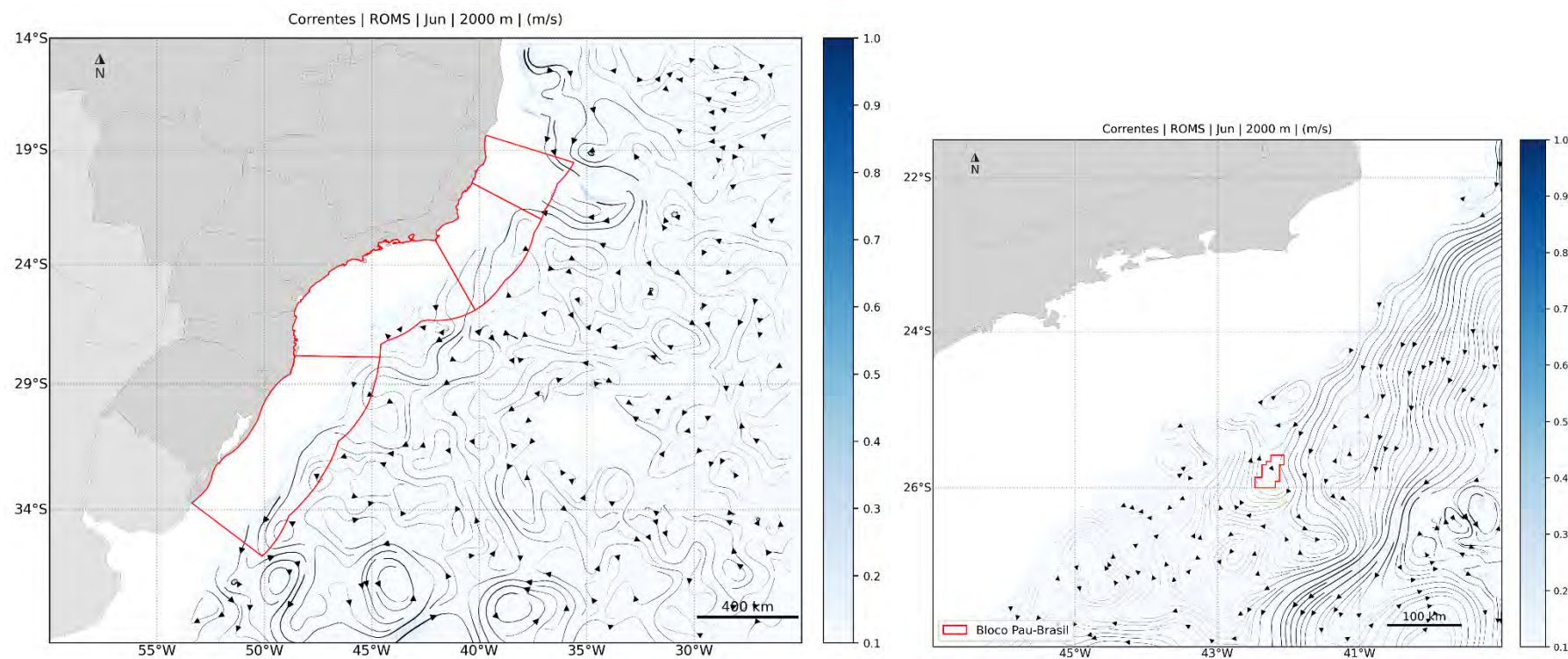


Figura 79: Campo médio de circulação em 2.000 m de profundidade para o mês de junho. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

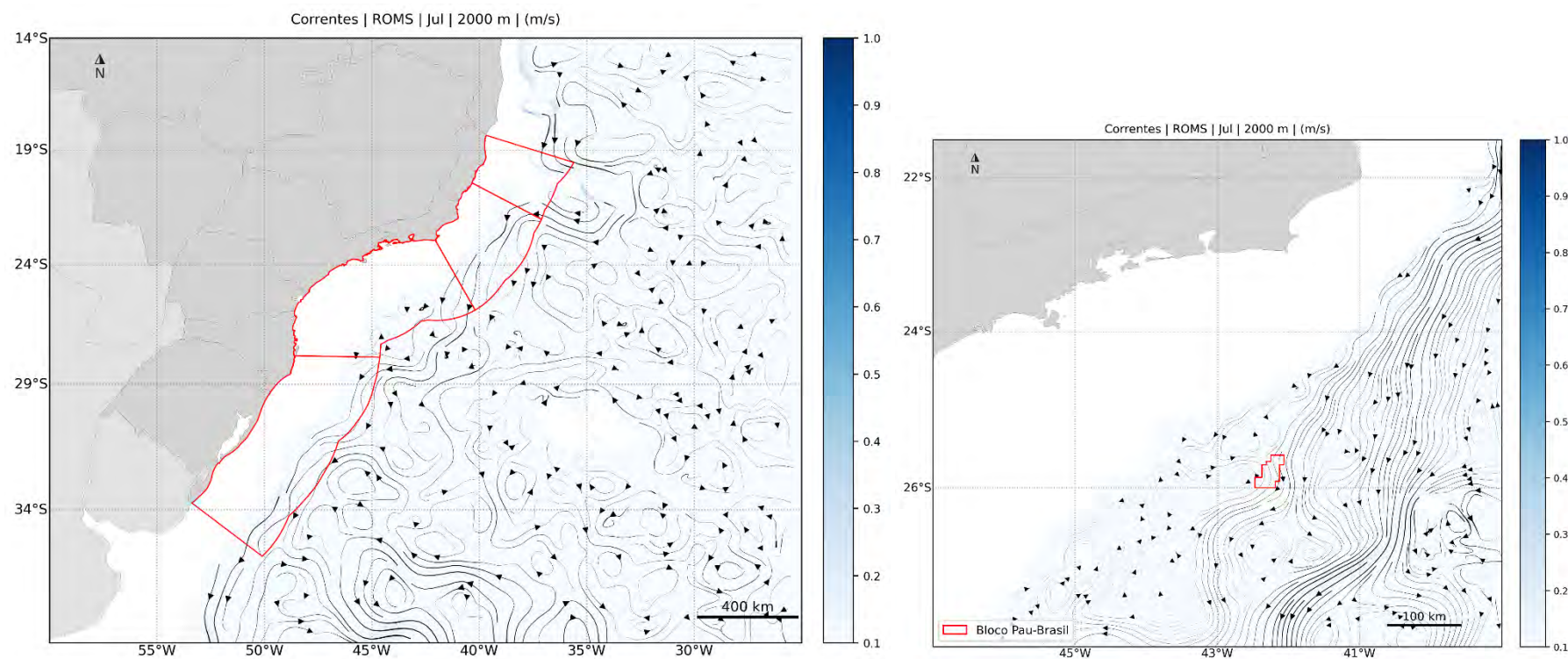


Figura 80: Campo médio de circulação em 2.000 m de profundidade para o mês de julho. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

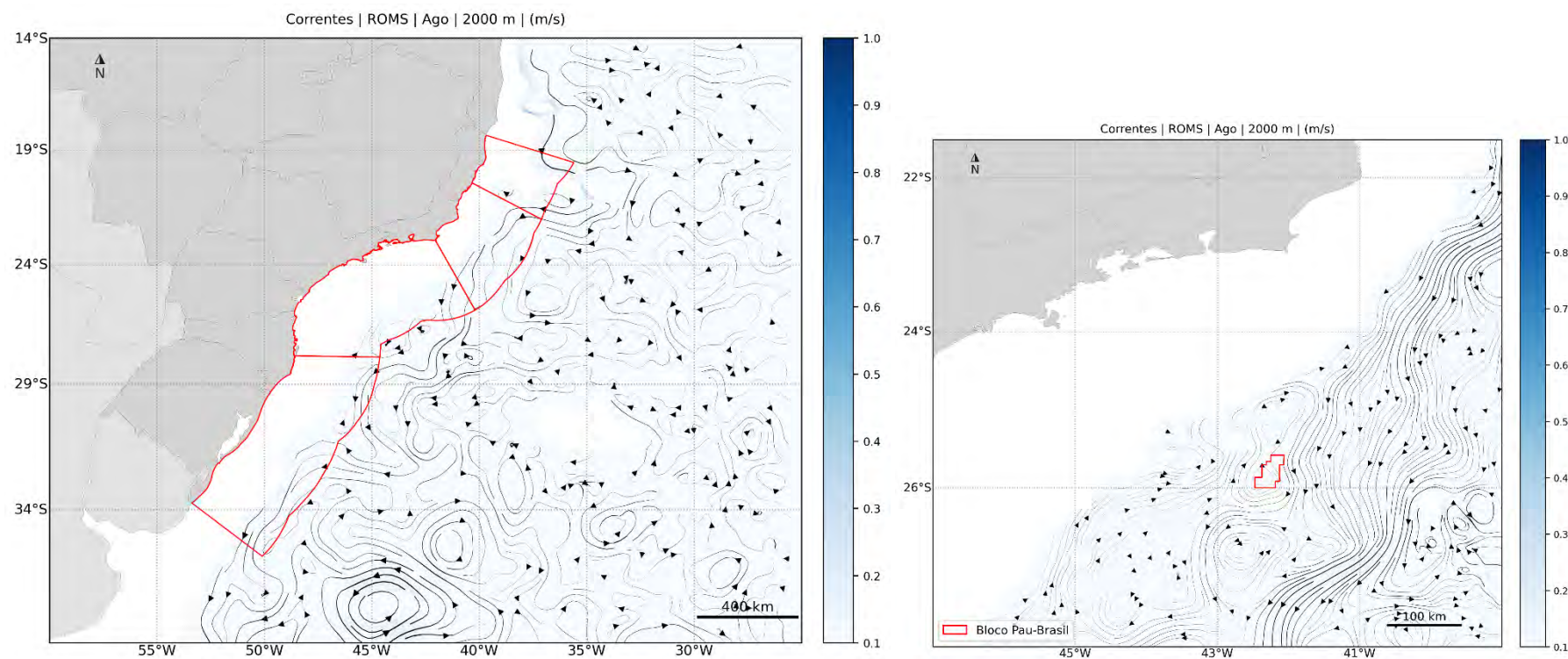


Figura 81: Campo médio de circulação em 2.000 m de profundidade para o mês de agosto. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

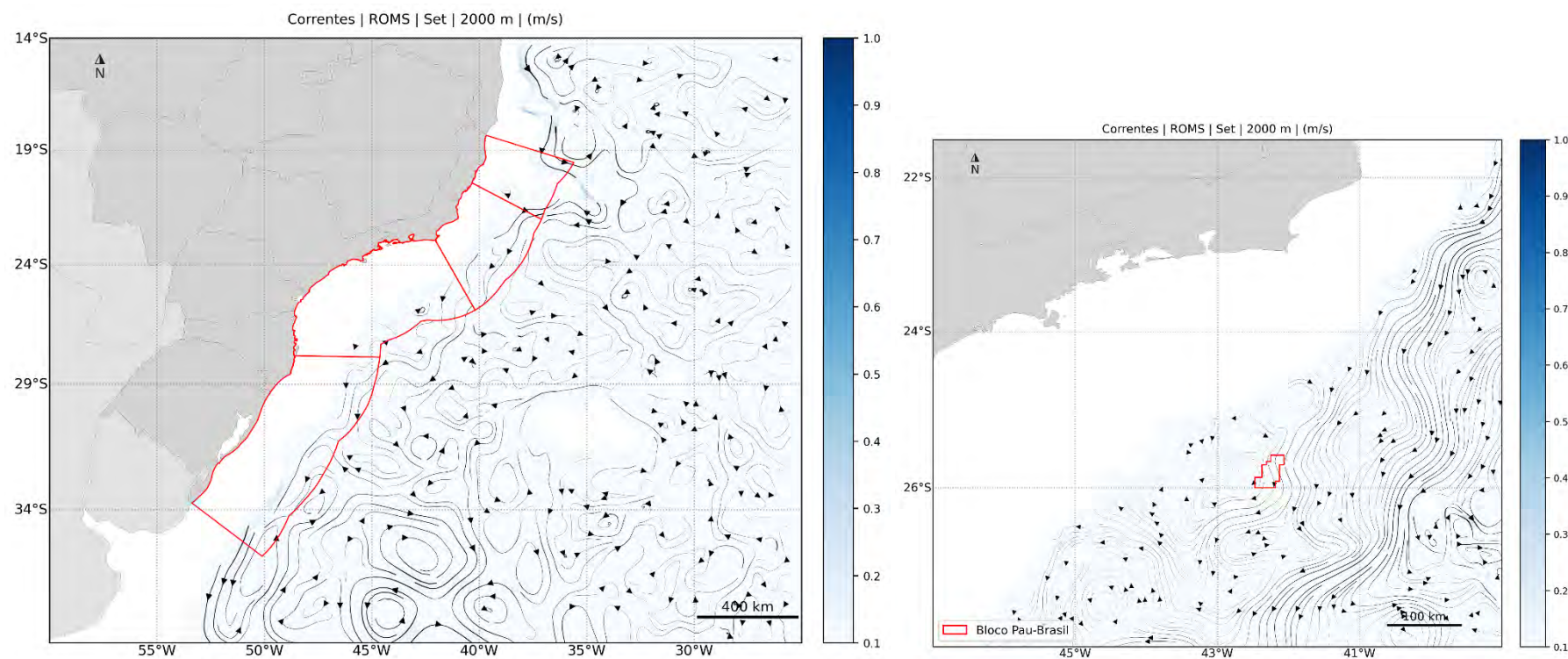


Figura 82: Campo médio de circulação em 2.000 m de profundidade para o mês de setembro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

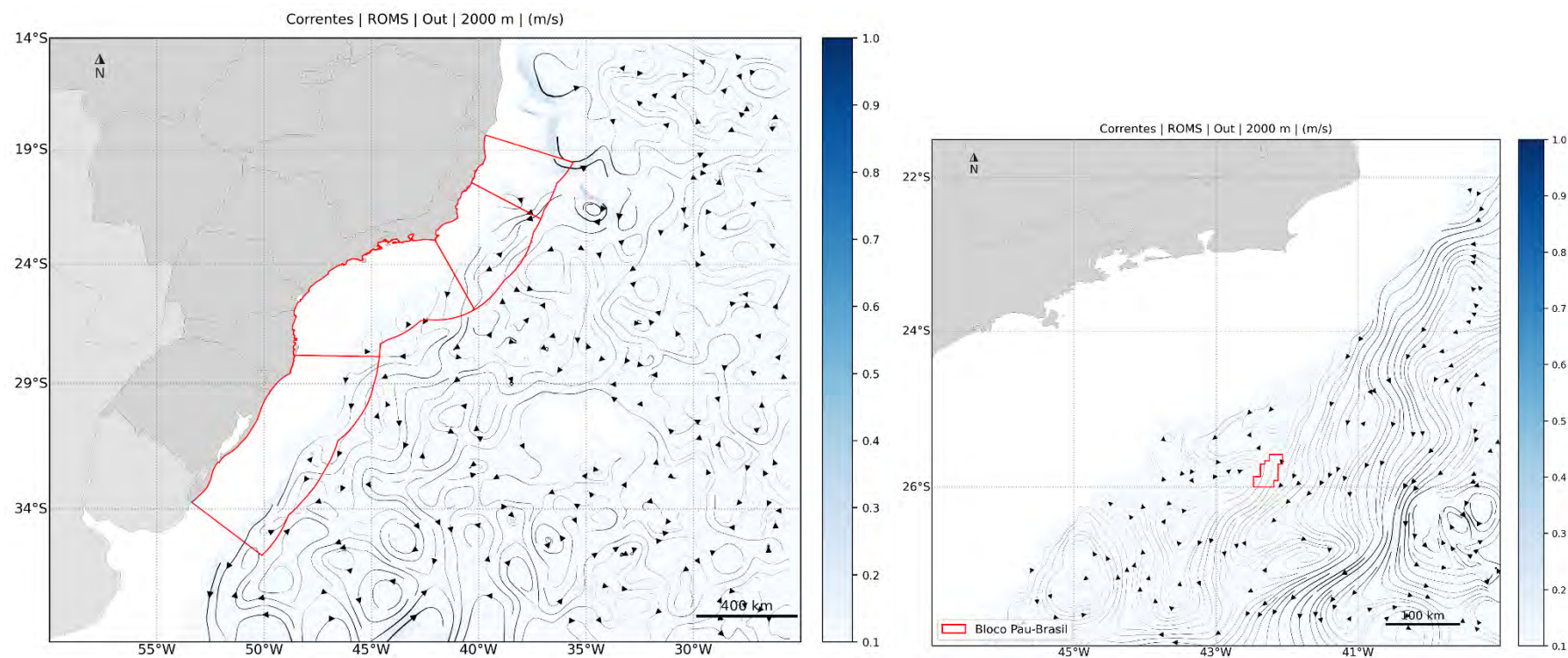


Figura 83: Campo médio de circulação em 2.000 m de profundidade para o mês de outubro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

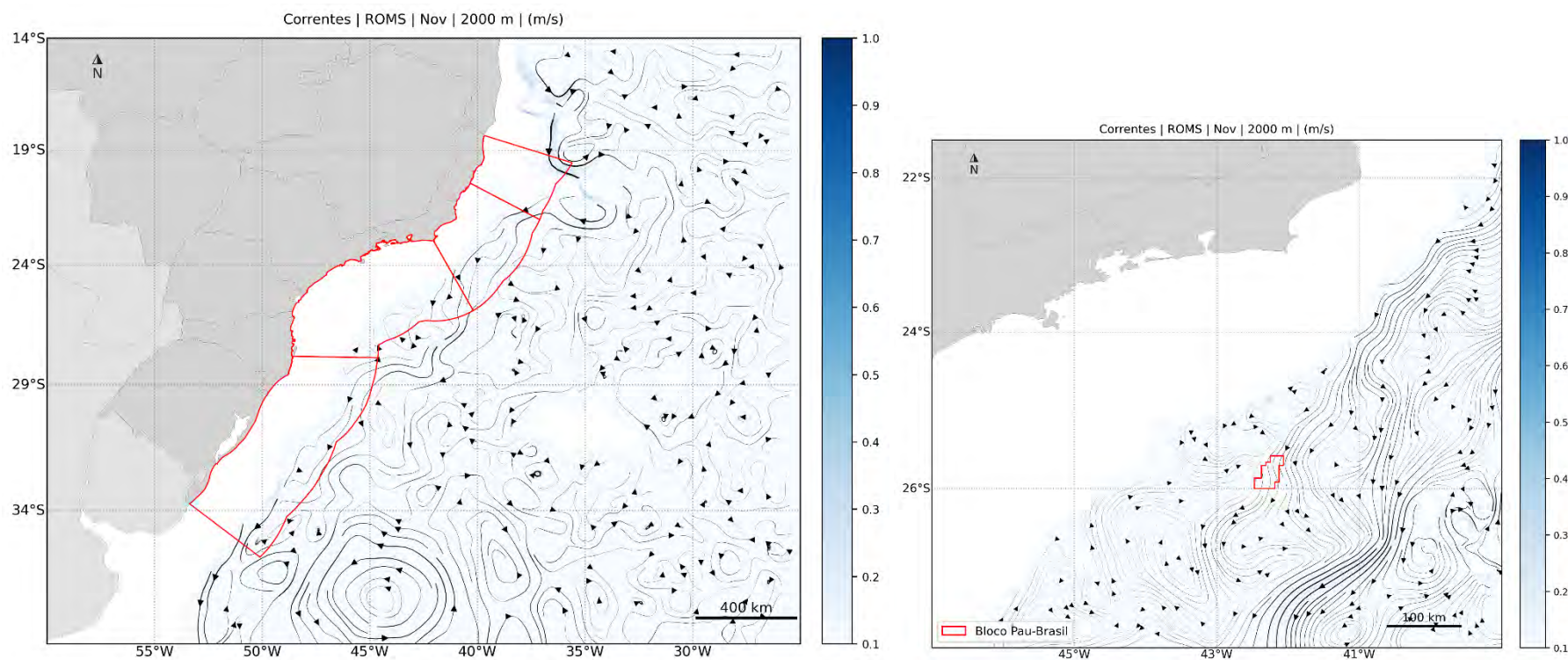


Figura 84: Campo médio de circulação em 2.000 m de profundidade para o mês de novembro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

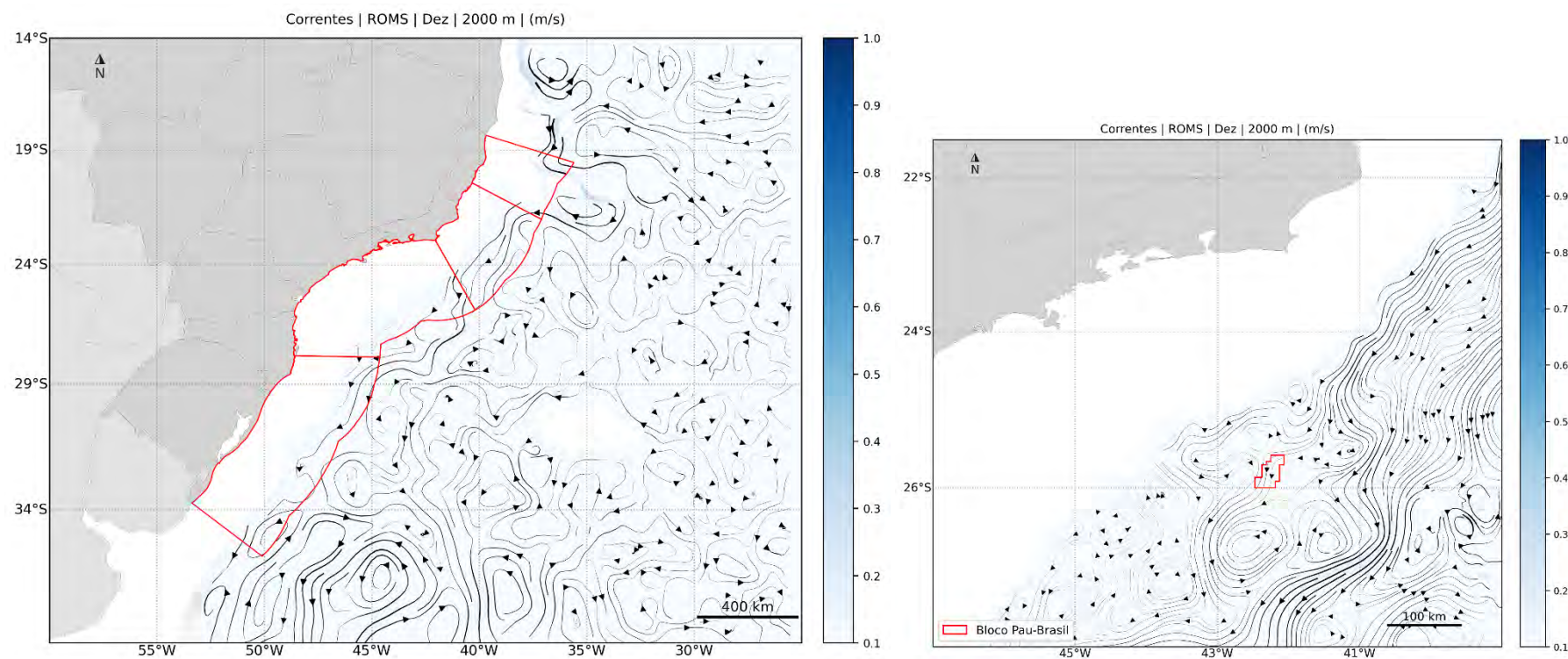


Figura 85: Campo médio de circulação em 2.000 m de profundidade para o mês de dezembro. À esquerda, domínio da modelagem com as bacias em vermelho e, à direita, com foco na área de estudo.

[Handwritten signature]

8.2. Seções verticais

Em complementação aos campos mensais superficiais, a seguir, são apresentadas seções verticais mensais para duas radiais no domínio de modelagem (Figura 86), a primeira entre a Figura 87 e a Figura 89, localizada na Bacia de Campos (fixada em latitude de 22°S e estendendo de longitude de 41°W a 37°W) e a segunda entre a Figura 90 e a Figura 92 na Bacia de Santos (fixada em longitude de 42,5°W e estendendo de 23°S a 25°S).

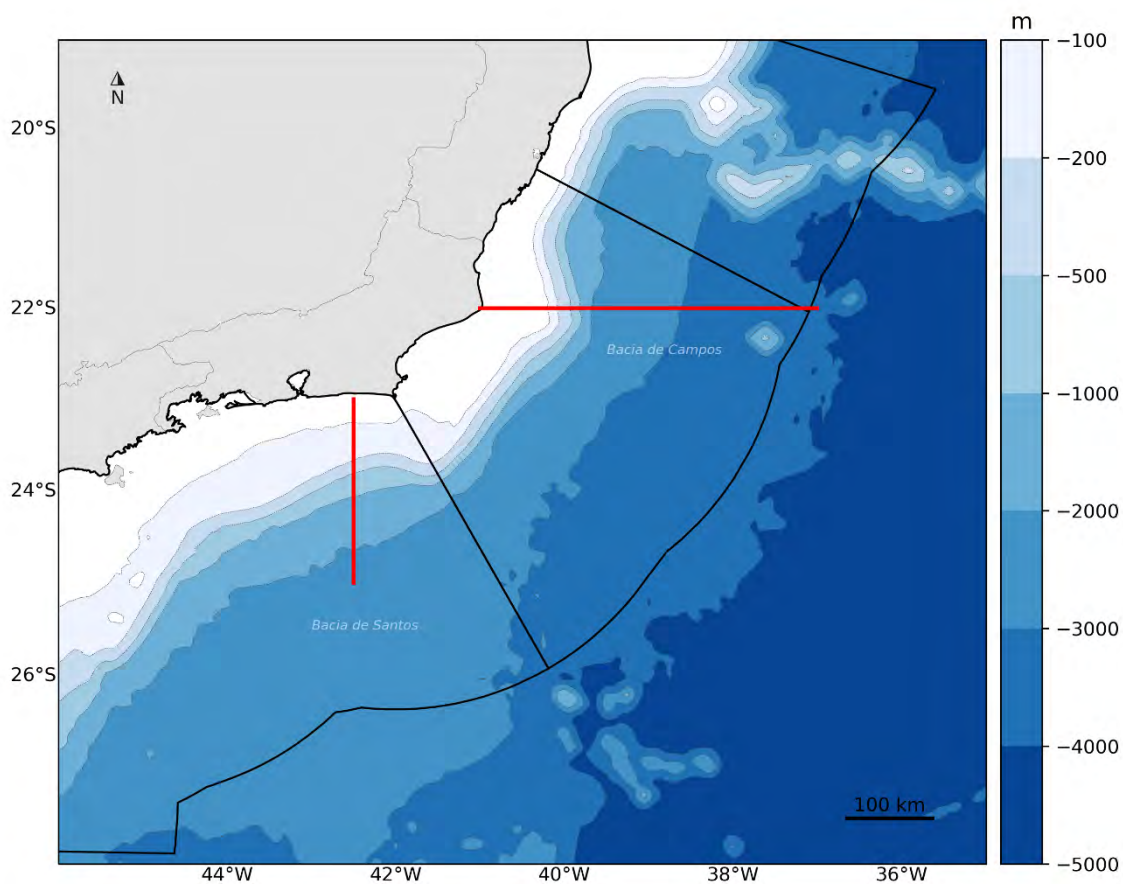
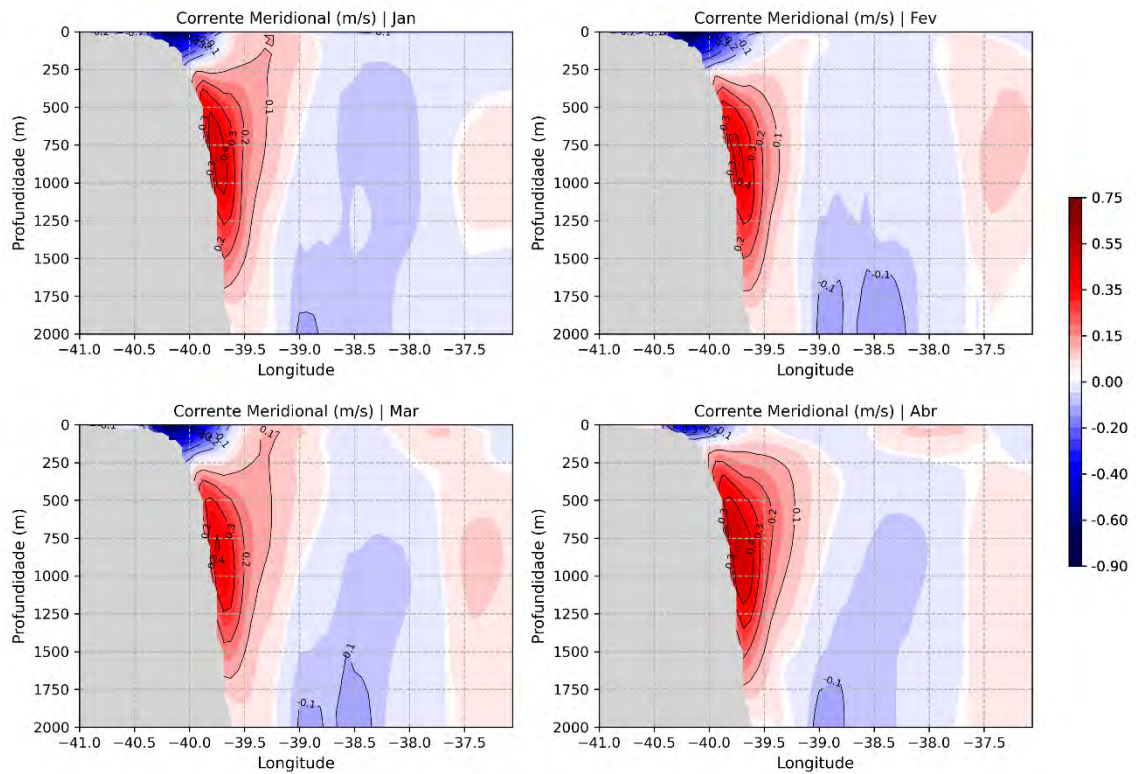


Figura 86: Localização das radiais analisadas.



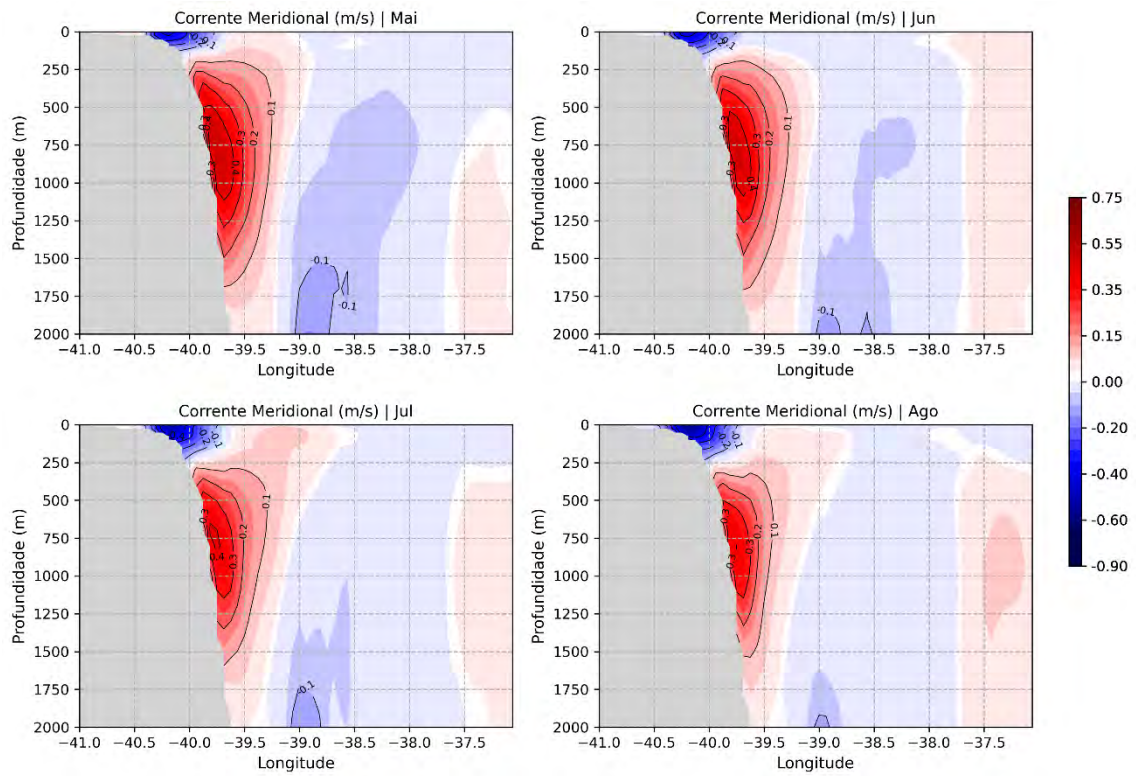


Figura 88: Seção vertical com velocidade meridional média para radial na Bacia de Campos para os meses de maio a agosto. Valores positivos (negativos) representam correntes com sentido norte (sul).

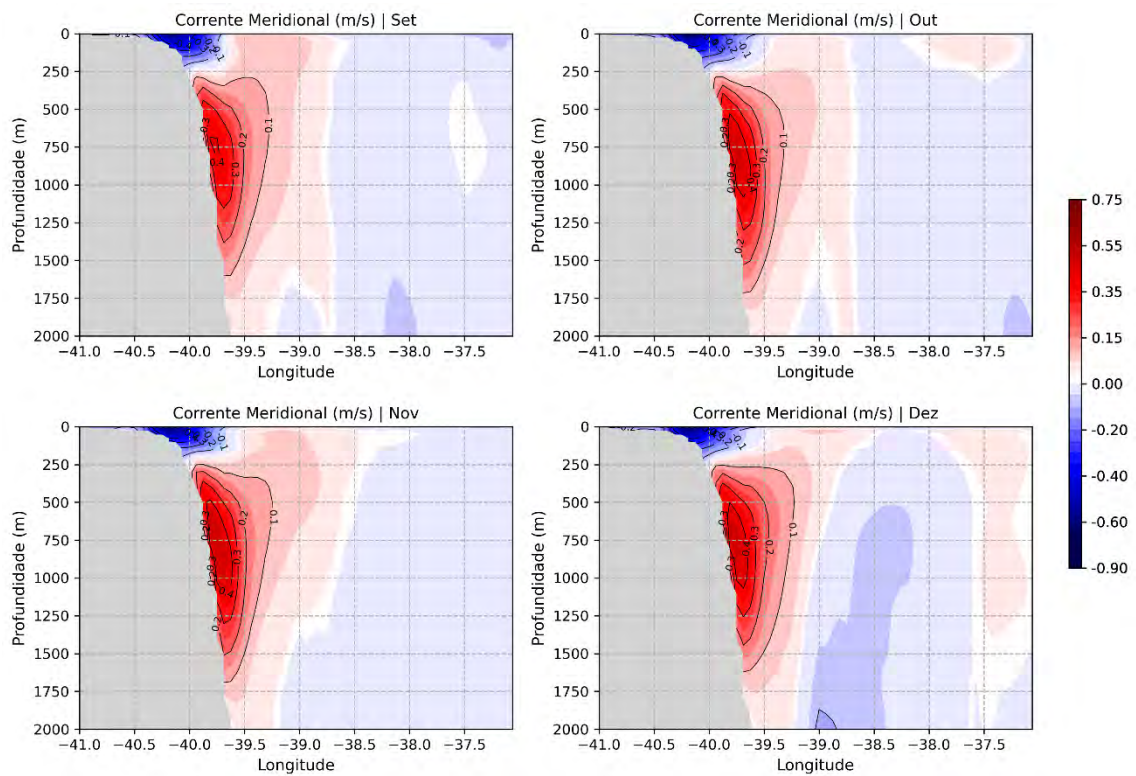


Figura 89: Seção vertical com velocidade meridional média para radial na Bacia de Campos para os meses de setembro a dezembro. Valores positivos (negativos) representam correntes com sentido norte (sul).

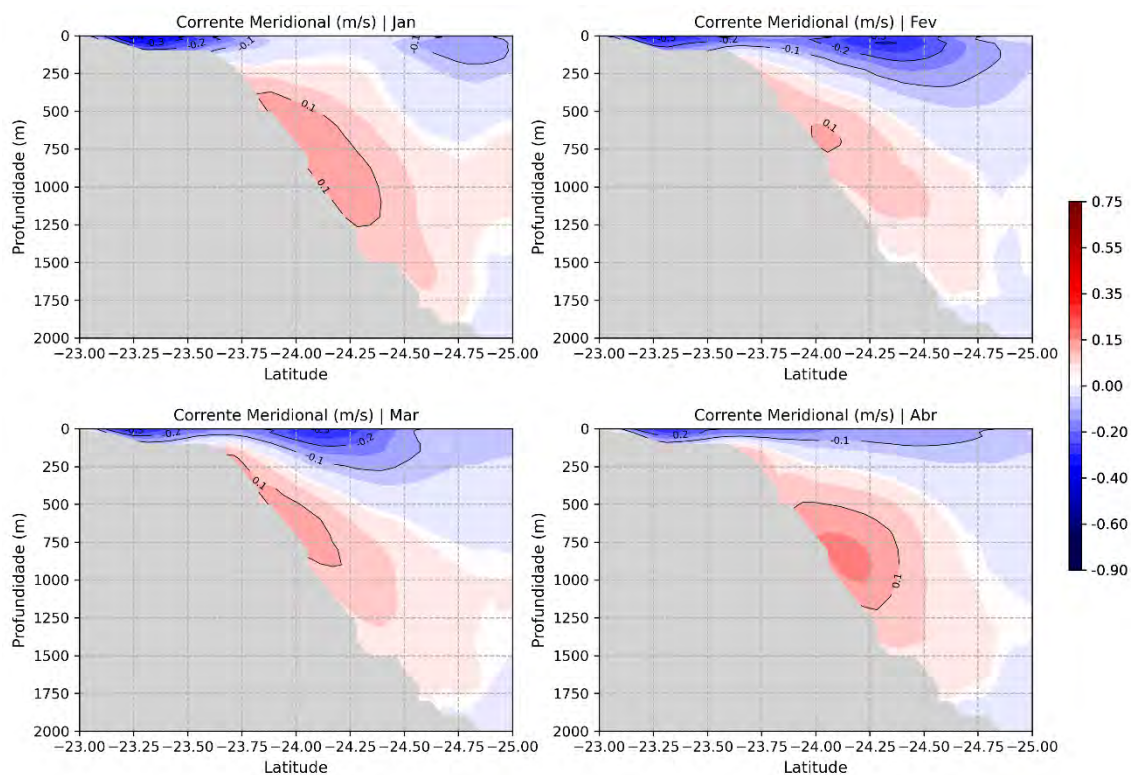


Figura 90: Seção vertical com velocidade zonal média para radial na Bacia de Santos para os meses de janeiro a abril. Valores positivos (negativos) representam correntes com sentido leste (oeste).

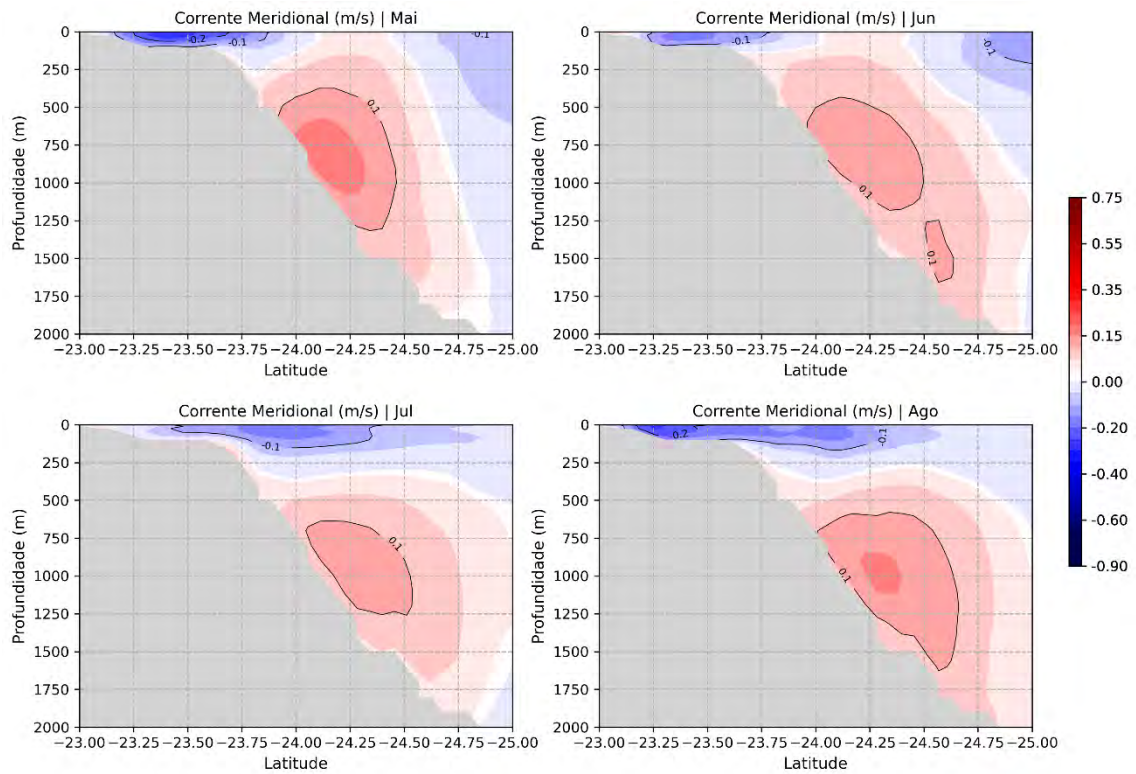


Figura 91: Seção vertical com velocidade zonal média para radial na Bacia de Santos para os meses de maio a agosto. Valores positivos (negativos) representam correntes com sentido leste (oeste).

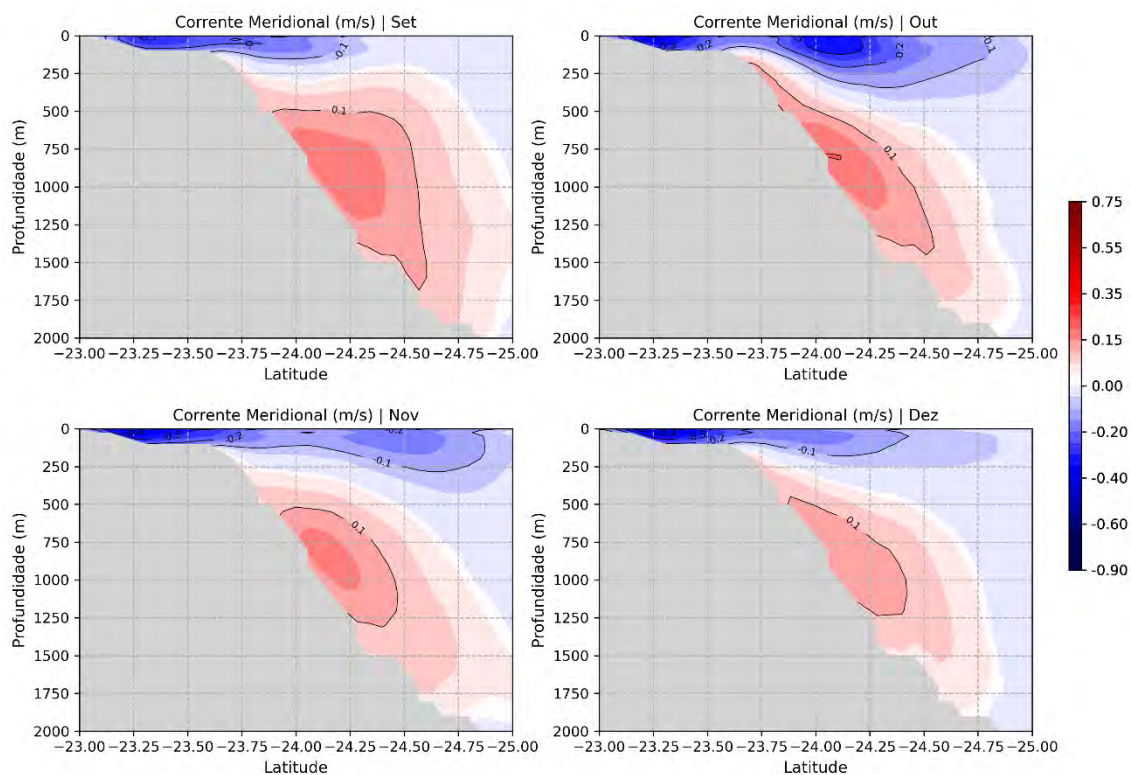


Figura 92: Seção vertical com velocidade zonal média para radial na Bacia de Santos para os meses de setembro a dezembro. Valores positivos (negativos) representam correntes com sentido leste (oeste).

8.3. Rosas mensais de corrente

Ainda em adição aos resultados obtidos, a seguir são apresentadas as rosas de correntes mensais (Figura 94 a Figura 106) e tabelas (Tabela 3 a Tabela 5) de direção e intensidade em diferentes profundidades para três pontos do domínio de modelagem: Ponto 1 (~ 1.500 m) localizado na Bacia de Pelotas, Ponto 2 (~ 1.500 m) na Bacia de Santos; e o Ponto 3 (> 2.000 m) na Bacia de Campos (Figura 93).

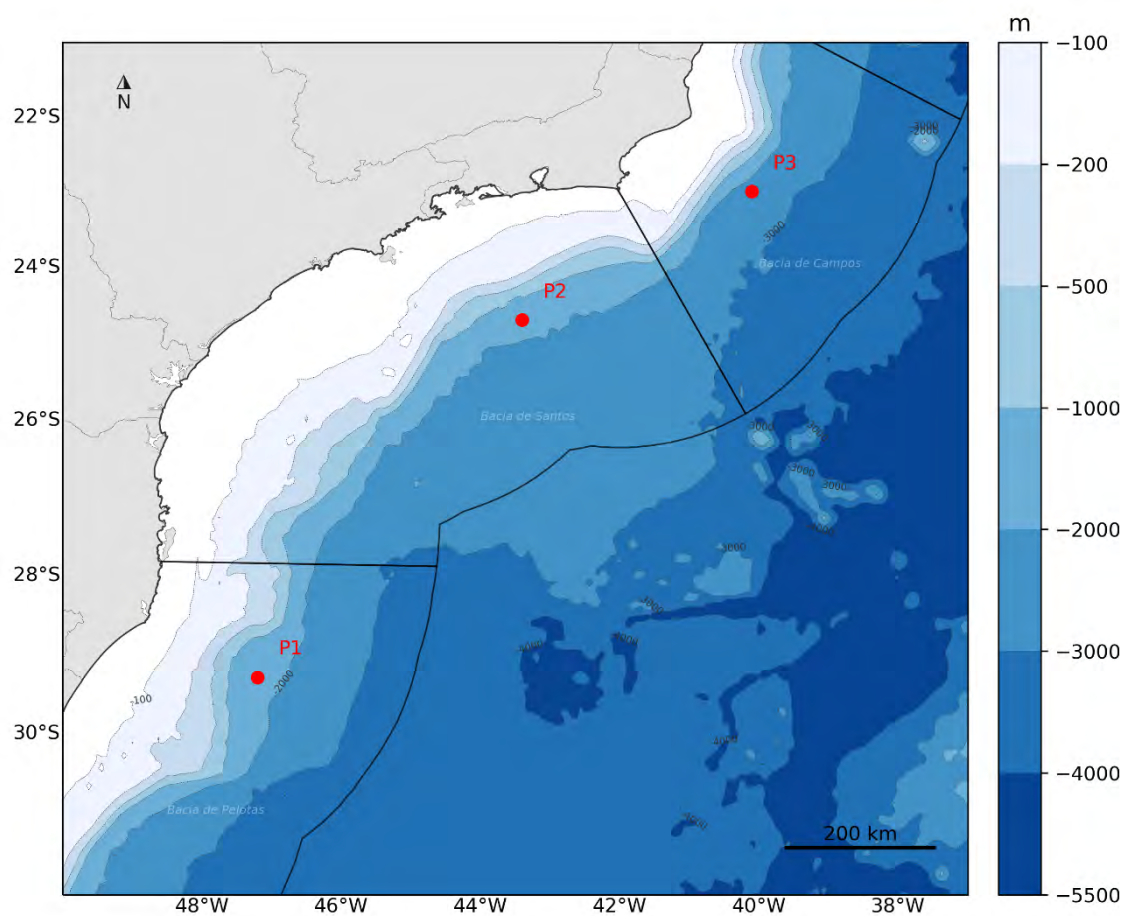


Figura 93: Pontos considerados para apresentação de análise de rosa de correntes e tabela conjunta de direção e intensidade.

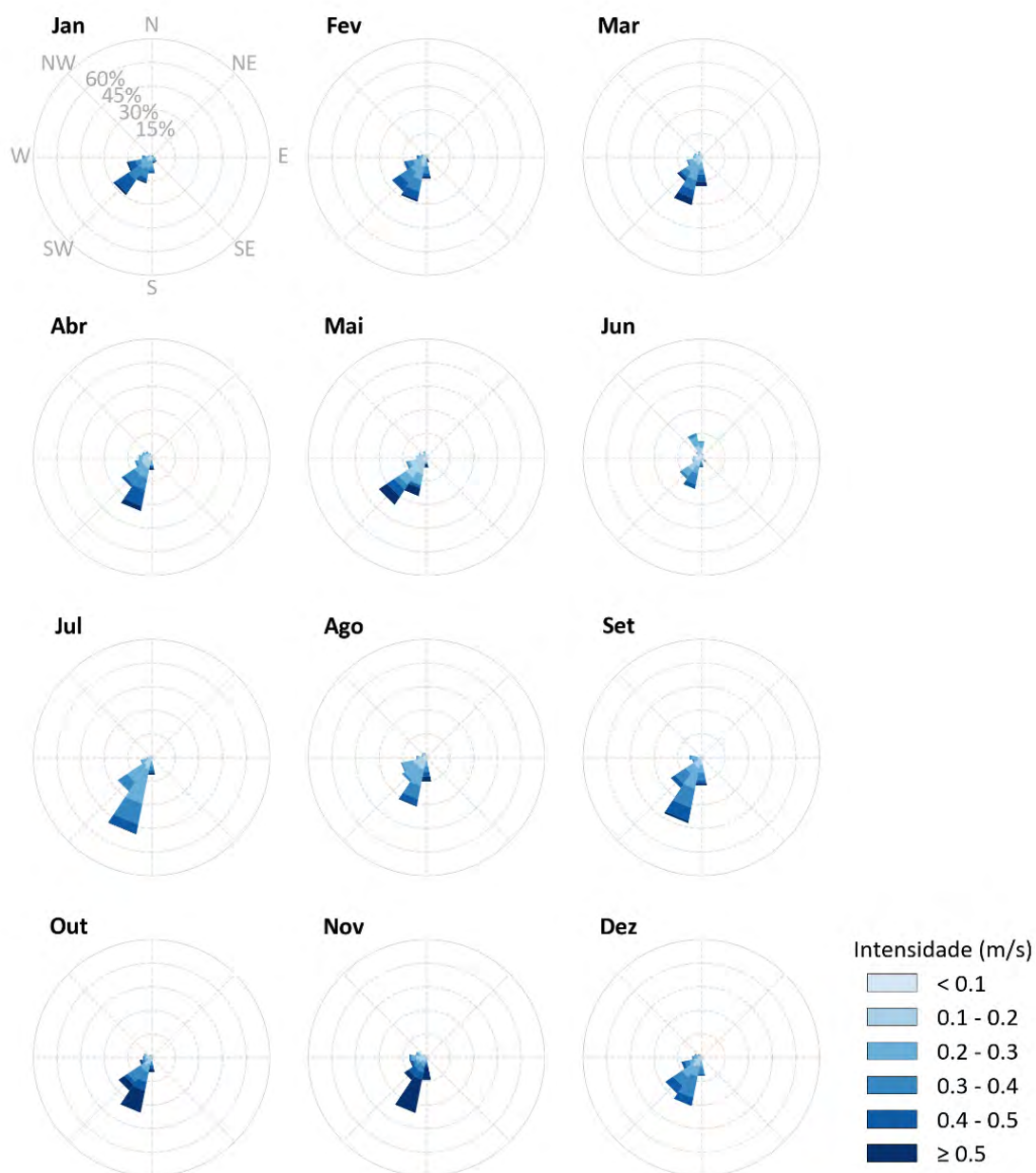


Figura 94: Rosas mensais de correntes em superfície para o Ponto 1 na Bacia de Pelotas.

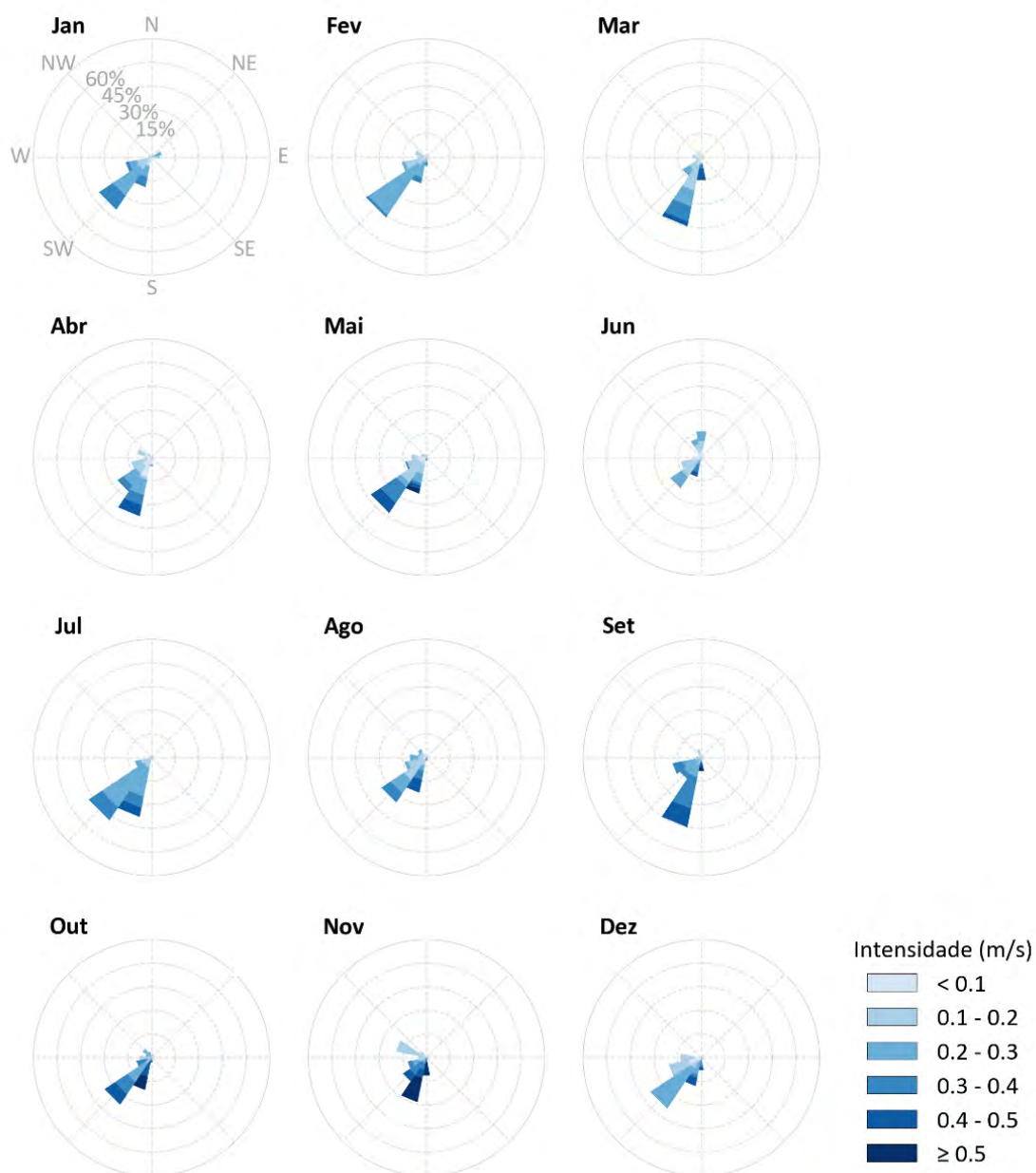


Figura 95: Rosas mensais de correntes em 200 m de profundidade para o Ponto 1 na Bacia de Pelotas.

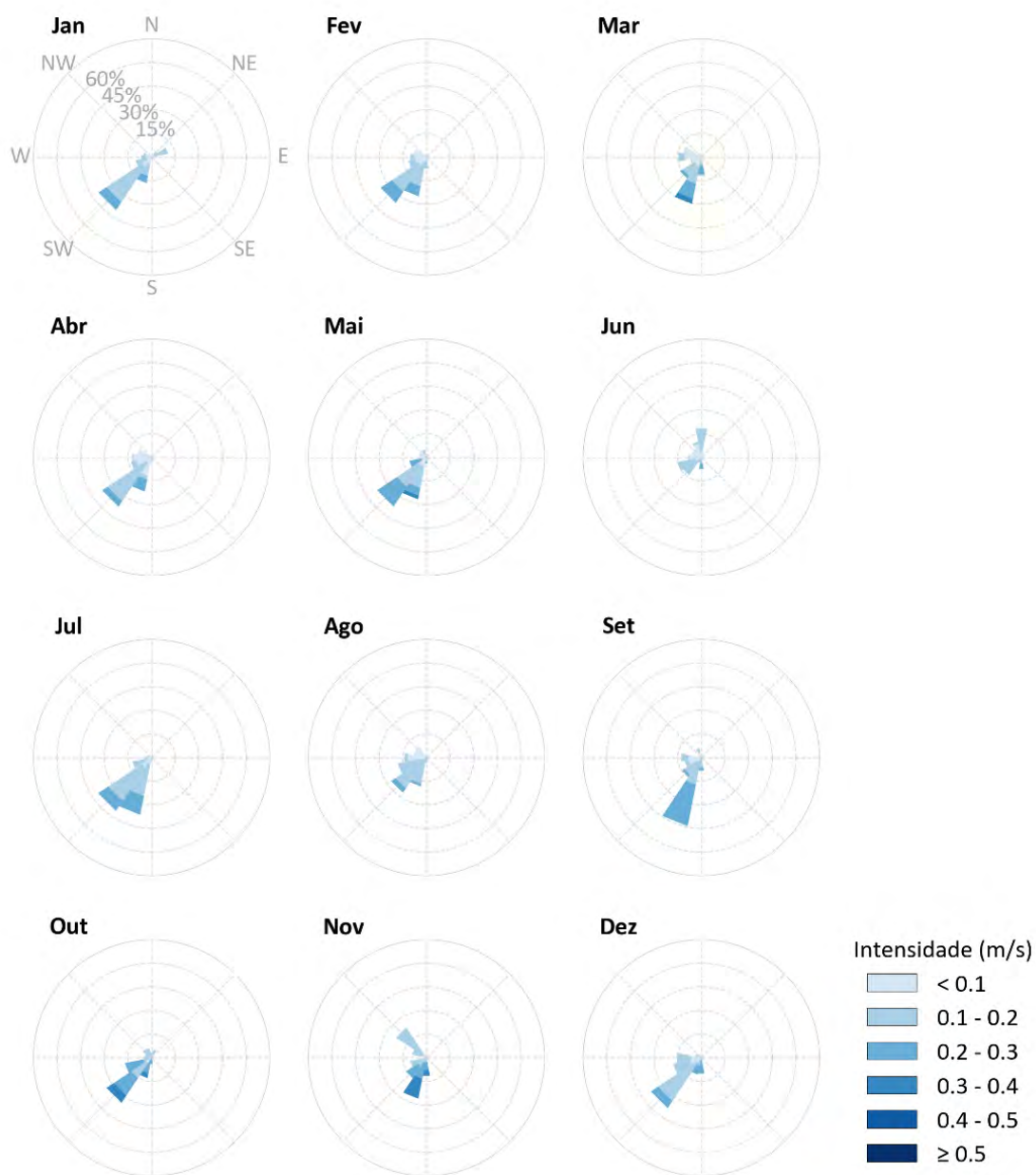


Figura 96: Rosas de correntes em 500 m de profundidade para o Ponto 1 na Bacia de Pelotas.

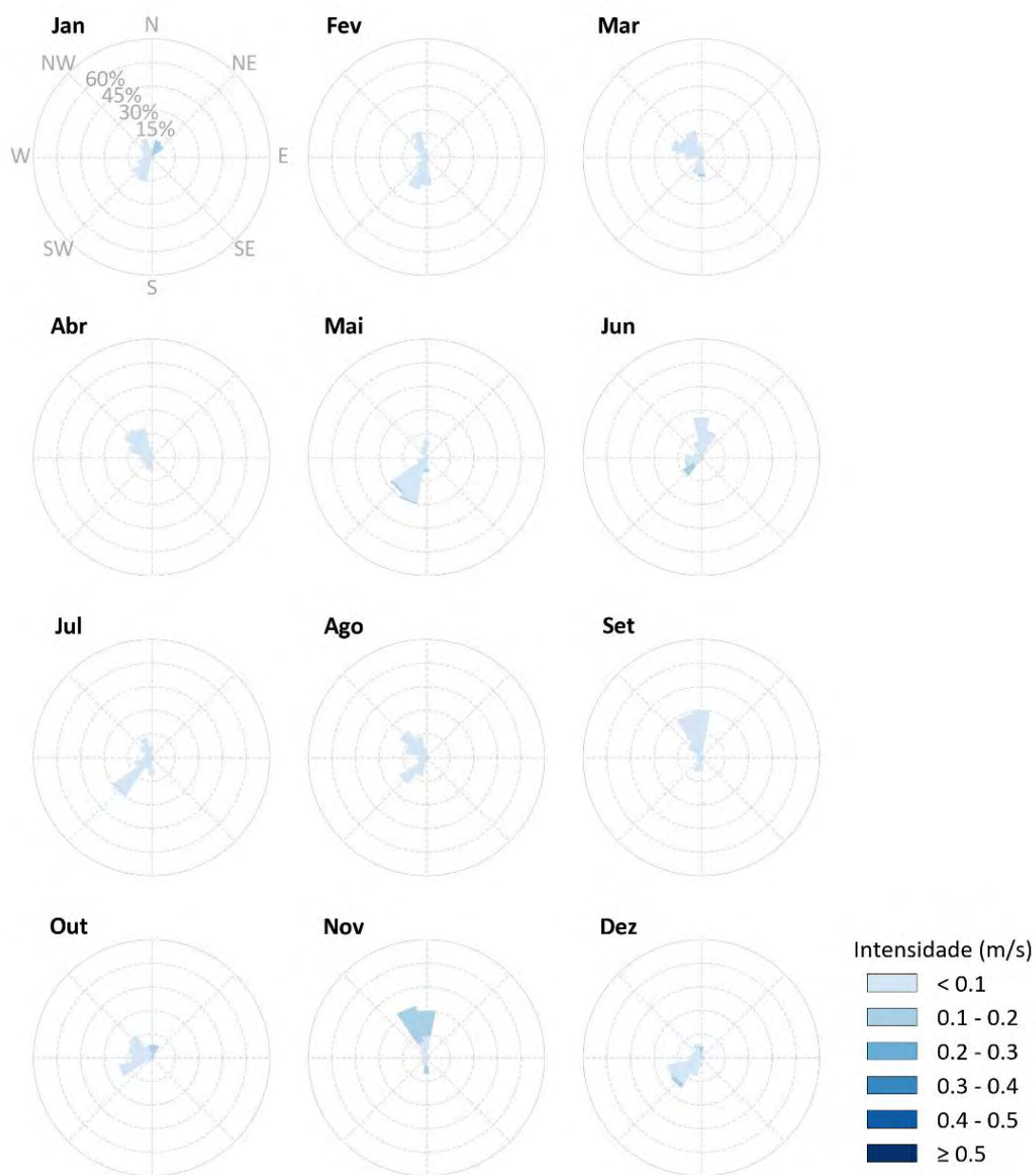


Figura 97: Rosas mensais de correntes em 1.000 m de profundidade para o Ponto 1 na Bacia de Pelotas.

Tabela 3: Percentual (%) de ocorrência sazonal de intensidade de correntes no Ponto 1 na Bacia de Pelotas.

Profundidade		Intensidade (m/s)					
		< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	> 0,5
Janeiro	Superfície	5,2	17,1	27,8	25,5	19,4	5,0
	200 m	19,0	23,3	38,5	19,2	-	-
	500 m	31,9	57,3	10,8	-	-	-
	1000 m	80,6	19,4	-	-	-	-
Fevereiro	Superfície	3,6	17,8	29,1	27,5	16,2	5,9
	200 m	8,1	32,2	52,4	7,3	-	-
	500 m	35,7	49,2	15,1	-	-	-
	1000 m	99,8	0,2	-	-	-	-
Março	Superfície	10,4	23,0	31,3	14,6	12,0	8,7
	200 m	33,3	27,7	15,1	13,1	10,3	0,6
	500 m	49,9	28,5	18,0	3,6	-	-
	1000 m	97,6	2,4	-	-	-	-
Abril	Superfície	14,6	23,4	23,7	19,6	14,0	4,8
	200 m	35,6	26,2	20,3	10,3	7,6	-
	500 m	51,1	36,9	12	-	-	-
	1000 m	100,0	-	-	-	-	-
Maio	Superfície	11,7	44,2	17,6	5,8	7,2	13,5
	200 m	20,4	41,1	9,5	14,8	10,5	3,5
	500 m	31,6	37,0	28,8	2,5	-	-
	1000 m	95,4	4,7	-	-	-	-
Junho	Superfície	23,2	33,1	25,1	14,4	3,3	0,9
	200 m	34,7	35,4	21,9	5,2	2,1	0,6
	500 m	48,7	47,1	4,2	-	-	-
	1000 m	90,0	10,1	-	-	-	-
Julho	Superfície	5,3	18,5	43,2	24,0	7,5	1,6
	200 m	2,0	19,7	54,8	17,2	6,3	-
	500 m	20,6	59,3	20,1	-	-	-
	1000 m	99,5	0,5	-	-	-	-

	Profundidade	Intensidade (m/s)					
		< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	> 0,5
Agosto	Superfície	10,2	28,5	34,2	15,4	8,0	3,8
	200 m	12,2	40,7	23,8	13,4	10,0	-
	500 m	33,7	61,4	4,93	-	-	-
	1000 m	100,0	-	-	-	-	-
Setembro	Superfície	5,3	18,9	31,7	27,7	13,8	2,7
	200 m	4,3	16,6	29,8	31,7	14,9	2,7
	500 m	27,1	42,4	30,4	0,1	-	-
	1000 m	100,0	-	-	-	-	-
Outubro	Superfície	7,7	20,5	17,6	20,5	11,4	22,3
	200 m	3,9	21,2	28,0	17,5	20,8	8,6
	500 m	8,8	43,1	39,3	8,8	-	-
	1000 m	86,7	13,3	-	-	-	-
Novembro	Superfície	5,5	17,9	15,7	13,3	13,0	34,5
	200 m	1,9	33,1	10,5	16,4	12,8	25,4
	500 m	9,9	47,8	25,1	17,1	0,1	-
	1000 m	54,0	46,0	-	-	-	-
Dezembro	Superfície	5,7	21,6	26,8	31,1	14,5	0,4
	200 m	17,0	27,6	41,1	6,9	7,3	-
	500 m	20,0	59,5	20,5	-	-	-
	1000 m	91,0	9,0	-	-	-	-

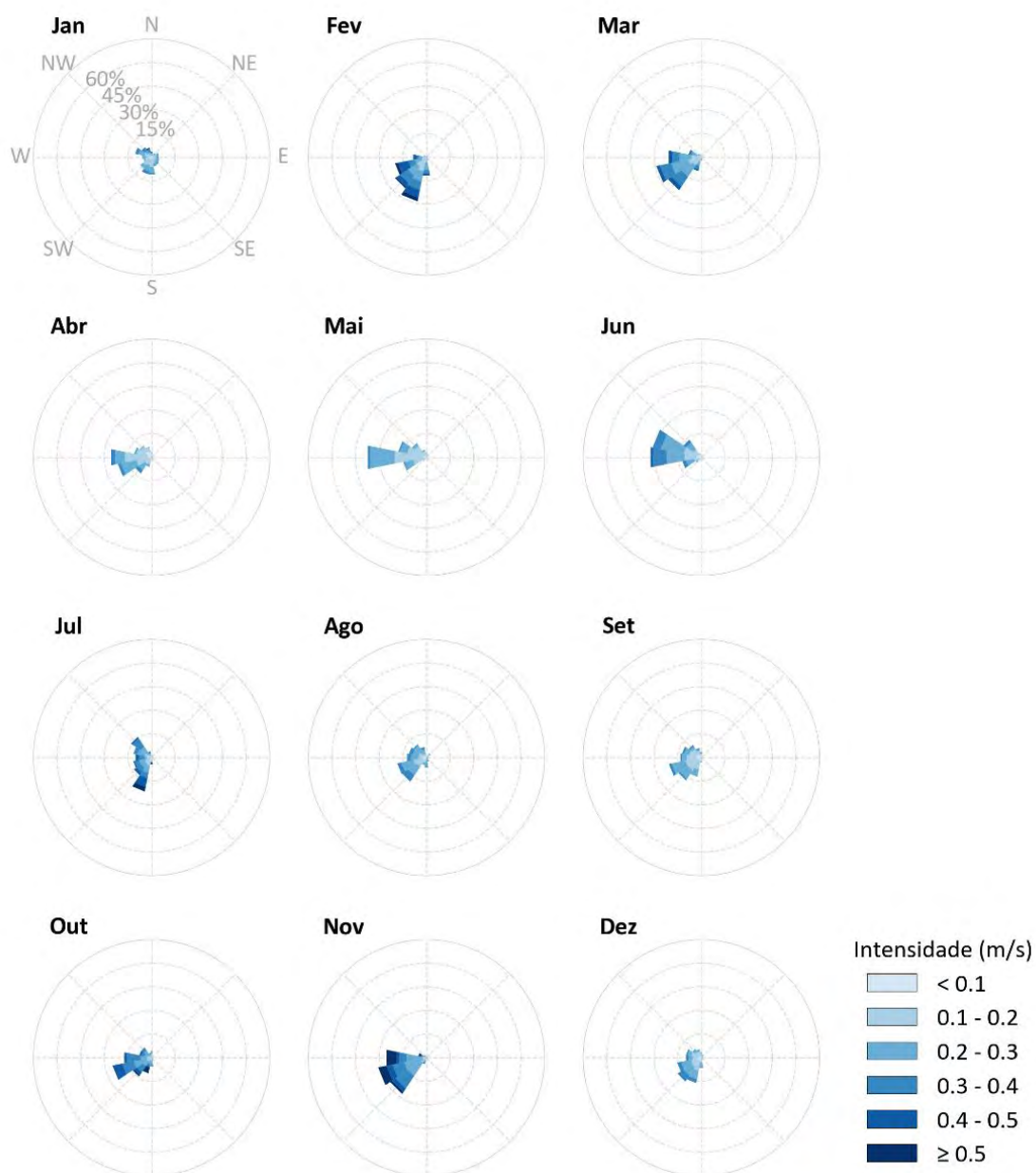


Figura 98: Rosas mensais de correntes em superfície para o Ponto 2 na Bacia de Santos.

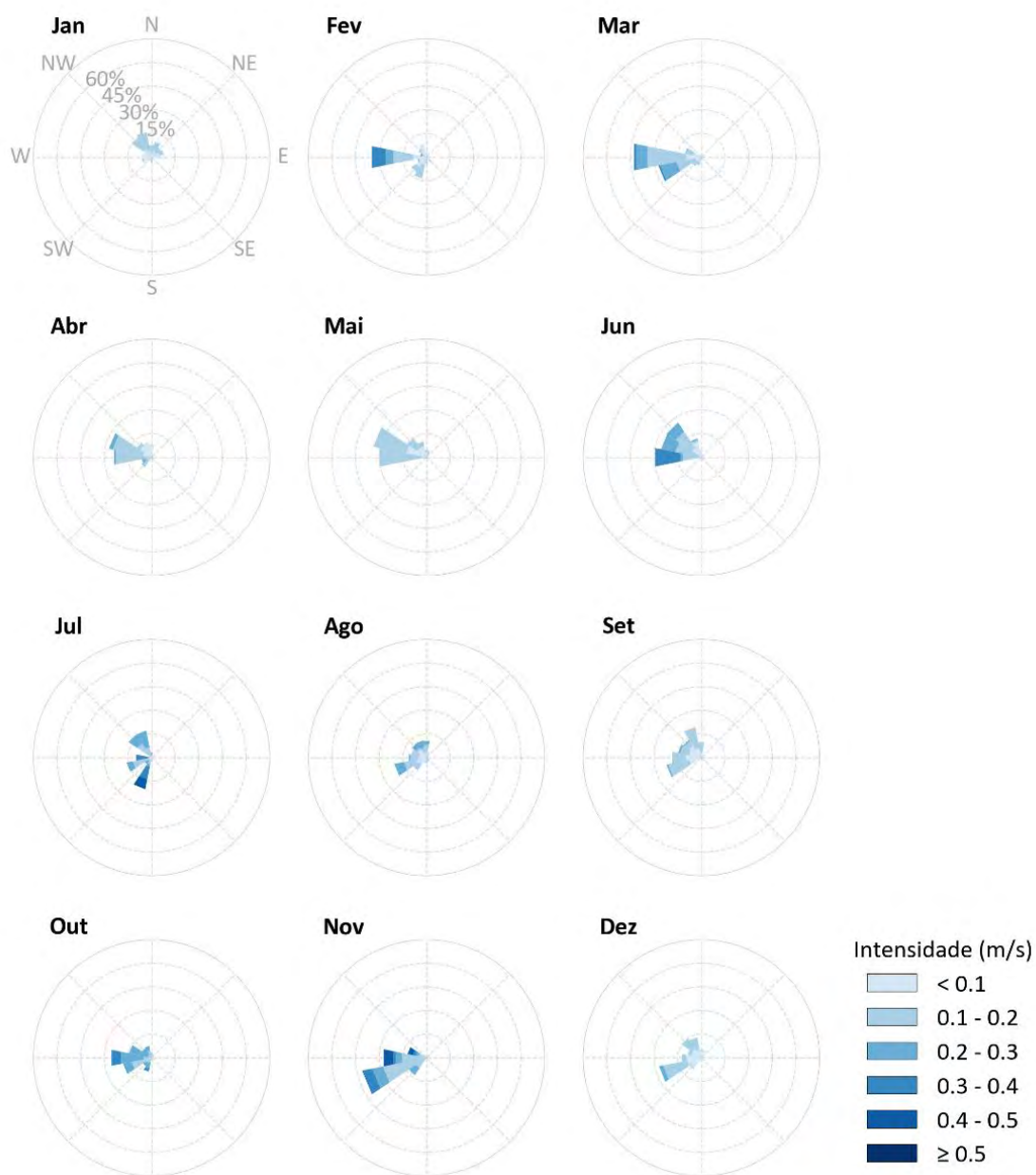


Figura 99: Rosas mensais de correntes em 200 m de profundidade para o Ponto 2 na Bacia de Santos.

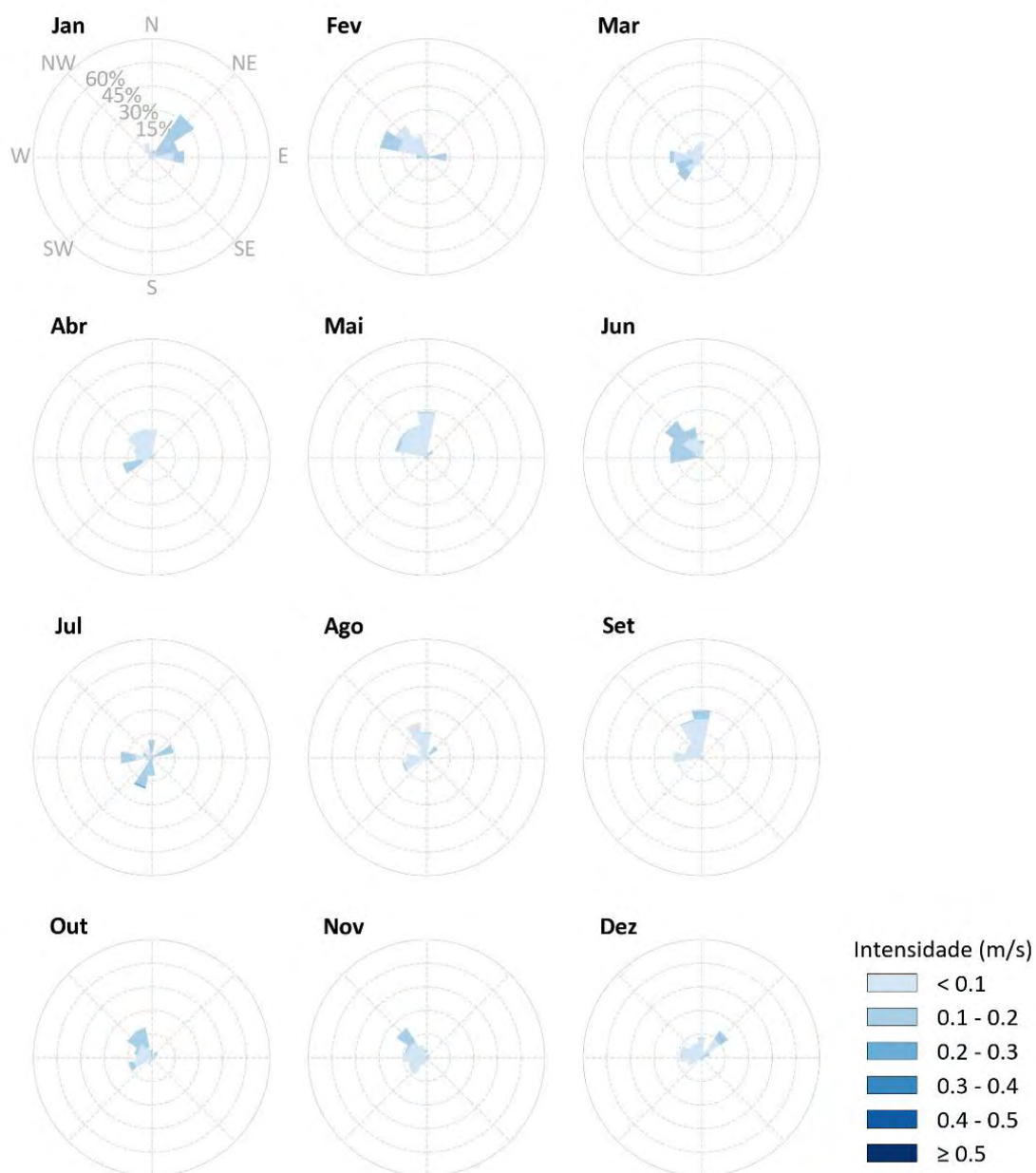


Figura 100: Rosas mensais de correntes em 500 m de profundidade para Ponto 2 na Bacia de Santos.

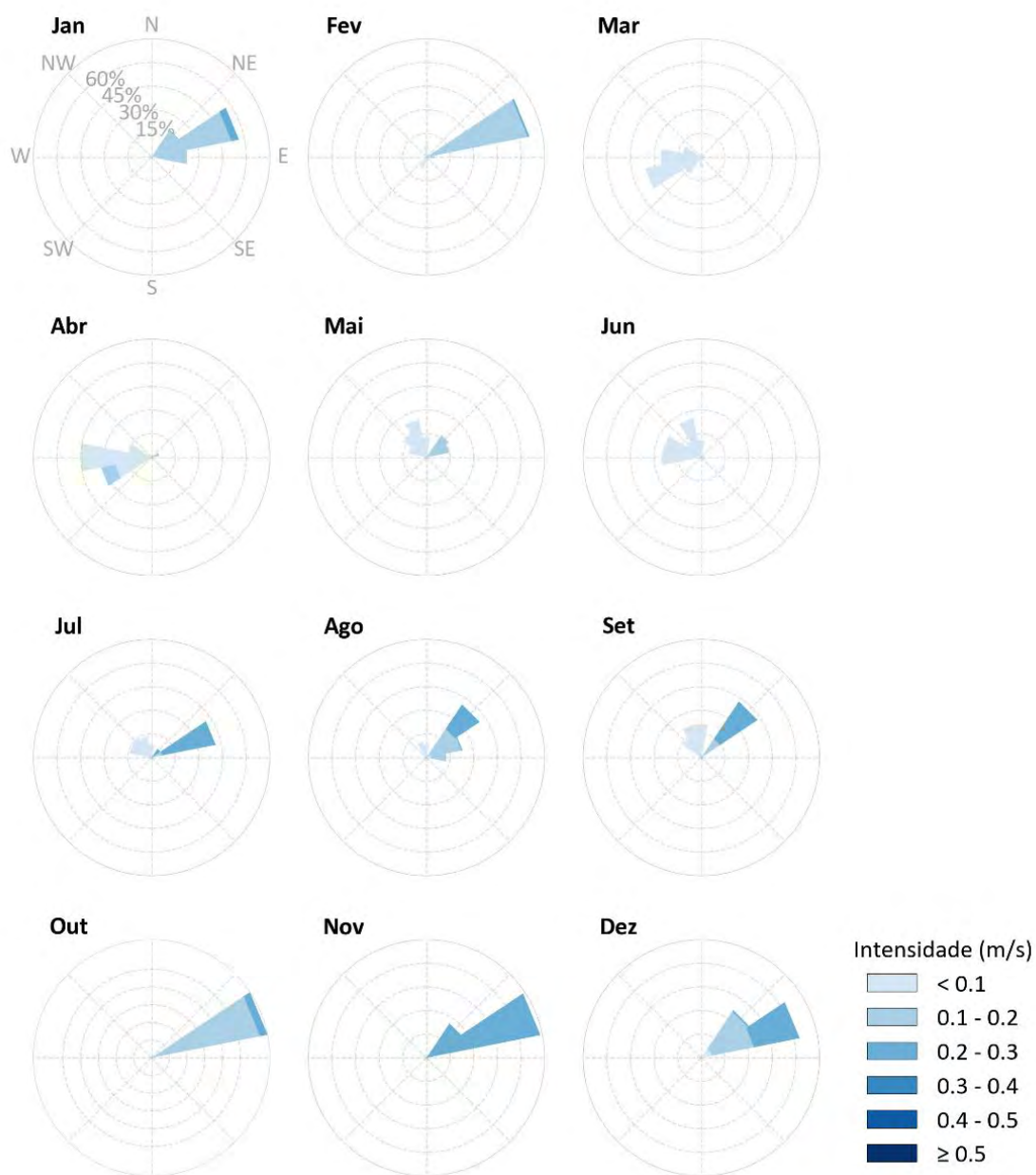


Figura 101: Rosas mensais de correntes em 1000 m de profundidade para Ponto 2 na Bacia de Santos

Tabela 4: Percentual (%) de ocorrência de intensidade de correntes no Ponto 2 na Bacia de Santos.

Profundidade		Intensidade (m/s)					
		< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	> 0,5
Janeiro	Superfície	16,7	37,9	29,9	12,1	2,5	0,8
	200 m	55,3	44,7	-	-	-	-
	500 m	46,3	53,7	-	-	-	-
	1000 m	3,3	91,5	5,2	-	-	-
Fevereiro	Superfície	5,4	23,8	27,0	19,8	18,2	5,8
	200 m	49,2	35,6	5,0	10,2	-	-
	500 m	69,0	31,0	-	-	-	-
	1000 m	30,9	67,9	1,2	-	-	-
Março	Superfície	4,6	26,1	35,8	24,3	8,3	0,9
	200 m	29,4	50	18,2	2,3	-	-
	500 m	79,3	20,7	-	-	-	-
	1000 m	100,0	-	-	-	-	-
Abril	Superfície	20,3	46,9	25,6	6,7	0,5	-
	200 m	40,1	53,3	6,6	-	-	-
	500 m	86,1	13,9	-	-	-	-
	1000 m	85,7	13,8	0,5	-	-	-
Maio	Superfície	15,1	51,5	29,8	3,5	0,1	-
	200 m	35,2	64,9	-	-	-	-
	500 m	90,1	9,9	-	-	-	-
	1000 m	68,1	31,9	-	-	-	-
Junho	Superfície	13,1	27,9	38,4	18,6	2,0	-
	200 m	23,76	41,	18,3	16,7	-	-
	500 m	41,1	58,9	-	-	-	-
	1000 m	98,9	1,1	-	-	-	-
Julho	Superfície	12,6	21,1	25,7	24,5	12,5	3,7
	200 m	16,1	31,1	29,2	16,2	6,5	-
	500 m	30,7	67,8	1,5	-	-	-
	1000 m	51,7	7,5	40,8	-	-	-

	Profundidade	Intensidade (m/s)					
		< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	> 0,5
Agosto	Superfície	10,3	30,9	42,4	16,1	0,2	-
	200 m	42,4	39,6	17,9	-	-	-
	500 m	90,8	9,3	-	-	-	-
	1000 m	29,3	51,1	19,6	-	-	-
Setembro	Superfície	18,8	43,2	30,3	7,3	0,4	-
	200 m	44,0	52,9	3,12	-	-	-
	500 m	92,1	7,9	-	-	-	-
	1000 m	57,1	14,3	28,6	-	-	-
Outubro	Superfície	5,5	16,8	31,3	28,9	11,0	6,4
	200 m	12,2	32,2	46,7	8,9	-	-
	500 m	64,6	35,4	-	-	-	-
	1000 m	-	93,5	6,5	-	-	-
Novembro	Superfície	3,2	12,5	36,5	23,6	9,1	15,1
	200 m	7,2	55,4	18,2	9,3	9,9	-
	500 m	84,7	15,3	-	-	-	-
	1000 m	-	-	100,0	-	-	-
Dezembro	Superfície	17,0	36,8	32,4	12,4	1,1	0,4
	200 m	58,6	38,8	2,6	-	-	-
	500 m	88,0	12,0	-	-	-	-
	1000 m	13,6	55,7	30,7	-	-	-

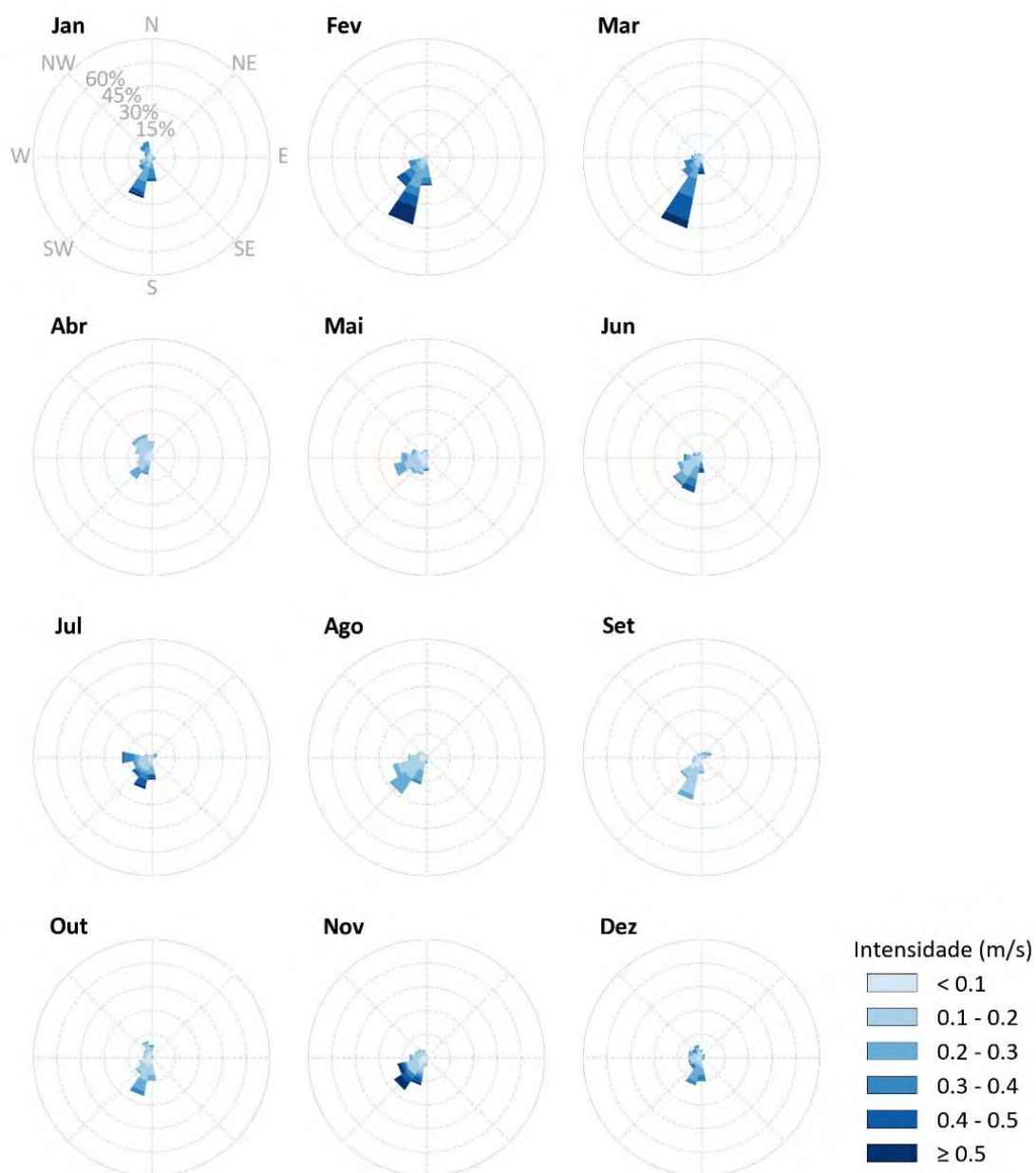


Figura 102: Rosas mensais de correntes em superfície para o Ponto 3 na Bacia de Campos.

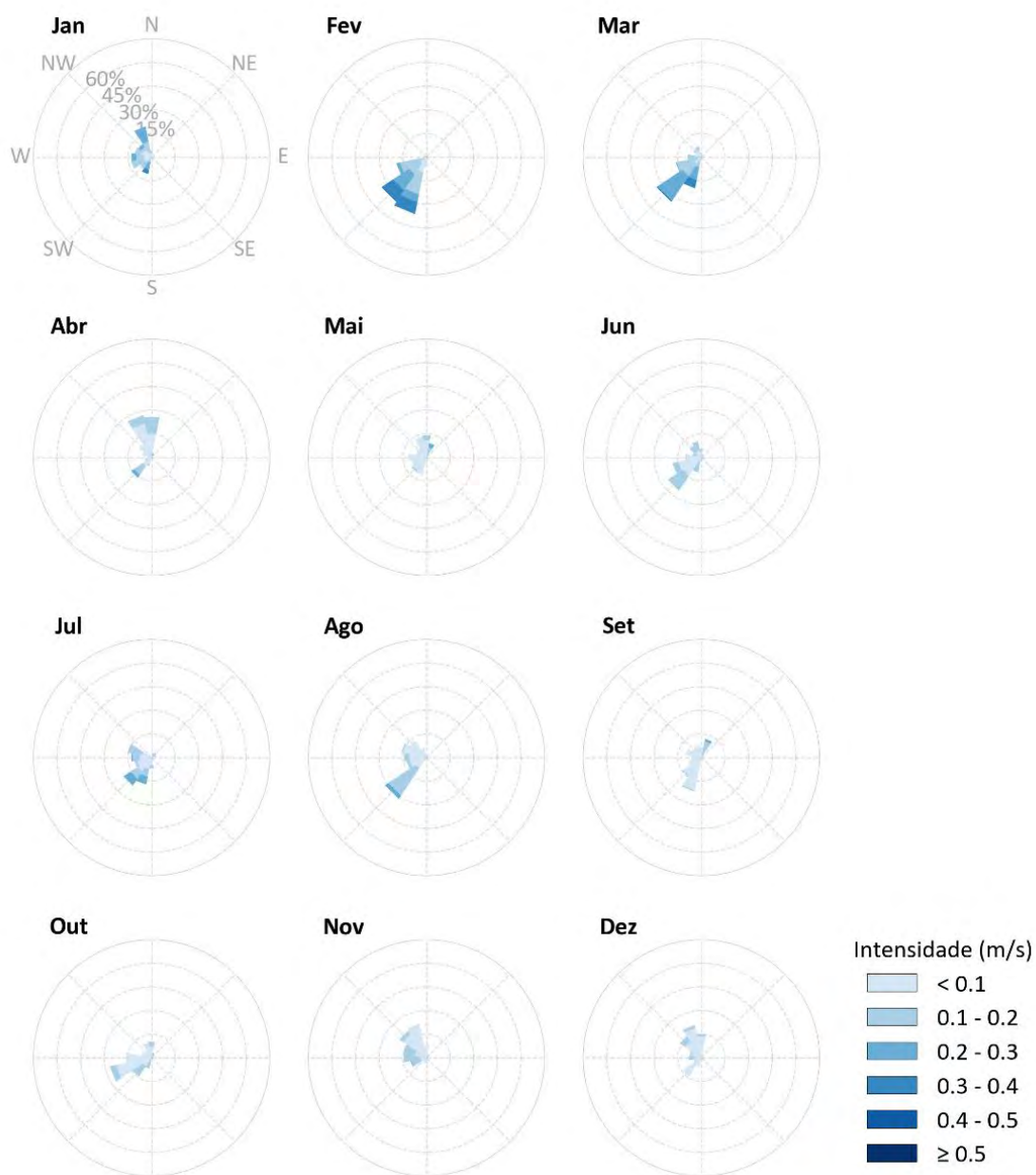


Figura 103: Rosas mensais de correntes em 200 m de profundidade para o Ponto 3 na Bacia de Campos.

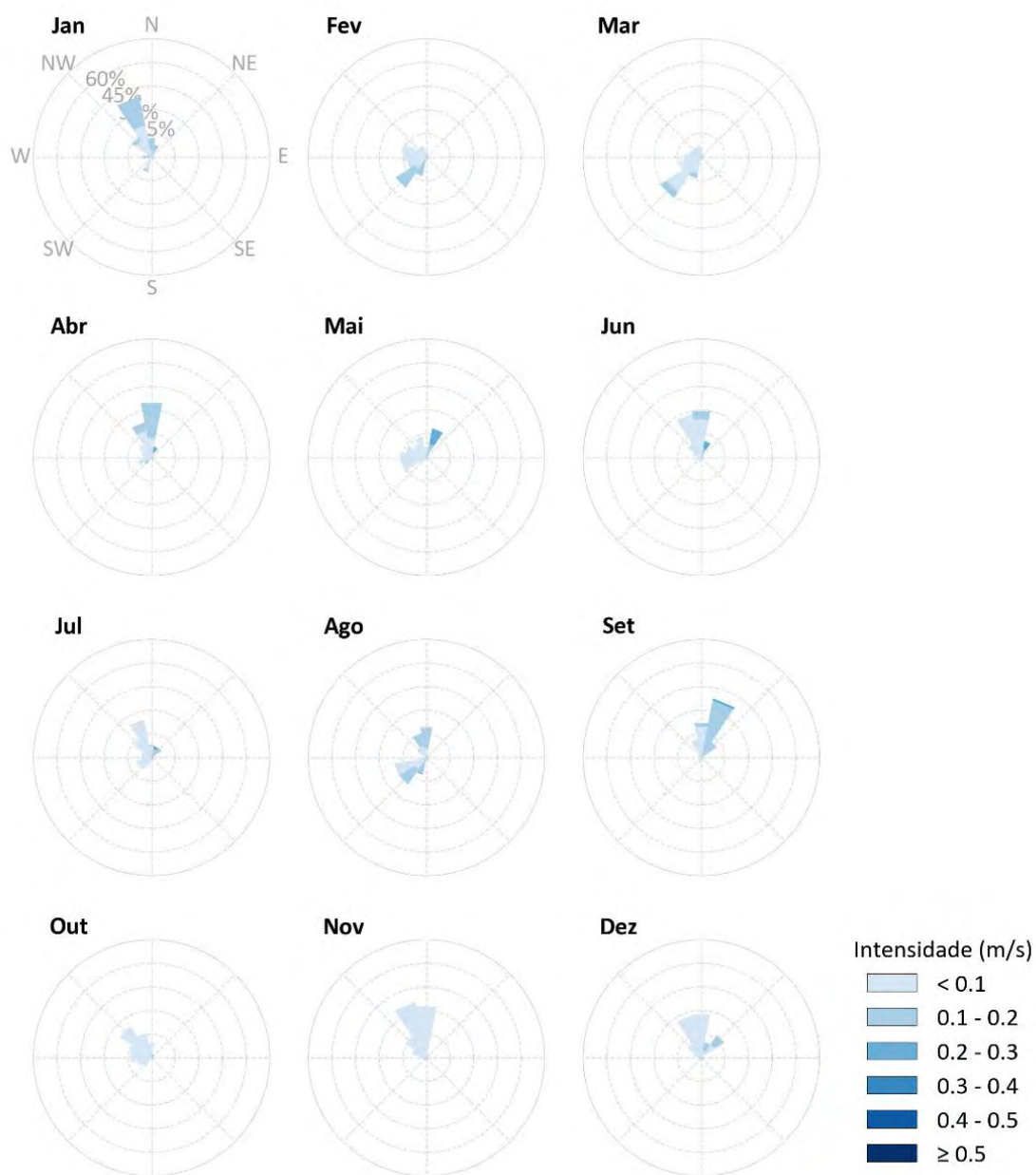


Figura 104: Rosa mensais de correntes em 500 m de profundidade para o Ponto 3 na Bacia de Campos.

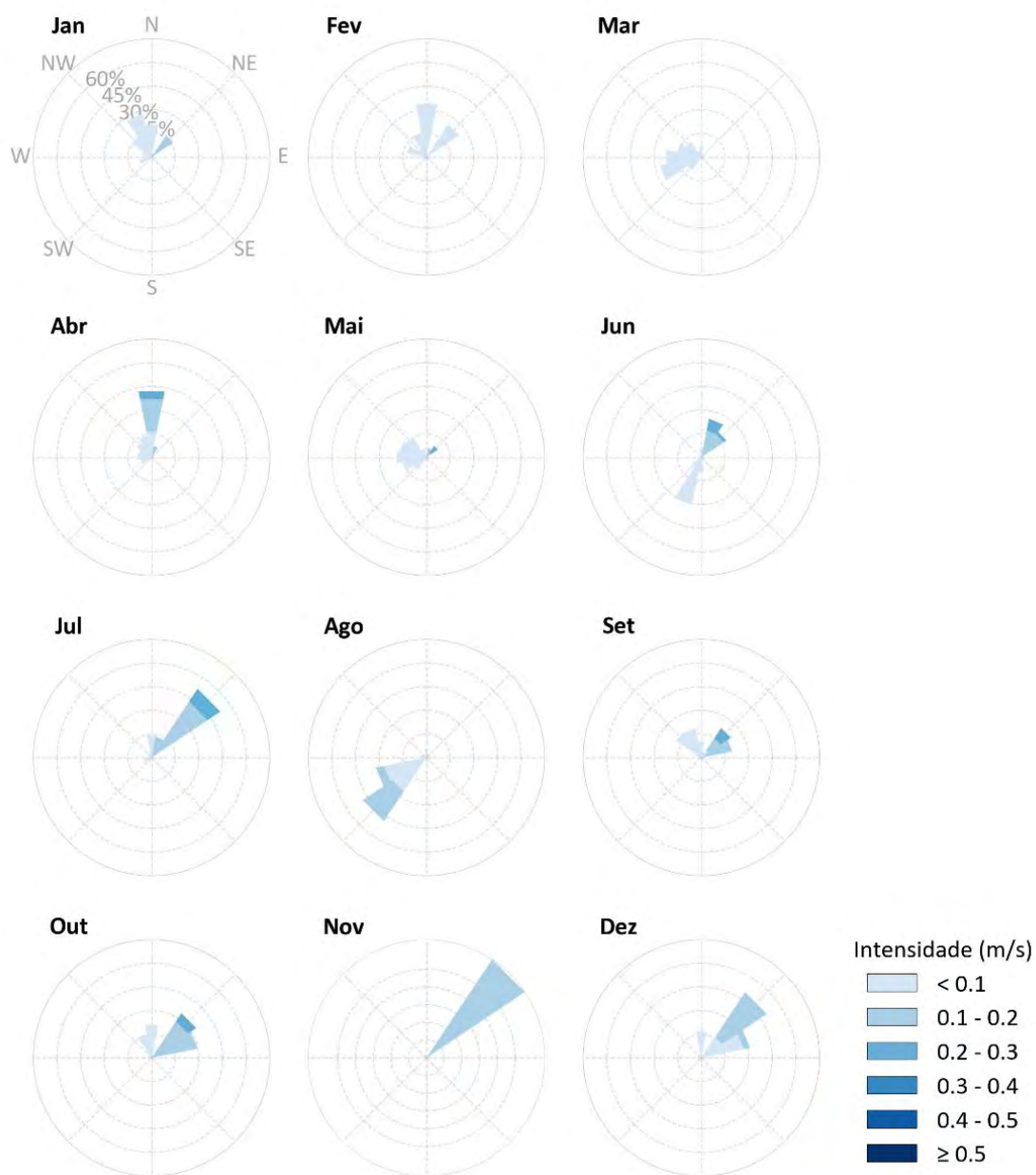


Figura 105: Rosa mensais de correntes em 1.000 m de profundidade para o Ponto 3 na Bacia de Campos.

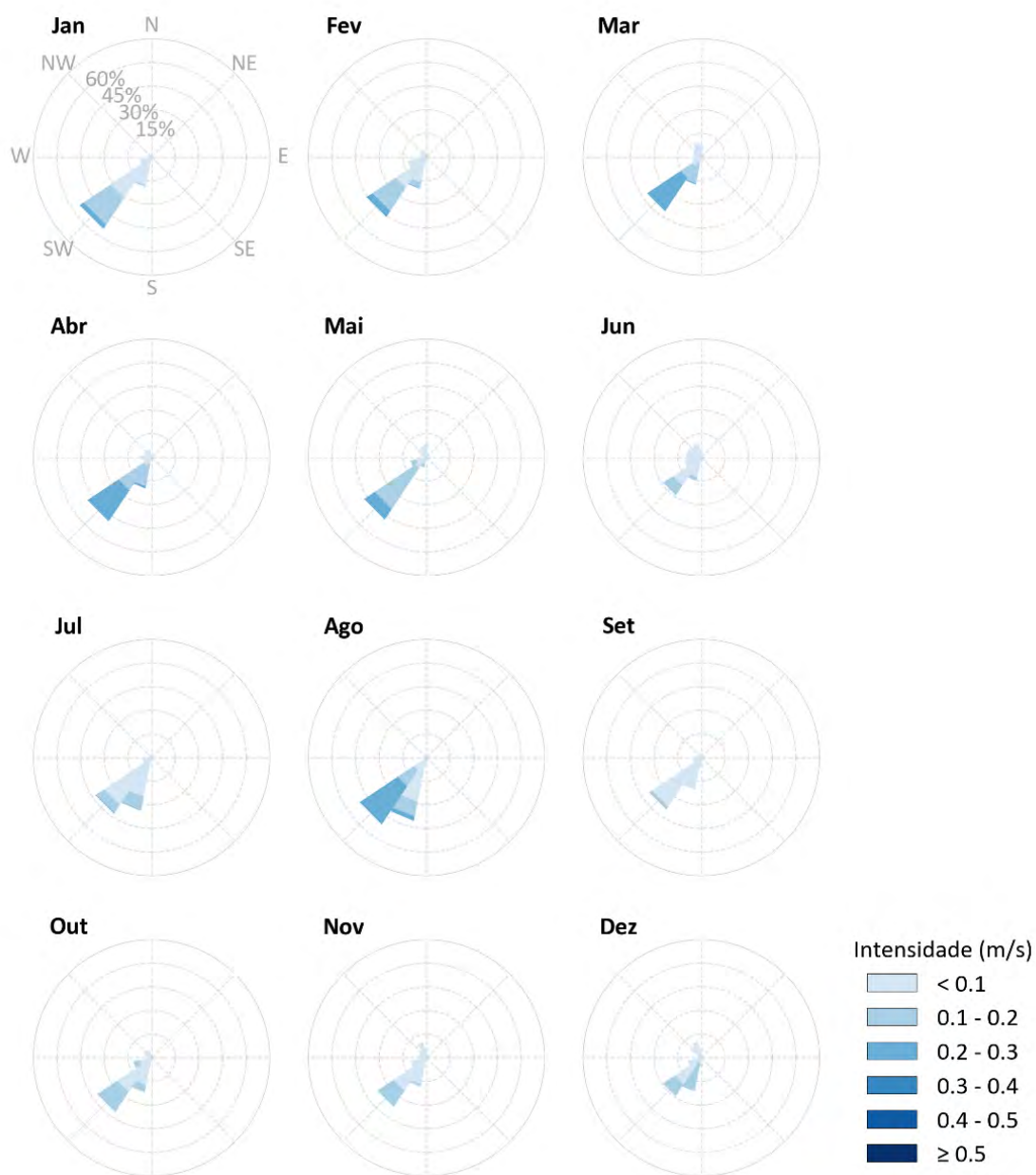


Figura 106: Rosa mensais de correntes em 2.000 m de profundidade para o Ponto 3 na Bacia de Campos.

Tabela 5: Percentual (%) de ocorrência de intensidade de correntes no Ponto 3 na Bacia de Campos.

Profundidade		Intensidade (m/s)					
		< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	> 0,5
Janeiro	Superfície	15,3	24,5	29,4	23,0	6,2	1,7
	200 m	39,2	37,5	20,5	2,8	-	-
	500 m	56,1	43,9	-	-	-	-
	1000 m	80,9	19,1	-	-	-	-
	2000 m	75,6	21,3	3,1	-	-	-
Fevereiro	Superfície	5,7	21,3	29,0	18,2	13,3	12,5
	200 m	25,3	38,8	19,5	15,9	0,6	-
	500 m	72,7	27,3	-	-	-	-
	1000 m	100,0	-	-	-	-	-
	2000 m	73,7	21,4	4,9	-	-	-
Março	Superfície	11,0	20,1	18,4	25,7	18,4	6,4
	200 m	24,2	42,1	27,3	6,4	-	-
	500 m	92,5	7,5	-	-	-	-
	1000 m	99,5	0,5	-	-	-	-
	2000 m	51,8	21,6	26,4	0,2	-	-
Abril	Superfície	31,5	49,7	16,7	2,2	-	-
	200 m	70,9	25,7	3,4	-	-	-
	500 m	64,2	32,7	3,0	-	-	-
	1000 m	67,7	26,8	5,6	-	-	-
	2000 m	41,2	33,6	25,2	-	-	-
Maio	Superfície	41,8	37,7	18,0	2,5	-	-
	200 m	86,1	11,1	2,9	-	-	-
	500 m	80,6	9,6	9,9	-	-	-
	1000 m	85,5	9,0	5,5	-	-	-
	2000 m	54,6	37,3	8,2	-	-	-
Junho	Superfície	10,6	46,1	23,8	11,7	7,9	-
	200 m	60,3	39,7	-	-	-	-
	500 m	83,9	11,5	4,6	-	-	-
	1000 m	55,8	34,6	9,6	-	-	-
	2000 m	90,2	9,8	-	-	-	-
Julho	Superfície	17,8	35,7	18,9	15,1	10,5	2,0
	200 m	54,8	34,1	11,2	-	-	-
	500 m	84,2	13,6	2,2	-	-	-
	1000 m	35,9	54,4	9,7	-	-	-
	2000 m	84,3	14,8	0,9	-	-	-

Profundidade		Intensidade (m/s)					
		< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	> 0,5
Agosto	Superfície	25,1	48,6	23,7	2,6	-	-
	200 m	70,1	27,3	2,6	-	-	-
	500 m	52,1	47,0	0,9	-	-	-
	1000 m	69,8	30,2	-	-	-	-
	2000 m	46,3	21,8	31,7	0,3	-	-
Setembro	Superfície	34,7	49,0	15,6	0,7	-	-
	200 m	87,1	11,3	1,6	-	-	-
	500 m	50,2	48,3	1,5	-	-	-
	1000 m	63,6	28,7	7,7	-	-	-
	2000 m	97,8	2,2	-	-	-	-
Outubro	Superfície	34,3	44,4	16,1	5,2	-	-
	200 m	75,2	24,2	0,6	-	-	-
	500 m	95,5	3,7	0,8	-	-	-
	1000 m	36,2	57,5	6,4	-	-	-
	2000 m	75,9	24,1	-	-	-	-
Novembro	Superfície	29,5	38,6	8,1	6,1	8,5	9,1
	200 m	71,7	27,9	0,5	-	-	-
	500 m	99,3	0,7	-	-	-	-
	1000 m	-	100,0	-	-	-	-
	2000 m	86,2	13,8	-	-	-	-
Dezembro	Superfície	19,0	34,2	28,9	15,4	2,5	-
	200 m	87,6	12,4	-	-	-	-
	500 m	87,1	13,0	-	-	-	-
	1000 m	61,8	38,2	-	-	-	-
	2000 m	71,4	28,4	0,2	-	-	-

No Ponto 1, entre a superfície e 200 m de profundidade, observa-se escoamentos bem definidos com sentido SSW, associados a Corrente do Brasil (CB), com intensidades médias mais frequentes entre 0,2 e 0,3 m/s, sendo a primavera o período no qual as correntes médias são mais intensas. Em 500 m, as correntes ainda possuem sentido preferencial para SSW, entretanto são menos intensas e apresentam maior variabilidade direcional.

O Ponto 2, está localizado na borda da CB, em uma região com alta atividade de mesoescala, principalmente pela ocorrência de vórtices ciclônicos em superfície e subsuperfície, desenvolvendo correntes com intensidades médias entre 0,2 e 0,3 m/s e alta variabilidade direcional, sendo em superfície a direção WSW mais frequente, associadas aos vórtices. Em 1000 m, notam-se correntes mais organizados para NE/ENE, associadas ao escoamento médio da Corrente de Contorno Intermediária (CCI), com intensidades média entre 0,1 e 0,2 m/s.

O Ponto 3, também se encontra sobre influência do escoamento médio da CB e de sua atividade de mesoescala, apresentando correntes superficiais mais frequentes para SSW, principalmente no verão e primavera e apresentando maior variabilidade direcional no outono e inverno. Em 1000 m, as correntes estão sob domínio da CCI com intensa atividade de mesoescala, apresentando alta variabilidade intrasazonal. Em 2000 m, as correntes são definidas para SW, associadas ao escoamento médio da Corrente de Contorno Profunda (CCP).

8.4. Processos de mesoescala

A seguir, de forma a ilustrar a representação dos processos de mesoescala, são apresentados resultados instantâneos do modelo (Figura 107 e Figura 108), que correspondem os campos de corrente superficiais dos dias 09/04/2014 e 19/07/2014, respectivamente.

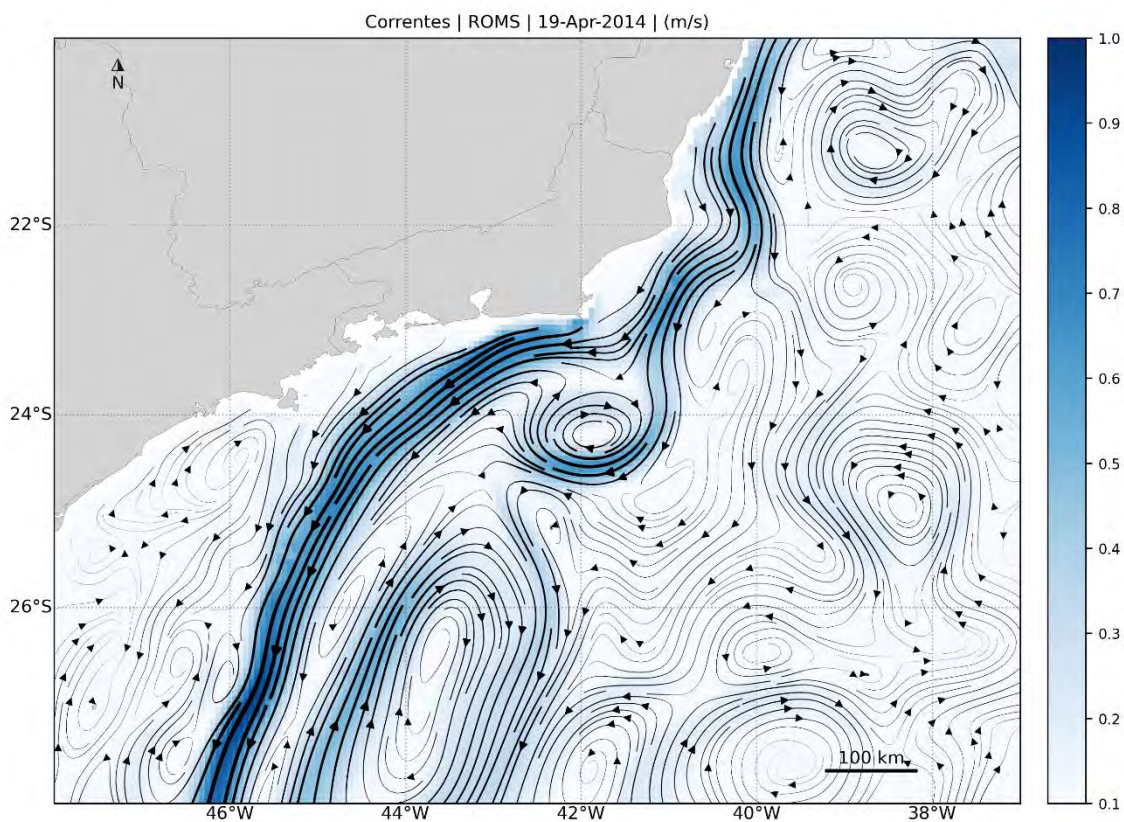


Figura 107: Campo de corrente do dia 09/04/2014.

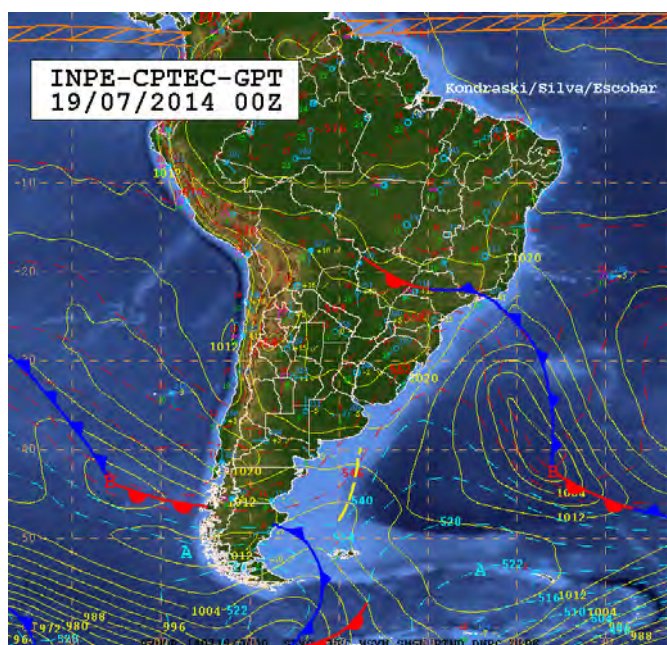
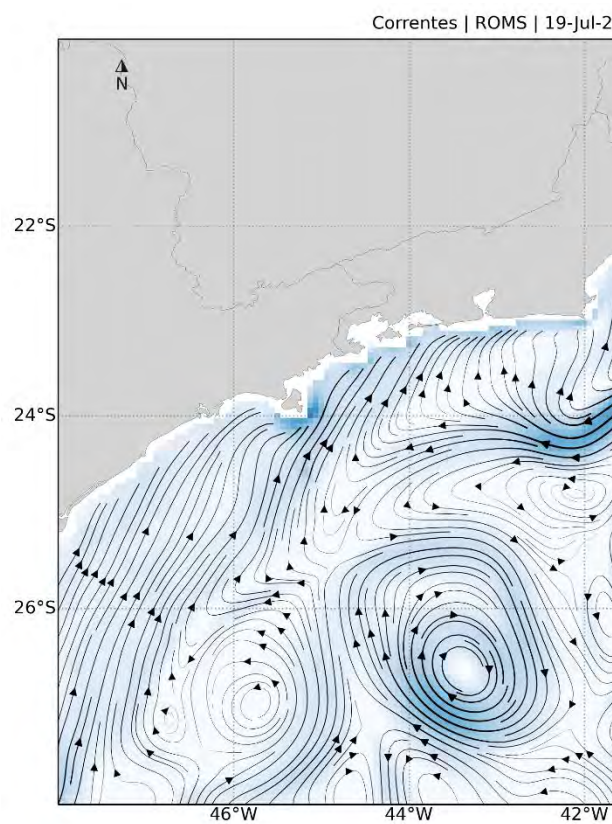


Figura 108: Campo de corrente (painel superior) e carta sinótica (painel inferior) do dia 19/07/2014. Fonte: CPTEC INPE.

Na Figura 107 exemplifica-se a intensa atividade de mesoescala na região sudeste brasileira, caracterizada por acentuados meandros e vórtices, como o Vórtice de Cabo Frio, posicionado em 24°S e 42°W), descrito em Dos Santos et al. (2016), através de um transecto de dados de temperatura e salinidade obtidos por um *glider* e dados de dois derivadores superficiais lagrangianos.

Na Figura 108 observa-se a corrente sobre a plataforma continental com sentido nordeste, exemplificando o efeito da passagem de um sistema frontal sobre a circulação oceânica. Ainda neste campo de corrente é possível observar meandramentos e vórtices ciclônicos e anticiclônicos que podem causar impactos significativos na distribuição tridimensional de poluentes no oceano.

8.5. Considerações

Com todos os resultados apresentados, pode-se inferir que o modelo utilizado é capaz de representar feições de mesoescala na região de estudo, assim como o efeito da passagem de sistemas frontais nas correntes sobre a plataforma continental, como estão em conformidade com a literatura apresentada sobre os processos oceanográficos ocorrentes no domínio do modelo. Contudo, no item a seguir são apresentadas análises quantitativas com base em diferentes parâmetros e processos.

9. Avaliação do Modelo

Para que se possa saber se o comportamento de um modelo numérico é suficientemente compatível com o “sistema real” é necessário realizar uma comparação entre os resultados obtidos nos dois mundos; o “real” e o simulado. Assim, foram realizadas diversas comparações entre dados medidos e os resultados obtidos pelo modelo, as quais são apresentadas a seguir.

9.1. Maré

Para comparar a elevação de maré calculada pelo modelo numérico com dados da região modelada foram escolhidas seis estações maregráficas (Vitória-ES, Fundeio 1 Norte-RJ, Ilha da Moela-SP, Farol de Santa Marta-SC e Torres-RS) da FEMAR (Figura 109) situadas ao longo do domínio de modelagem. Estas estações foram escolhidas por estarem em regiões bem distintas entre si no interior do domínio de modelagem, tanto em regiões oceânicas, quanto em regiões costeiras e compreendendo diferentes estados do Brasil.

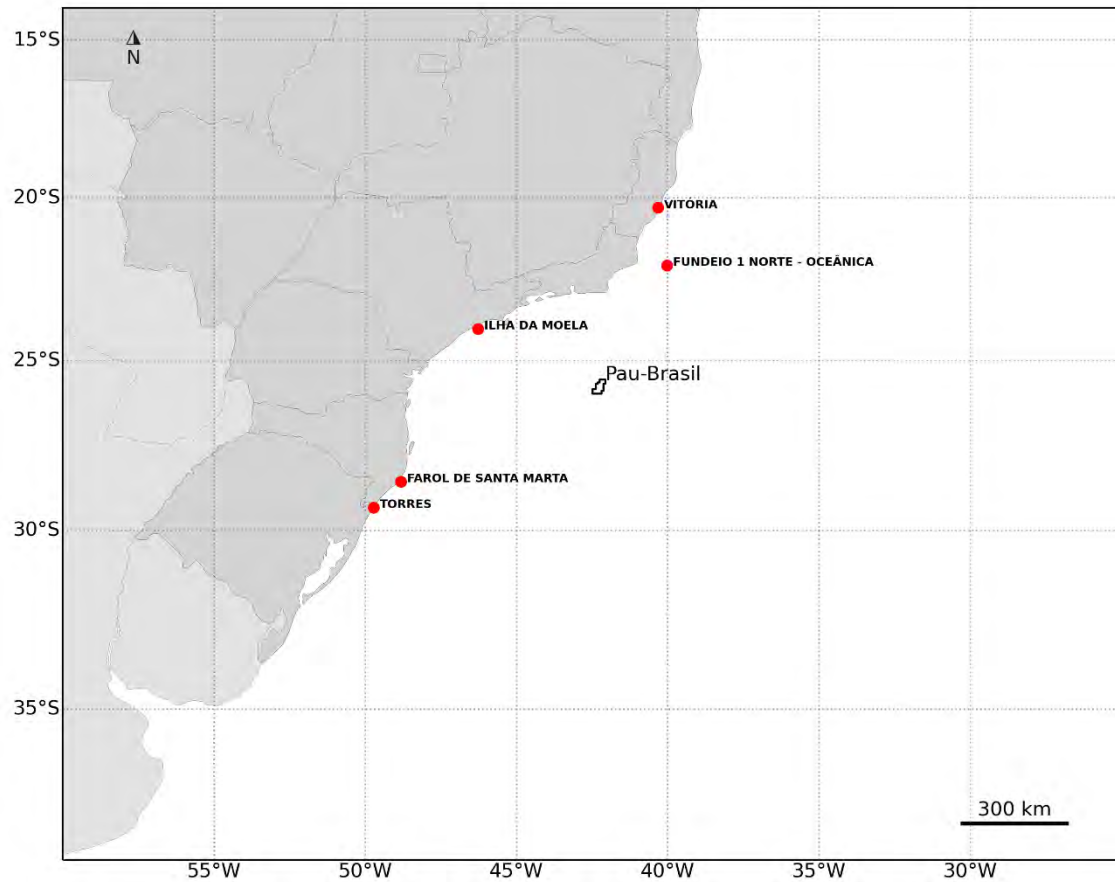


Figura 109: Localização das estações maregráficas da FEMAR, utilizadas na avaliação da representação da maré no modelo.

A partir das constantes harmônicas dessas estações foram realizadas previsões da elevação de maré para o período de simulação (janeiro de 2012 a dezembro de 2014). Séries de elevação do nível do mar nos pontos de grade mais próximos das estações foram obtidas e, a partir destas, foi realizada uma análise para se obter as mesmas constantes harmônicas utilizadas na reconstrução das séries da FEMAR e em seguida foram realizadas previsões da elevação da maré para o mesmo período. Da Figura 110 à Figura 114 as comparações são apresentadas para todo o período de modelagem.

VITÓRIA

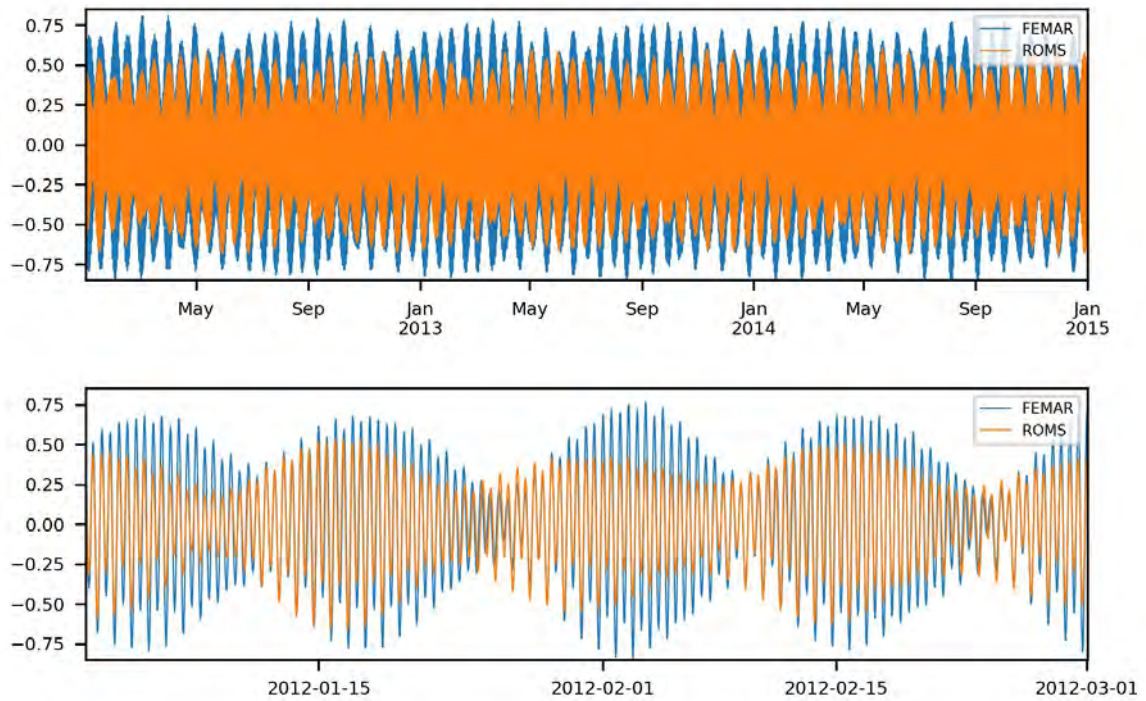


Figura 110: Comparação para a estação de Vitória – ES. Séries reconstituídas da FEMAR (azul) e do modelo ROMS (laranja), para todo o período (acima) e em zoom (abaixo).

FUNDEIO 1 NORTE - OCEÂNICA

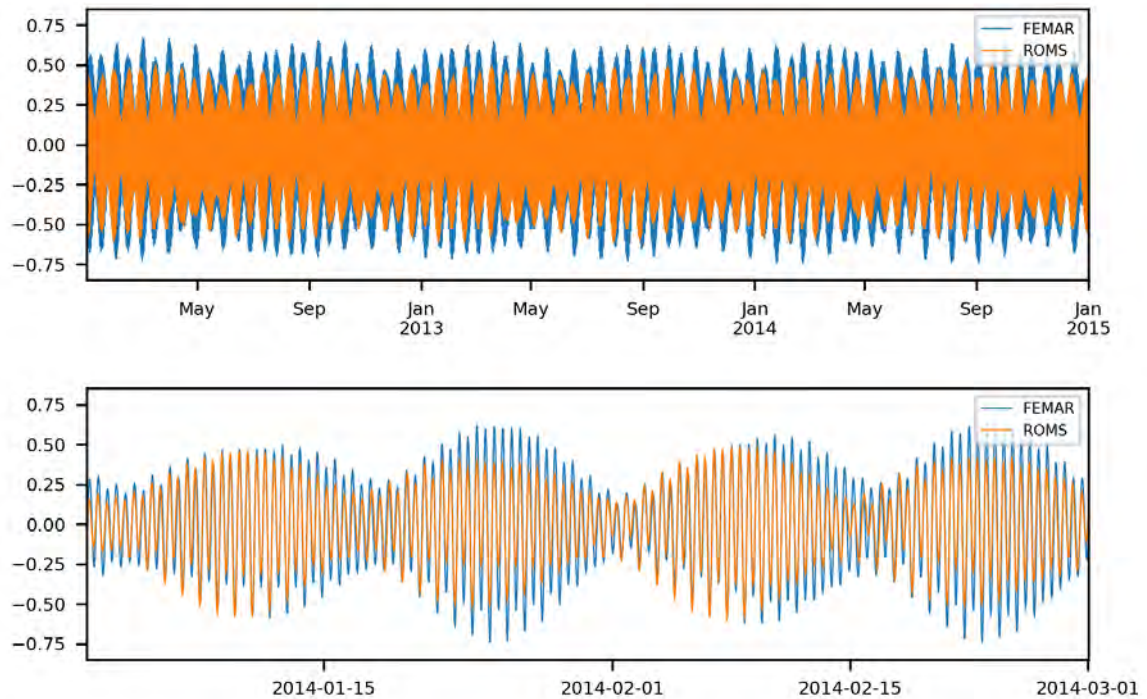


Figura 111: Comparação para a estação de Fundeio 1 Norte – Oceânica. Séries reconstituídas da FEMAR (azul) e do modelo ROMS (laranja), para todo o período (acima) e em zoom (abaixo).

ILHA DA MOELA

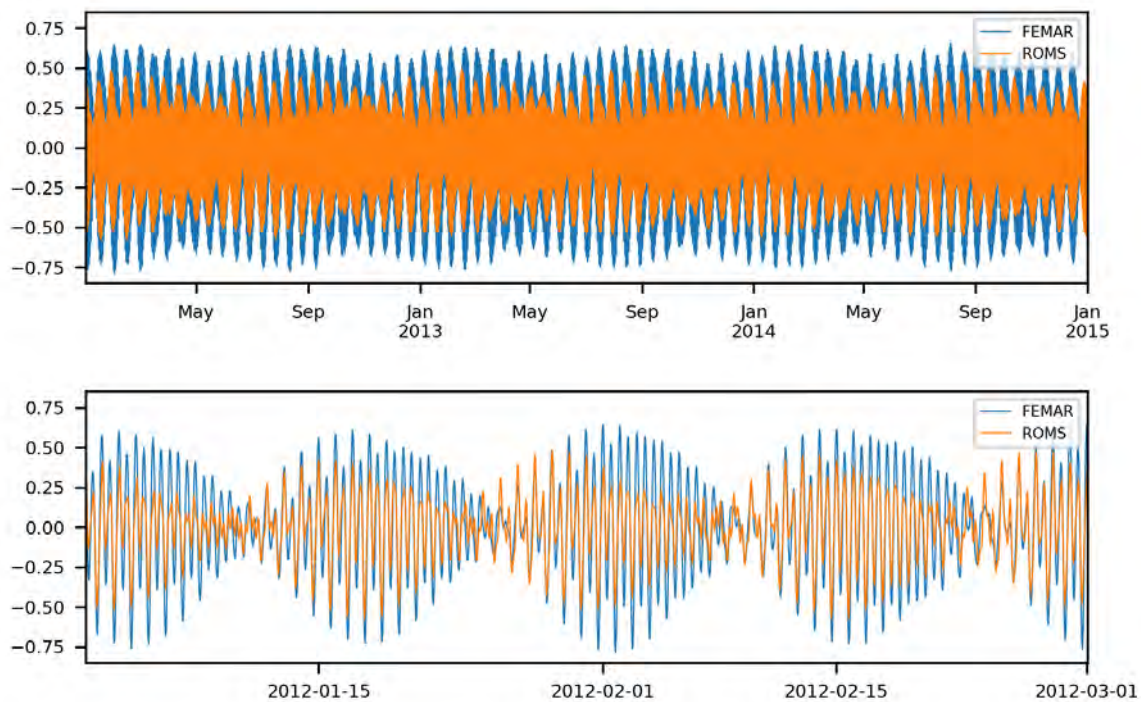


Figura 112: Comparação para a estação de Ilha da Moela. Séries reconstituídas da FEMAR (azul) e do modelo ROMS (laranja), para todo o período (acima) e em zoom (abaixo).

FAROL DE SANTA MARTA

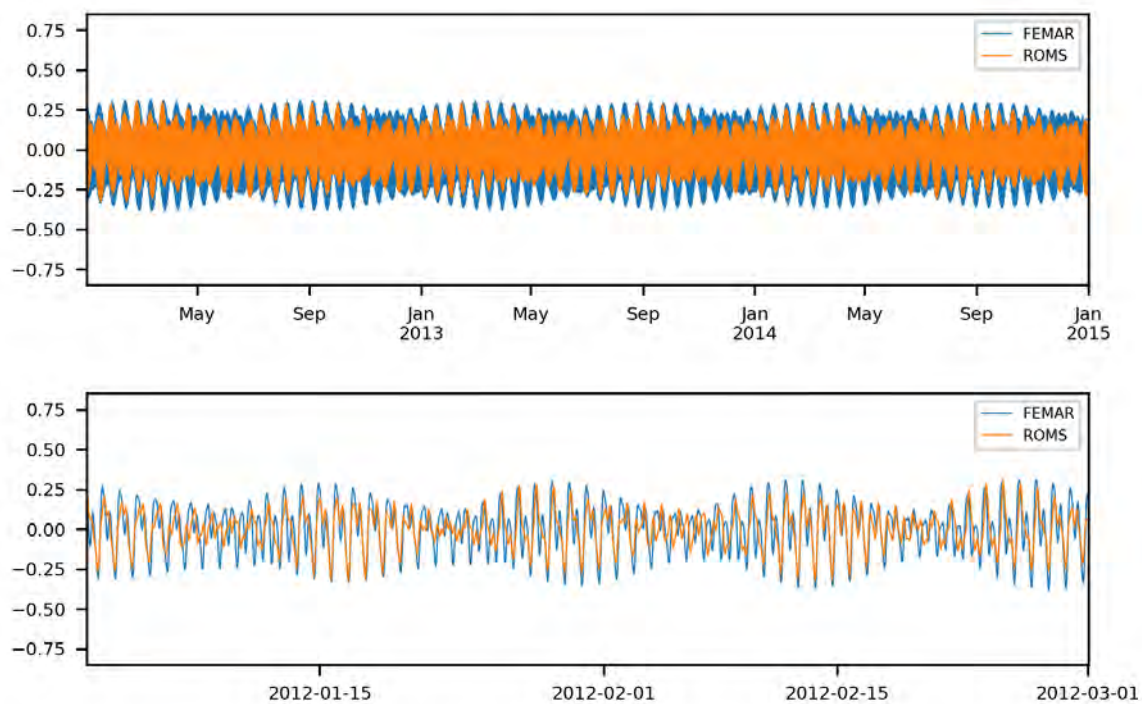


Figura 113: Comparação para a estação de Santa Marta. Séries reconstituídas da FEMAR (azul) e do modelo ROMS (laranja), para todo o período (acima) e em zoom (abaixo).

TORRES

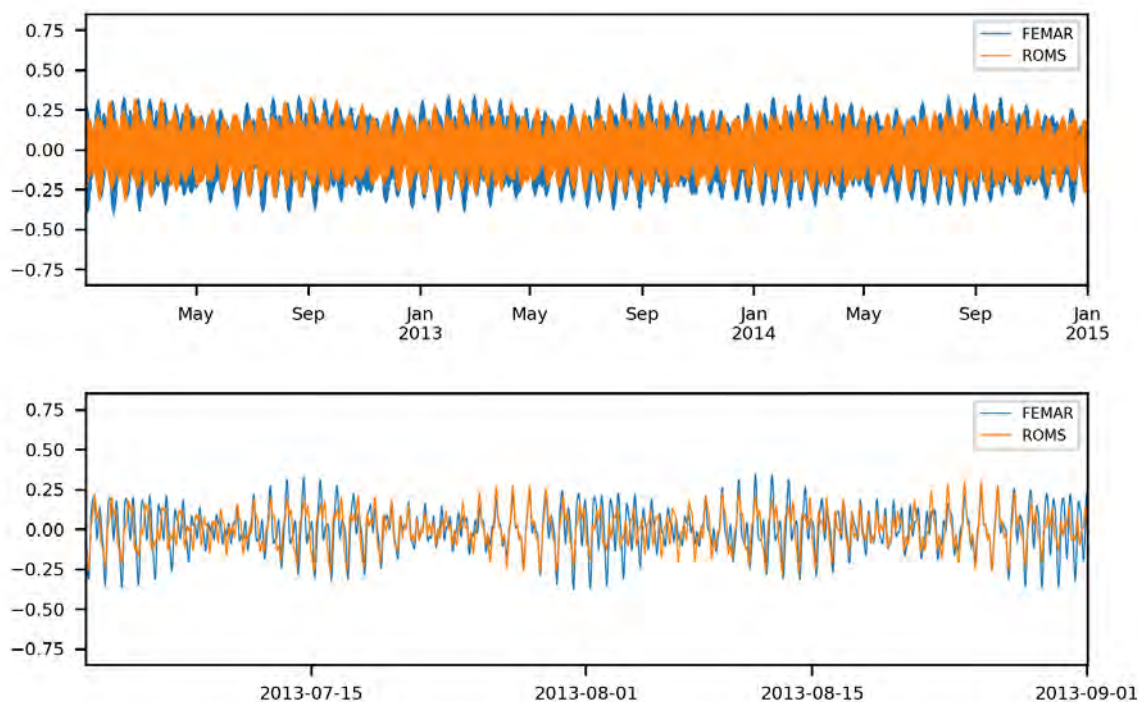


Figura 114: Comparação para a estação de Torres. Séries reconstituídas da FEMAR (azul) e do modelo ROMS (laranja), para todo o período (acima) e em zoom (abaixo).

Para avaliar a capacidade de representação da amplitude e da fase da onda de maré pelo modelo são calculados o erro médio absoluto, “EMA”, (Eq. 1) e o coeficiente de correlação linear “p” (Eq.2), entre as séries reconstituídas. Foram utilizadas séries de dados de 1096 dias, contemplando três anos completos, com resolução horária.

$$EMA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |xi - yi| \quad (\text{Eq. 1})$$

$$p = \frac{cov(x, y)}{\sqrt{var(x) * var(y)}} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde “x” é a série maregráfica do modelo do modelo e “y” é a série da FEMAR. O erro médio (EMA) e o coeficiente de correlação linear (p) aplicados à série de maré indicam o desvio da amplitude e o desvio de fase, respectivamente, entre a onda de maré modelada e a reconstituída. Os índices calculados são apresentados na Tabela 6 para cada estação utilizada e para a média das estações. O EMA variou entre 0,05 (Vitória-ES e Torres-RS) e 0,11 (Ilha da Moela-SP) e o índice de correlação variou entre 0,7 (Farol de Santa Marta-SC) e 0,99 (Vitória-ES e Fundeio Norte-RJ). Os valores médios de EMA e p foram 0,09 e 0,88, respectivamente.

Tabela 6: Comparação estatística entre as séries maregráficas do modelo ROMS e da FEMAR. Apresentam-se os índices Erro Médio Absoluto (EMA) e coeficiente de correlação linear de Pearson (p).

Estação	EMA (m)	p
Vitória	0,1	0,93
Fundeio Norte	0,11	0,97
Ilha da Moela	0,13	0,88
Farol de Santa Marta	0,09	0,69
Torres	0,09	0,65
Média	0,11	0,82

Também foram analisados os valores extremos observados e modelados para as estações da FEMAR utilizadas no estudo.

Tabela 7: Comparação de valores extremos entre os dados de elevação do ROMS e os dados medidos.

Estação	Fonte	Valores extremos	
		Máx.	Mín.
Vitória	FEMAR	0,80	-0,86
	ROMS	0,60	-0,69
Fundeio Norte	FEMAR	0,66	-0,74
	ROMS	0,51	-0,61
Ilha da Moela	FEMAR	0,65	-0,78
	ROMS	0,49	-0,59
Farol de Santa Marta	FEMAR	0,31	-0,38
	ROMS	0,30	-0,34
Torres	FEMAR	0,35	-0,41
	ROMS	0,32	-0,33

A representação da amplitude com erro médio absoluto de aproximadamente 11 centímetros é considerada satisfatória para um modelo com essa dimensão de domínio e resolução. O índice de correlação linear variando de 0,65 a 0,97 demonstra que as séries apresentam correlação de forte a muito forte. A média das diferenças entre os valores extremos, assim como o EMA, é de da ordem de 10 centímetros. Portanto, com base nesses números, é possível afirmar que a representação da fase da maré pode ser considerada satisfatória.

9.2. Temperatura da Superfície do Mar

Da Figura 115 à Figura 126 são apresentadas as médias mensais da temperatura da superfície do mar (TSM) obtidas do ROMS para o período de janeiro de 2012 a janeiro de 2015, e as médias mensais da TSM obtida para o mesmo período dos dados satelitais do MUR SST (*Multi-scale Ultra-High Resolution Sea Surface Temperature*), disponibilizados pelo *Jet Propulsion Laboratory* (JPL-NASA). O produto é oferecido diariamente e cobre todo o globo com alta resolução (~1 km), resultado da combinação de diversos sensores infravermelhos e micro-ondas, além de dados *in situ*. Maiores informações podem ser obtidas na página do projeto (<https://mur.jpl.nasa.gov>).

Para a comparação, os dados do MUR foram interpolados para a mesma grade do ROMS, como apresentado nas figuras a seguir.

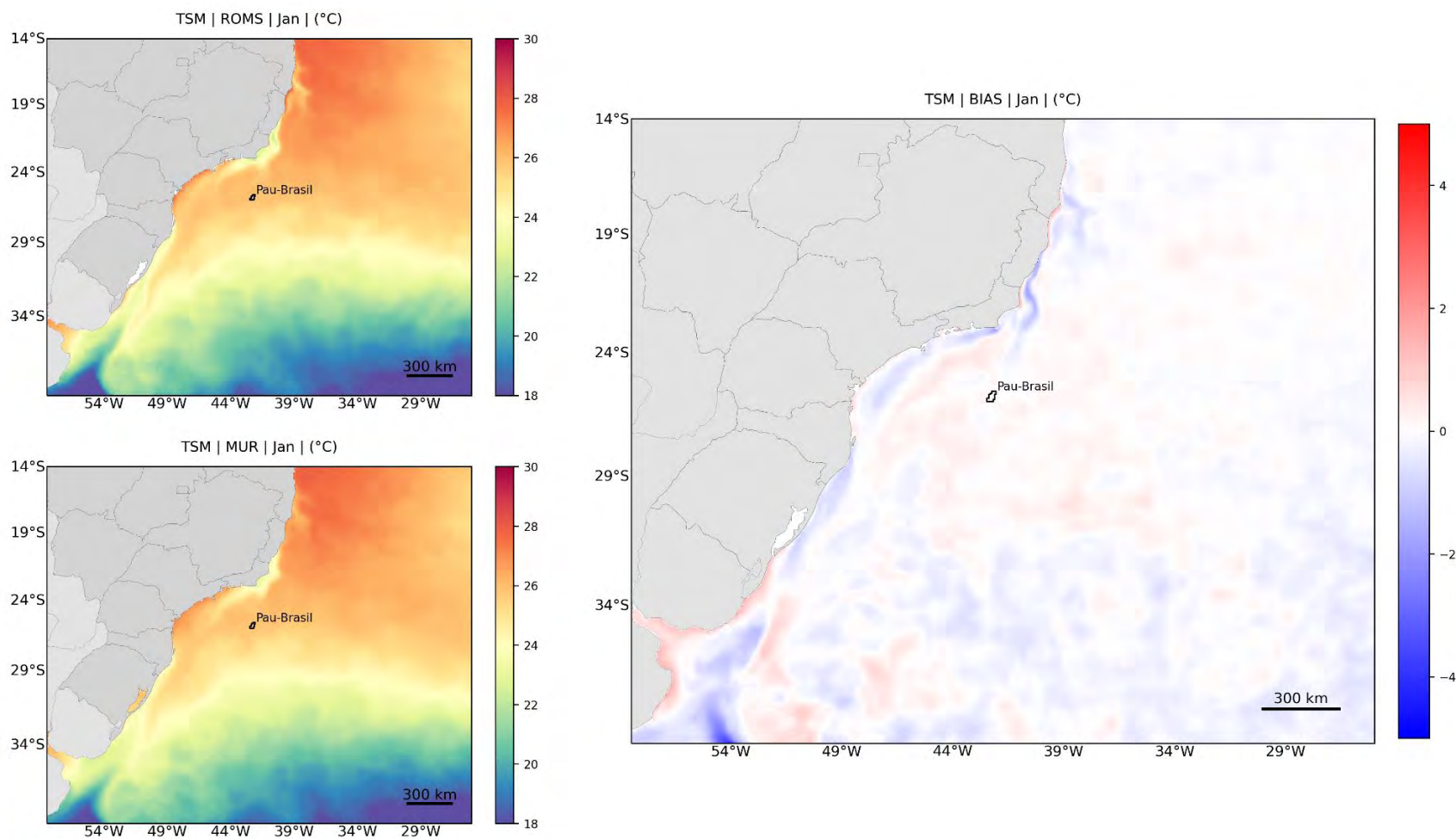


Figura 115: TSM média de janeiro (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do MUR (inferior) e o campo de *bias* (Modelo - Dado).

[Handwritten signature]

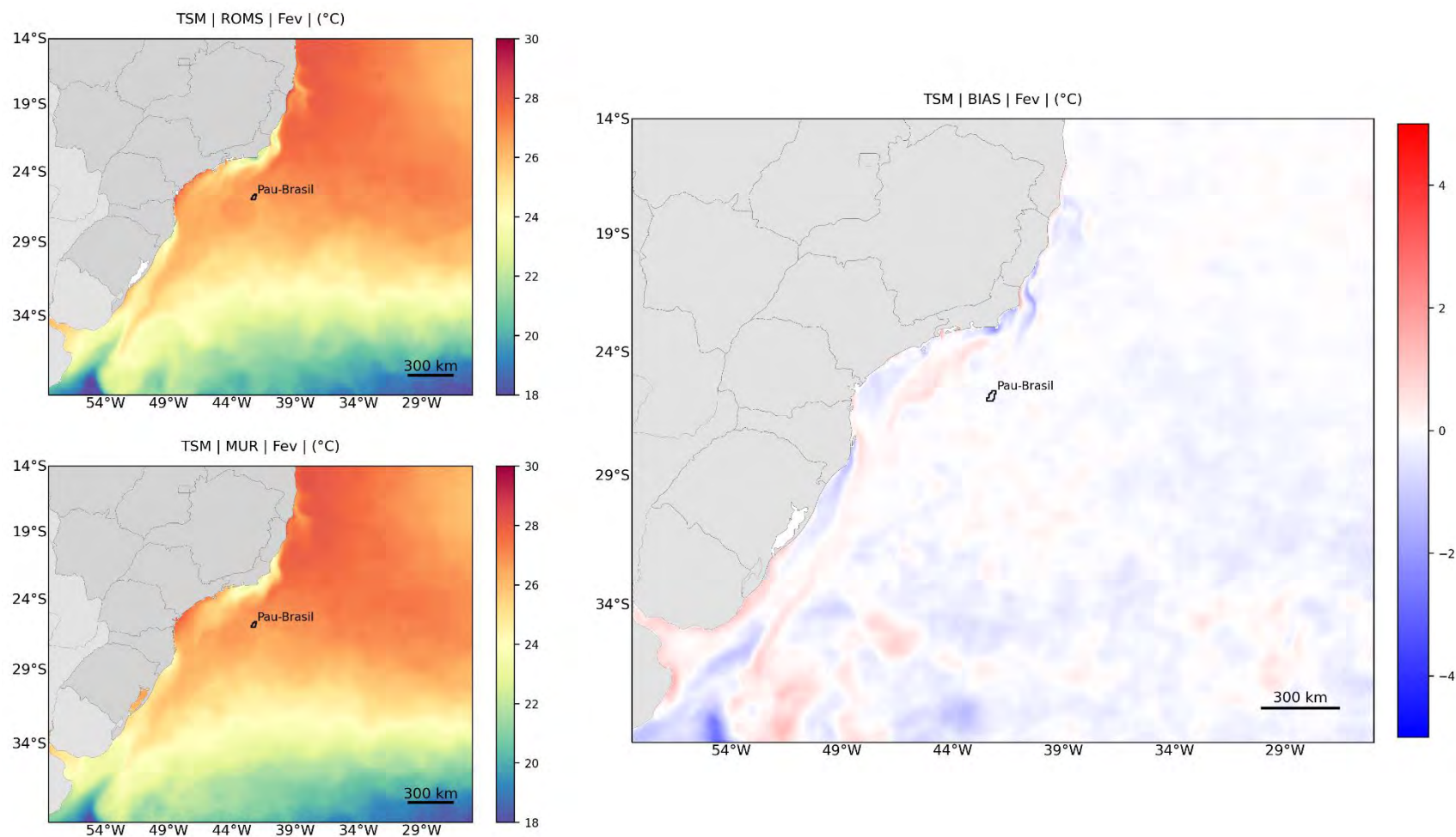


Figura 116: TSM média de fevereiro (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do MUR (inferior) e o campo de *bias* (Modelo - Dado).

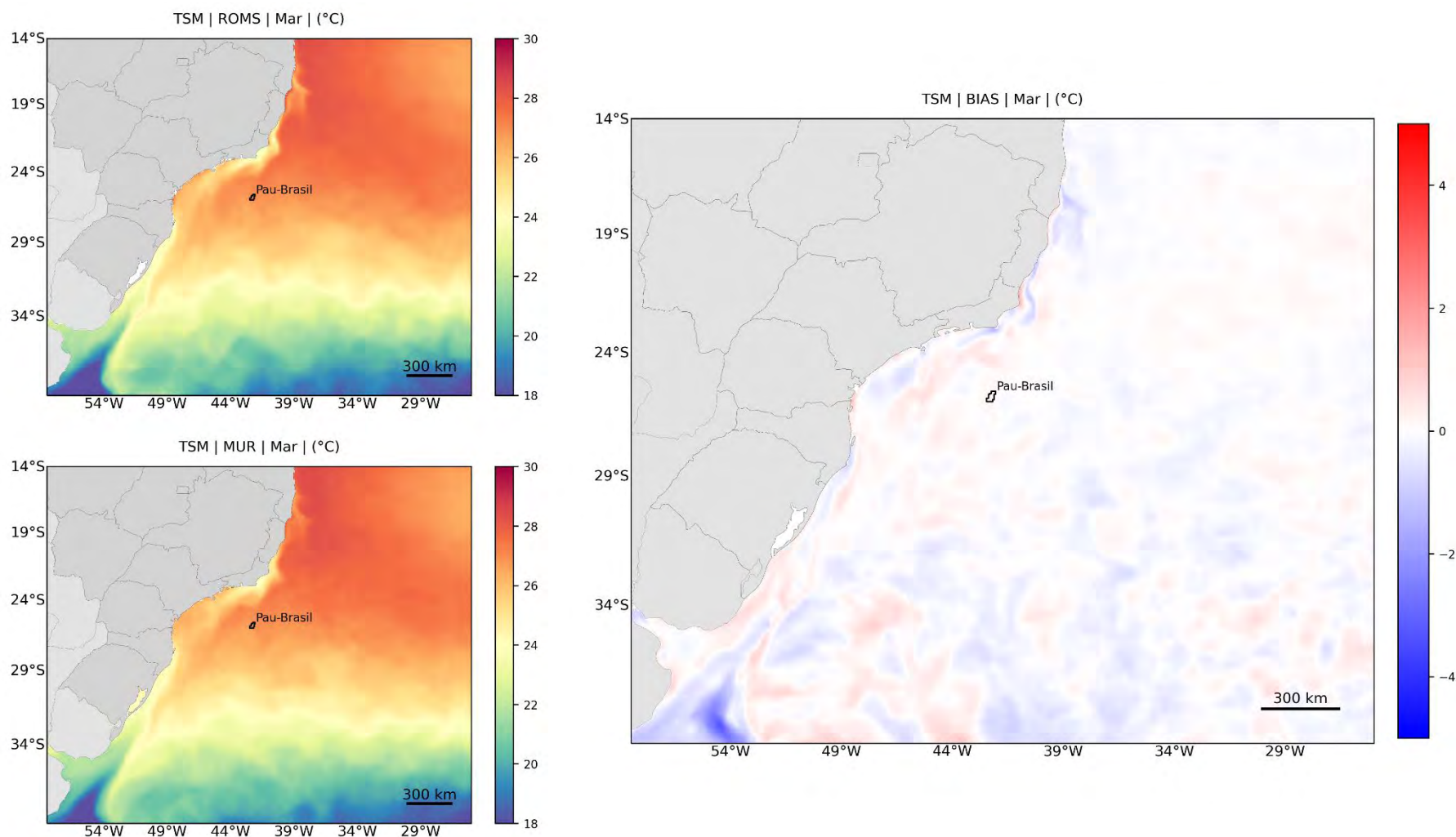


Figura 117: TSM média de março (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do MUR (inferior) e o campo de *bias* (Modelo - Dado).

[Handwritten signature]

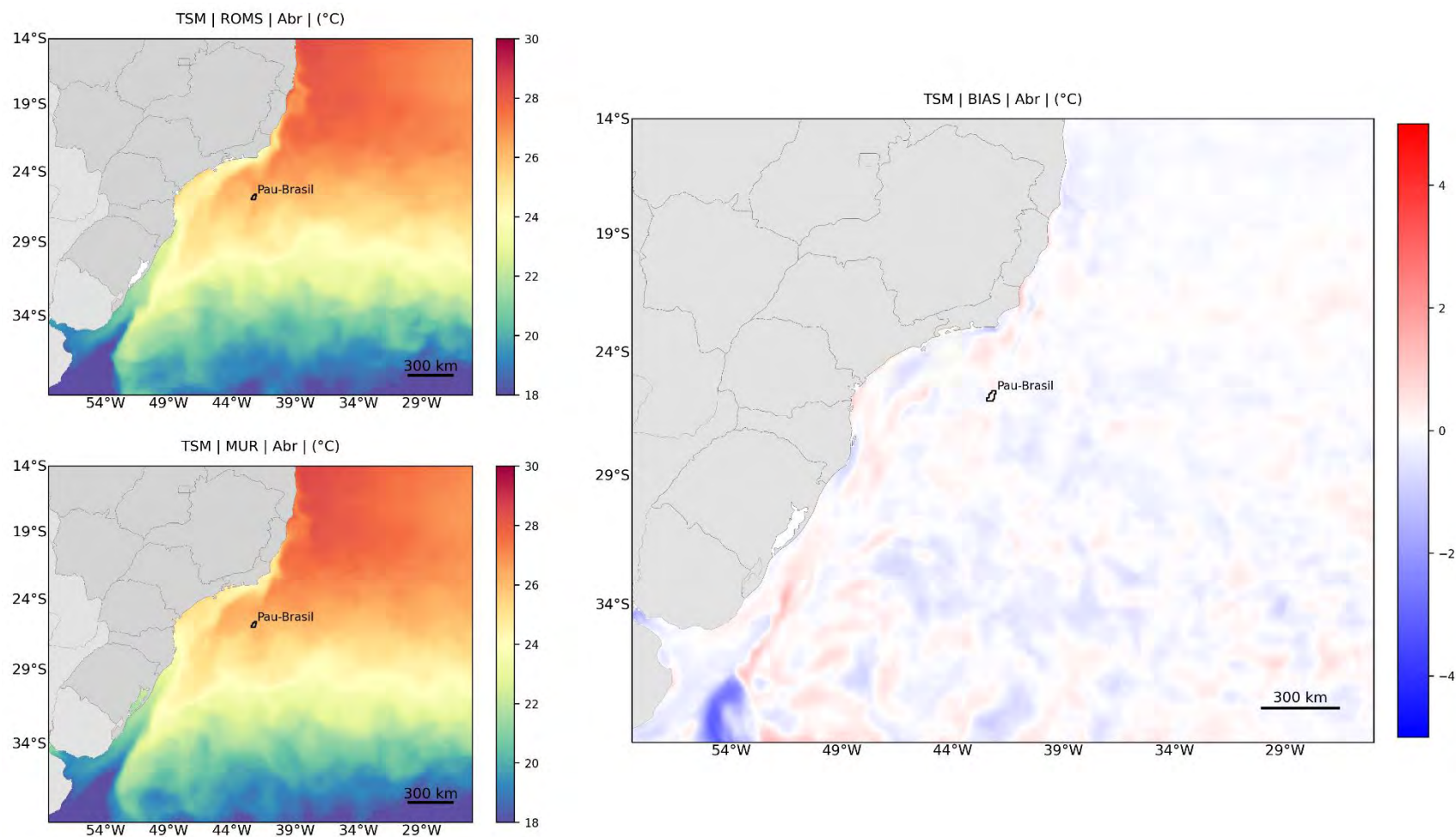


Figura 118: TSM média de abril (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do MUR (inferior) e o campo de *bias* (Modelo - Dado).

Handwritten signature

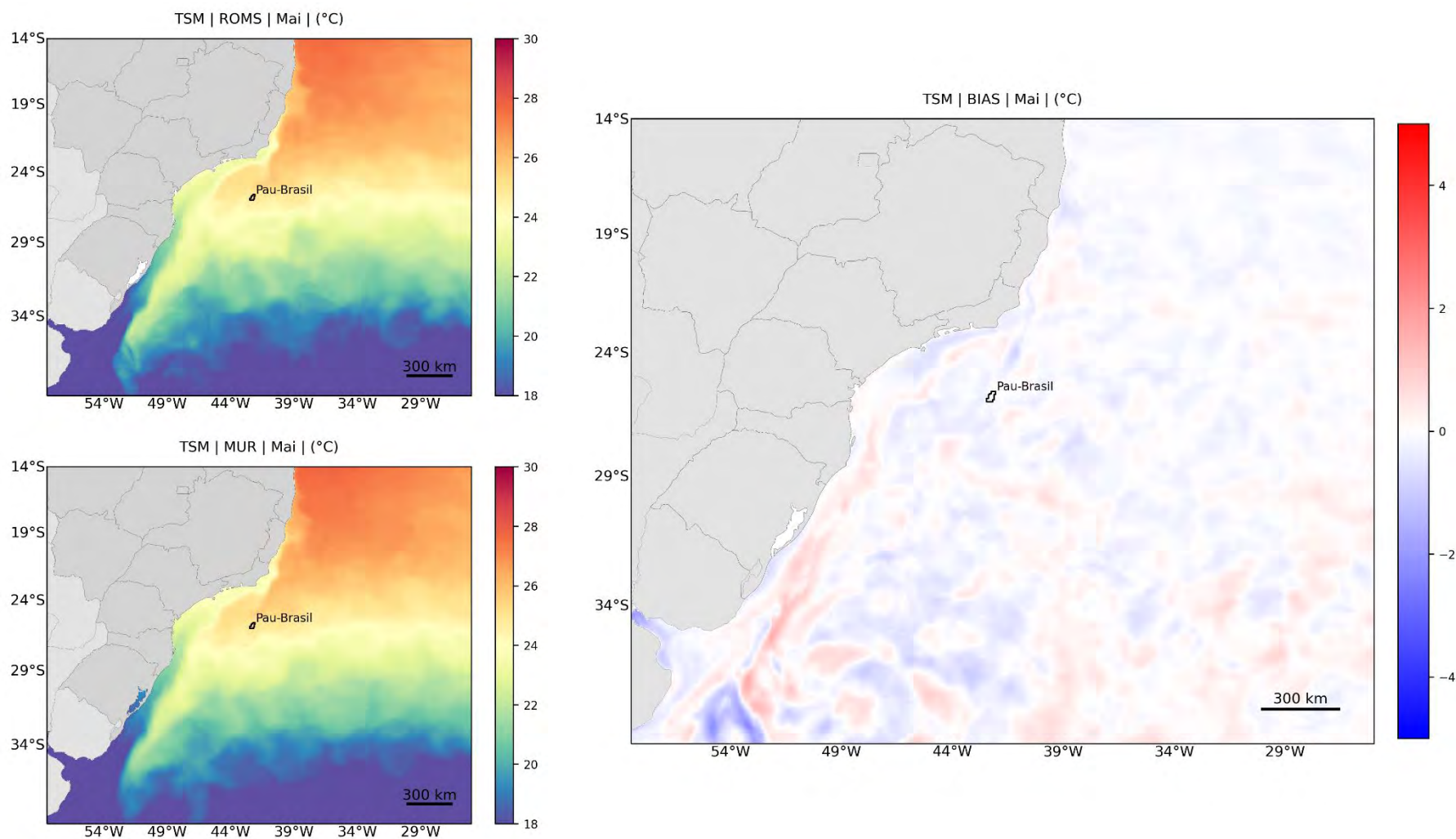


Figura 119: TSM média de maio (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do MUR (inferior) e o campo de *bias* (Modelo - Dado).

[Handwritten signature]

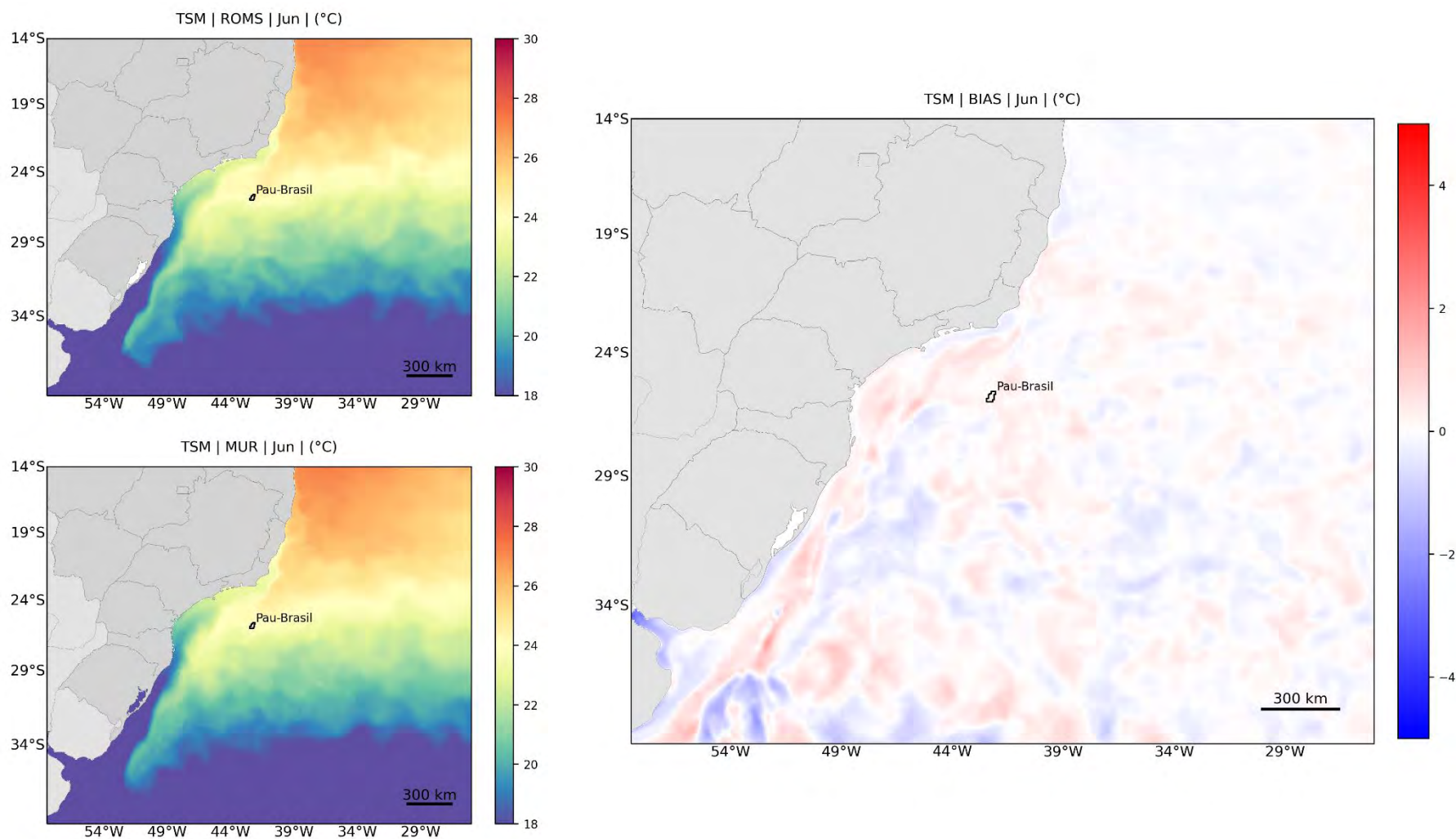


Figura 120: TSM média de junho (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do MUR (inferior) e o campo de *bias* (Modelo - Dado).

[Handwritten signature]

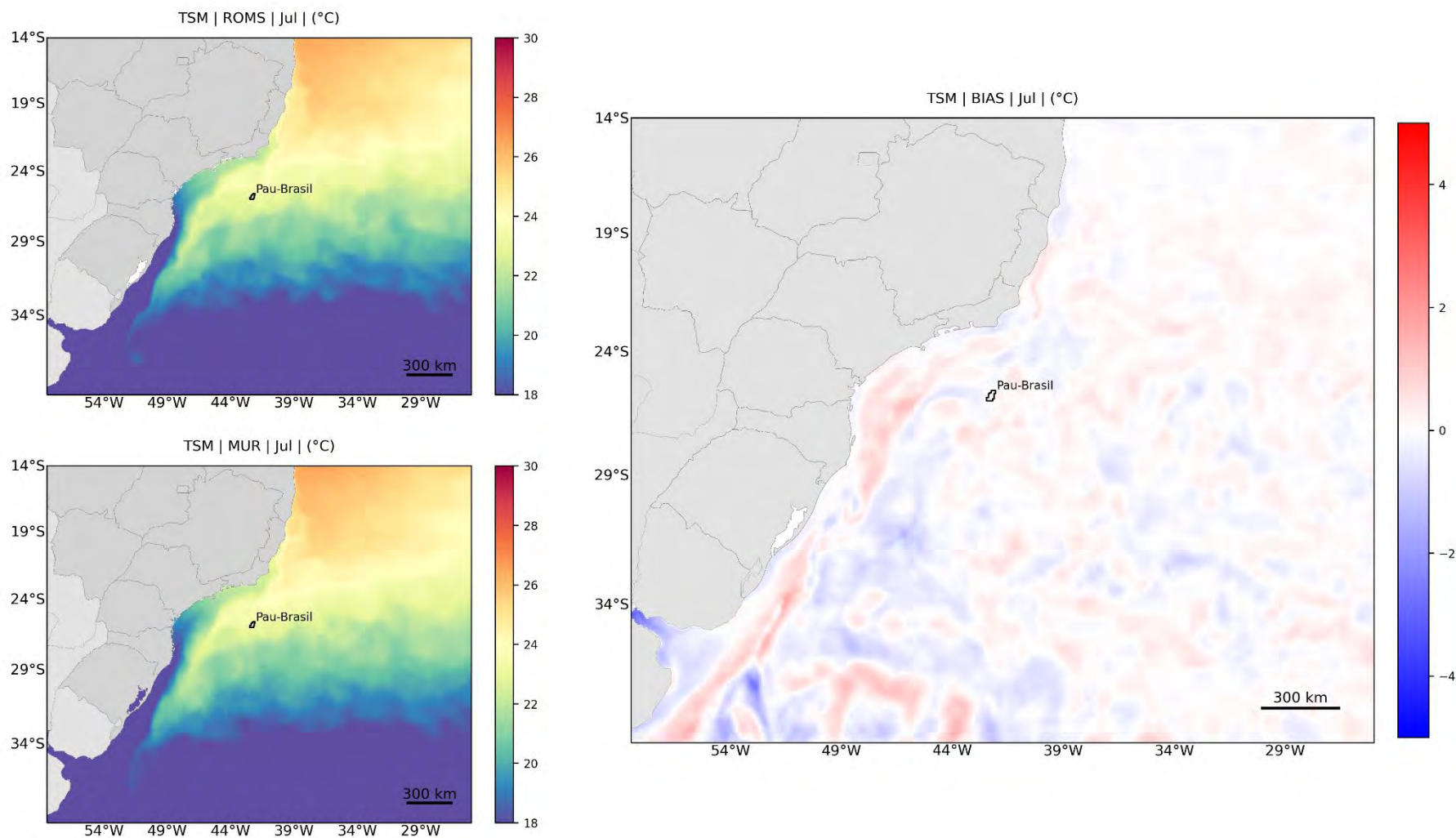


Figura 121: TSM média de julho (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do MUR (inferior) e o campo de *bias* (Modelo - Dado).



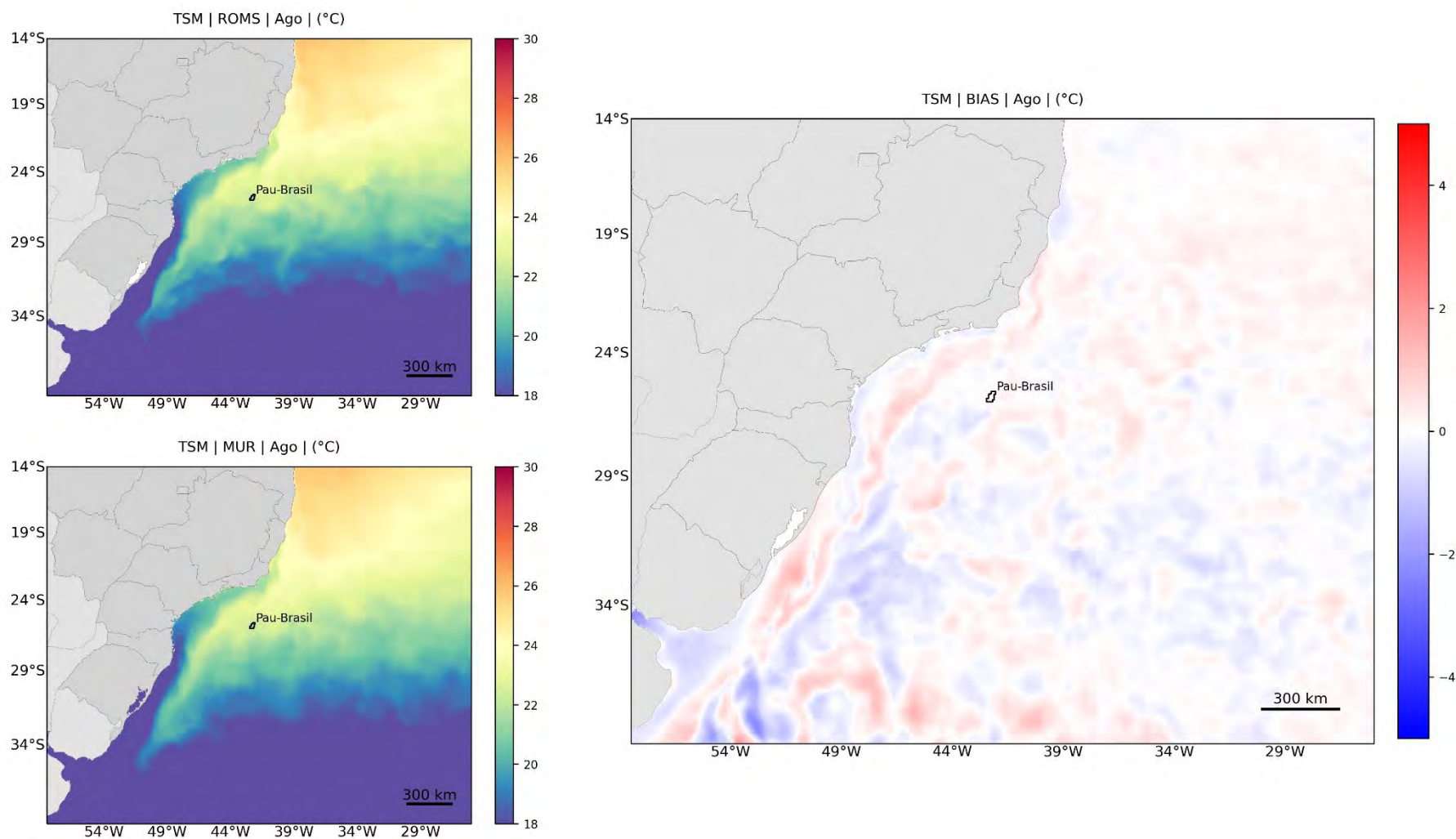


Figura 122: TSM média de agosto (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do MUR (inferior) e o campo de *bias* (Modelo - Dado).

[Handwritten signature]

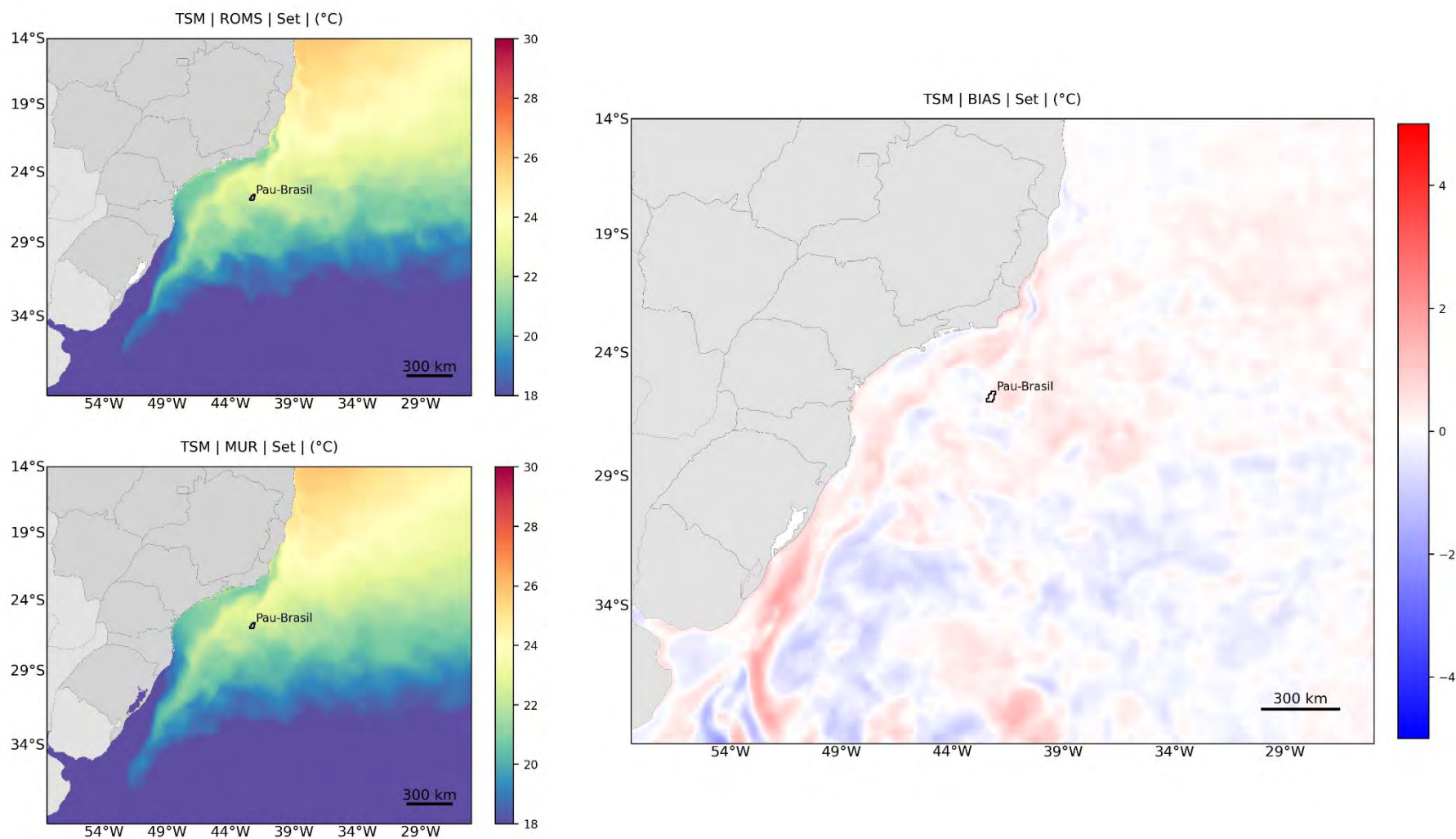


Figura 123: TSM média de setembro (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do MUR (inferior) e o campo de *bias* (Modelo - Dado).

[Handwritten signature]

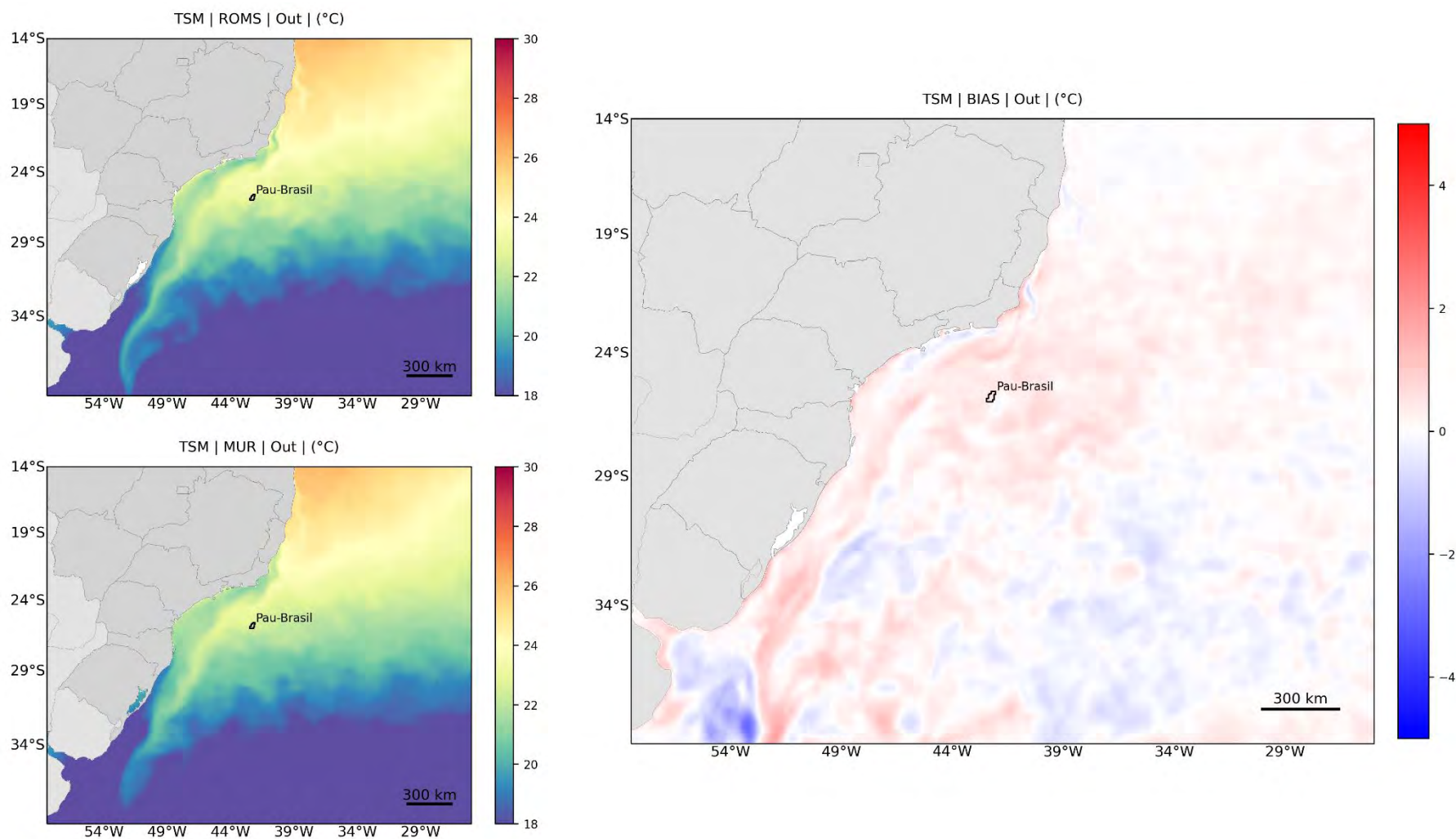


Figura 124: TSM média de outubro (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do MUR (inferior) e o campo de *bias* (Modelo - Dado).



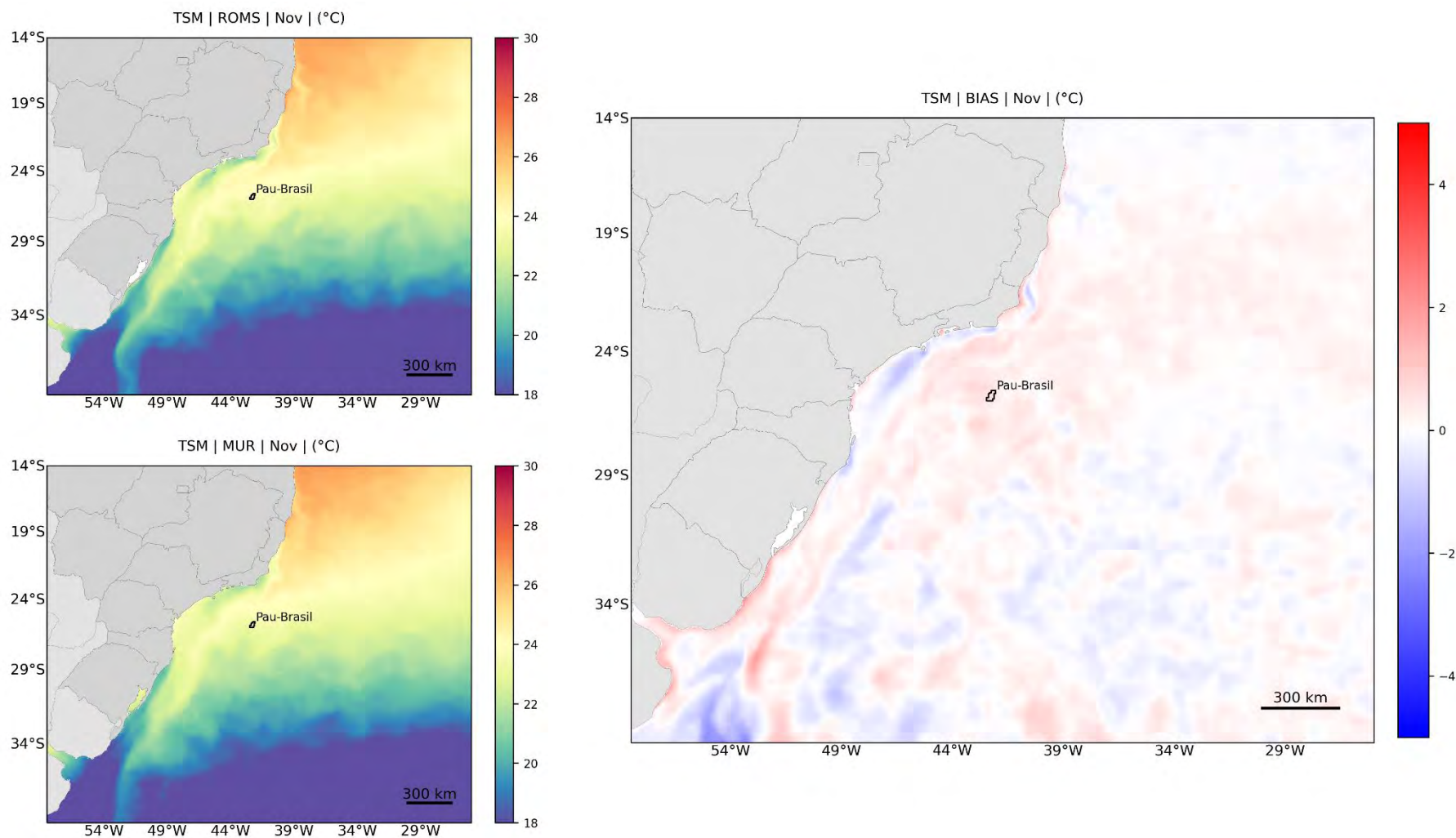


Figura 125: TSM média de novembro (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do MUR (inferior) e o campo de *bias* (Modelo - Dado).

[Handwritten signature]

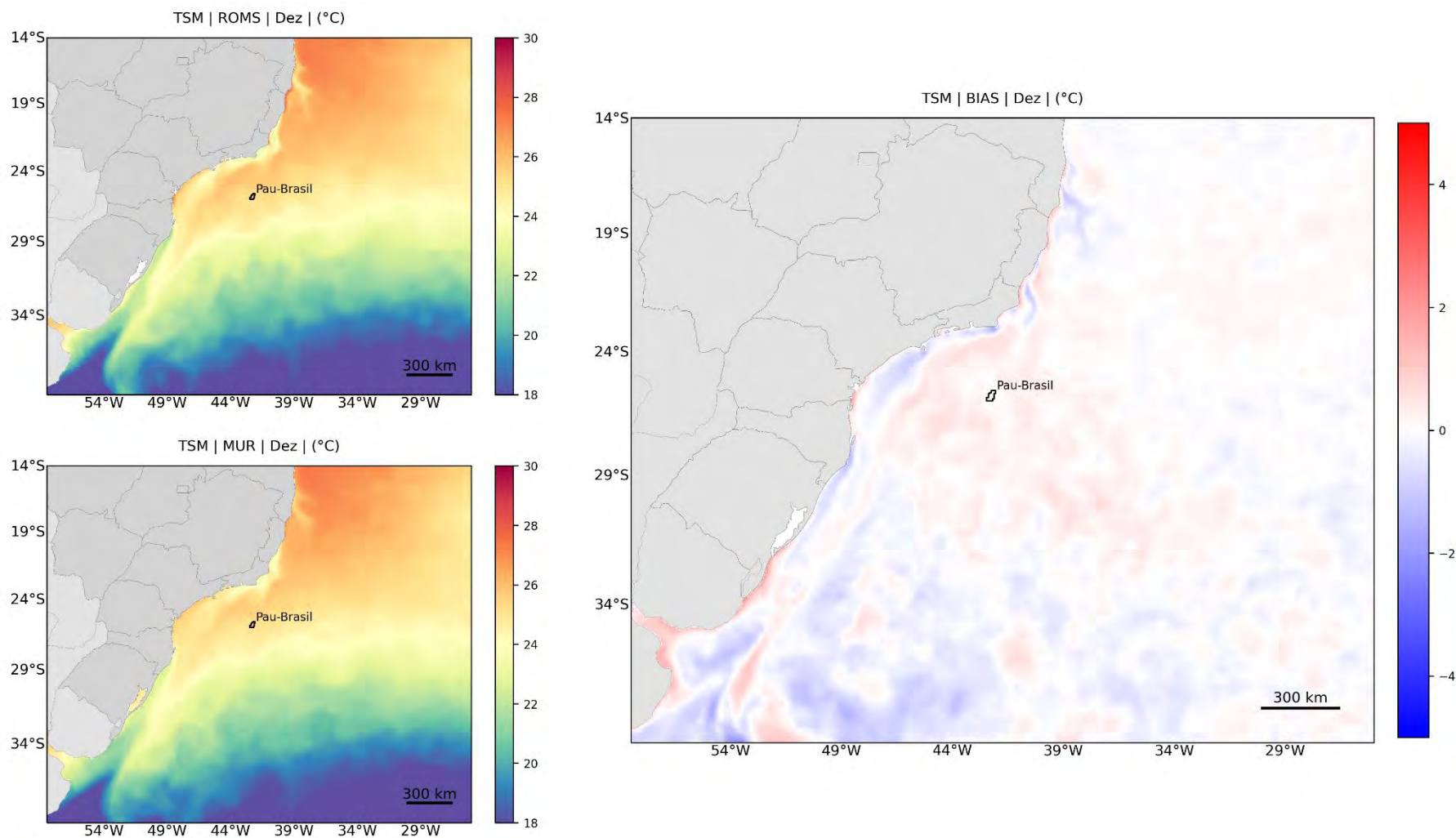


Figura 126: TSM média de dezembro (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do MUR (inferior) e o campo de *bias* (Modelo - Dado).

[Handwritten signature]

Em geral, verifica-se que os padrões da TSM foram bem representados pelo ROMS. A boa representação do campo de temperatura superficial do modelo é um excelente indicador da capacidade do modelo em representar a dinâmica da região, visto que a distribuição espacial da temperatura é influenciada pela advecção das correntes.

Destaca-se a boa representação da sazonalidade da TSM e a boa representação de feições costeiras como por exemplo a ressurgência que ocorre na região de Campos e Arraial do Cabo (RJ) e a intrusão de água mais fria pela plataforma continental nos meses de inverno. Esta intrusão demonstra a capacidade do modelo de representar a Corrente Costeira do Brasil (CCB) que, através de sucessivos pulsos forçados principalmente pela passagem de sistemas frontais (frentes frias), gera uma corrente residual, sazonal, com direção nordeste, que transporta água fria e rica em nutrientes desde 38°S até 24°S (MENDONÇA *et al.* 2017; SOUZA & ROBINSON, 2004).

Nota-se, através dos campos de *bias*, valores máximos e mínimos em torno de 1° C, principalmente em regiões de maior variabilidade temporal associadas a vórtices e meandros e regiões de fortes frentes térmicas. Ressalta-se que os dados de TSM obtidos por satélite apresentam erros influenciados principalmente pela presença de nuvens não resolvidas e pela existência de frentes termais horizontais e de gradientes verticais nas primeiras camadas do oceano (ARAÚJO, 2003). BARBOSA & MARENGO (2008), através da aplicação de inúmeros modelos globais acoplados, utilizados no *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC-AR4-2007), compararam os resultados das simulações com observações, avaliando-se o *bias*, concluindo que os modelos, em média, produzem um viés frio de 1 a 2° C, na região do Atlântico Sul, podendo chegar a 4° C, individualmente. Sendo assim os erros apresentados são completamente aceitáveis e encontram-se dentro das faixas habituais da literatura técnica. Para além dos campos de TSM, foram feitas análises de *bias* considerando três pontos distintos e apresentados na Figura 93. Os valores mínimos, médios e máximos do *bias* em cada um são apresentados na Tabela 8.

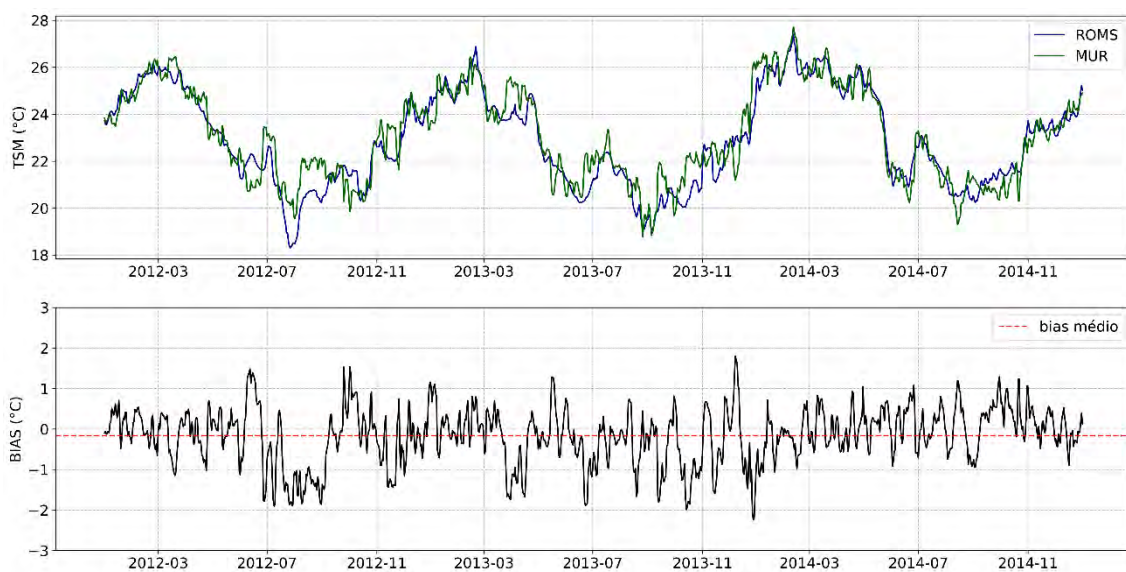


Figura 127: Série de TSM do MUR e do ROMS e do *bias* (modelo - dado) no Ponto 1, na Baía de Pelotas.

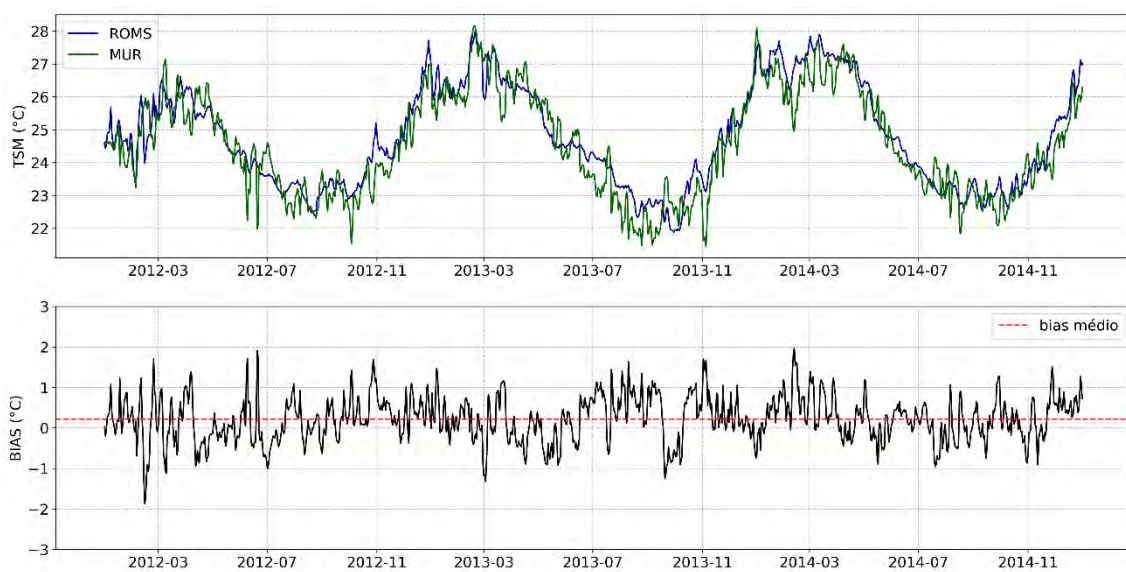


Figura 128: Série de TSM do MUR e do ROMS e do *bias* (modelo - dado) no Ponto 2, na Baía de Santos.

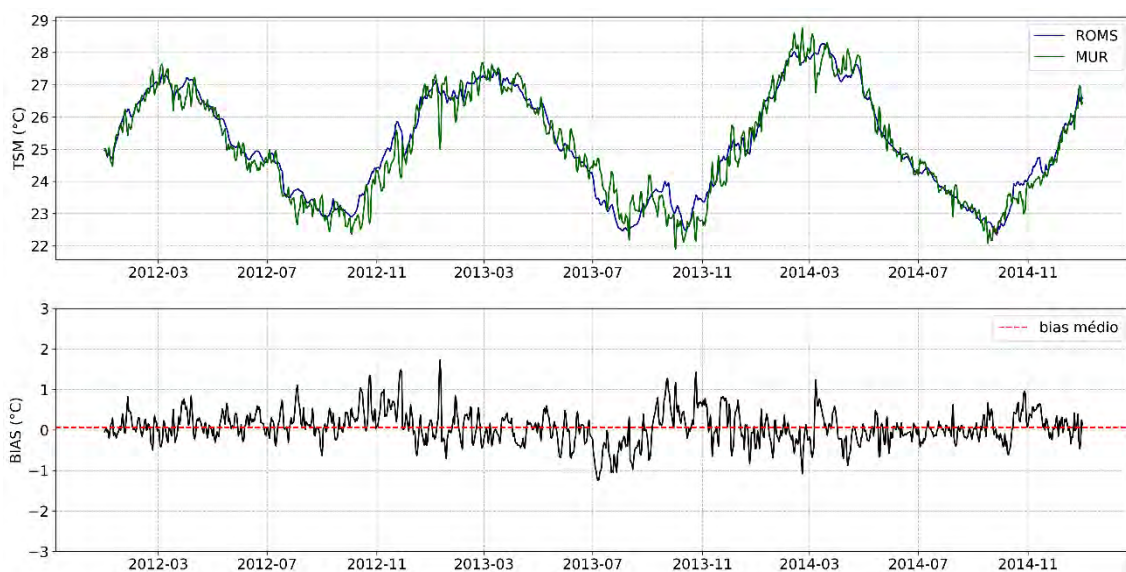


Figura 129: Série de TSM do MUR e do ROMS e do *bias* (modelo - dado) no Ponto 3, na Baía de Campos.

Tabela 8: Valores de bias de TSM (°C) mínimo, médio e máximo.

Ponto	Mínimo	Médio	Máximo
1 – Baía de Pelotas	-2,23	- 0,16	1,8
2 – Baía de Santos	-1,87	0,22	1,97
3 – Baía de Campos	-1,24	0,06	1,73

De forma geral, observa-se que há uma variação sazonal do *bias*. A variação do *bias* fica principalmente entre -2°C e +2°C, com média entre -0,1°C e 0,22°C. Esta variação é coerente se considerarmos as variações de *bias* do modelo usado como condição inicial e condição de contorno (LELLOUCHE *et al.*, 2019).

9.3. Estrutura Termohalina

Para avaliar a representação da estrutura vertical de temperatura e salinidade, na região de interesse, foram utilizados os dados da climatologia WOA13 V2 (*World Ocean Atlas 13 version 2*) do *National Oceanographic Data Center* (NODC).

Os campos que compõem a base de dados da climatologia WOA13 consistem da análise objetiva dos dados históricos armazenados no NODC, coletados por diversas campanhas e equipamentos, em navios de pesquisa e de oportunidade. Esta análise objetiva utiliza dados irregularmente espaçados, gerando uma grade global regularmente espaçada, disponível em 5°, 1° e 0,25°. Estes campos são tridimensionais e os dados são interpolados em 102 profundidades padrão, desde a superfície até 5.500 m de profundidade. Temporalmente, esta climatologia consiste na média realizada para o período compreendido entre os anos de 1773 e 2013, mas principalmente a partir de 1955. Os

dados da climatologia WOA13 podem ser obtidos através da sua página na internet (<http://www.nodc.noaa.gov/OC5/woa13/>). Maiores informações sobre a bases climatológicas do WOA13 podem ser obtidas em Locarnini *et al.* (2013) e Zweng *et al.* (2013).

Os dados utilizados foram extraídos para 13 pontos, sendo 12 distribuídos ao longo das bacias do Espírito Santo, Campos, Santos e Pelotas, e um ponto (P13) extraído na região do bloco Pau Brasil, conforme apresentado na Figura 130. Os pontos foram distribuídos de forma a cobrir a plataforma continental, talude e bacia oceânica de cada uma das bacias sedimentares, além da representação da estrutura vertical na área do bloco. A grade de 1° do WOA13-V2 foi escolhida para que a quantidade de observações utilizada na geração da média climatológica fosse mais significativa, aumentando a confiabilidade da faixa de variabilidade das variáveis analisadas.

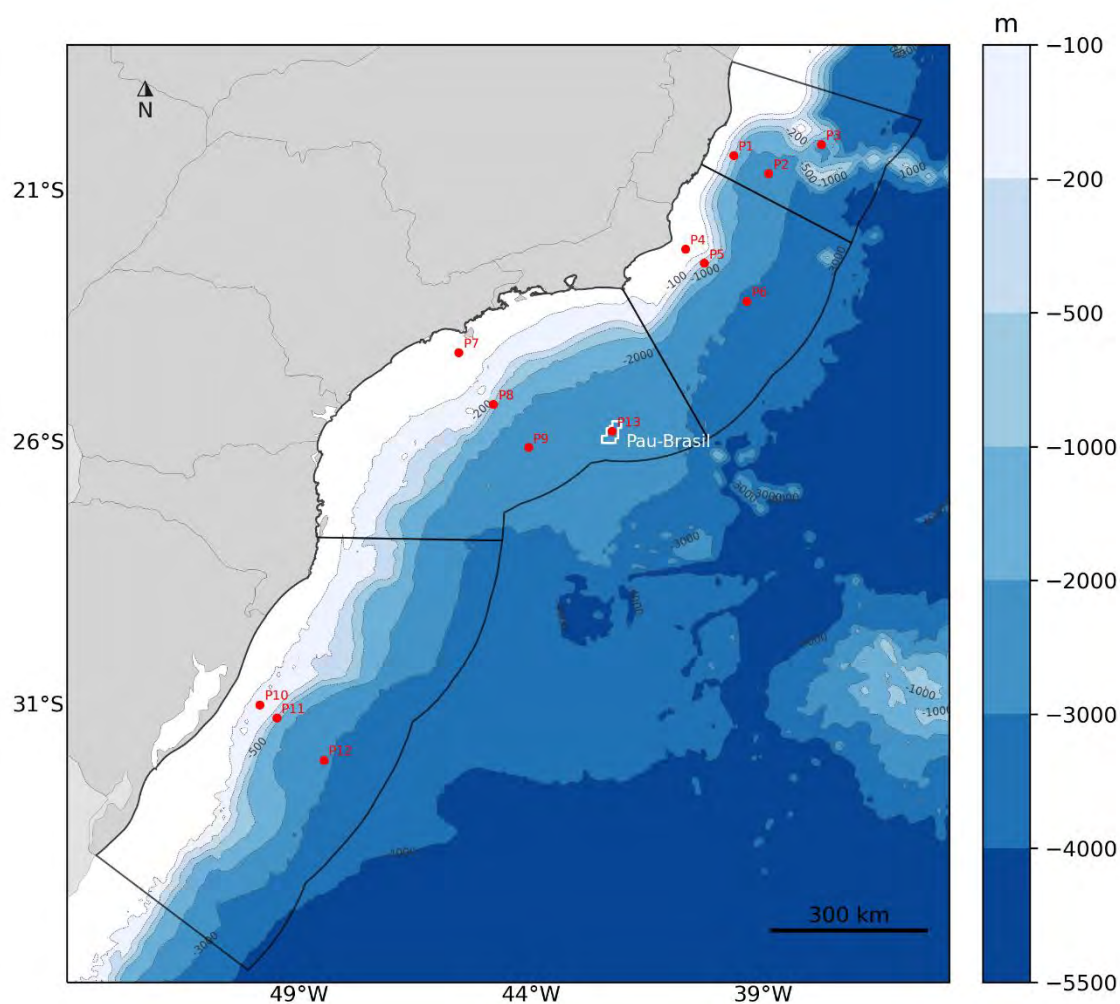


Figura 130: Localização dos pontos de grade do ROMS utilizados para as comparações com o WOA.

Abaixo, da Figura 131 à Figura 154, apresenta-se o número de observações para cada um dos pontos de grade do WOA13 V2 ao longo da coluna d'água, e as faixas de ocorrência¹ das observações de temperatura e salinidade obtidas no modelo (vermelho) e no WOA13-V2 (cinza). Pode-se observar que o modelo representou muito bem a estrutura vertical termohalina ao longo de todo domínio e sua variabilidade, pois ao longo de toda a coluna d'água as faixas de ocorrência são muito similares. Além disso, essa compatibilidade dos valores é um indicativo de que houve uma boa representação da posição média das massas d'água no domínio de modelagem.

Ressalta-se que diferenças observadas são esperadas, uma vez que os dados do WOA representam uma climatologia obtida para áreas com 1° de resolução, sendo muito maior que a área representada pelos dados do ROMS, com resolução de 1/16°.

¹ Considerando que estas variáveis seguem uma distribuição normal, esta faixa é calculada para abranger 99,7% das ocorrências, e, portanto, seus limites representam 3 vezes o desvio padrão ao redor da média.

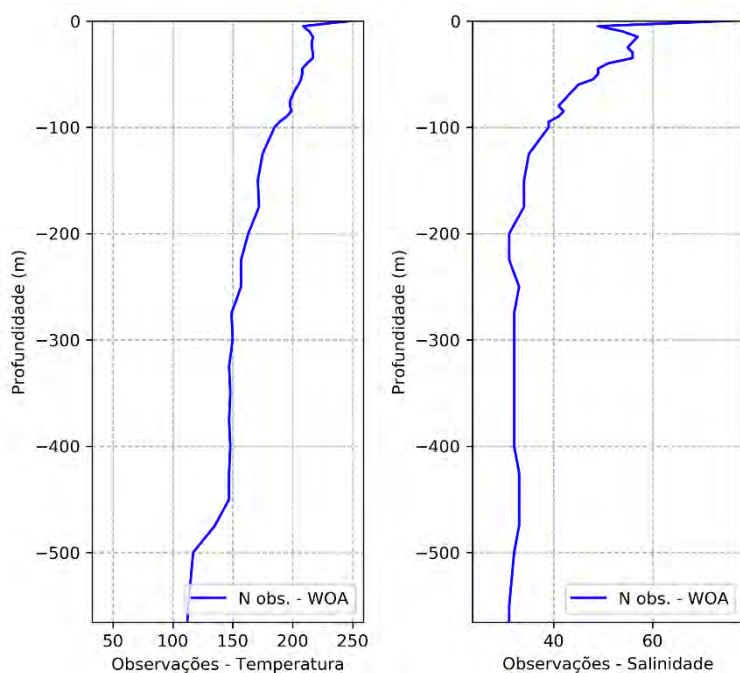


Figura 131: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 1 (região do bloco).

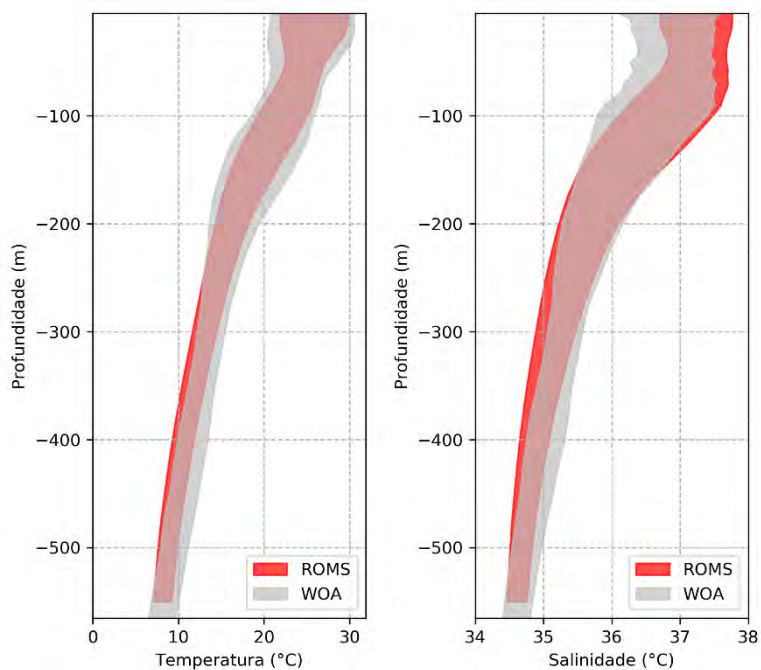


Figura 132: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 1 (região do bloco).

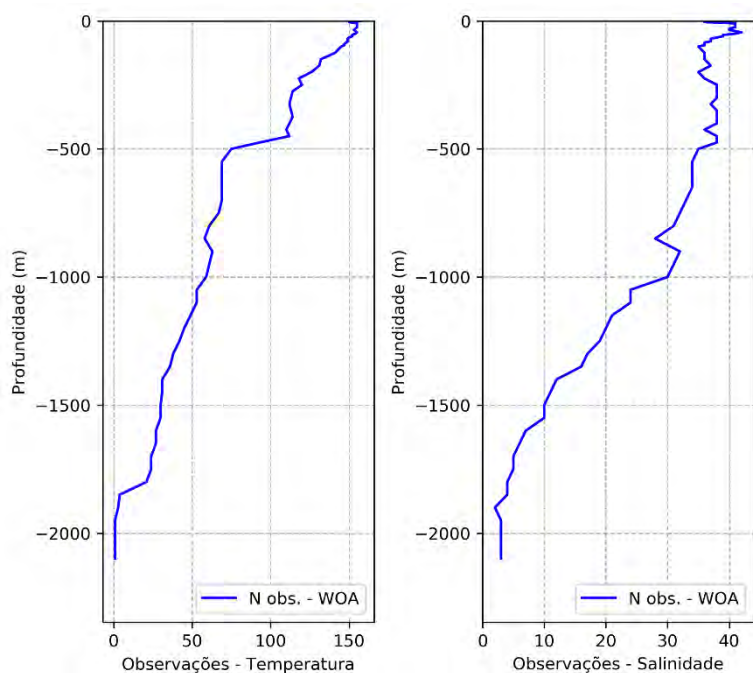


Figura 133: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 2.

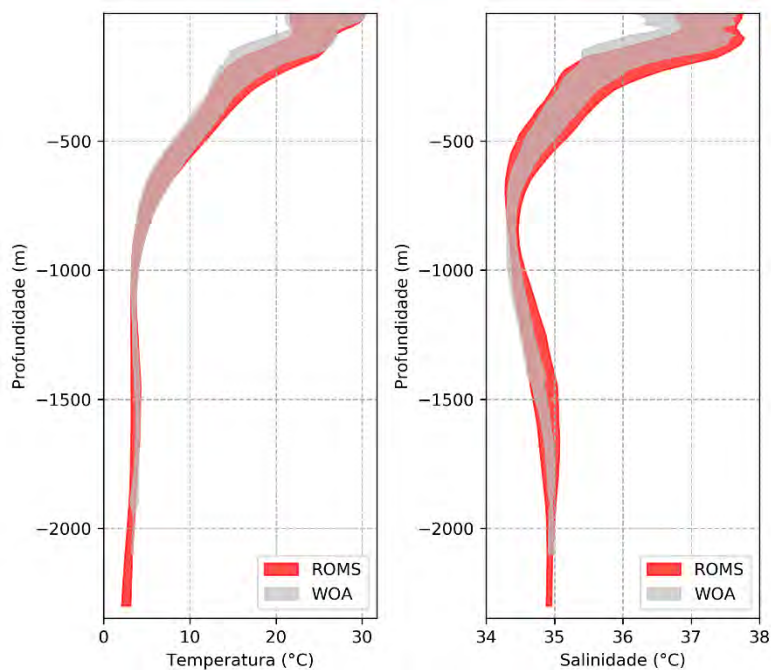


Figura 134: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 2.

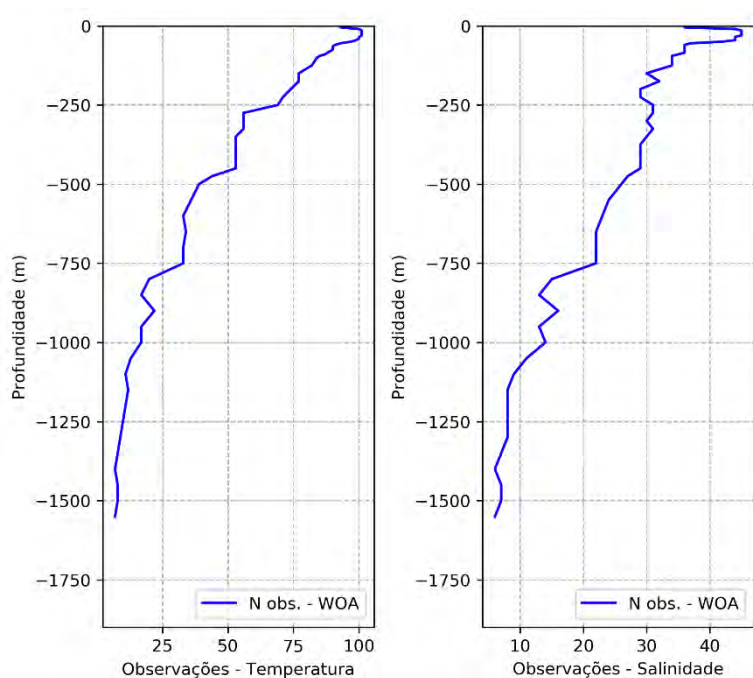


Figura 135: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 3.

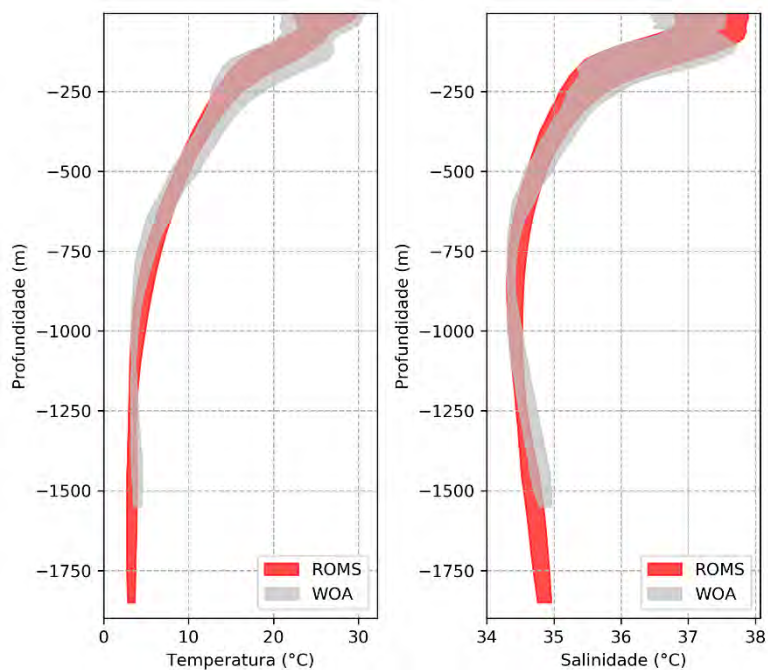


Figura 136: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 3.

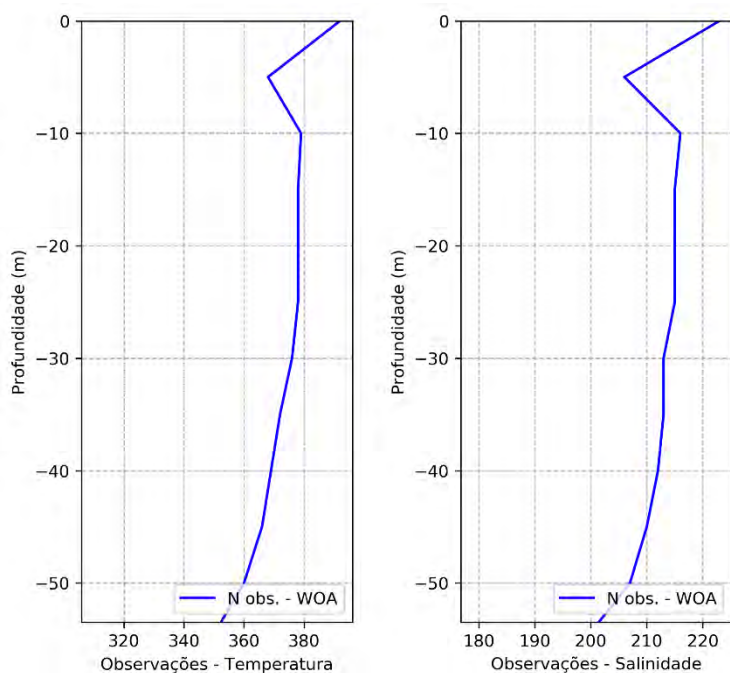


Figura 137: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 4.

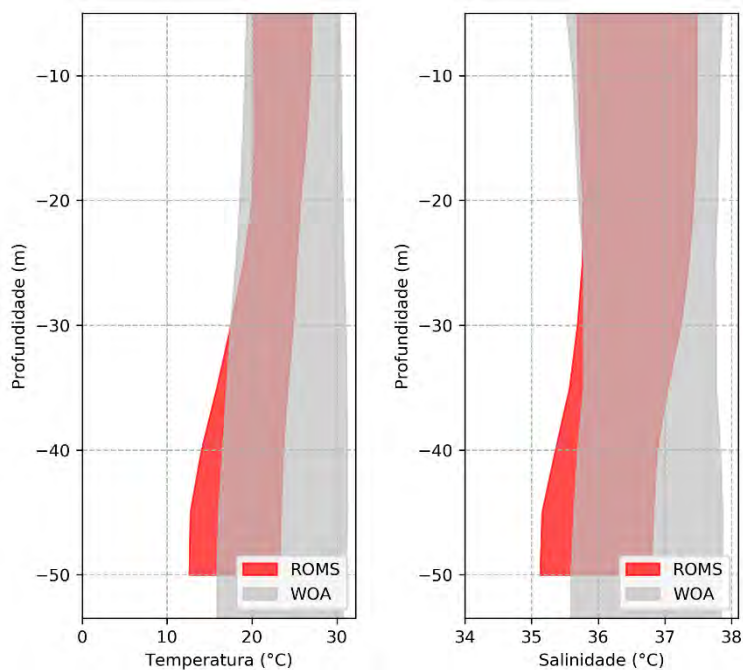


Figura 138: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 4.

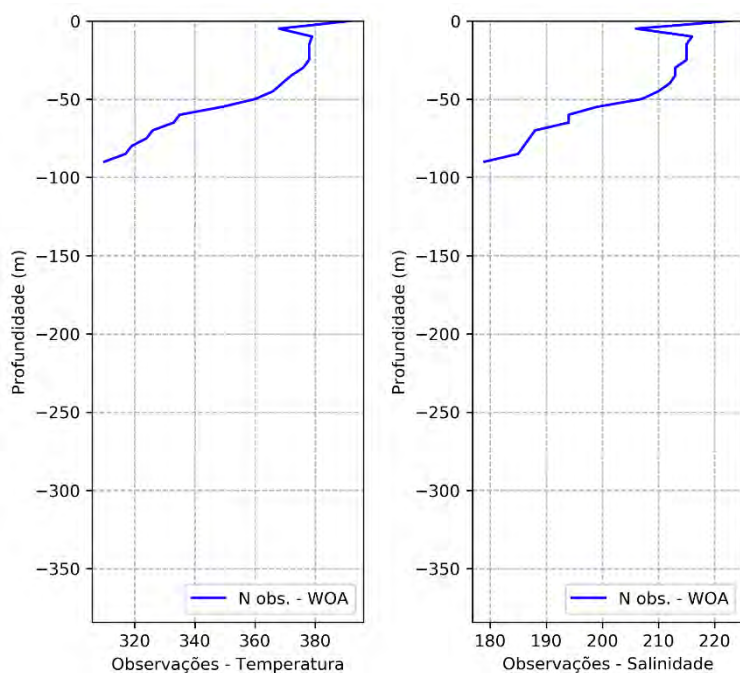


Figura 139: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 5.

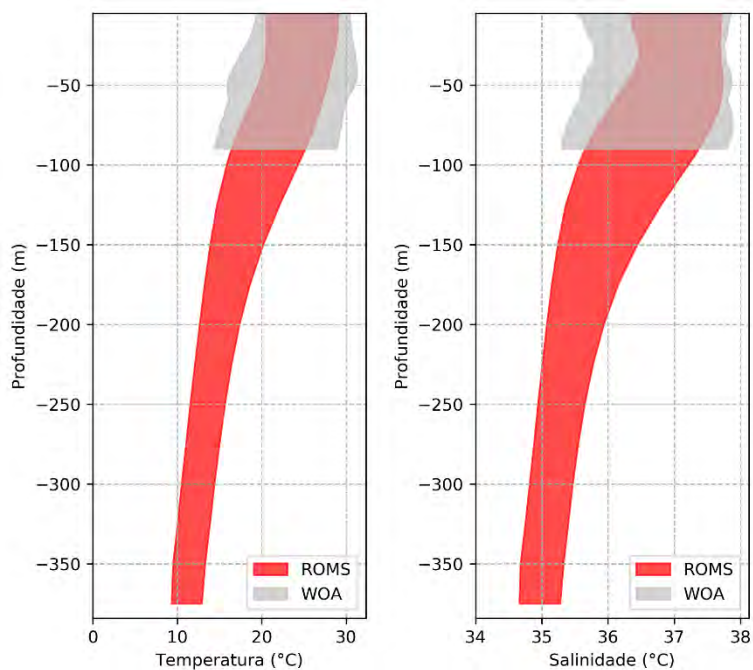


Figura 140: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 5.

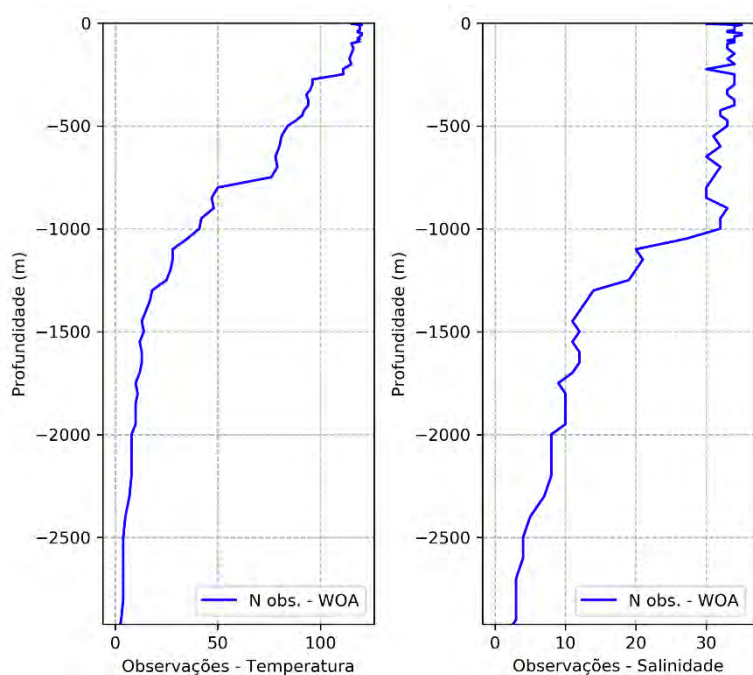


Figura 141: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 6.

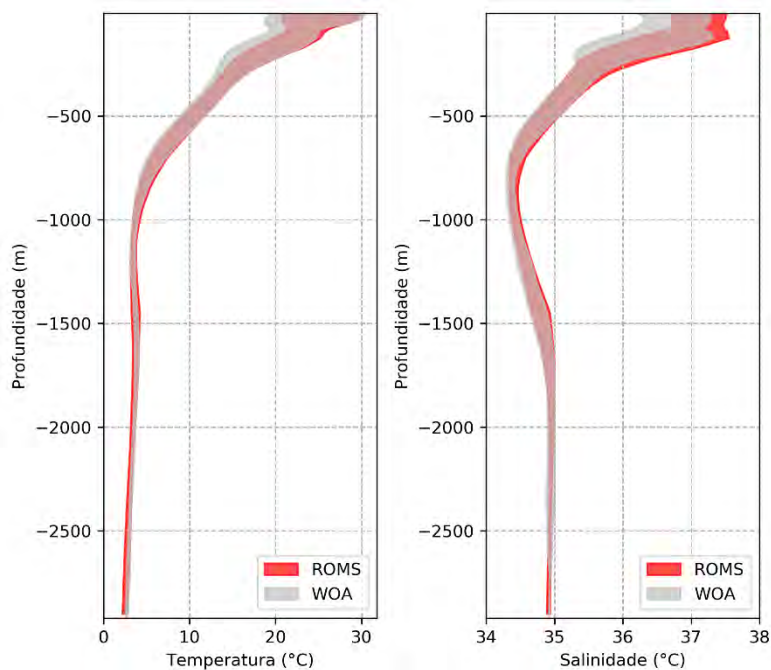


Figura 142: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 6.

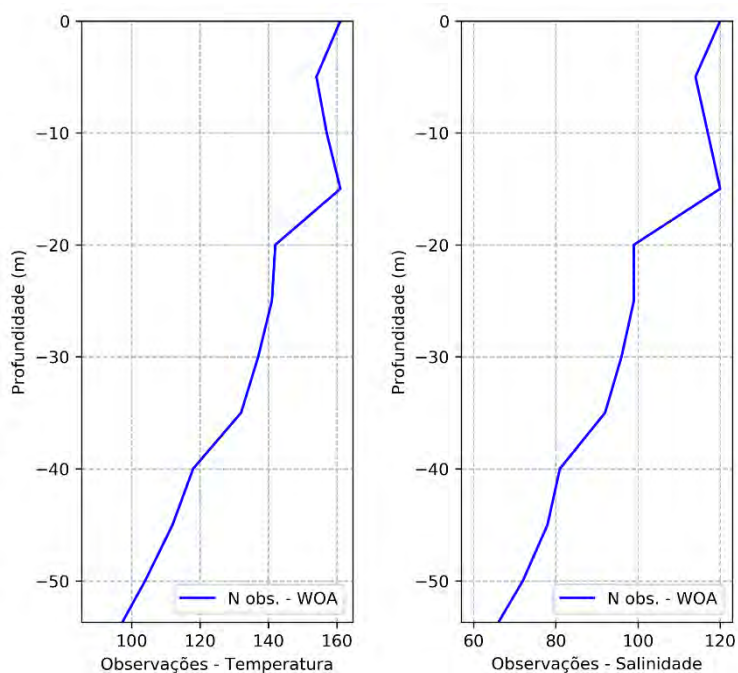


Figura 143: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 7.

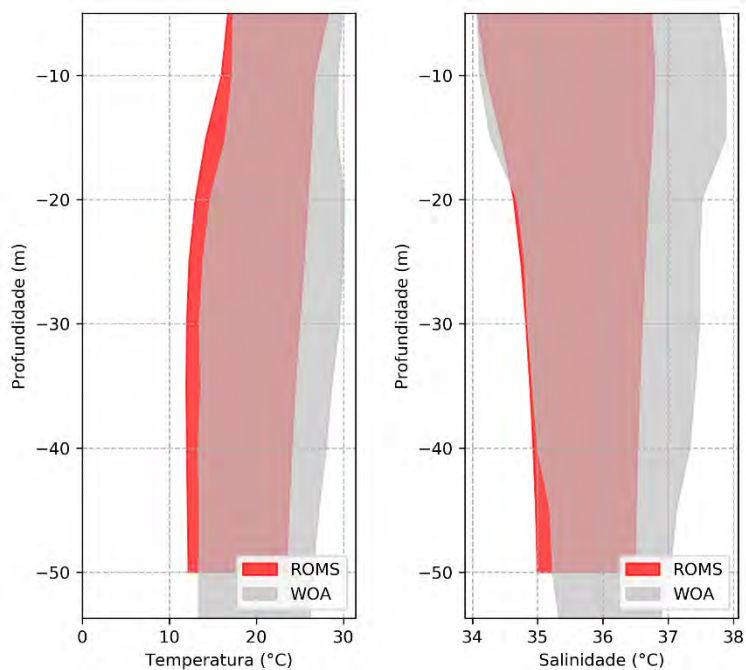


Figura 144: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 7.

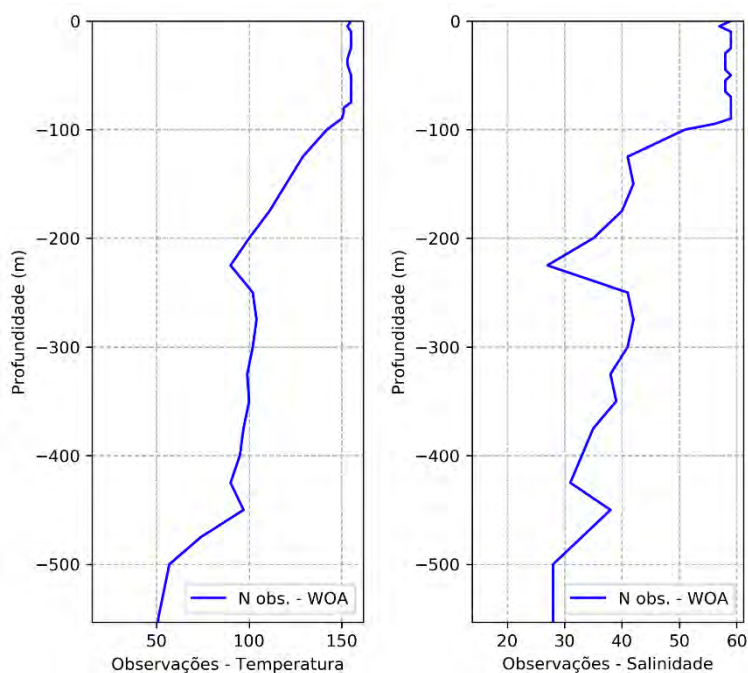


Figura 145: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 8.

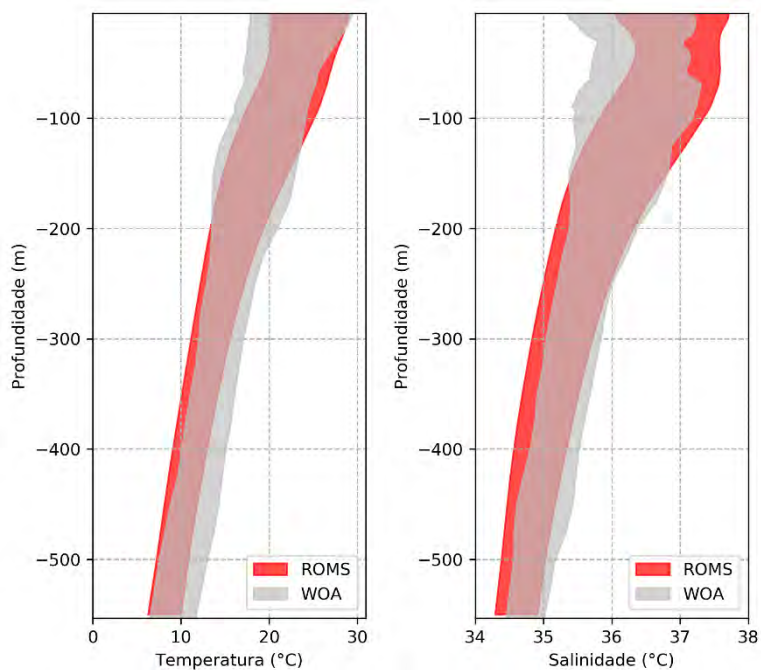


Figura 146: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 8.

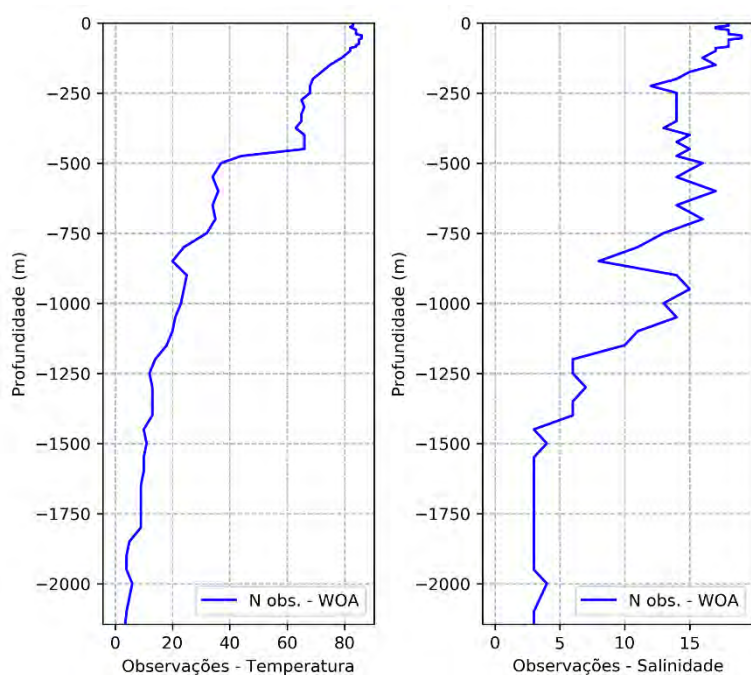


Figura 147: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 9.

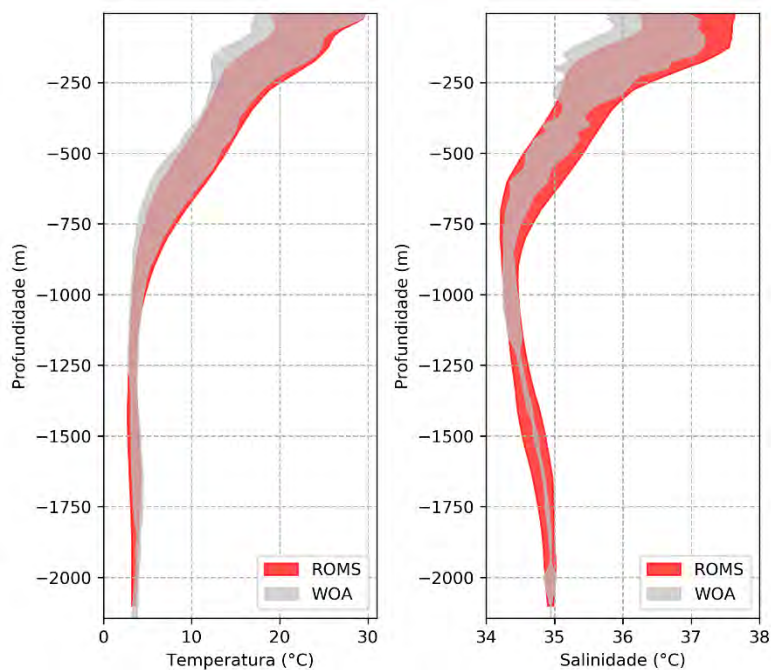


Figura 148: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 9.

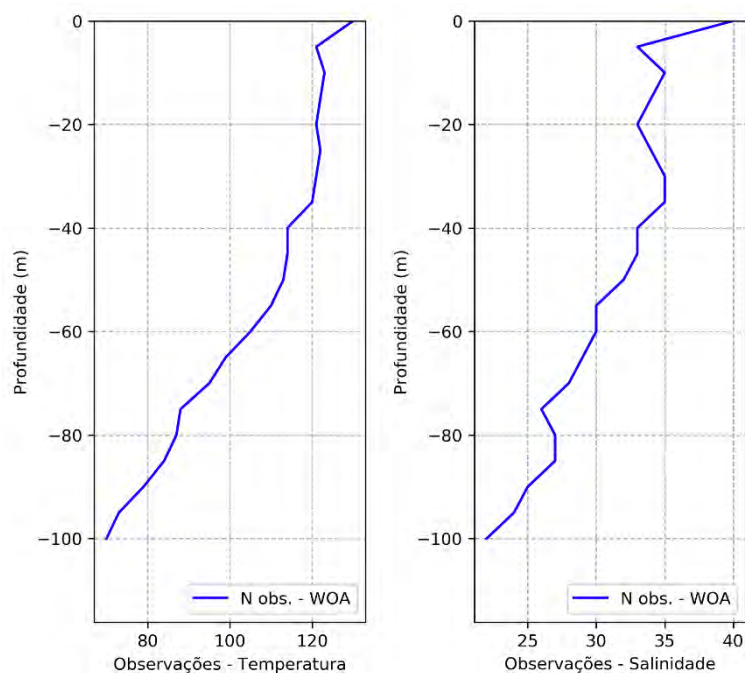


Figura 149: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 10.

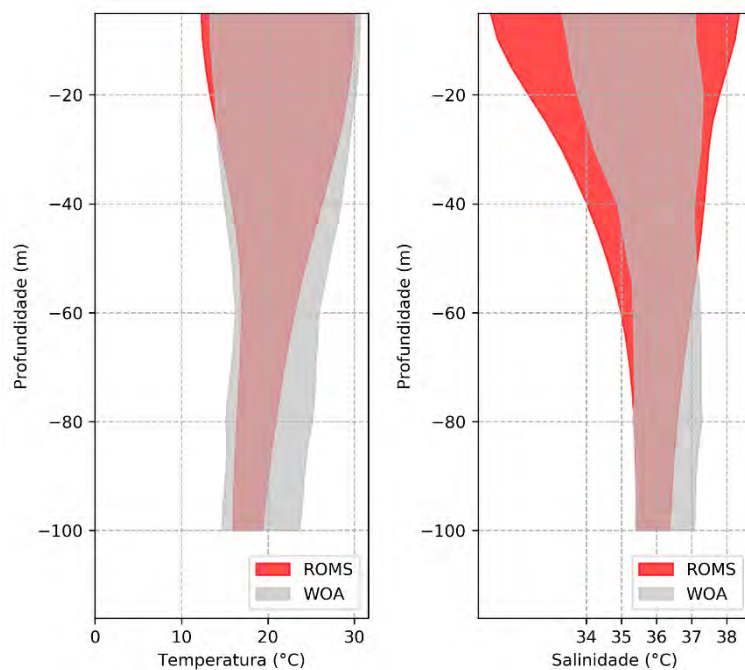


Figura 150: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 10.

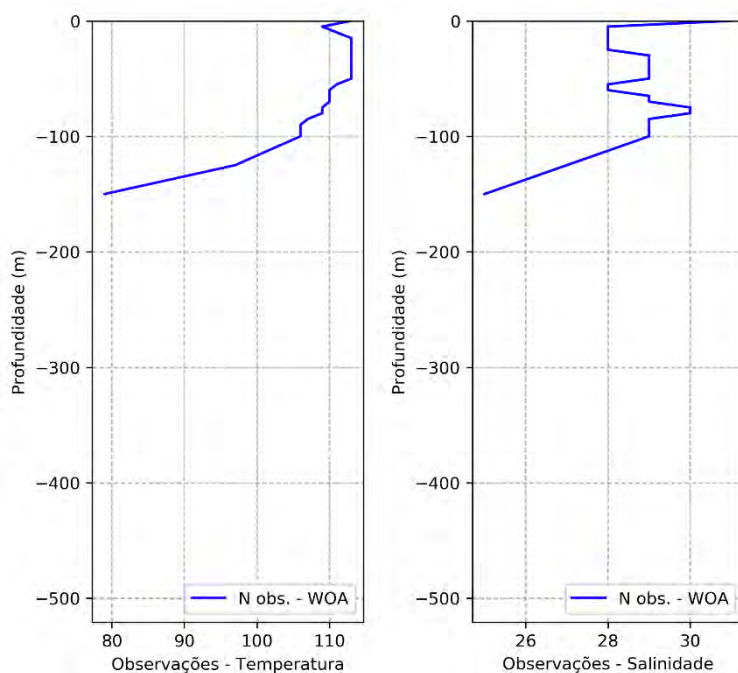


Figura 151: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 11.

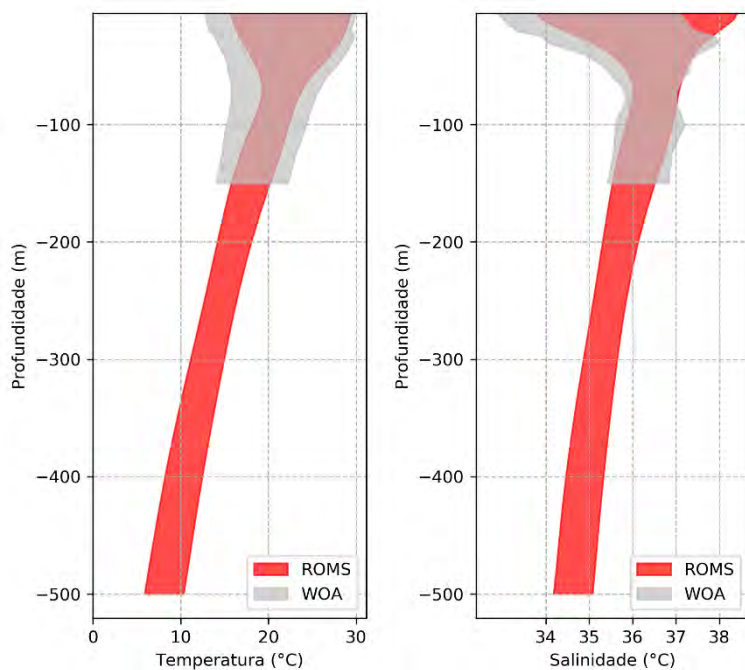


Figura 152: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 11.

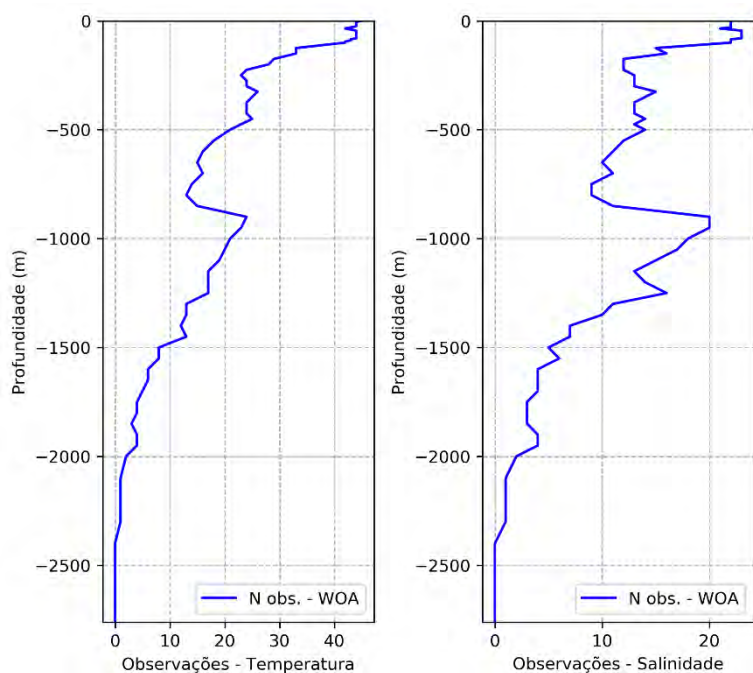


Figura 153: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 12.

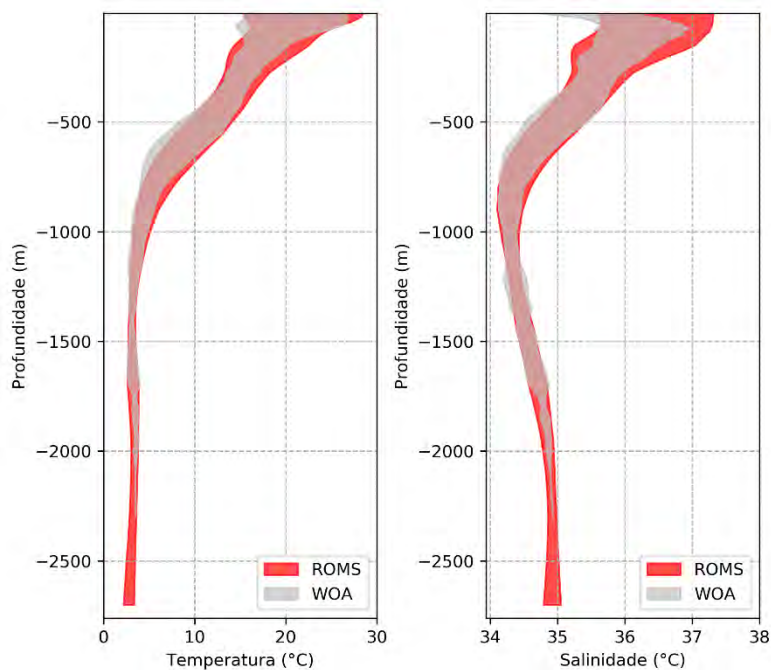


Figura 154: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 12.

Tabela 9: Valores de *bias* médio anual de temperatura e salinidade para os 12 pontos selecionados no domínio.

Ponto	Bias de temperatura (°C)	Bias de salinidade
1	0,40	-0,07
2	-0,41	-0,12
3	0,24	-0,04
4	2,46	0,28
5	-0,55	-0,29
6	-0,07	-0,07
7	0,01	0,07
8	0,72	0,04
9	-0,28	-0,05
10	0,03	0,20
11	-0,59	-0,11
12	-0,07	-0,002

Também foi feita uma avaliação da representação da estrutura vertical de temperatura e salinidade na região do Campo Bloco Pau Brasil com os dados da climatologia WOA13 V2 (Figura 155 e Figura 156). Assim como no restante dos pontos, é observado também que na região de interesse o modelo representou a estrutura vertical termohalina e sua variabilidade, pois ao longo de toda a coluna d'água as faixas de ocorrência são muito similares.

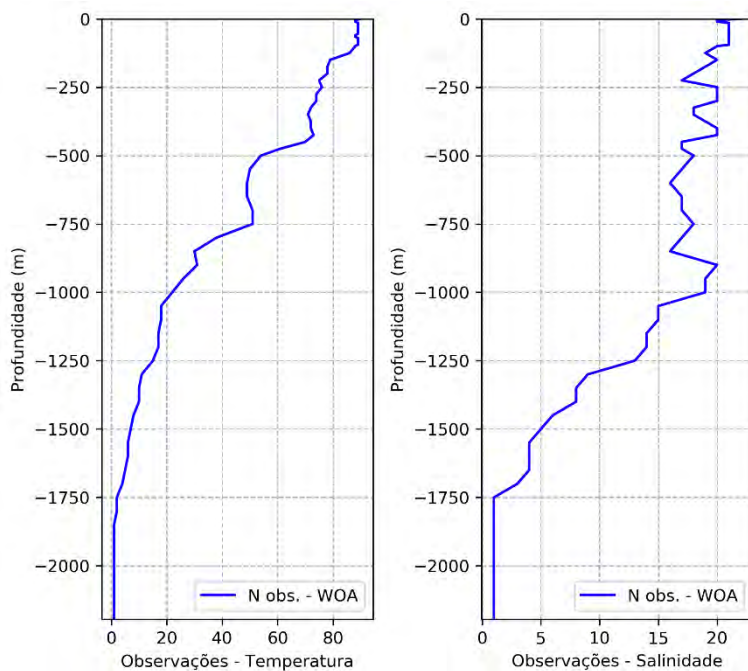


Figura 155: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades para a região do estudo.

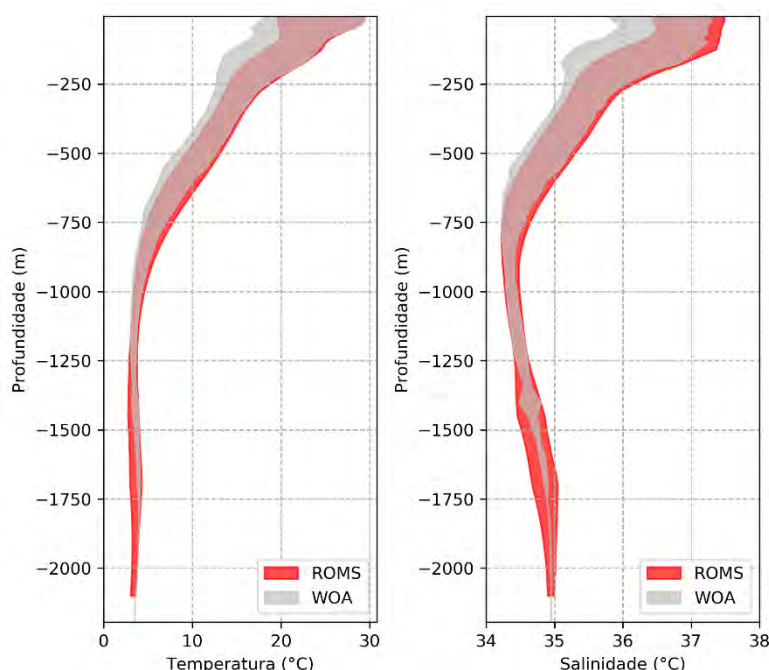


Figura 156: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para a região do estudo.

Para avaliar estatisticamente a distribuição vertical de temperatura e salinidade, foram usados também perfis de temperatura e salinidade obtidos por *gliders* do Projeto Azul. Esse projeto consistiu num sistema de observação oceânica para a Baía de Santos nos moldes de sistemas similares ao redor do mundo e é fruto de uma parceria entre a BG BRASIL (atualmente SHELL), a PROOCEANO e a COPPE/UFRJ. Com esse intuito, ele utilizou uma sofisticada tecnologia de coleta, disponibilização de dados em tempo real, computadores de alto desempenho e uma equipe multidisciplinar.

Gliders são veículos autônomos submersíveis, relativamente pequenos, programáveis, reutilizáveis e com capacidade de acoplar múltiplos sensores (Figura 157). Esses equipamentos representam uma evolução no campo da oceanografia operacional, visto que permitem a obtenção em tempo quase real, contínua e persistente mesmo em condições de tempo muito ruins, de dados oceanográficos.

O glider pode operar de 50 a 1.000 m de profundidade e realiza, em média, oito perfis por dia, com autonomia de bateria para permanecer aproximadamente quatro meses operando. Através da sua hidrodinâmica e do controle de *roll*, *pitch* e flutuabilidade, o equipamento maneja sua trajetória na água - com limitações associadas à intensidade da corrente - como um planador, avançando até 6 km por mergulho e permitindo que o “piloto” em terra programe trajetórias ou até mesmo *moorings* virtuais (Figura 157).

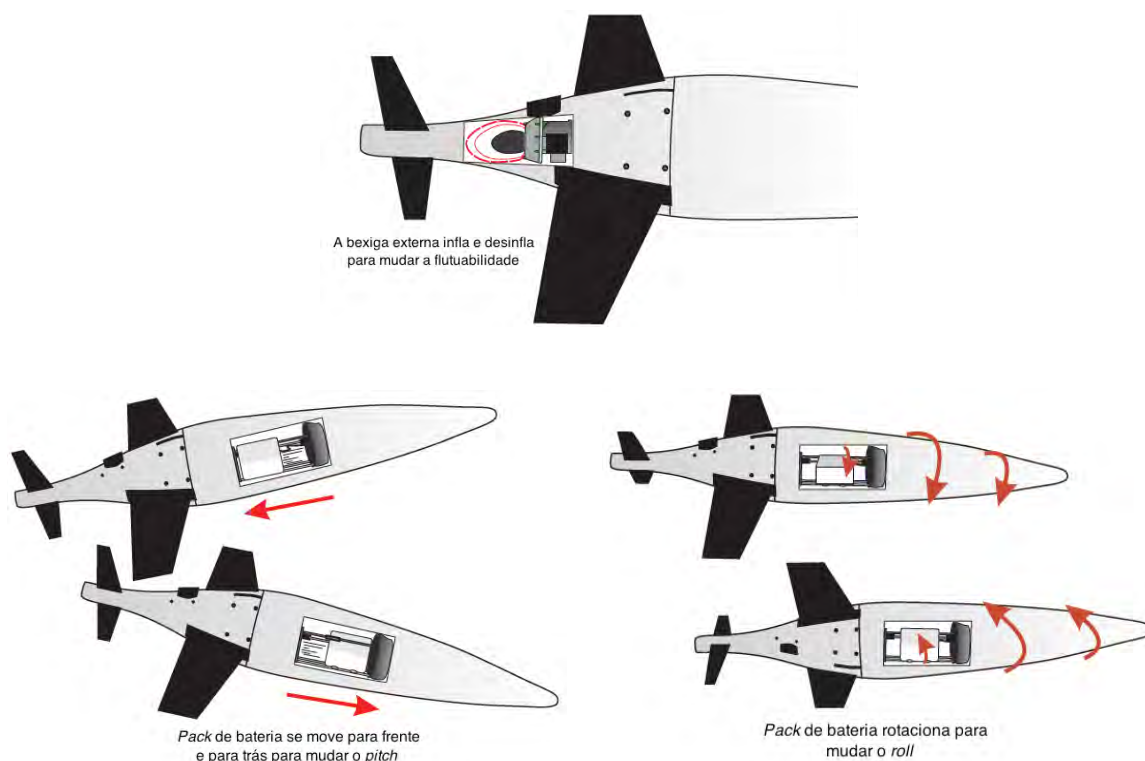


Figura 157: Representação esquemática dos mecanismos de controle de flutuabilidade, *pitch* e *roll* do Seaglider. Adaptada de IROBOT (2012).

Os dados utilizados foram extraídos de uma área próxima da radial denominada Maricá (Figura 158). Essa área foi escolhida para que a quantidade de observações utilizada na geração das médias e dos desvios padrão fosse mais significativa, aumentando a confiabilidade da faixa de variabilidade das variáveis analisadas.

Para o período no qual o modelo foi integrado, ao todo, foram coletados 2018 perfis de temperatura e salinidade no entorno da radial Maricá. As comparações estatísticas foram feitas com 9 pontos do ROMS extraídos em um polígono próximo da área da radial Maricá.

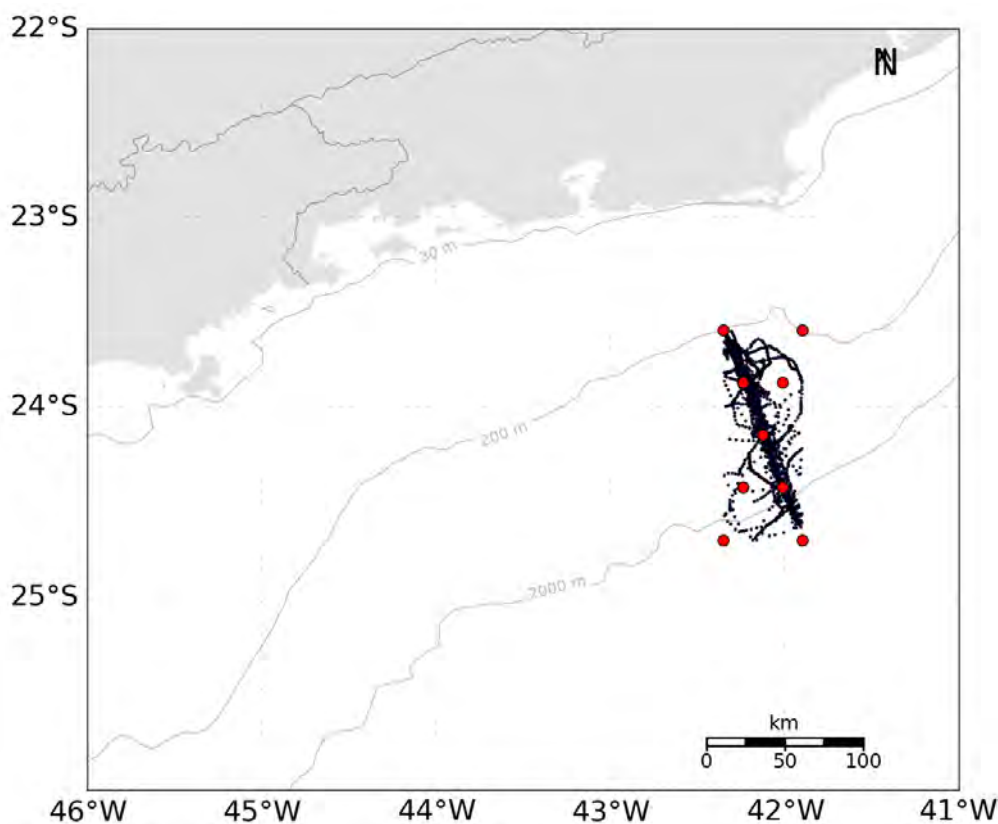


Figura 158: Localização dos perfis de temperatura e salinidade coletados por *glider* nas proximidades da radial Maricá (pontos em preto), e pontos de grade do ROMS (pontos em vermelho) de onde foram extraídos os dados para comparação.

Na Figura 159, apresentam-se as faixas de ocorrência² das observações de temperatura e salinidade obtidas no modelo (vermelho) e nos dados dos *gliders* (cinza). Pode-se observar que o modelo representou muito bem a estrutura vertical termohalina da região e sua variabilidade, pois ao longo de toda a coluna d'água as faixas de ocorrência são muito similares. Os valores de *bias* médios foram negativos em praticamente toda a coluna d'água, indicando uma superestimação pelo modelo. Os valores mínimos, de -2,6°C e -0,47 psu, ocorrem na região de maior variabilidade na coluna d'água, a termoclina e na haloclina. Contudo, nas outras partes da coluna d'água os valores desses parâmetros foram mais próximos do observado, ocasionando valores médios de -0,85°C e -0,19 psu.

Esta comparação é um indicativo de que houve uma boa representação da posição média das massas d'água na região do bloco.

² Considerando que estas variáveis seguem uma distribuição normal, esta faixa é calculada para abranger 95% das ocorrências, e, portanto, seus limites representam 2 vezes o desvio padrão ao redor da média.

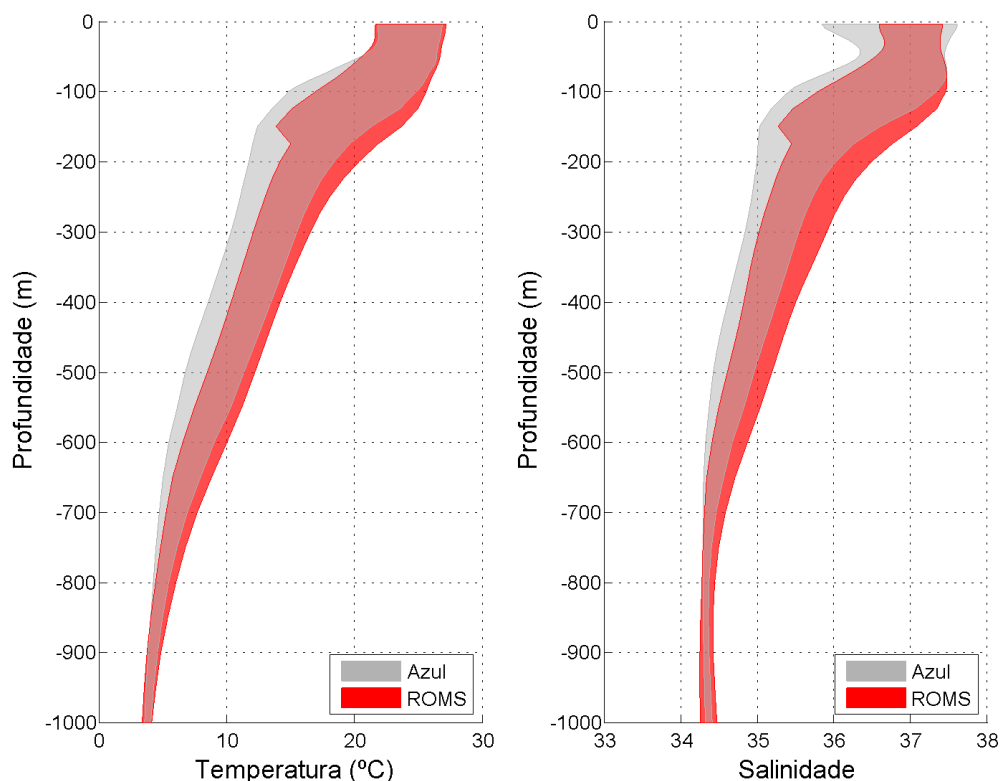


Figura 159: Faixa de ocorrência de 95% das observações de temperatura e salinidade obtidos pelo glider do Projeto Azul (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha).

9.4. Correntes

Para comparação das correntes, foram utilizados dados de derivadores lagrangianos de superfície do Projeto AZUL e Projeto mondoPERENCO. O Projeto Azul consistiu num sistema de observação oceânica para a Bacia de Santos nos moldes de sistemas similares ao redor do mundo e é fruto de uma parceria entre a BG BRASIL, a PROOCEANO e a COPPE/UFRJ. Com esse intuito, ele prevê a utilização de uma sofisticada tecnologia de coleta, disponibilização de dados em tempo real, computadores de alto desempenho e uma equipe multidisciplinar. Dentre as atividades propostas pelo projeto, ocorreu o lançamento mensal de três derivadores do tipo SVP na Bacia de Santos, entre março de 2013 e julho de 2015. O projeto mondoPERENCO foi desenvolvido para o monitoramento das correntes de deriva superficial em tempo real, durante as atividades de perfuração nos blocos BM-ES-39 a 41, na Bacia do Espírito Santo. A 1ª fase do projeto teve início com a operação nos blocos BM-ES-37, 38, 39, 40 e 41, em novembro de 2011 e durou até fevereiro de 2012. Ressalta-se, que os blocos BM-ES-37 e 38 foram devolvidos a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, ao final da 1ª fase do programa exploratório, em atendimento as determinações elencadas nos contratos de concessão junto a esta Agência Reguladora. A 2ª fase teve início com a operação dos blocos BM-ES-39, 40 e 41, em março de 2013 e fim em agosto do mesmo ano. O monitoramento consiste no lançamento mensal de um arranjo de três derivadores do tipo WOCE-SVP, na região do entorno dos blocos. Para o presente estudo, foram considerados os derivadores cuja trajetória está contida no domínio espacial e temporal da modelagem e que

efetuaram transmissões por um período superior a duas semanas. Nesse contexto, 32 derivadores aparecem como relevantes para a comparação. A Tabela 10 agrupa as coordenadas do primeiro e último ponto onde cada derivador é encontrado no domínio espacial e temporal.

Tabela 10: Posição e datas iniciais e finais de cada derivador ao longo do período de comparação.

Derivador	Data Inicial	Longitude (°W)	Latitude (°S)	Data Final	Longitude (°W)	Latitude (°S)
1	18/02/2012	39.87	20.30	05/09/2012	46.03	29.85
2	19/02/2012	39.29	20.23	27/03/2012	40.58	24.32
3	26/05/2013	38.34	20.71	19/03/2014	39.78	26.22
4	26/05/2013	38.34	20.70	09/07/2013	37.51	20.95
5	26/05/2013	38.34	20.71	01/03/2014	33.83	28.86
6	24/06/2013	38.29	20.81	07/07/2014	32.63	32.41
7	24/06/2013	38.31	20.79	28/07/2013	40.19	23.33
8	22/07/2013	38.62	20.64	20/03/2014	37.47	29.72
9	06/03/2013	41.79	24.47	08/04/2013	45.92	27.93
10	27/03/2013	41.00	23.15	11/10/2013	44.10	27.28
11	14/05/2013	42.10	24.50	15/09/2013	41.87	29.13
12	28/08/2013	42.21	23.98	16/07/2014	43.25	25.04
13	28/08/2013	42.21	23.99	28/04/2014	49.83	36.24
14	28/08/2013	42.21	23.98	25/08/2014	48.77	32.89
15	01/10/2013	42.11	23.99	02/04/2014	51.84	32.02
16	14/06/2014	42.16	24.01	11/09/2014	43.25	28.15
17	25/07/2014	42.55	23.26	15/12/2014	44.54	32.09
18	25/07/2014	42.33	23.61	18/08/2014	44.06	24.10
19	29/08/2014	42.26	23.65	30/09/2014	46.82	27.20
20	29/08/2014	42.10	24.04	31/12/2014	42.49	27.69
21	12/09/2014	42.11	23.97	31/12/2014	39.33	28.80
22	13/09/2014	42.29	23.62	28/09/2014	42.98	23.81
23	16/10/2014	42.54	23.22	31/12/2014	48.14	29.51
24	17/10/2014	42.32	23.63	31/12/2014	43.02	26.96
25	29/11/2014	42.20	24.00	31/12/2014	47.40	28.66
26	30/11/2014	42.00	24.07	31/12/2014	47.44	27.98
27	30/11/2014	42.54	23.99	31/12/2014	49.55	32.34
28	13/12/2014	42.14	23.68	31/12/2014	41.69	23.95
29	26/05/2013	38.34	20.70	09/07/2013	37.51	20.95
30	13/12/2014	41.97	23.87	31/12/2014	43.95	24.35
31	21/01/2012	39.03	20.79	22/03/2012	36.78	23.24
32	21/01/2012	38.79	20.88	31/08/2012	32.90	28.11

Os dados transmitidos pelos derivadores passaram por um controle de qualidade baseado na técnica *forward & backward* (HANSEN; POULAIN, 1996) visando eliminar transmissões espúrias. O critério de corte foram velocidades superiores a 2,5 m/s, sendo identificados e removidos os dados de posição transmitidos que levassem a valores de velocidade superiores a este limiar.

Para fins de comparação foram usados os dados de velocidade dos derivadores, no período em que estes permaneceram no domínio de modelagem, e a velocidade das correntes nos pontos de grade mais próximos da posição do derivador e no mesmo instante temporal.

A seguir, da Figura 160 à Figura 184 são apresentadas as trajetórias descritas pelos 32 derivadores, durante o período no qual estes permaneceram dentro do domínio de modelagem e o *bias* entre as componentes zonais e meridionais das correntes medidas pelos derivadores e calculadas pelo ROMS. É anexado ao relatório, da Figura 194 a Figura 225, são apresentadas as comparações qualitativas entre as componentes de velocidade dos derivadores e do ROMS.

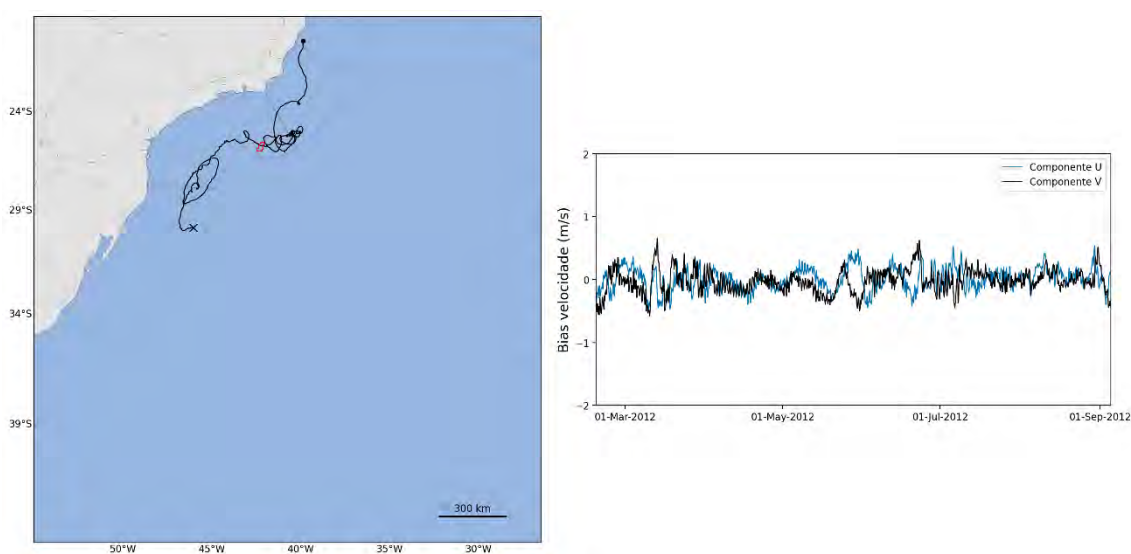


Figura 160: Trajetória descrita pelo derivador 01 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 01 e os resultados do ROMS (direita).

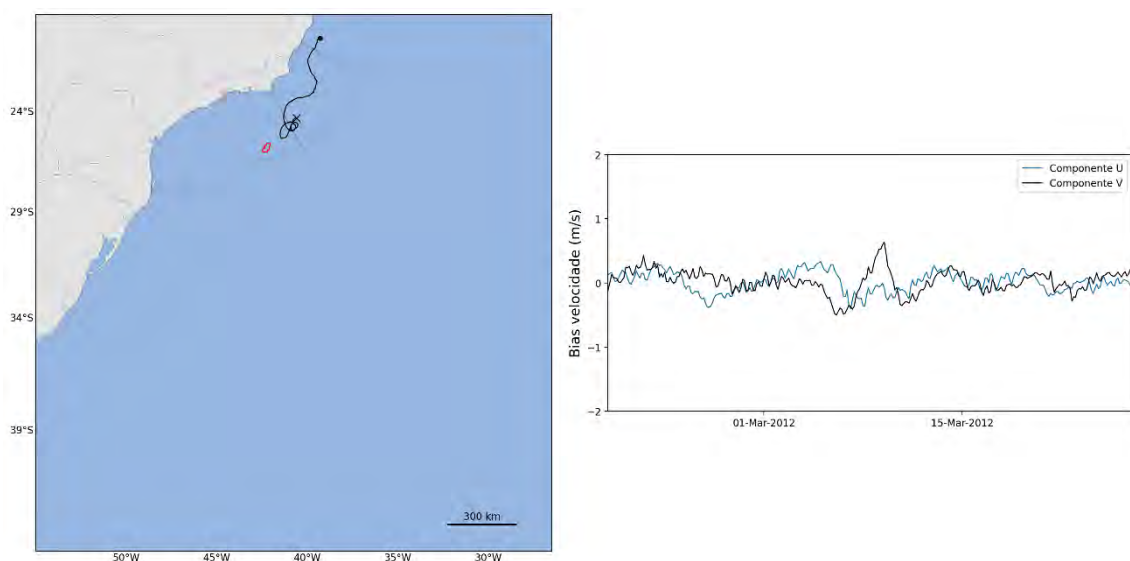


Figura 161: Trajetória descrita pelo derivador 02 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 02 e os resultados do ROMS (direita).

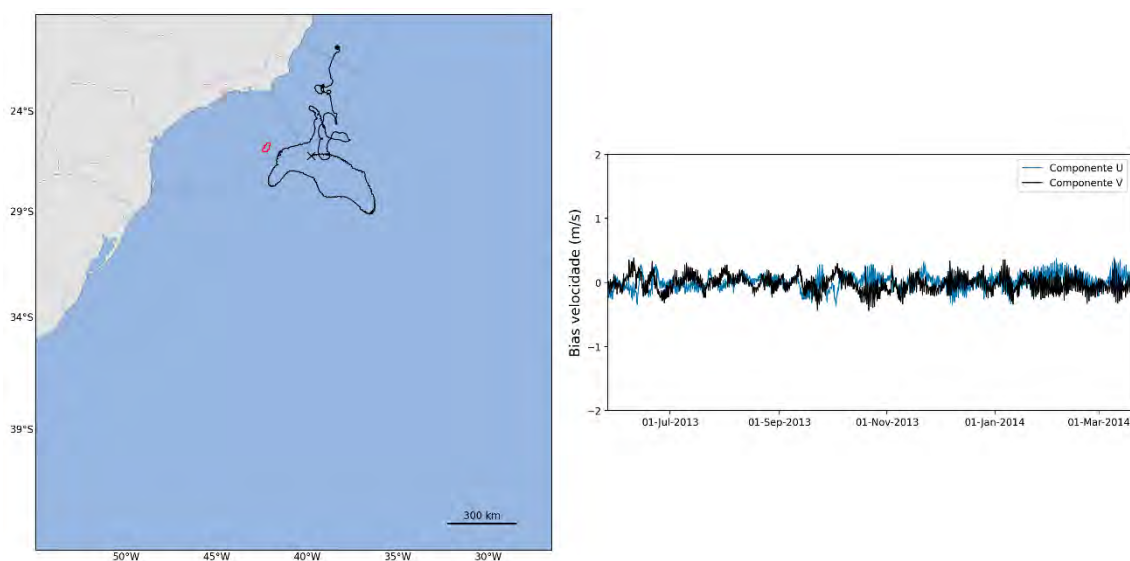


Figura 162: Trajetória descrita pelo derivador 03 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 03 e os resultados do ROMS (direita).

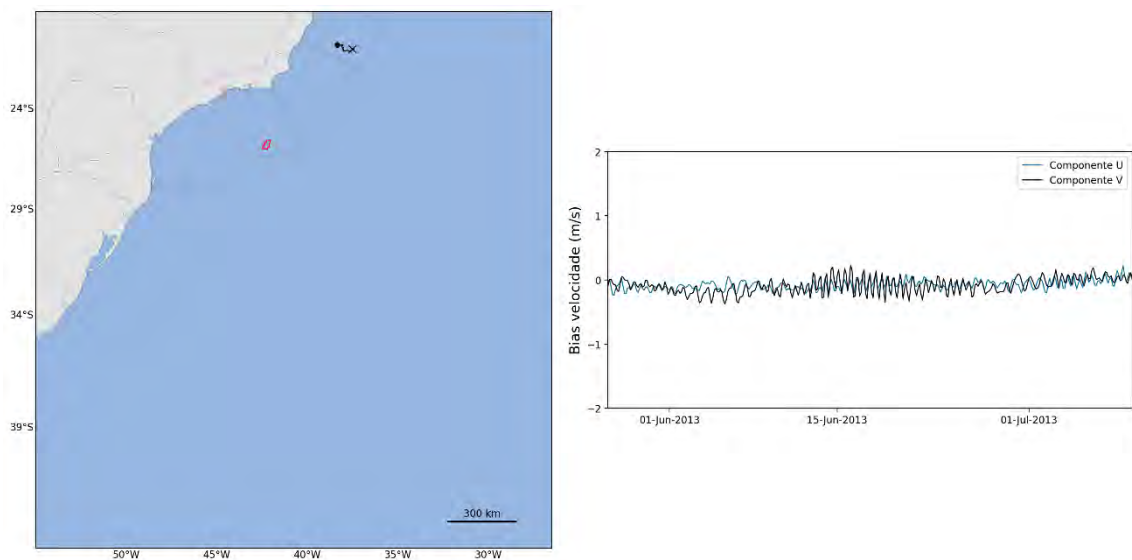


Figura 163: Trajetória descrita pelo derivador 04 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 04 e os resultados do ROMS (direita).

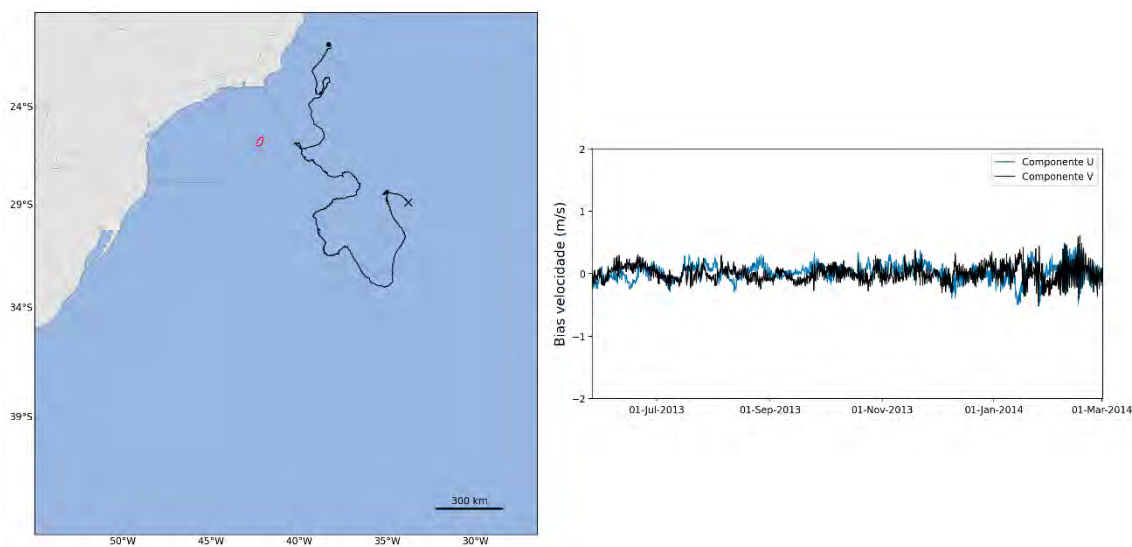


Figura 164: Trajetória descrita pelo dor 05 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 05 e os resultados do ROMS (direita).

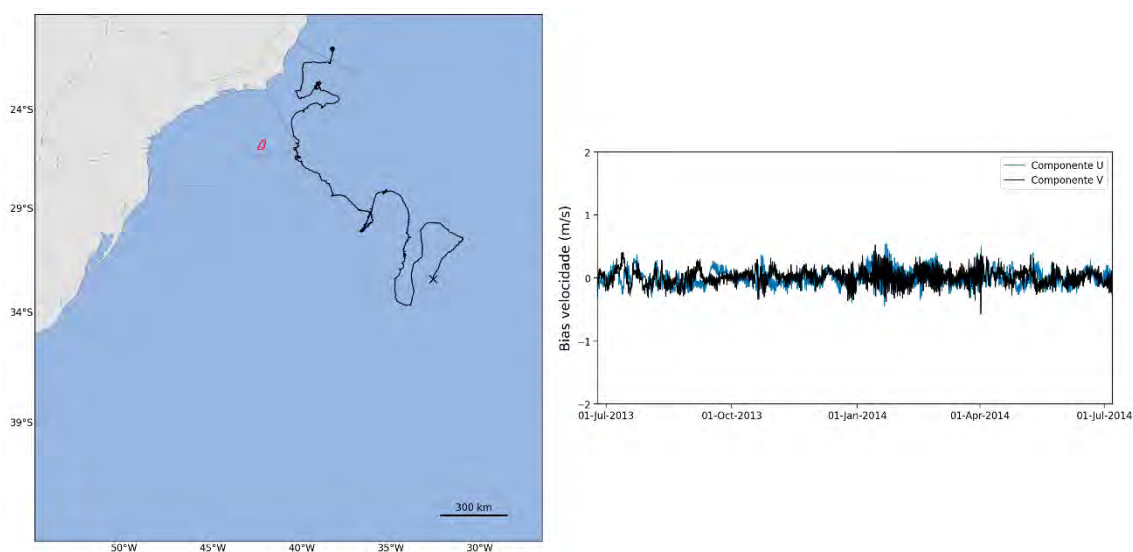


Figura 165: Trajetória descrita pelo derivador 06 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 06 e os resultados do ROMS (direita).

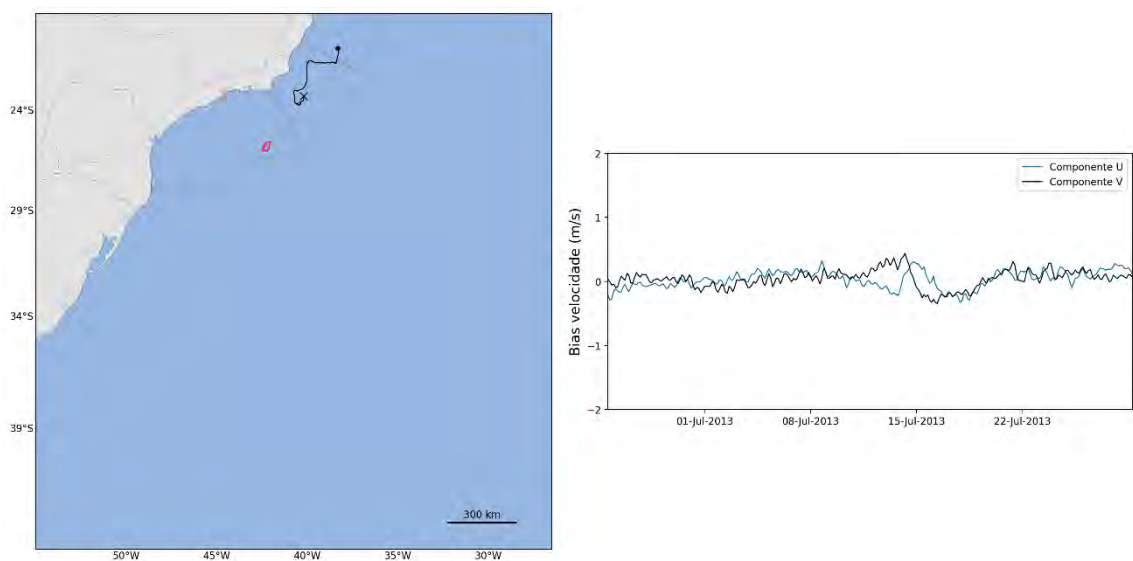


Figura 166: Trajetória descrita pelo derivador 07 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 07 e os resultados do ROMS (direita).

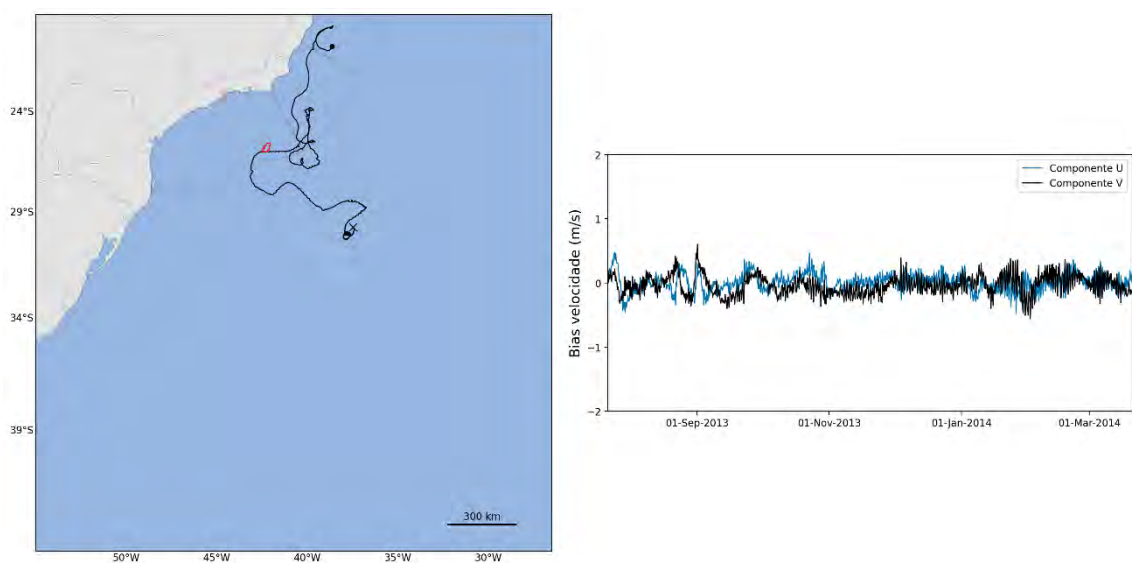


Figura 167: Trajetória descrita pelo derivador 08 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 08 e os resultados do ROMS (direita).

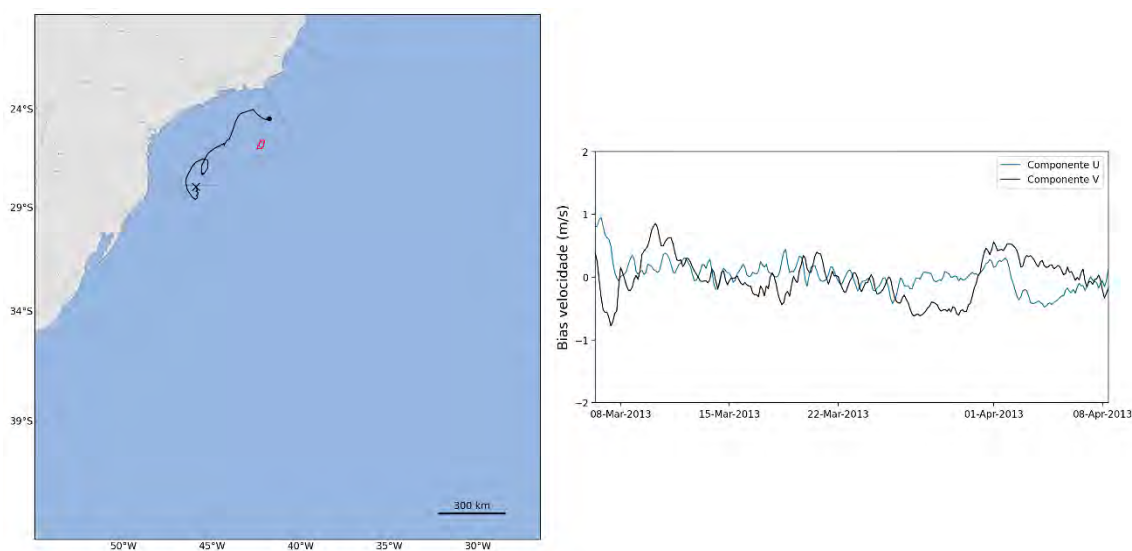


Figura 168: Trajetória descrita pelo derivador 09 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 09 e os resultados do ROMS (direita).

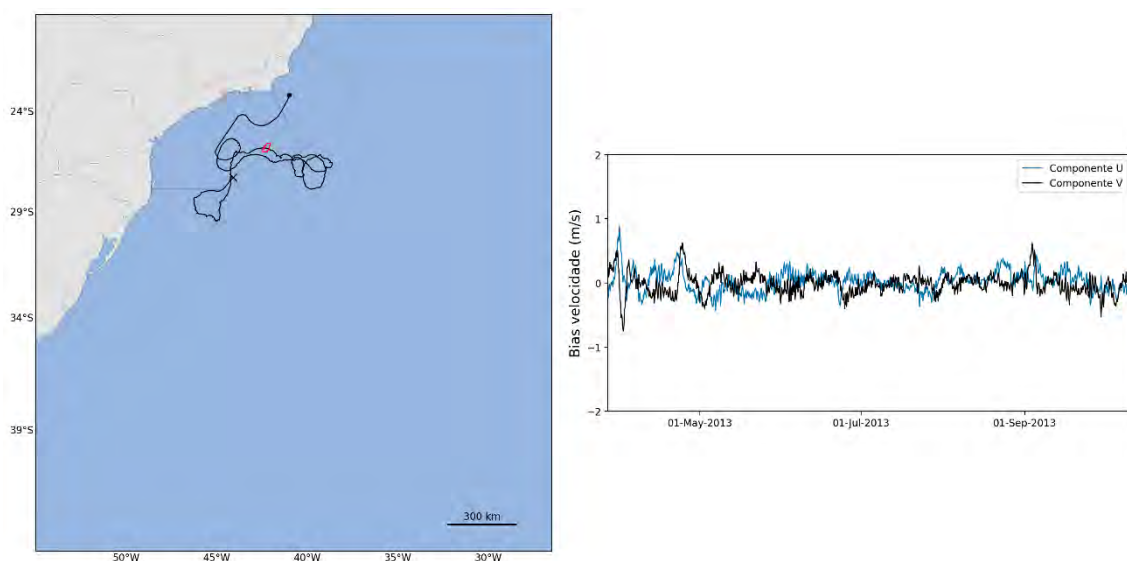


Figura 169: Trajetória descrita pelo derivador 10 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 10 e os resultados do ROMS (direita).

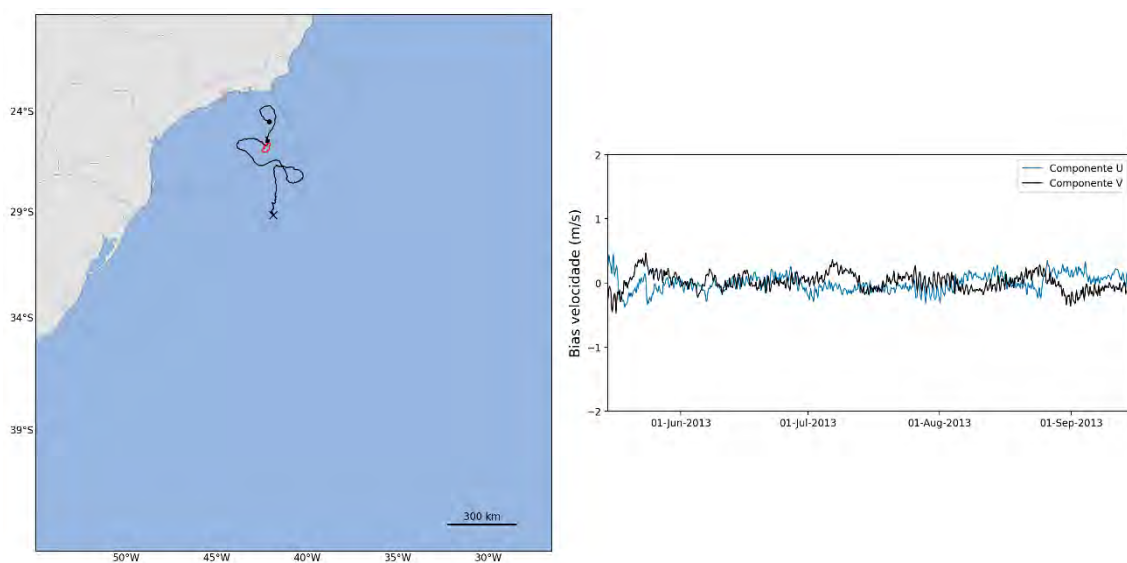


Figura 170: Trajetória descrita pelo derivador 11 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 11 e os resultados do ROMS (direita).

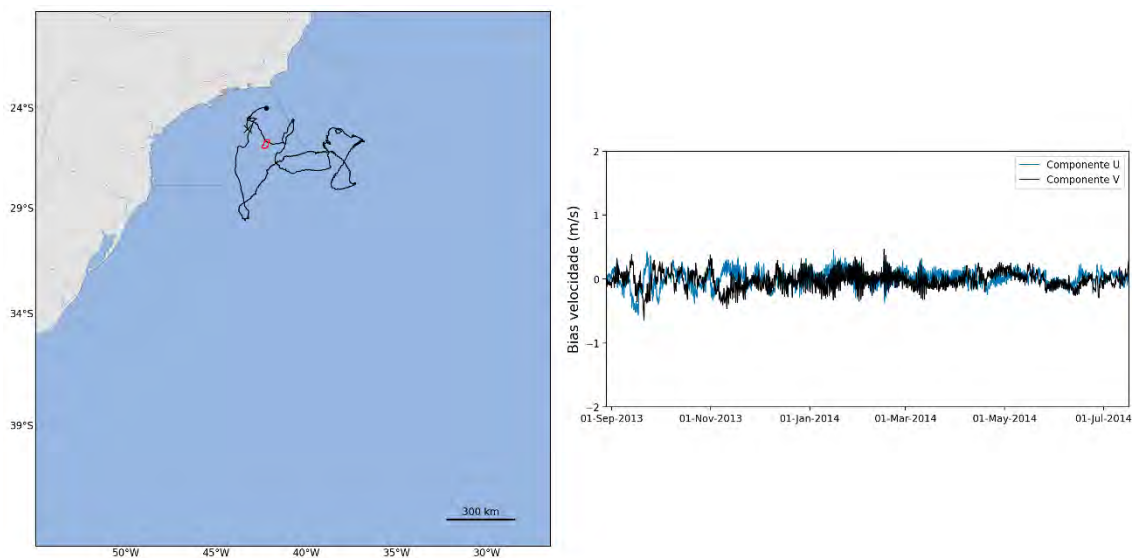


Figura 171: Trajetória descrita pelo derivador 12 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 12 e os resultados do ROMS (direita).

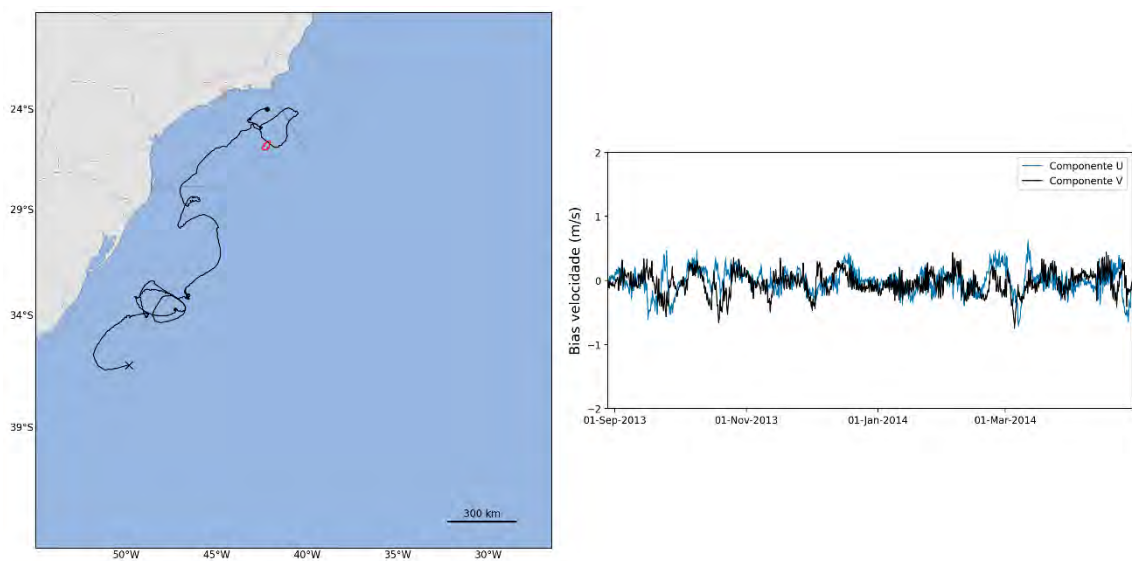


Figura 172: Trajetória descrita pelo derivador 13 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 13 e os resultados do ROMS (direita).

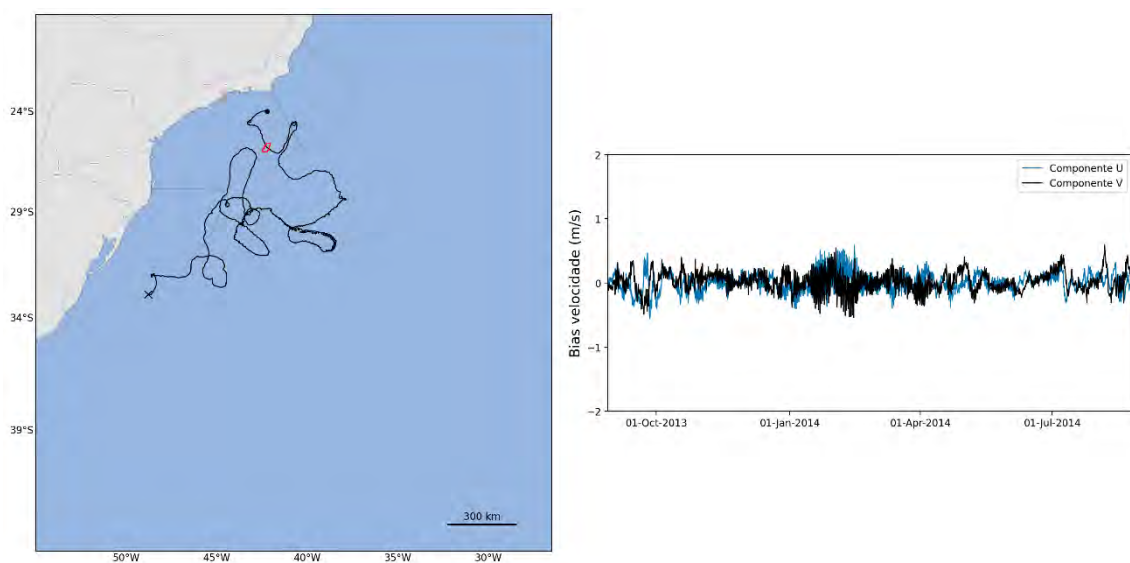


Figura 173: Trajetória descrita pelo derivador 14 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 14 e os resultados do ROMS (direita).

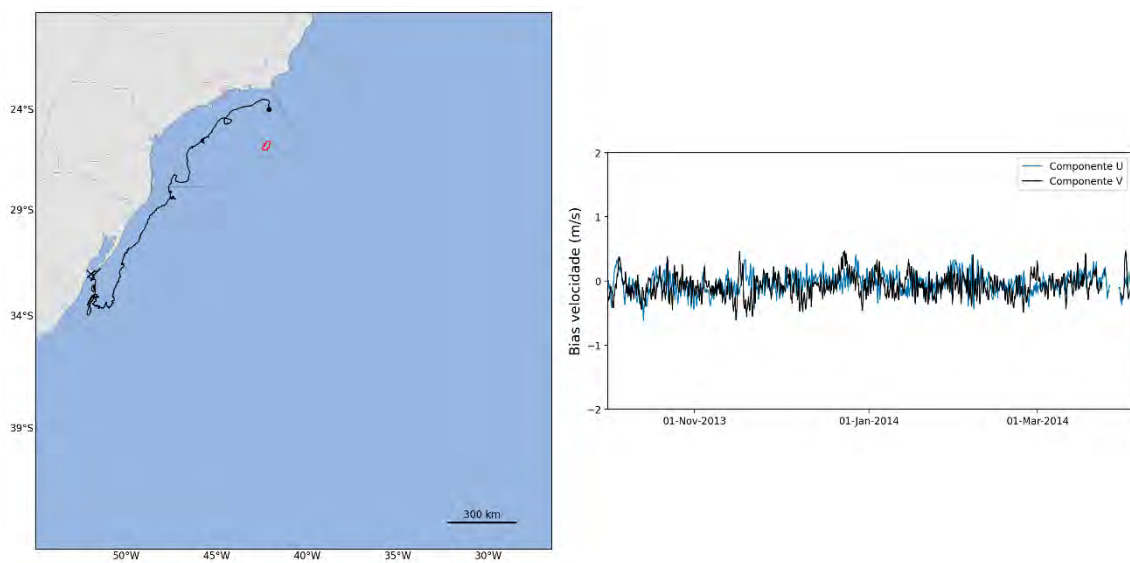


Figura 174: Trajetória descrita pelo derivador 15 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 15 e os resultados do ROMS (direita).

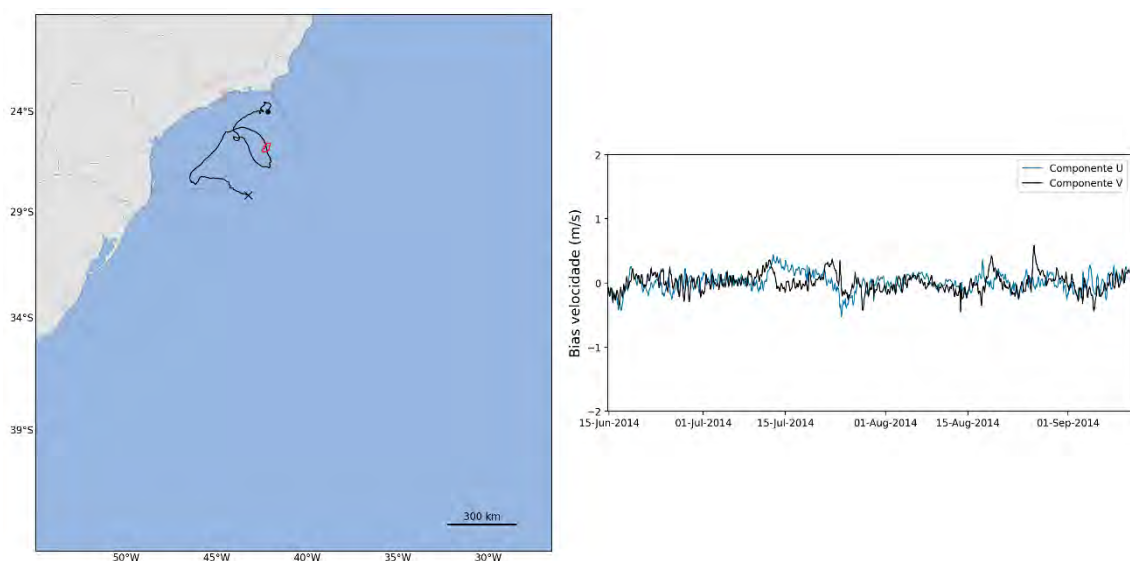


Figura 175: Trajetória descrita pelo derivador 16 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 16 e os resultados do ROMS (direita).

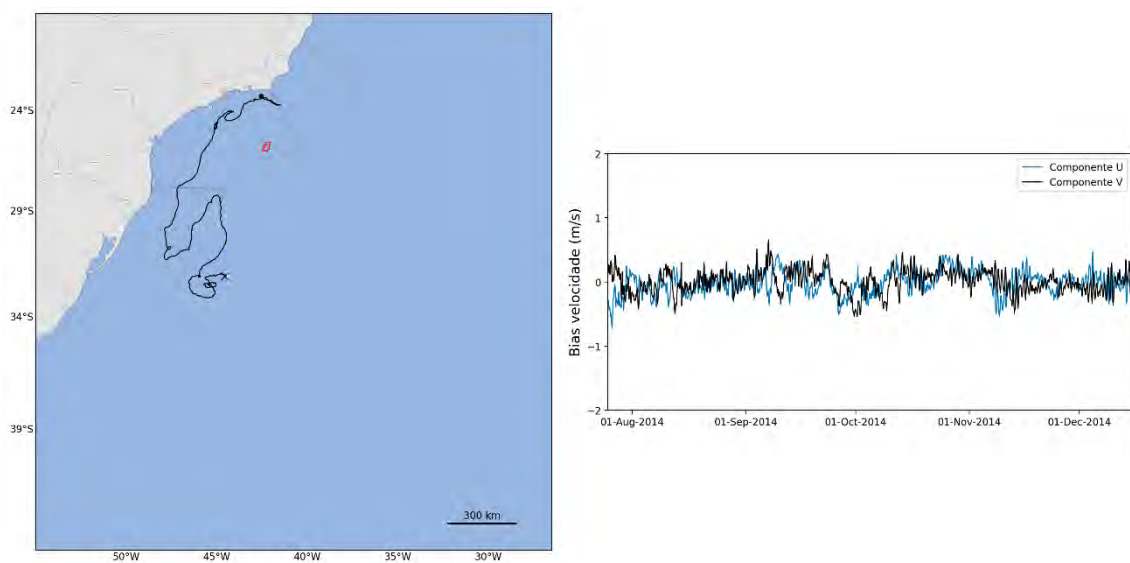


Figura 176: Trajetória descrita pelo derivador 17 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 17 e os resultados do ROMS (direita).

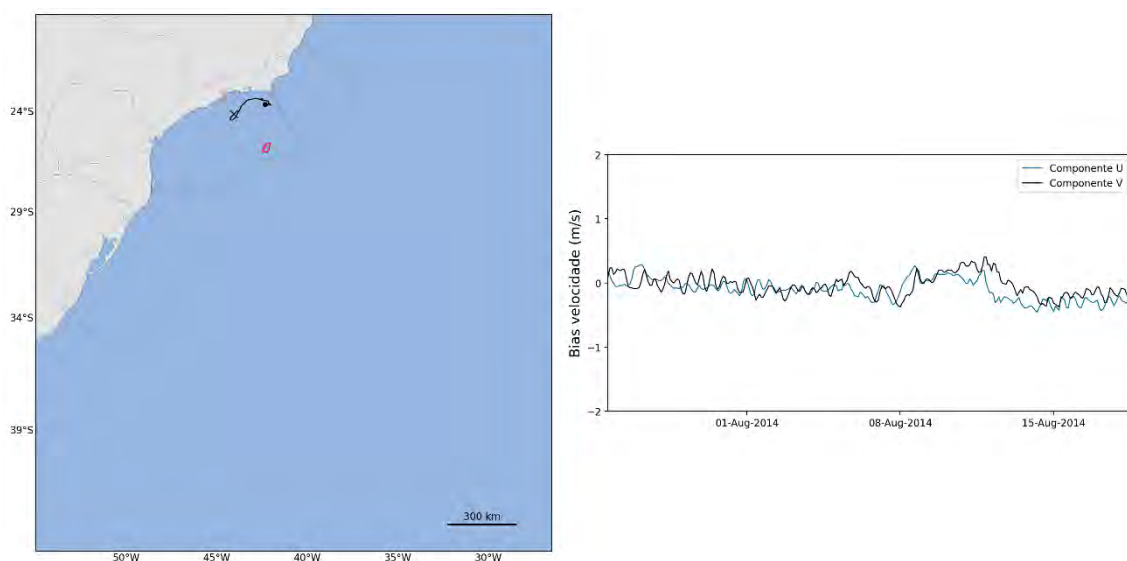


Figura 177: Trajetória descrita pelo derivador 18 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 18 e os resultados do ROMS (direita).

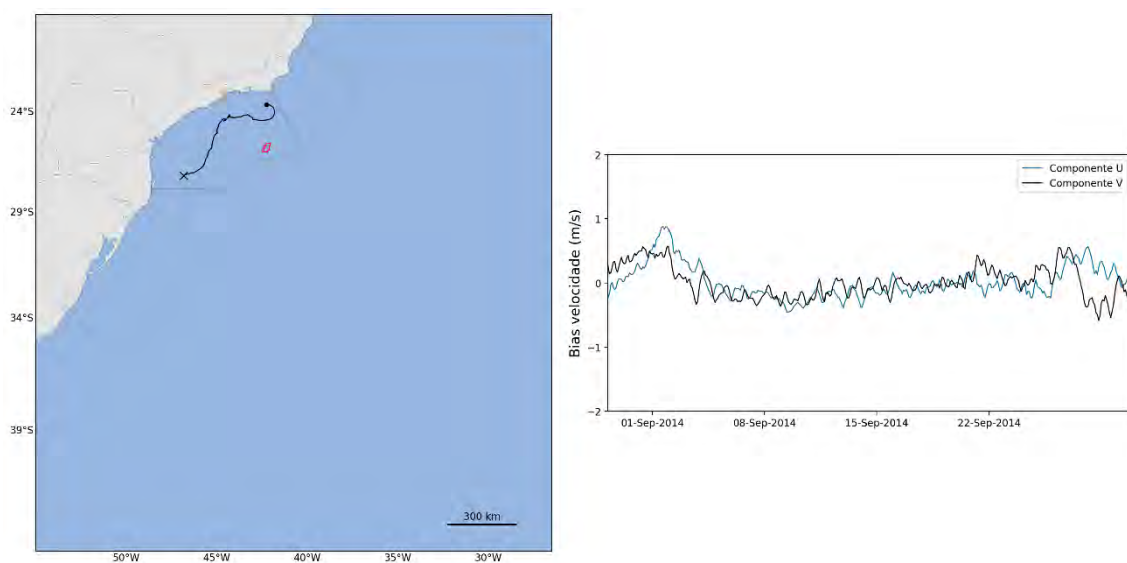


Figura 178: Trajetória descrita pelo derivador 19 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 19 e os resultados do ROMS (direita).

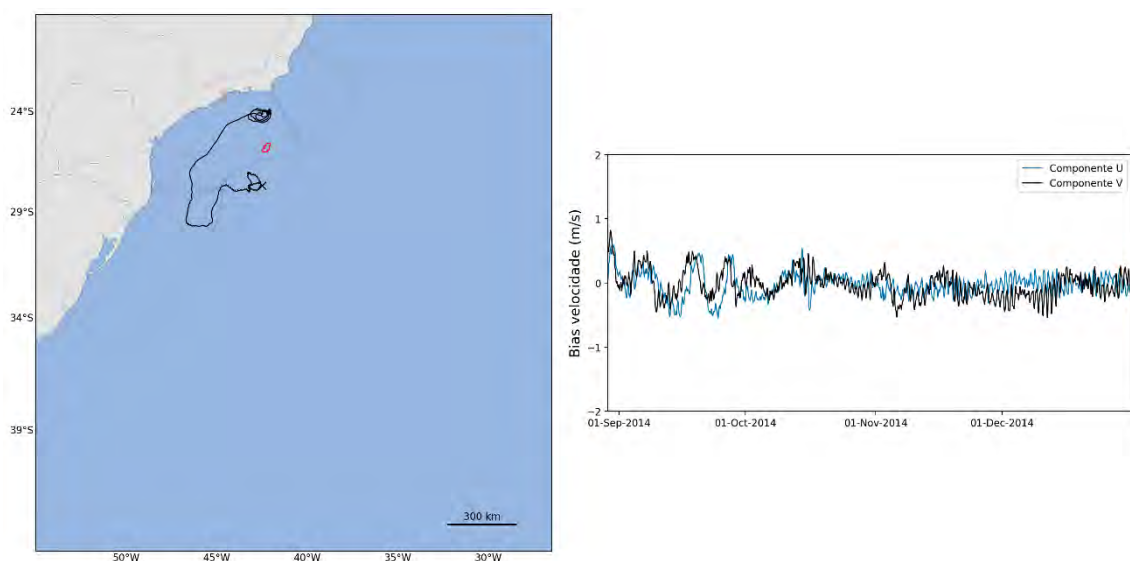


Figura 179: Trajetória descrita pelo derivador 20 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 20 e os resultados do ROMS (direita).

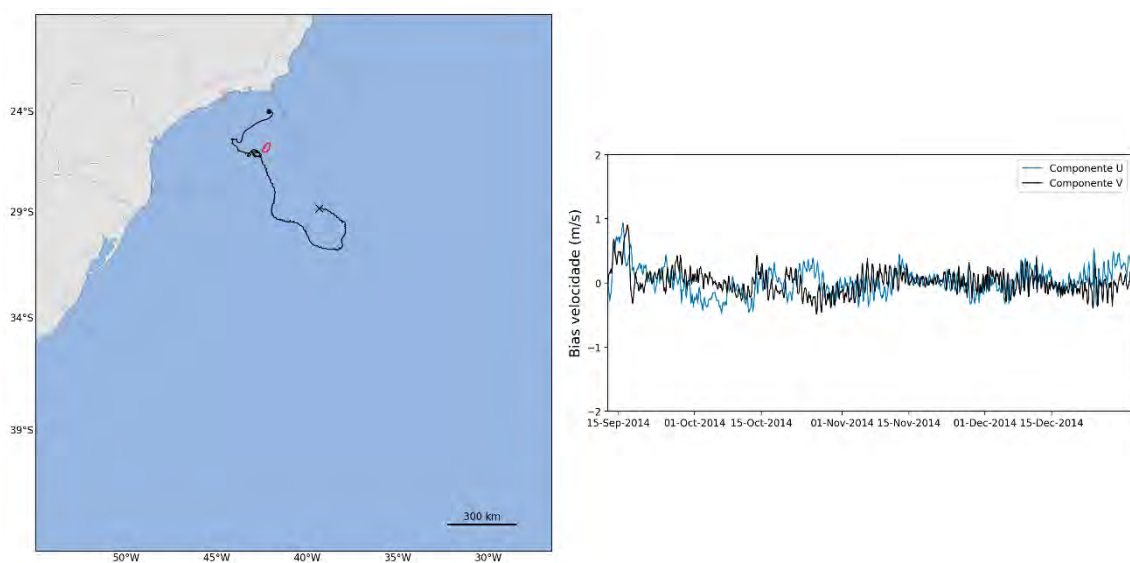


Figura 180: Trajetória descrita pelo derivador 21 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 21 e os resultados do ROMS (direita).

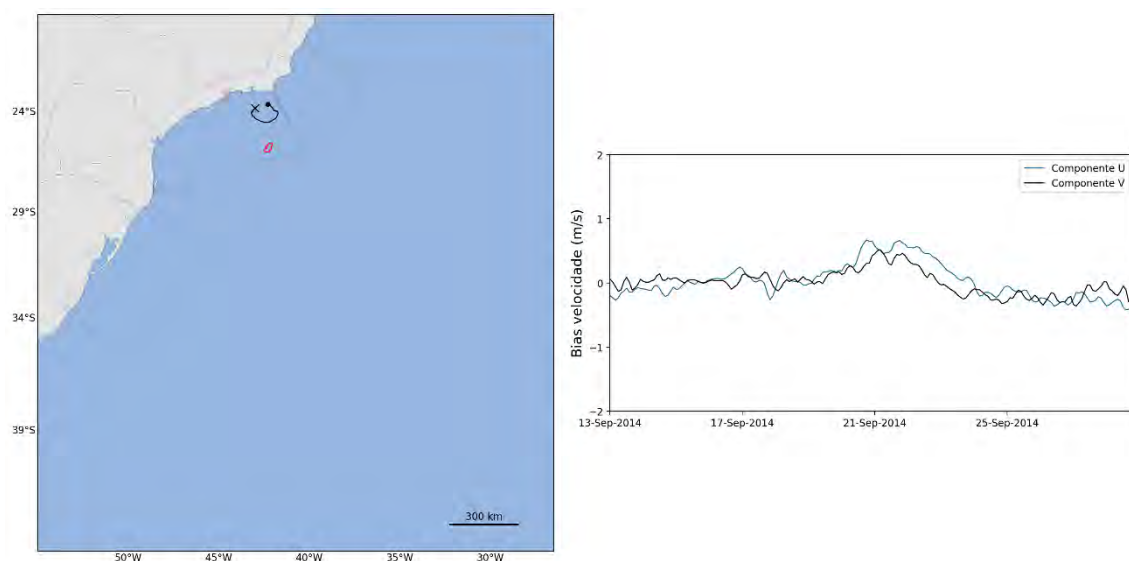


Figura 181: Trajetória descrita pelo derivador 22 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 22 e os resultados do ROMS (direita).

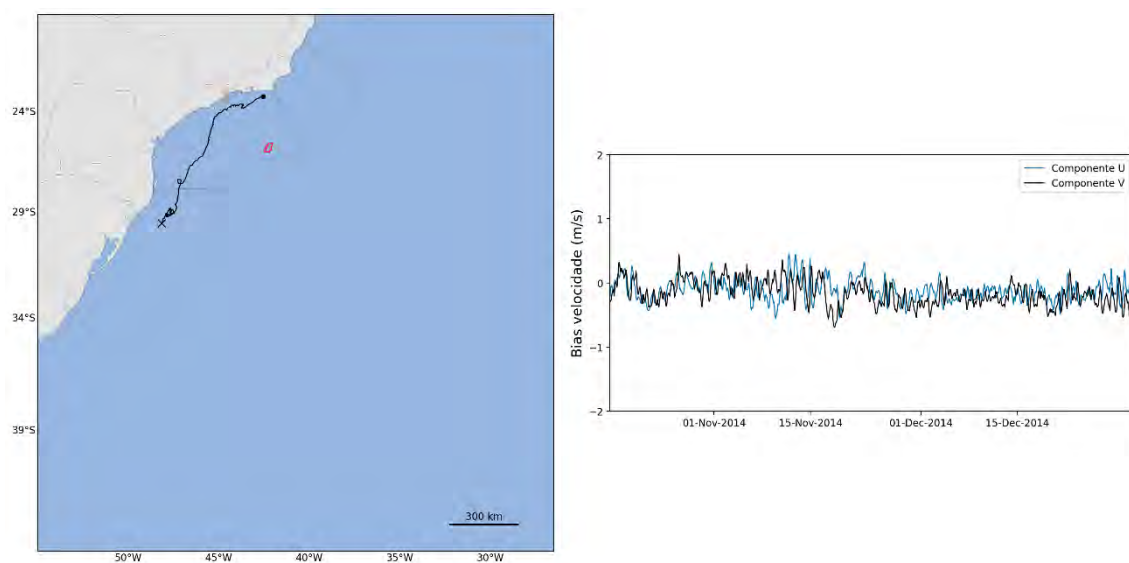


Figura 182: Trajetória descrita pelo derivador 23 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 23 e os resultados do ROMS (direita).

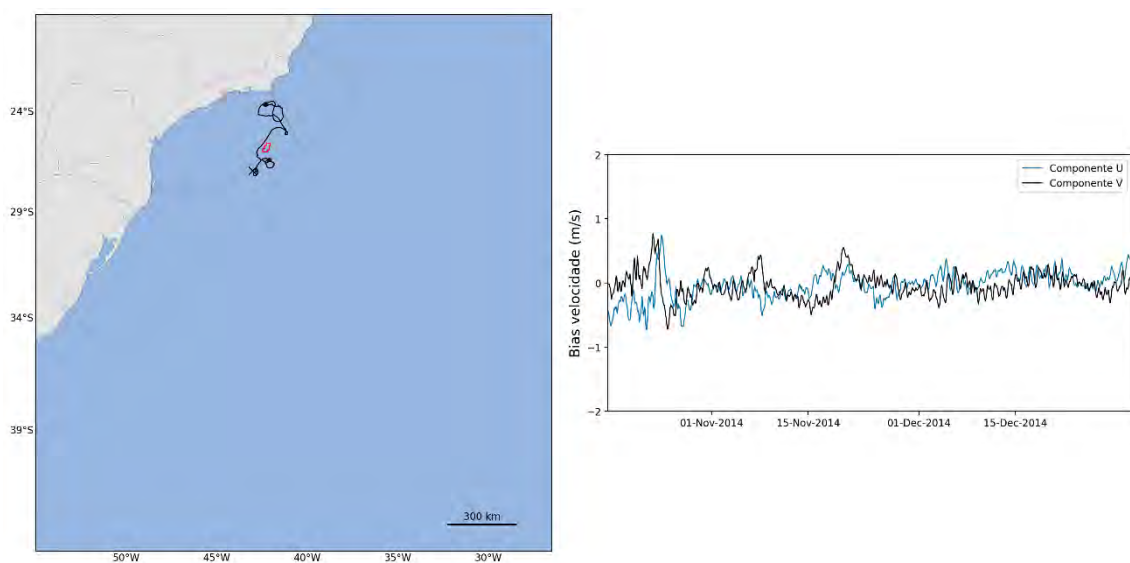


Figura 183: Trajetória descrita pelo derivador 24 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 24 e os resultados do ROMS (direita).

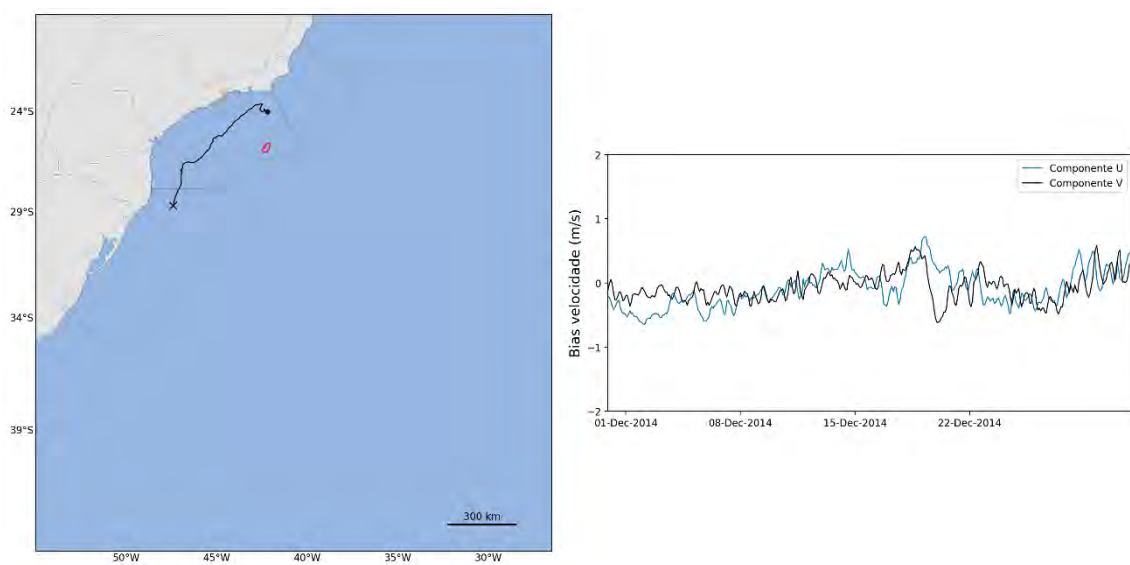


Figura 184: Trajetória descrita pelo derivador 25 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 25 e os resultados do ROMS (direita).

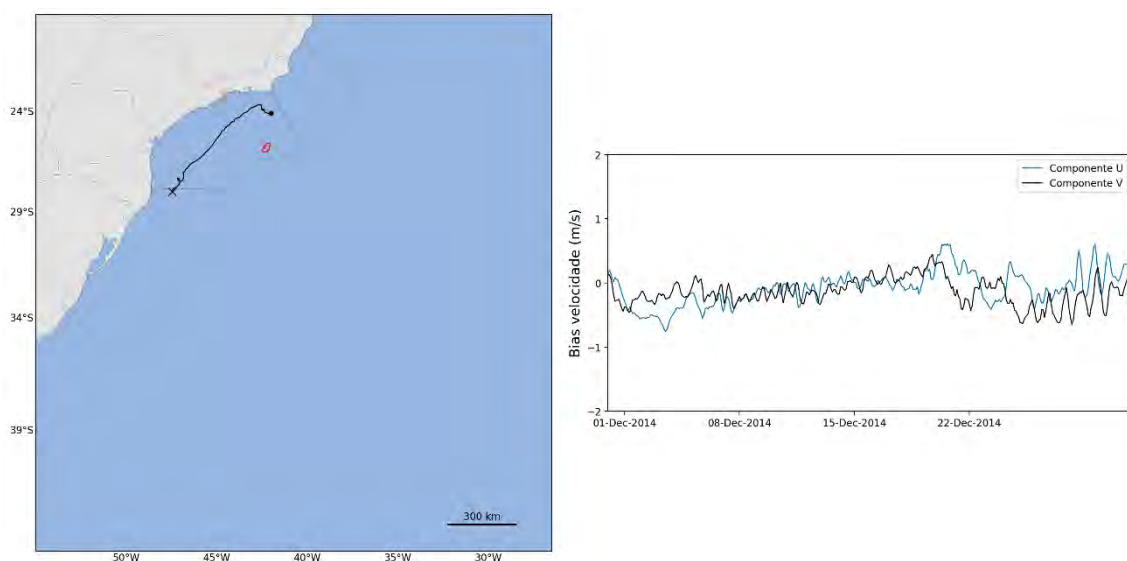


Figura 185: Trajetória descrita pelo derivador 26 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 26 e os resultados do ROMS (direita).

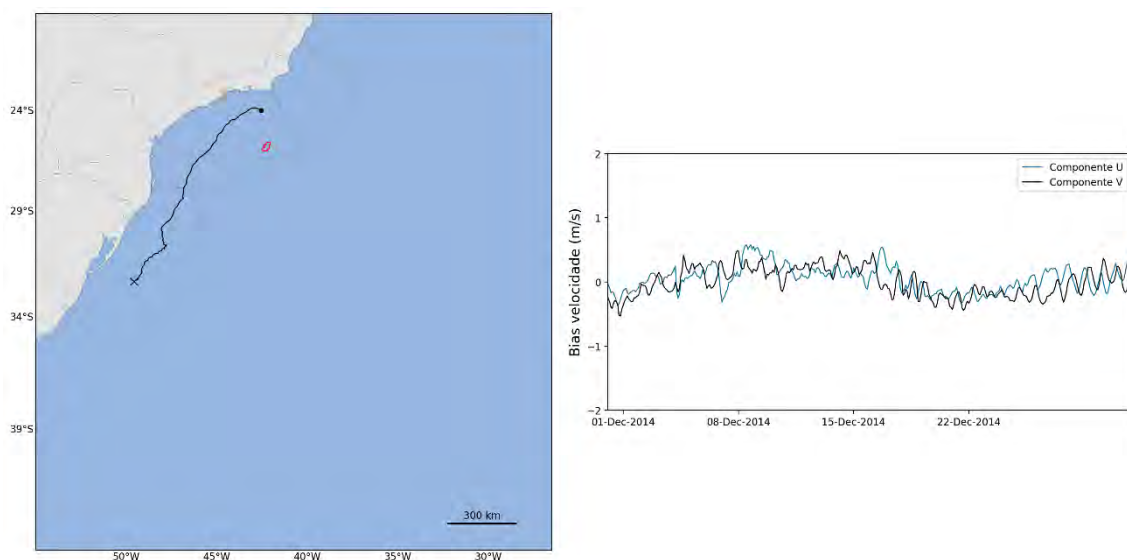


Figura 186: Trajetória descrita pelo derivador 27 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 27 e os resultados do ROMS (direita).

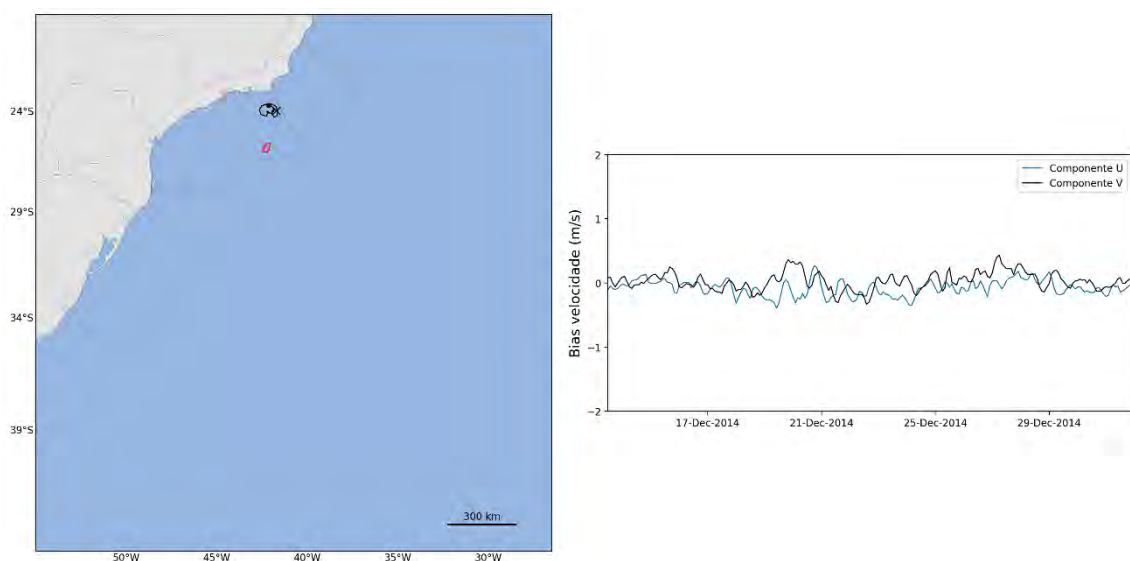


Figura 187: Trajetória descrita pelo derivador 28 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 28 e os resultados do ROMS (direita).

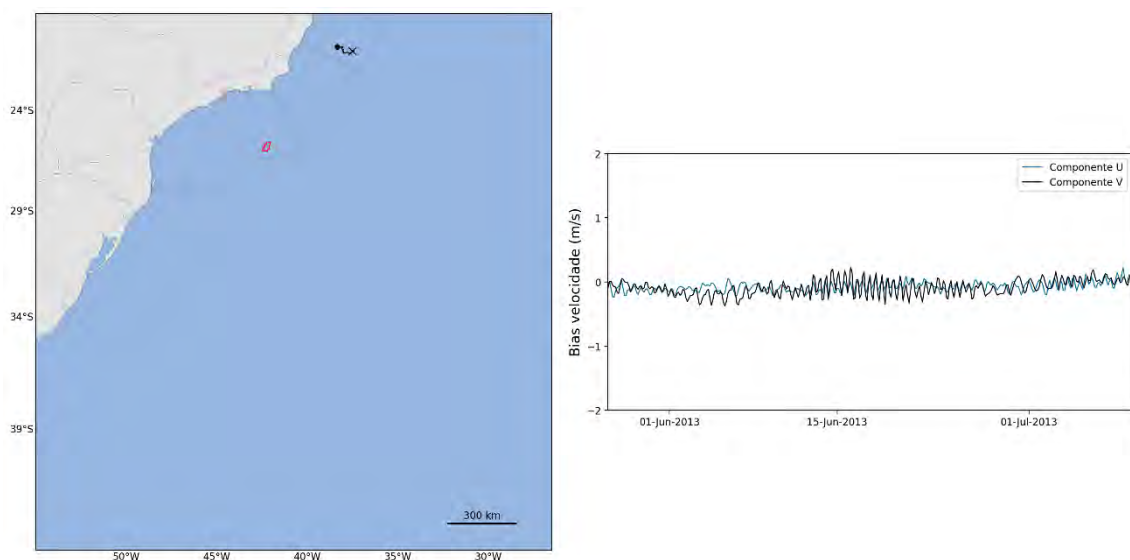


Figura 188: Trajetória descrita pelo derivador 29 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 29 e os resultados do ROMS (direita).

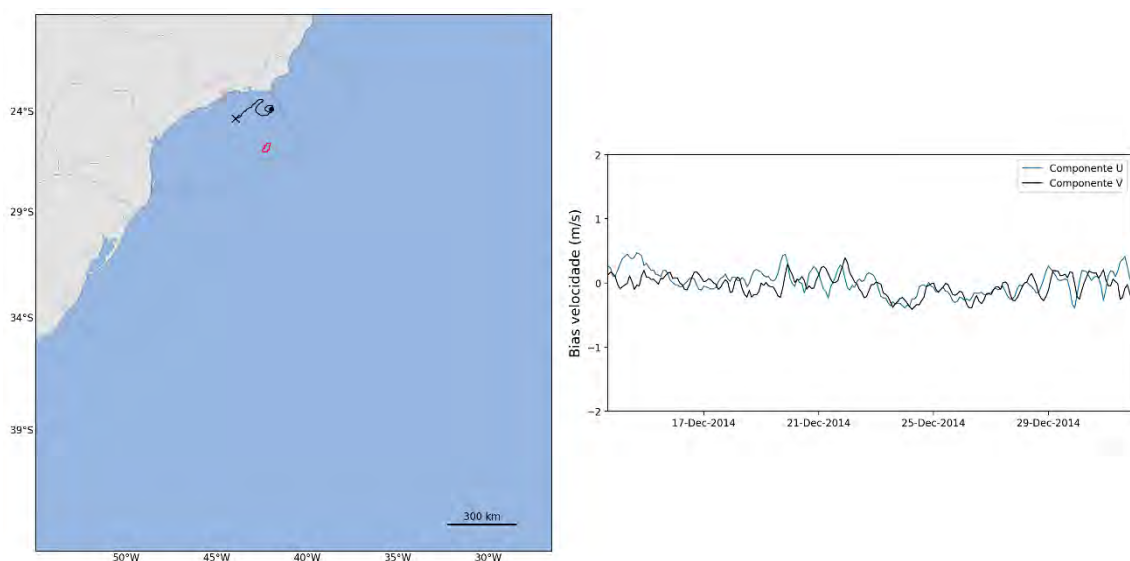


Figura 189: Trajetória descrita pelo derivador 30 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 30 e os resultados do ROMS (direita).

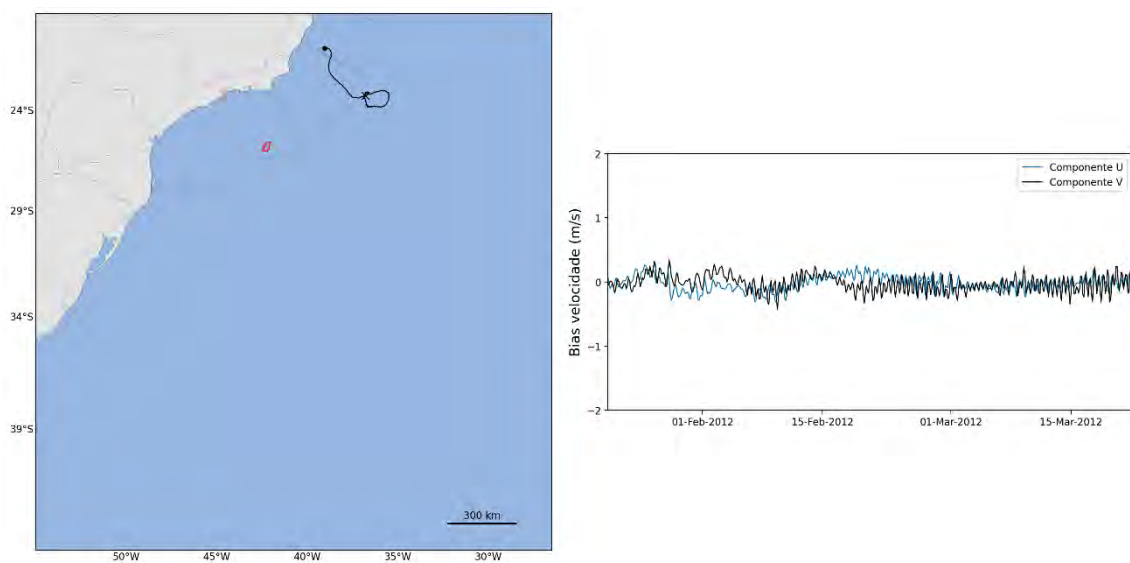


Figura 190: Trajetória descrita pelo derivador 31 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 31 e os resultados do ROMS (direita).

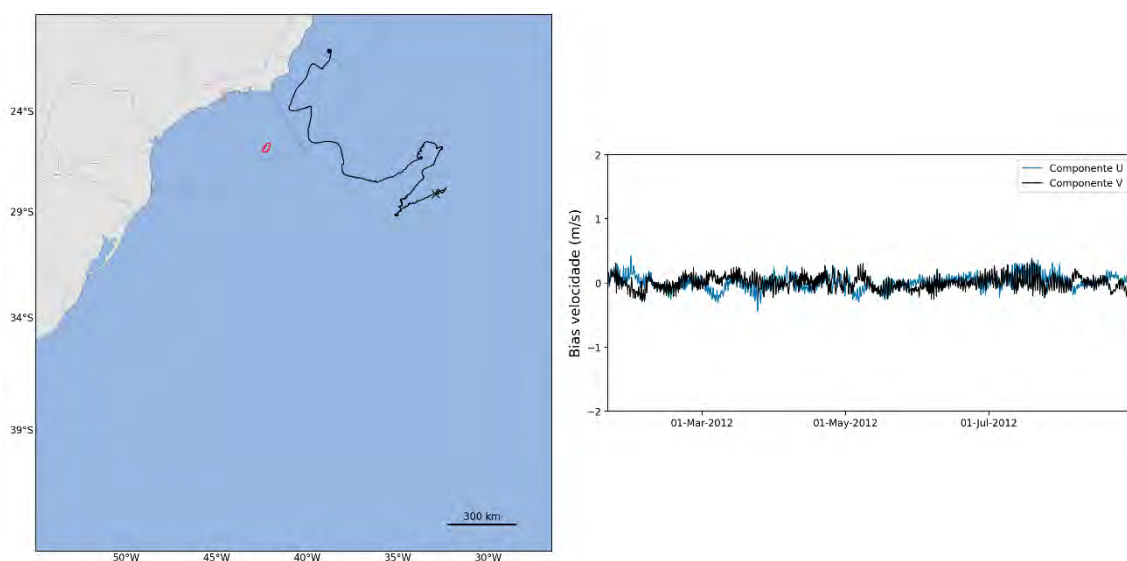


Figura 191: Trajetória descrita pelo derivador 32 (esquerda) e *bias* das componentes da velocidade (U em azul e V em preto) entre os dados obtidos do derivador 32 e os resultados do ROMS (direita).

Através dos gráficos comparativos pode-se observar que os resultados do ROMS apresentaram uma boa aproximação com os dados medidos pelos derivadores, tanto nas amplitudes das oscilações quanto na fase. A fim de quantificar as comparações apresentadas, foi feita uma análise estatística calculando o índice de Willmott. O valor médio do índice de Willmott (1982) para cada componente das correntes é apresentado na Tabela 11.

Tabela 11: Índice de Willmott e bias da velocidade (m/s) das comparações modelo/derivadores.

Derivador	Willmott Comp. Zonal	Willmott Comp. Meridional	Bias velocidade (m/s)
1	0,88	0,89	0,0219
2	0,92	0,93	-0,0265
3	0,94	0,93	0,0175
4	0,93	0,87	0,0849
5	0,91	0,93	0,0102
6	0,93	0,93	-0,0078
7	0,92	0,93	-0,0533
8	0,92	0,91	0,0347
9	0,84	0,74	-0,0010
10	0,90	0,90	0,0089
11	0,91	0,91	-0,0144
12	0,92	0,92	0,0186
13	0,88	0,90	0,0413
14	0,93	0,91	-0,0198
15	0,91	0,90	0,0807
16	0,94	0,94	-0,0025
17	0,89	0,90	-0,0004
18	0,88	0,87	0,1092
19	0,80	0,83	-0,0148
20	0,89	0,86	0,0326
21	0,83	0,87	0,0093
22	0,76	0,86	-0,0260
23	0,85	0,83	0,1947
24	0,85	0,84	0,0469
25	0,76	0,86	0,1151
26	0,78	0,82	0,1587
27	0,87	0,83	-0,0243
28	0,95	0,93	0,0130
29	0,93	0,87	0,0849
30	0,92	0,93	0,0041
31	0,94	0,91	0,0103
32	0,94	0,95	0,0028
Média	0,89	0,89	0,02

Esta comparação com os derivadores é um bom indicativo de que o modelo é capaz de representar os principais fenômenos da região, tanto no espaço quanto no tempo, uma vez que os derivadores se deslocaram ao longo do domínio de modelagem, com os resultados permanecendo compatíveis ao longo do tempo,

De forma geral, quando avaliada a média de todos os derivadores, as velocidades apresentadas pelo modelo foram menores que as observadas pelos derivadores, Porém, ressalta-se a média geral do *bias* foi de 0,02 m/s, valor dentro da oscilação de *bias* observada nesta região para o modelo global utilizado como condição inicial, conforme apresentado em Lellouche *et al*, (2019) - Figura 192,

Embora valores absolutos de *bias* maiores tenham sido observados ao longo das séries, as médias de cada derivador se mantiveram dentro ou próximo desta faixa (-0,1 m/s a +0,1 m/s),

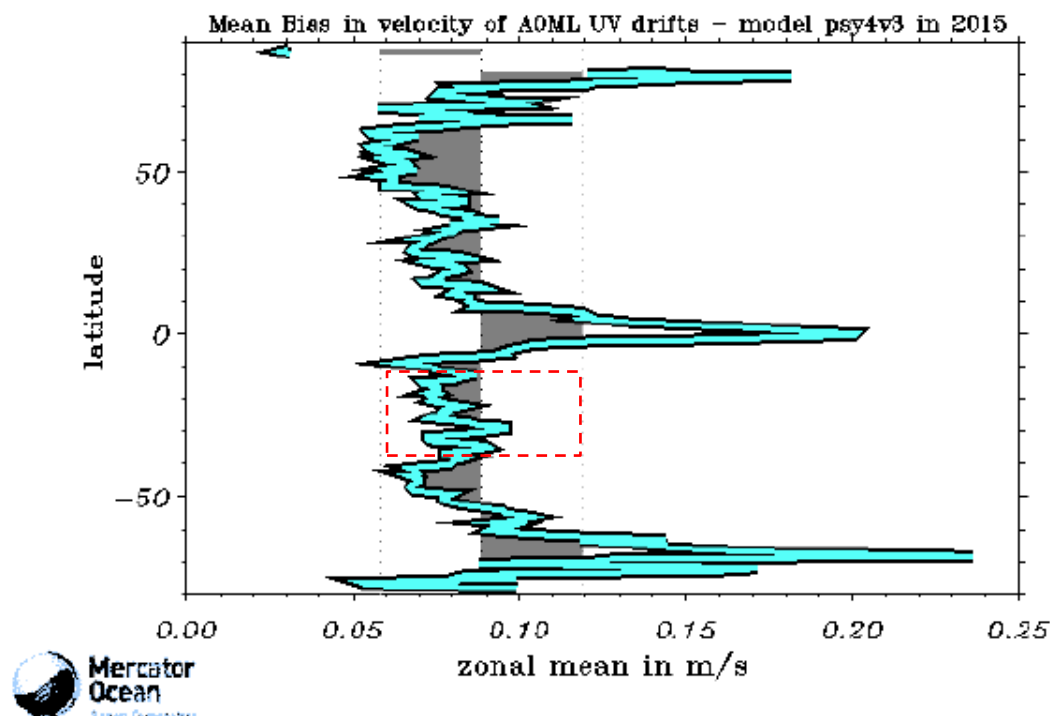


Figura 192: Erros médios da velocidade zonal (m/s) para o resultado do modelo global Mercator em relação às velocidades de derivadores e flutuadores, Quadrado vermelho representa a latitude aproximada do domínio de modelagem feita com o ROMS, Modificado de: Lellouche *et al*, (2019),

Em relação à representação do transporte de qualquer poluente, uma subestimação/superestimação das correntes poderia diminuir/aumentar o alcance da área de probabilidade de presença em superfície ou diminuir/aumentar os tempos de deslocamento do poluente, No entanto, as diferenças entre o modelo e as observações não são uniformemente distribuídas ao longo do domínio e do tempo, Assim, a trajetória do poluente pode passar tanto por regiões de superestimação quanto subestimação, tornando difícil e pouco conclusiva uma suposição das consequências sobre a modelagem de dispersão.

9.5. Transporte de volume

A fim de avaliar as correntes em termos de transporte, com foco na CB, foi selecionada uma radial representativa para o objetivo, posicionada na Bacia de Campos (22°S – 40,05°W a 39,6°W), com radiais limitadas entre as isóbatas de 200 e 2.000 m e profundidade de referência de 500 m. Foi calculado o transporte de volume (Φ_v), através da *eq. 1* e *eq.2*, para todo o período modelado e comparado com a bibliografia técnica (Tabela 12).

$$\Phi_v = \iint_A (v \cdot n) dA \quad eq.1$$

Onde:

A = área da seção transversal;

v = vetor velocidade;

n = versor da normal à seção transversal.

Como o integrando da eq.1 é a componente u da velocidade da corrente, temos $u = u(x, z)$, com isto, a eq.1 pode ser escrita como:

$$\Phi v = \iint_A [u(x, z)] dx dz \quad eq.2$$

A série de transporte para radial da Bacia de Campos (Figura 193) apresenta transportes de volume variando de -0.1 Sv a -9,4 Sv ao longo de todo período modelado, com transporte médio de $-5,3 \pm 1,8$ Sv. Também é possível observar uma variabilidade sazonal e interanual.

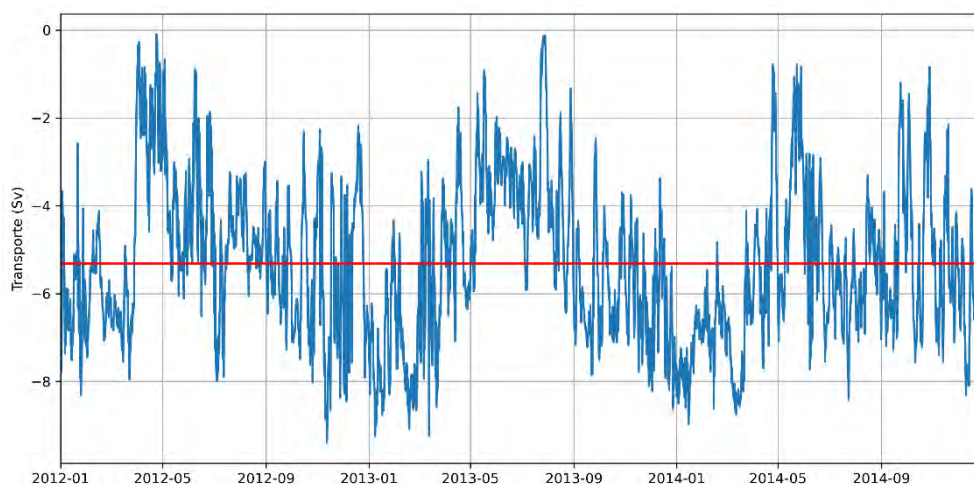


Figura 193: Série temporal de transporte de volume para radial da Bacia de Campos, posicionada na latitude de 22°S, estendendo-se horizontalmente de 40,05°W a 39,6°W e verticalmente da superfície até 500 m de profundidade, representando o transporte de volume da Corrente do Brasil para região.

Tabela 12: Estimativas para o transporte de volume da CB na latitude em torno de 22°S. Sinais negativos representam a direção sul-sudoeste da corrente.

Latitude	Método	Prof. Ref (m)	Transporte (Sv)	Fonte
21°40'S	XBT	500	-4,4	Evans <i>et al.</i> , (1983)
22°S	Dados hidrográficos	600	-5,2	Signorini (1978)
22°S	Correntômetro	fundeio	-5,5±2,6	Lima (1997)
22°S	XBT	fundeio	-5	Mata <i>et al.</i> , (2012)
22°S	XBT	fundeio	-5,24±1,58	Pereira <i>et al.</i> , (2013)

O valor médio do transporte da CB encontrado está de acordo com o encontrado em Mata *et al.* (2012), que foi de -5 Sv, obtidos a partir dos dados *in situ* da XBT de 2004 a 2011. Em Evans *et al.* (1983), para a latitude de 21°40' S, a partir dos dados de XBT no ano de 1982, foi obtido o transporte de volume de - 4,4 Sv para a profundidade de 500 m. Em Pereira *et al.* (2013), a média do transporte de volume da CB no período de 9 anos em 22°S, foi de $-5,24 \pm 1,58$ Sv. Portanto, os resultados observados estão coerentes com a literatura técnica (Tabela 12).

10. Considerações Finais

Modelos numéricos são ferramentas que tem como objetivo a representação da dinâmica e dos processos envolvidos no objeto de estudo através de equações matemáticas e parametrizações. Assim, modelos geram resultados que são aproximações do estado real e possuem limitações e erros inerentes ao método (e.g, erro de truncamento, erro de aproximação e parametrização de processos físicos não resolvíveis). Todas essas fontes contribuem para divergências entre o estado real e o simulado do oceano. Os resultados aqui apresentados devem ser interpretados à luz dessas delimitações adotadas e incertezas do modelo e também quanto as suas efetivas representatividades frente às análises feitas dos processos oceânicos e feições considerados nas suas escalas espacial e temporal.

Ao longo da avaliação da representatividade do modelo hidrodinâmico, diversos parâmetros foram utilizados, como oscilação da maré, temperatura superficial e correntes (superficiais e em profundidade). As diferenças quantitativas encontradas estão em uma escala aceitável (Ex: <13 cm na maré; 0,2°C na TSM; 0,05 m/s nas correntes superficiais), e foi demonstrado que o modelo é capaz de representar os principais fenômenos da região, tanto no espaço quanto no tempo. Embora algumas análises indiquem uma subestimação das correntes em situações pontuais, de maneira geral, as análises estatísticas das distribuições mostram um comportamento de oscilação de superestimação-subestimação, não sendo possível afirmar que exista uma tendência generalizada de subestimação ou superestimação.

As diferenças observadas (intensidade e direção) entre os dados medidos e os resultados apresentados pelo modelo podem gerar variações no deslocamento do poluente, diferentes daquelas situações das previstas no comportamento. Contudo, as consequências destas diferenças (dado e modelo hidrodinâmico) no modelo de dispersão de poluente são muito difíceis de avaliar previamente, uma vez que a área de probabilidade pode abarcar uma região bastante extensa, onde a trajetória do poluente pode passar por diferentes regiões onde pode haver tanto superestimações como subestimação dos valores.

11. Bibliografia

- AMANTE, C, and B,W, EAKINS, 2009, ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis, NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24, 19 pp, Whole-world grids available on-line at [<http://ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>] from the NOAA, NESDIS, National Geophysical Data Center, Boulder, Colorado U,S,A,
- ARAUJO, de Salles, C, E, (2003), AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DAS TEMPERATURAS DA SUPERFÍCIE DO MAR OBTIDAS POR SATÉLITE PARA A REGIÃO SUL-SUDESTE DA COSTA BRASILEIRA, INPE
- BARBOSA, H, M, J,, & Marengo, J, A, (2008), ANÁLISE PRELIMINAR DA TSM DOS MODELOS ACOPLADOS UTILIZADOS NO IPCC-AR4, <http://www.ncdc.noaa.gov>, CPTEC-INPE,
- BECK, B,, 2002: Model evaluation and performance, In Encyclopedia of Environmetrics, Eds, A, H, El-Shaarawi and W, W, Piegorsch, John Wiley & Sons, Ltd,, Chichester,
- CARVALHO, J,L,B, 2003, 190 p, Modelagem e Análise do Lançamento de Efluentes Através de Emissários Submarinos, Tese (Doutorado em Engenharia Oceânica), COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro,
- CHAPMAN, D, C,, 1985: Numerical treatment of cross-shelf open boundaries in a barotropic coastal ocean model, J, Phys, Oceanogr,, 15, 1060--1075,
- CASTRO FILHO, B, D,, 1990, Estado atual do conhecimento dos processos físicos das águas da Plataforma continental sudeste do Brasil, II Simpósio de Ecossistemas da costa sul e sudeste brasileira, Águas de Lindoia, SP, Academia de Ciências, 1, 1-19,
- DOS SANTOS, F, A,; DE OLIVEIRA, A, L, S, C; SOARES, F, L, M,; CARVALHO, G, V,; SÃO TIAGO, P, M,; SANTOS, N, G,; GARÇÃO, H, F,; PIMENTEL, F, P,; BOECHAT, A, C,; MARIANO, L, S,; BERGMAN, C,; RINALDI, F, L,; MIRANDA, T, C,; CABRAL, M, M,; DA CRUZ, L, M, M,; PELLEGRINI, J, A, C,; ASSAD, L, P, F,; LANDAU, L,; FRAGOSO, M, R, 2016, Projeto Azul: operational oceanography in an active oil and gas area southeastern Brazil, In: Liu Y, Kerkering H, Weisberg RH (eds) Coastal ocean observing systems, 1st edn, Elsevier, London, pp 99--116, doi: 10.1016/
- EGBERT, G,D,, EROFEEVA, S, Y, 2002: Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides, J, Atmos, Oceanic Technol,, 19(2), 183-204,
- EVANS, D. L.; SIGNORINI, S. R. & MÍRANDA, L.B., 1983. A note the transport of the Brazil Current. J. Phys. Oceanogr., 13(9). P. 1732-1738.
- FAIRALL, C,W,, E,F, BRADLEY, D,P, ROGERS, J,B, EDSON and G,S, YOUNG, 1996: Bulk parameterization of air-sea fluxes for tropical ocean-global atmosphere Coupled-Ocean Atmosphere Response Experiment, J, Geophys, Res,, 101, 3747-3764,

- FLATHER, R,A,, 1976, A tidal model of the North-West European continental shelf, M'em, Soc, R, Soc, Liège 9, 141–164,
- FRAGOSO, M, R,; CARVALHO, G, V,; SOARES, F, L, M,; FALLER, D, G,; ASSAD, L, P, F,; TOSTE, R, *et al*, 2016, A 4D-variational ocean data assimilation application for Santos Basin, Brazil, Ocean Dynamics, 66(3), 419-434,
- HAIDVOGEL, D, B, and A, BECKMANN, 1999: Numerical Ocean Circulation Modeling, Imperial College Press,
- HAIDVOGEL, D, B,, H, G, ARANGO, K, HEDSTRON, A, BECKMAN, P, MALANOTTE-RIZZOLI, and A, F, SCHEPETK (2000), Model evaluation experiments in the North Atlantic Basin: Simulations in nonlinear terrain-following coordinates, Dyn, Atmos, Oceans, 32, 239-281,
- HAIDVOGEL, D, B,, H, ARANGO, W, P, BUDGELL, B, D, CORNUELLE, E, CURCHISTER, E, DI LORENZO, K, FENNEL, W, R, GEYER, A, J, HERMANN, L, LANEROLLE, J, LEVIN, J, C, McWILLIANS, A, J, MILLER, A, M, MOORE, T, M, POWELL, A, F, SHCHEPETKIN, C, R, SHERWOOD, R, P, SIGNELL, J, C, WARNER, and J, WILKIN, 2008, Ocean forecasting in terrain-following coordinates: Formulation and skill assessment of the Regional Ocean Modeling System, Journal of Computational Physics, 227, 3595-3624,
- HANSEN, D, V,; POULAIN, P, M, Quality control and interpolations of WOCE-TOGA drifter data, Journal of atmospheric and oceanic technology, v, 13, n, 4, p, 900–910, 1996,
- HOEGH-GULDBERG, O,, D, JACOB, M, TAYLOR, M, BINDI, S, BROWN, I, CAMILLONI, A, DIEDHIOU, R, DJALANTE, K,L, EBI, F, ENGELBRECHT, J, GUIOT, Y, HIJIOKA, S, MEHROTRA, A, PAYNE, S,I, SENEVIRATNE, A, THOMAS, R, WARREN, AND G, ZHOU, 2018: Impacts of 1,5°C Global Warming on Natural and Human Systems, In: Global Warming of 1,5°C, An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1,5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V,, P, Zhai, H,-O, Pörtner, D, Roberts, J, Skea, P,R, Shukla, A, Pirani, W, Moufouma-Okia, C, Péan, R, Pidcock, S, Connors, J,B,R, Matthews, Y, Chen, X, Zhou, M,I, Gomis, E, Lonnoy, T, Maycock, M, Tignor, and T, Waterfield (eds,)], In Press,
- IROBOT, IROBOT® 1KA SeagliderTM User's Guide, Revision C, 444, p, 2012, Disponível em <http://doga.ogs.trieste.it/sire/glider/manuali_seaglider/Seaglider%20User%20Guide%20-%20Rev,%20C.pdf>, Acessado em 17 de maio de 2014,
- LARGE, W, G,, J, C, McWILLIANS, and S, C, DONEY, 1994: Oceanic vertical mixing: a review and a model with a nonlocal boundary layer parameterization, Rev, Geophys,, 32, 363-403,

- LARNICOL, G., GUINEHUT S., RIO M., H., DREVILLON M., FAUGÈRE Y., HERNANDEZ F, (2006), The global observed ocean products of the French Mercator project, 15 years of radar altimetry symposium, Venice,
- LELLOUCHE, J-M.; LEGALLOUDEC, O.; REGNIER, C.; LEVIER, B.; GREINER, E.; DREVILLON, M, , 2019, Quality Information Document: For Global Sea Physical Analysis and Forecasting Product GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024, Marine Environment Monitoring Service: issue 2,1,
- LOCARNINI, R, A., A, V, MISHONOV, J, I, ANTONOV, T, P, BOYER, H, E, GARCIA, O, K, BARANOVA, M, M, ZWENG, AND D, R, JOHNSON, 2013, World Ocean Atlas 2013, Volume 1: Temperature, S, Levitus, Ed, NOAA Atlas NESDIS 68, U,S, Government Printing Office, Washington, D,C,, 184 pp.
- LIMA, J. A. M., 1997. Oceanic Circulation on the Brazilian Shelf Break and Continental Slope at 22° S. Tese (Doutorado). The University of New South Wales, Austrália.
- LIU, W, T., K,B, KATSAROS, and J,A, BUSINGER, 1979: Bulk parameterization of the air-sea exchange of heat and water vapor including the molecular constraints at the interface, J, Atmos, Sci., 36, 1722-1735.
- MATA, M. M.; CIRANO, M.; VAN CASPEL, M. R.; FONTELES, C. S.; GONI, G; BARINGER, M., 2012. Observations of Brazil Current Baroclinic transport near 22° S: variability from the AX97 XBT transect. CLIVAR Exchanges. N° 58. Vol. 17.p.5-10.
- MARCHESIELLO, P., J,C, McWILLIAMS, and A, SHCHEPETKIN, 2003: Equilibrium structure and dynamics of the California Current System, J, Phys, Oceanogr., 33, 753-783,
- MELLOR, G, L.; YAMADA, T., 1982: Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems, Rev, Geophys, Space Phys., 20, 851-875,
- MENDONÇA, L,F., SOUZA, R,B., ASSEF, C,R,C., PEZZI, L,P., MÖLLER, O,O., ALVES, R,C,M, 2017, Regional modeling of the water masses and circulation annual variability at the Southern Brazilian Continental Shelf, Journal of Geophysical Research, doi: 10.1002/2016JC011780,
- PELIZ, A., J, DUBERTt, D, B, HAIDVOGEL, 2003: Subinertial Response of a Density-Driven Eastern Boundary Poleward Current to Wind Forcing, J, Phys, Oceanogr., 33, 1633-1650.
- PEREIRA, J., CIRANO, M., ALMEIDA, M. M., AMORIM, F. N., 2013. A Regional study of the Brazilian shelf/slope circulation (13° -31° S) using climatological open boundaries. Revista Brasileira de Geofísica 31(2):289-305.
- PETERSON, R, G.; STRAMMA, L., 1991: Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean, Progress in Oceanography, v, 26, p, 1-73.

- SIGNORINI, S. R., 1978. On the circulation and the volume transport of the Brazil Current between the Cape of São Tomé and Guanabara Bay. Deep-sea Res., 481- 490.
- SEELIGER, U,, C, ODEBRECHT, J,P, CASTELLO, 1998: Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil, Ecoscientia,
- SCHEPETKIN, A, F,, and J, C, McWILLIANS (1998), Quasi-monotone advection schemes based on explicit locally adaptive dissipation, Monthly Weather Review, 126, 1541-1580,
- SHCHEPETKIN, A, F,, and J, C, McWILLIANS (2003), A method for computing horizontal pressure-gradient force in an oceanic model with a nonaligned vertical coordinate, J, Geophys, Res,, 108(C3), 3090, doi:10.1029/2001JC001047,
- SHCHEPETKIN, A, F,, and J, C, McWILLIANS (2005), The Regional Ocean Modeling System: A split-explicit, free-surface, topography following coordinates ocean model, Ocean Modelling, 9, 347-404,
- SILVEIRA, I, C, A, 2007, 160p, O Sistema Corrente do Brasil na Bacia de Campos, RJ, Tese (Doutorado em Oceanografia Física), Universidade de São Paulo, São Paulo,
- SONG, Y, and D, B, HAIDVOGEL, 1994: A semi-implicit ocean circulation model using a generalized topography-following coordinate system, J, Comp, Phys,, 115(1), 228-244,
- SOUTELINO, R, G, 2012, On the dynamics of the Brazil Current site of origin, Dissertação de Doutorado, Universidade de São Paulo, 100 pp,
- SOUZA, R,B,de and ROBINSON, I,S, 2004, Lagrangian and satellite observations of the Brazilian Coastal Current, Continental Shelf Research, 24: 241-262
- STARK, J, D, CRAIG J, DONLON, MATTHEW J, MARTIN and McCULLOCH, 2007, OSTIA : An operational, high resolution, real time, global sea surface temperature analysis system,, Oceans '07 IEEE Aberdeen, conference proceedings, Marine challenges: coastline to deep sea, Aberdeen, Scotland,IEEE,
- STYLES, R, and S,M, GLENN, 2000: Modeling stratified wave and current bottom boundary layers in the continental shelf, J, of Geophys, Res,, 105, 24119-24139,
- UMLAUF, L,, H, BUCHARD, 2003: A generic length-scale equation for geophysical turbulence models, J, Marine Res,, 61, 235-265,
- WARNER, J,C,, C,R, SHERWOOD, H,G, ARANGO, and R,P, SIGNELL, 2005: Performance of four Turbulence Closure Methods Implemented using a Generic Length Scale Method, Ocean Modelling, 8, 81-113,

WILMOT, C, J,, 1982, Some Comments on the Evaluation of Model Performance, Bulletin American Meteorological Society, Vol, 63, No, 11, *pp*, 1309-1313,

ZWENG, M,M,, J,R, REAGAN, J,I, ANTONOV, R,A, LOCARNINI, A,V, MISHONOV, T,P, BOYER, H,E, GARCIA, O,K, BARANOVA, D,R, JOHNSON, D, SEIDOV, M,M, BIDDLE, 2013, World Ocean Atlas 2013, Volume 2: Salinity, S, Levitus, Ed,, A, Mishonov Technical Ed,; NOAA Atlas NESDIS 74, 39 *pp*.

Anexo

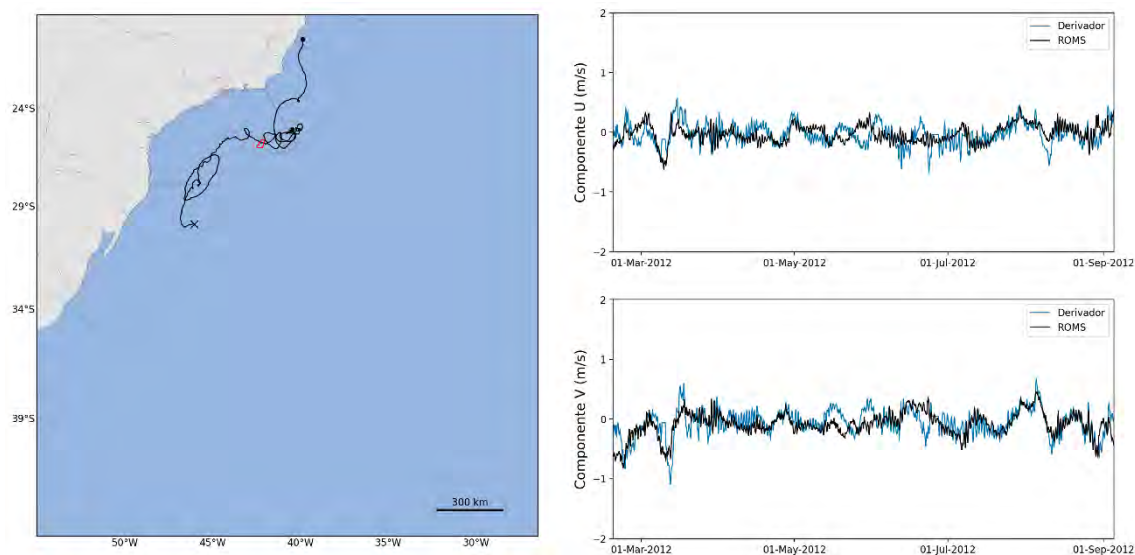


Figura 194: Trajetória descrita pelo derivador 01 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 01 e os resultados do ROMS (direita).

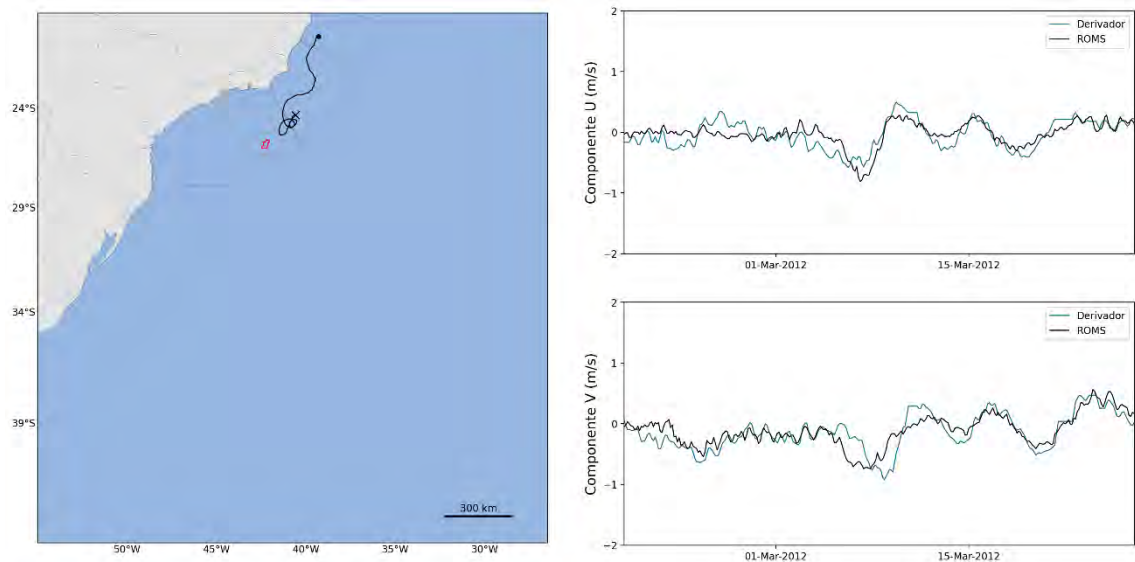


Figura 195: Trajetória descrita pelo derivador 02 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 02 e os resultados do ROMS (direita).

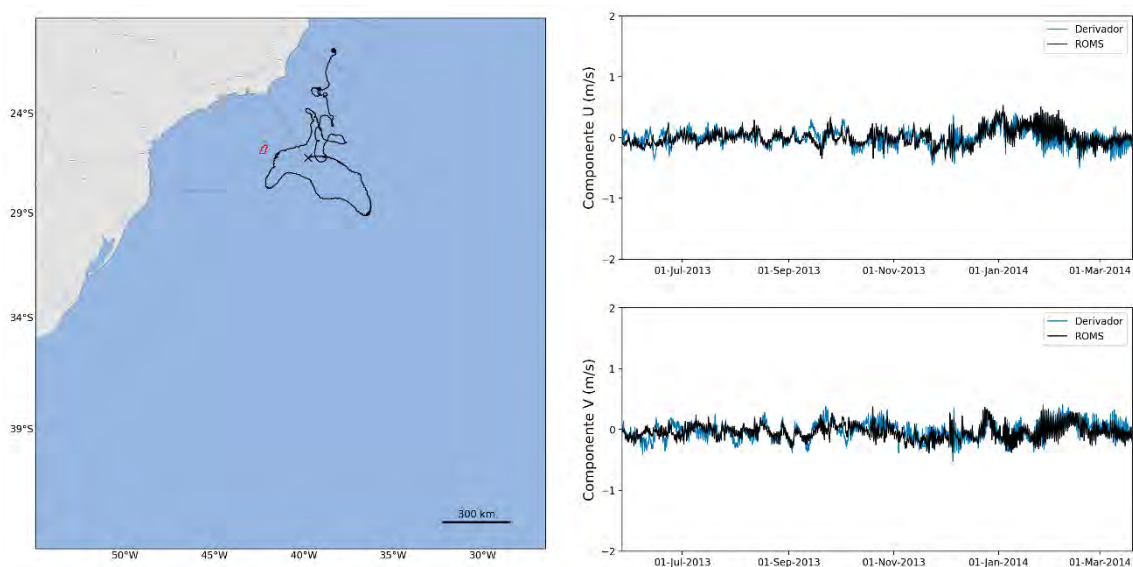


Figura 196: Trajetória descrita pelo derivador 03 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 03 e os resultados do ROMS (direita).

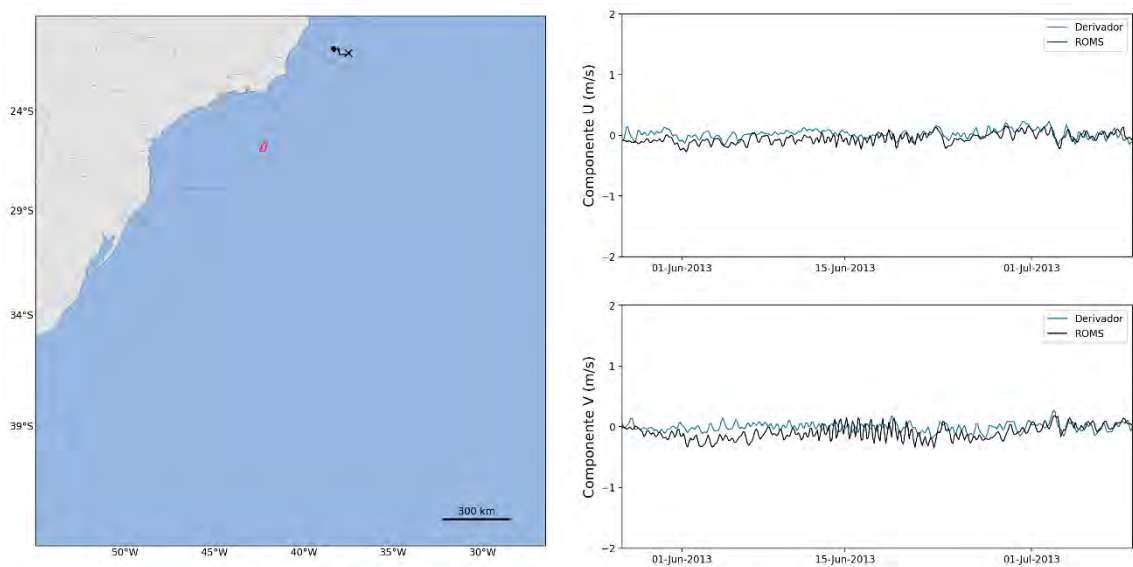


Figura 197: Trajetória descrita pelo derivador 04 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 04 e os resultados do ROMS (direita).

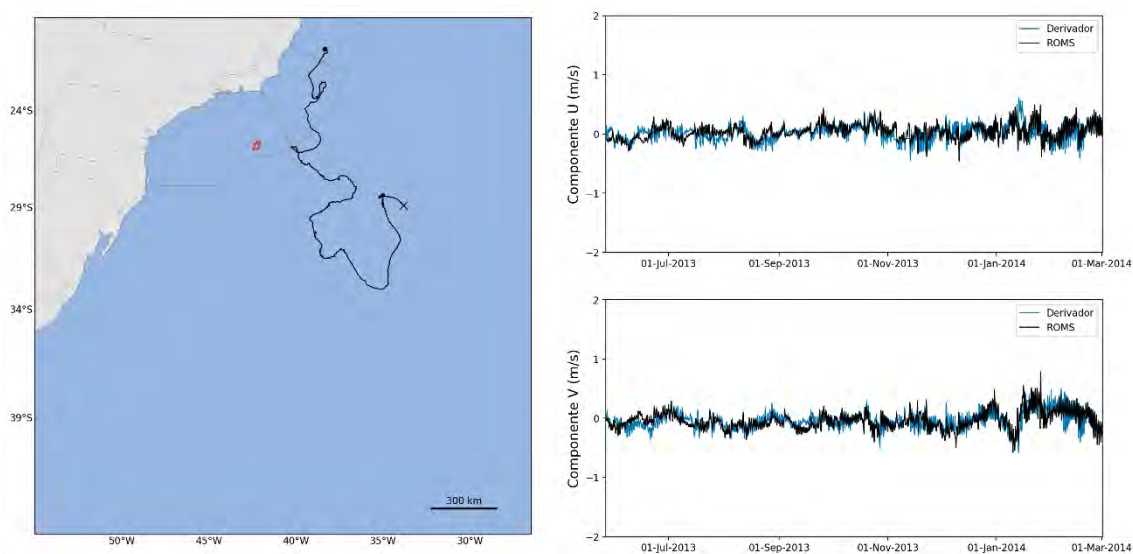


Figura 198: Trajetória descrita pelo dor 05 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 05 e os resultados do ROMS (direita).

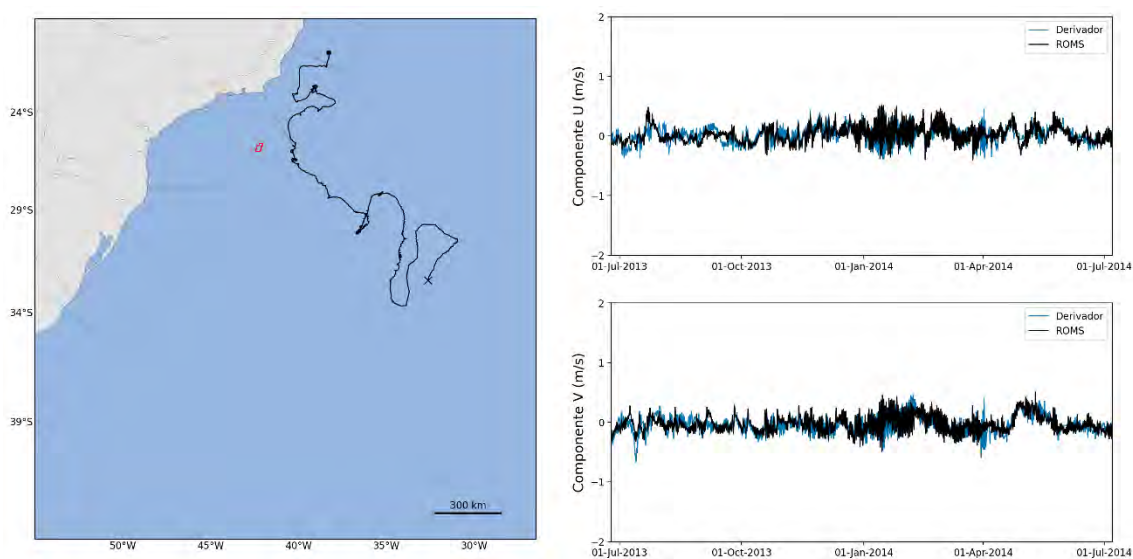


Figura 199: Trajetória descrita pelo derivador 06 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 06 e os resultados do ROMS (direita).

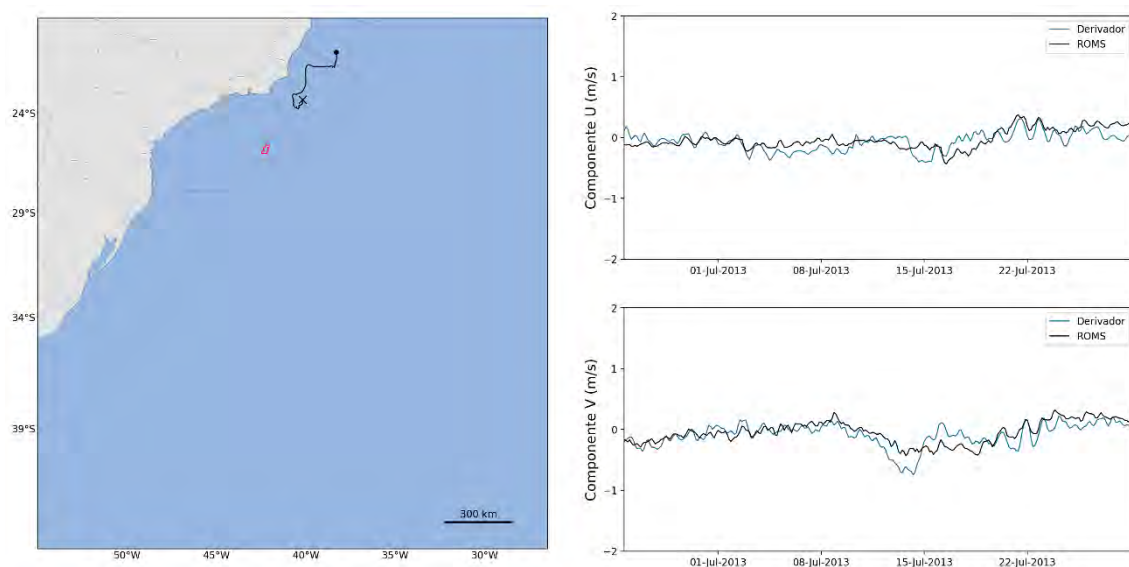


Figura 200: Trajetória descrita pelo derivador 07 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 07 e os resultados do ROMS (direita).

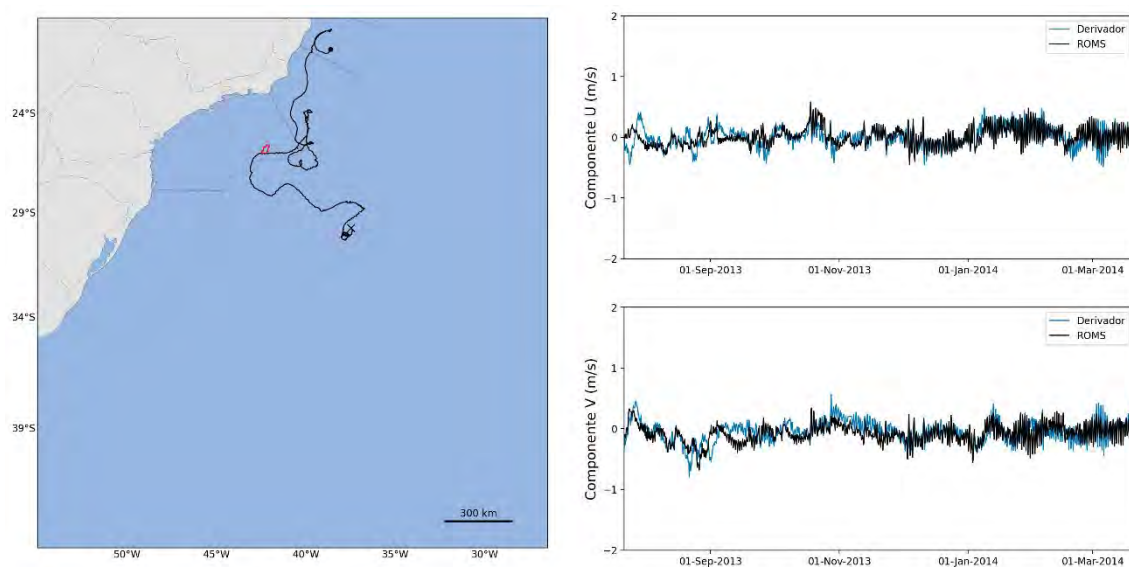


Figura 201: Trajetória descrita pelo derivador 08 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 08 e os resultados do ROMS (direita).

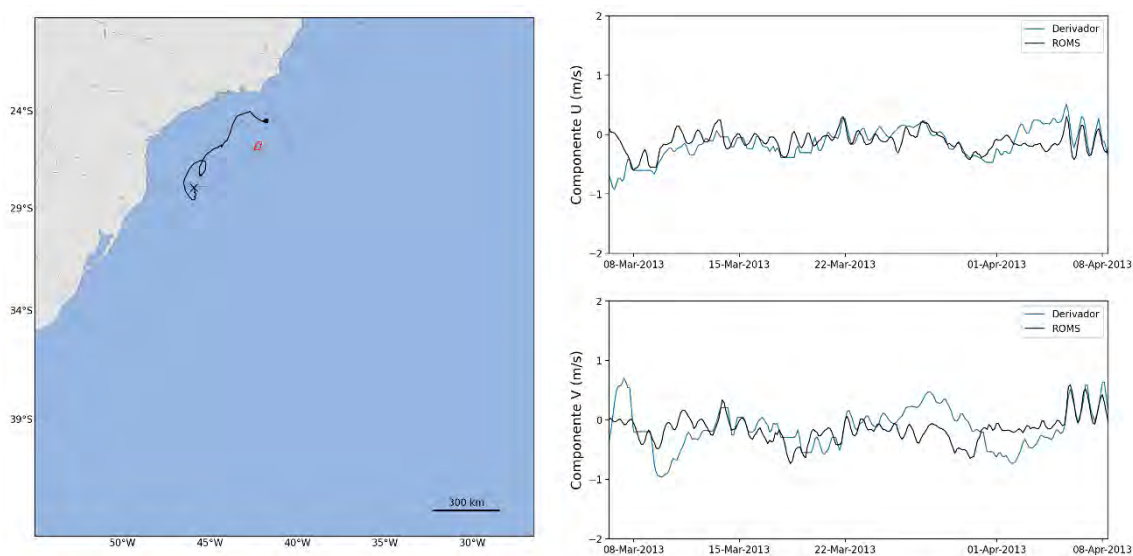


Figura 202: Trajetória descrita pelo derivador 09 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 09 e os resultados do ROMS (direita).

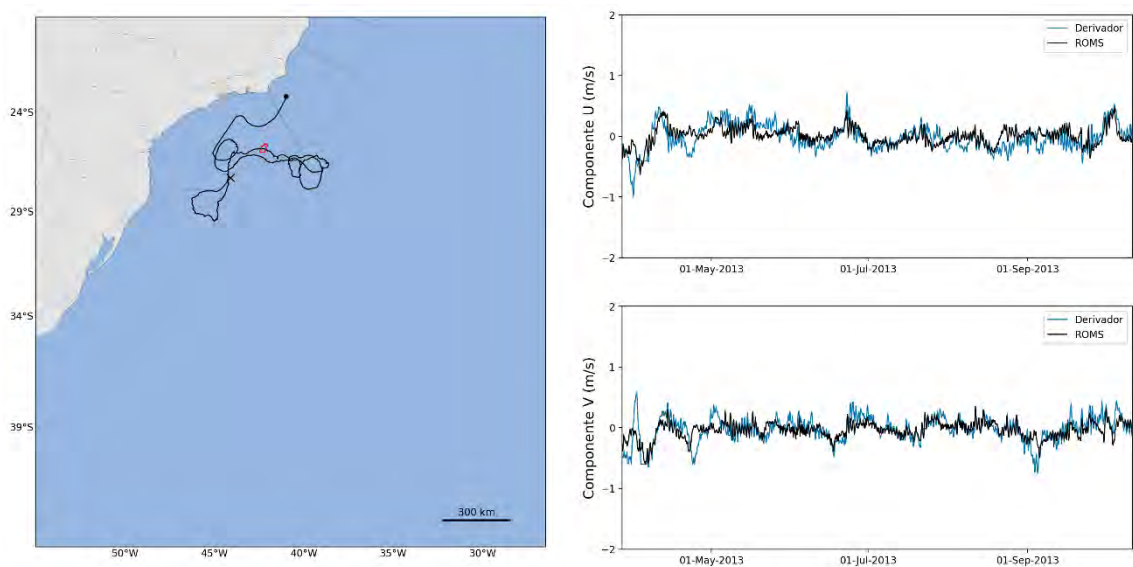


Figura 203: Trajetória descrita pelo derivador 10 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 10 e os resultados do ROMS (direita).

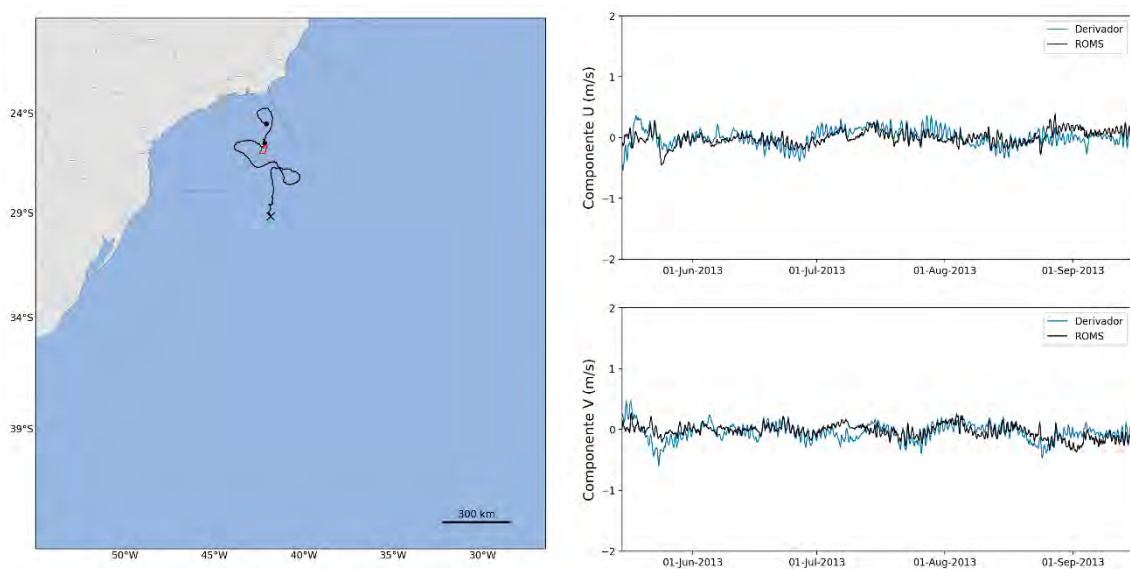


Figura 204: Trajetória descrita pelo derivador 11 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 11 e os resultados do ROMS (direita).

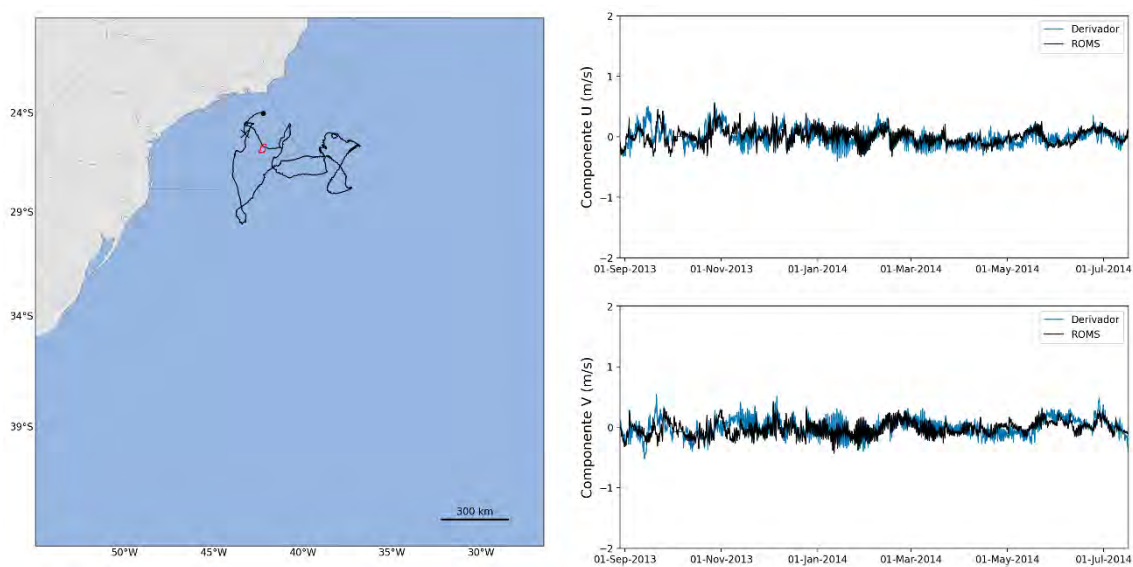


Figura 205: Trajetória descrita pelo derivador 12 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 12 e os resultados do ROMS (direita).

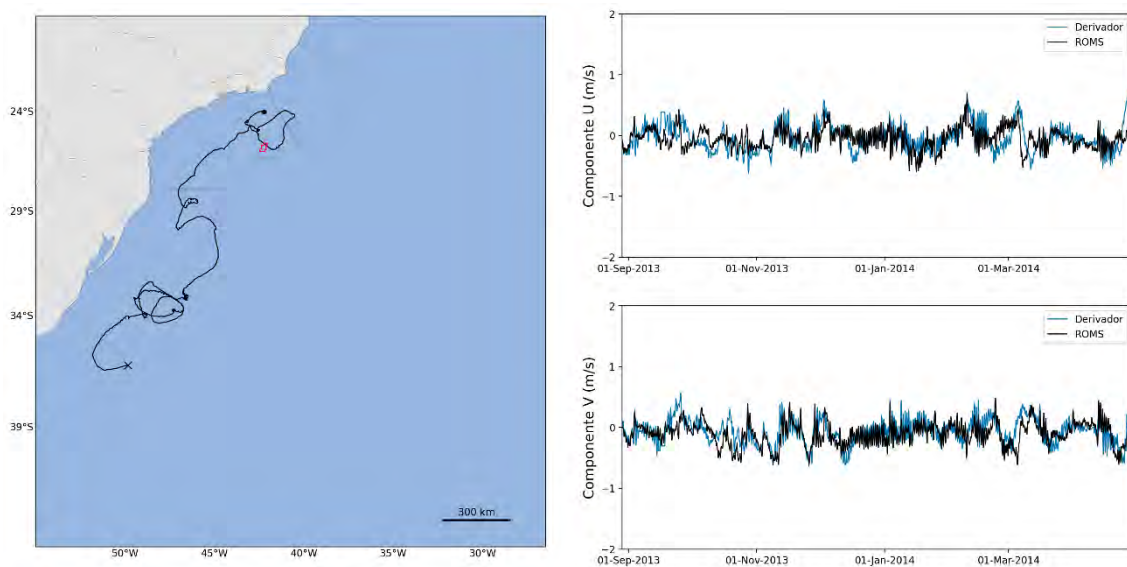


Figura 206: Trajetória descrita pelo derivador 13 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 13 e os resultados do ROMS (direita).

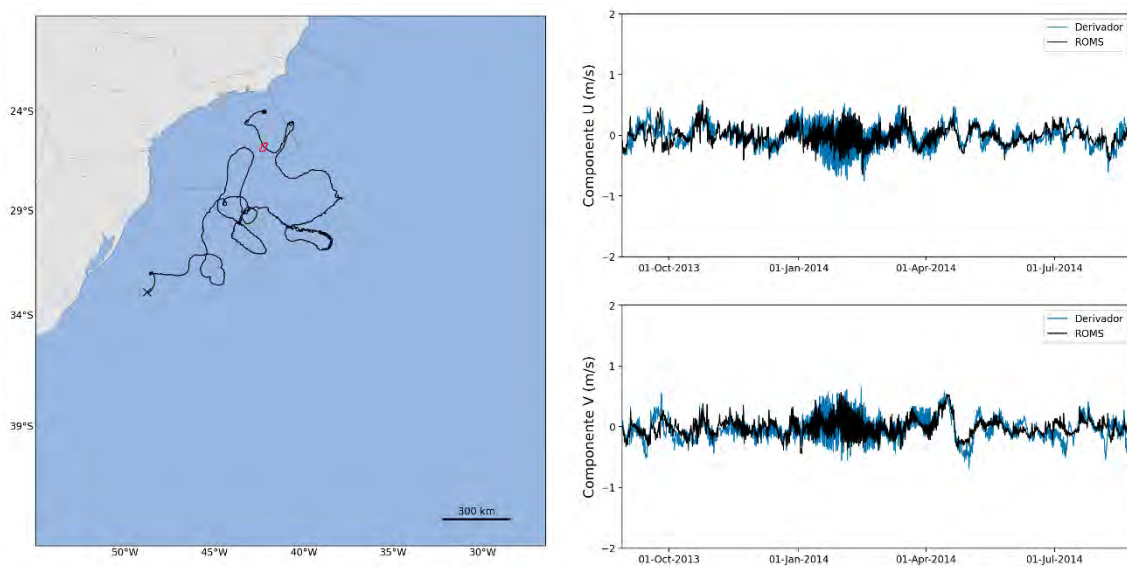


Figura 207: Trajetória descrita pelo derivador 14 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 14 e os resultados do ROMS (direita).

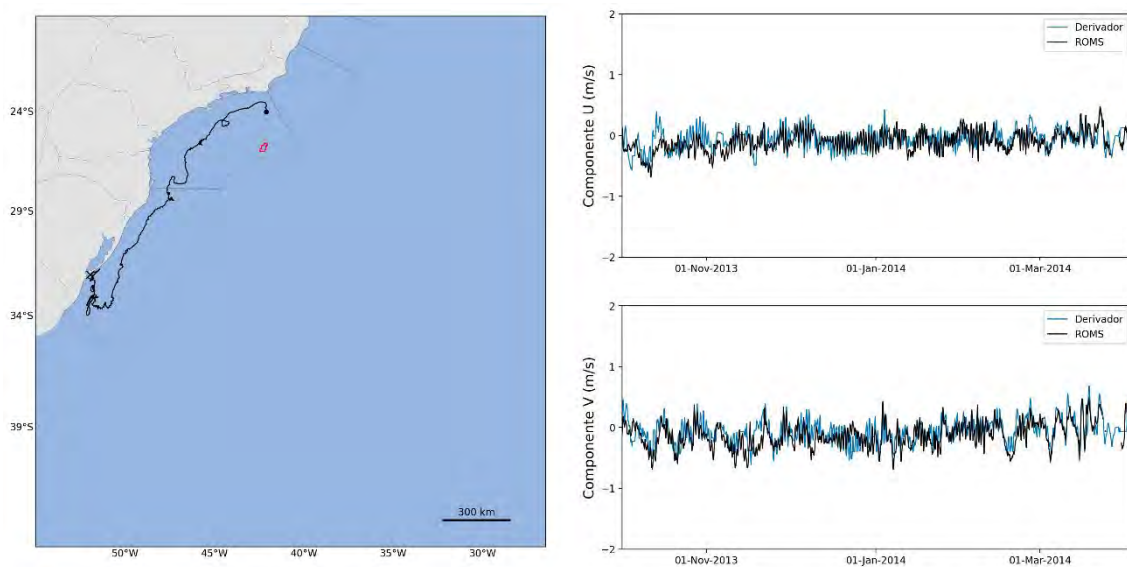


Figura 208: Trajetória descrita pelo derivador 15 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 15 e os resultados do ROMS (direita).

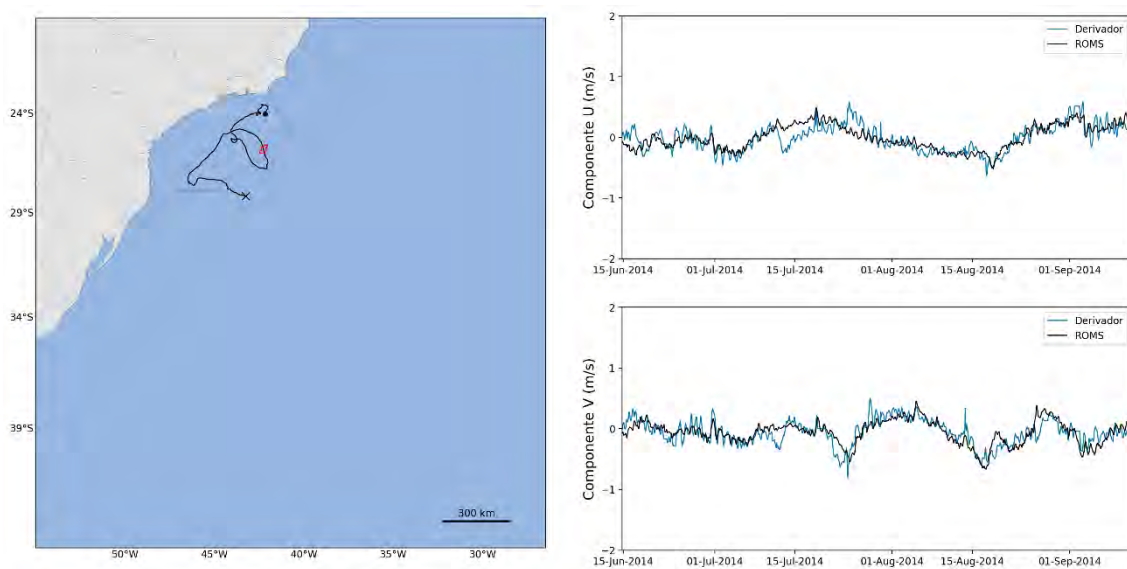


Figura 209: Trajetória descrita pelo derivador 16 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 16 e os resultados do ROMS (direita).

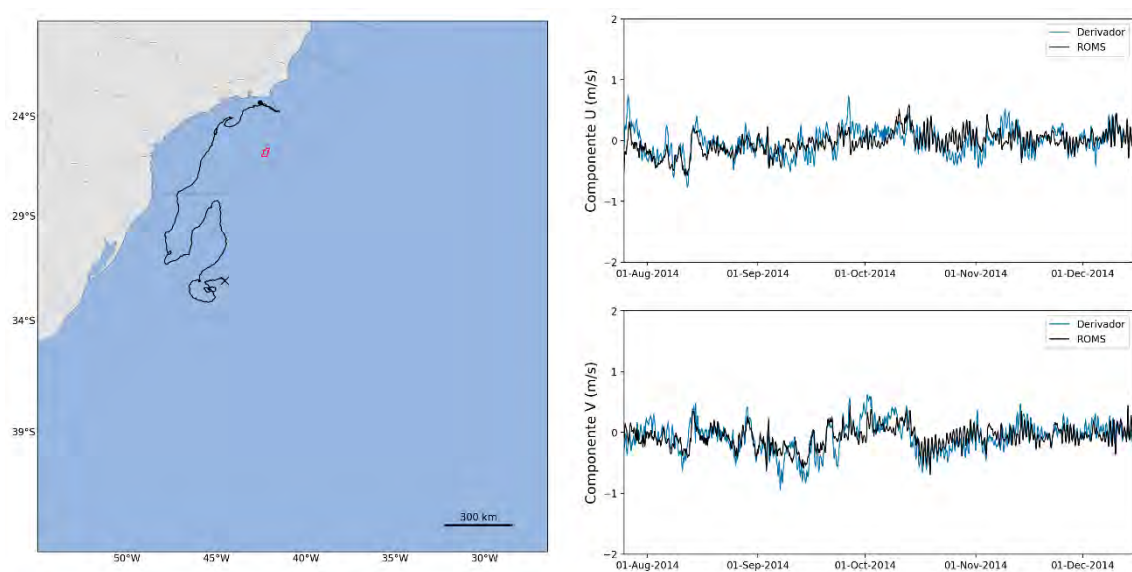


Figura 210: Trajetória descrita pelo derivador 17 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 17 e os resultados do ROMS (direita).

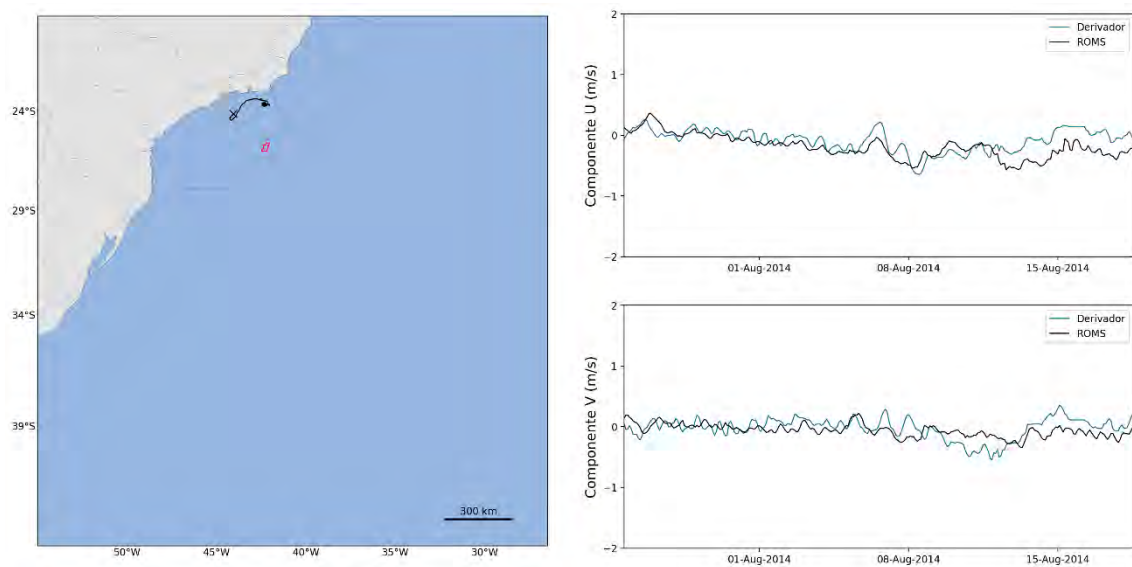


Figura 211: Trajetória descrita pelo derivador 18 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 18 e os resultados do ROMS (direita).

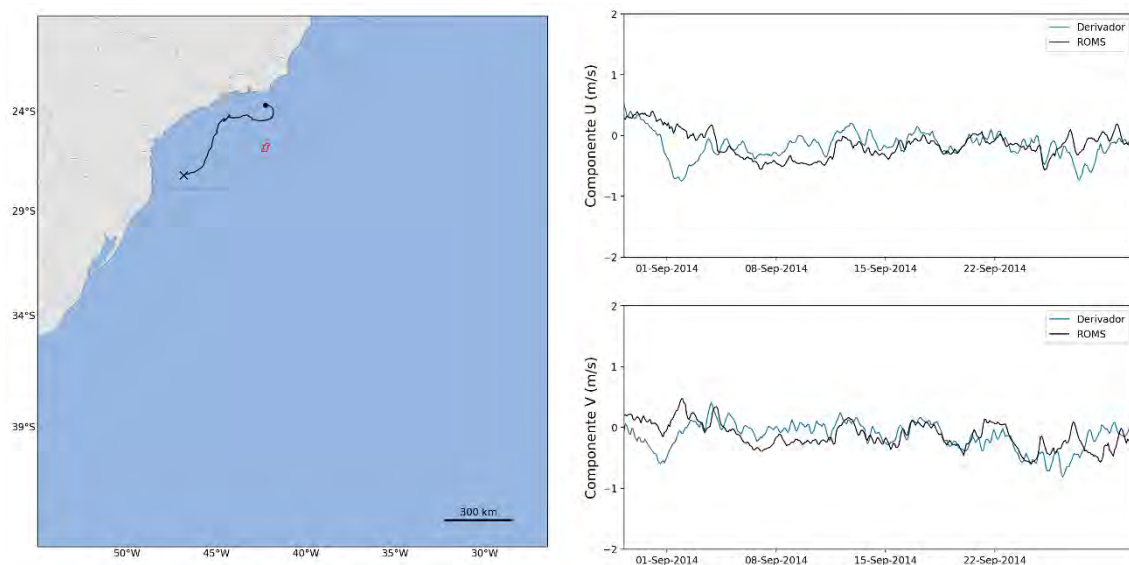


Figura 212: Trajetória descrita pelo derivador 19 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 19 e os resultados do ROMS (direita).

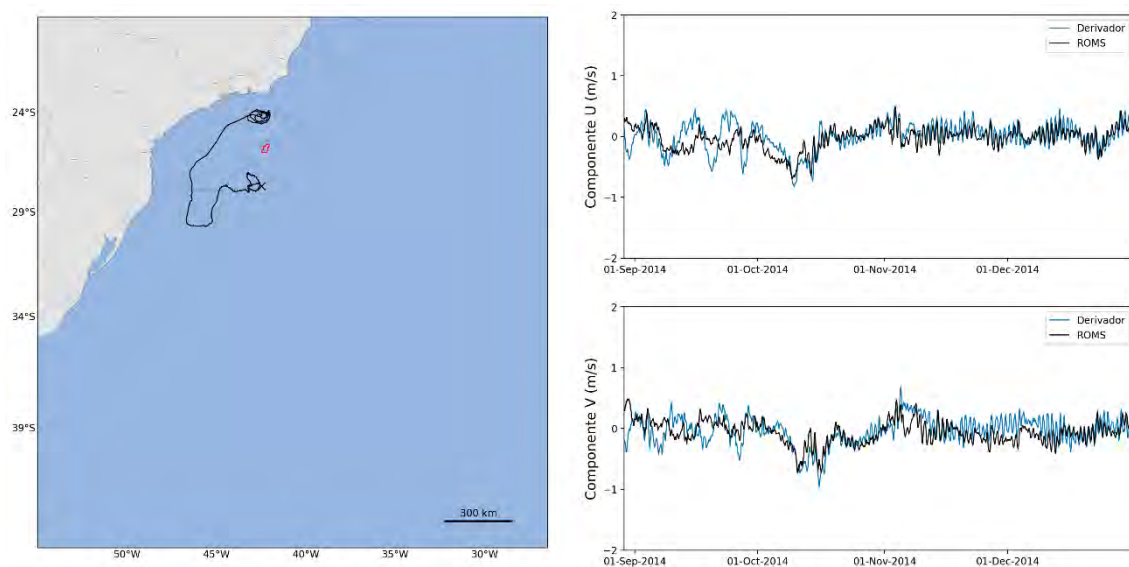


Figura 213: Trajetória descrita pelo derivador 20 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 20 e os resultados do ROMS (direita).

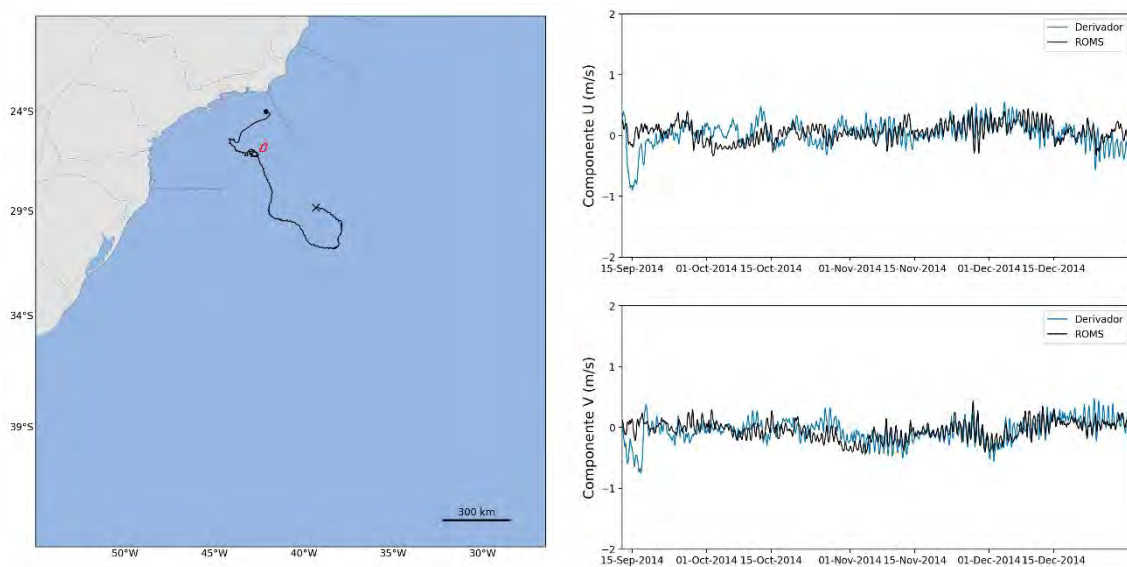


Figura 214: Trajetória descrita pelo derivador 21 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 21 e os resultados do ROMS (direita).

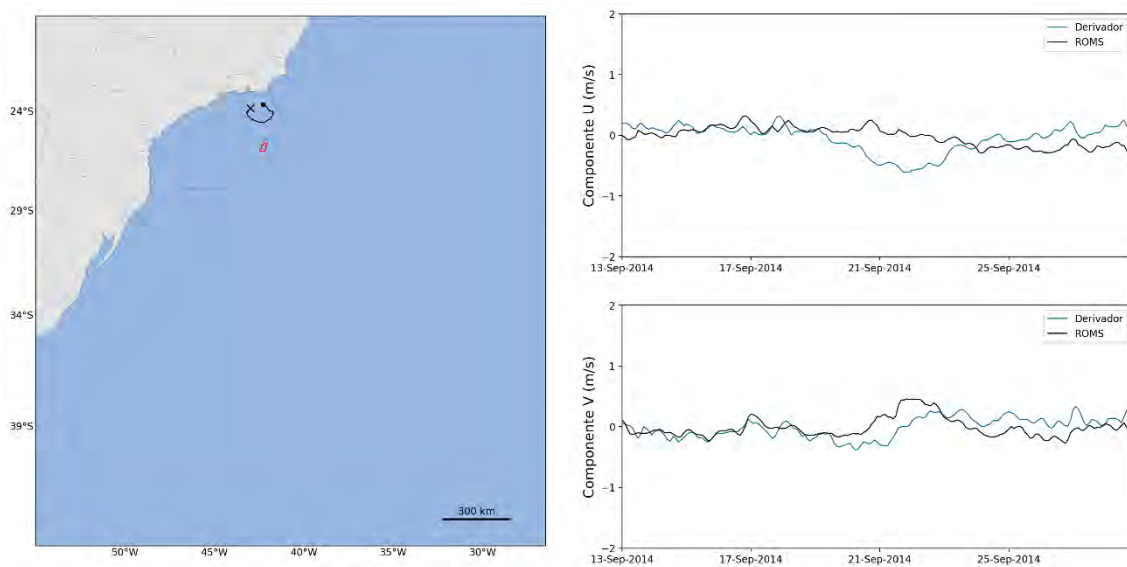


Figura 215: Trajetória descrita pelo derivador 22 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 22 e os resultados do ROMS (direita).

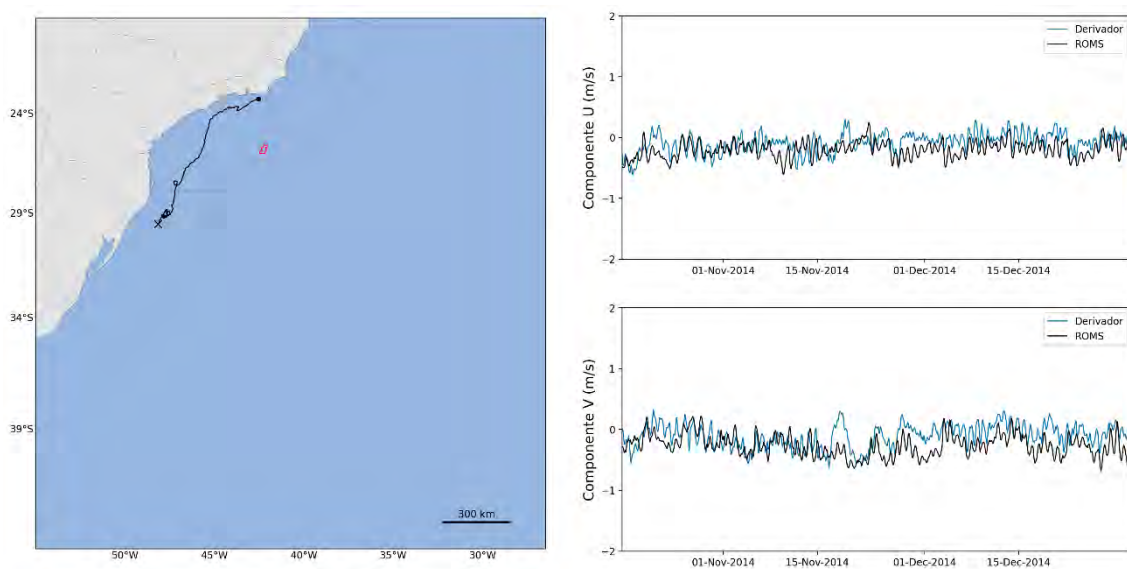


Figura 216: Trajetória descrita pelo derivador 23 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 23 e os resultados do ROMS (direita).

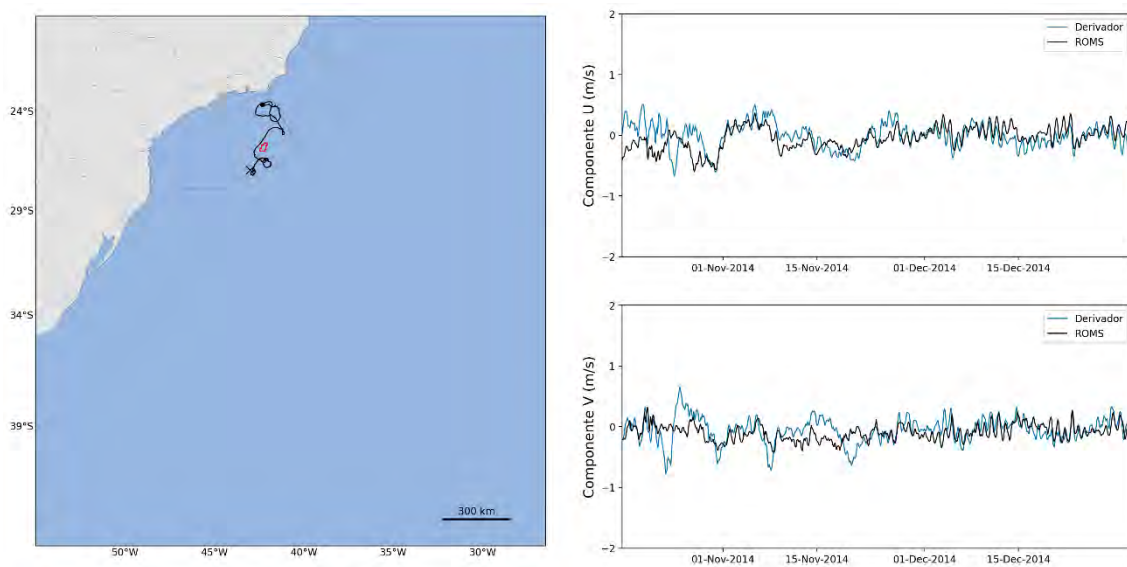


Figura 217: Trajetória descrita pelo derivador 24 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 24 e os resultados do ROMS (direita).

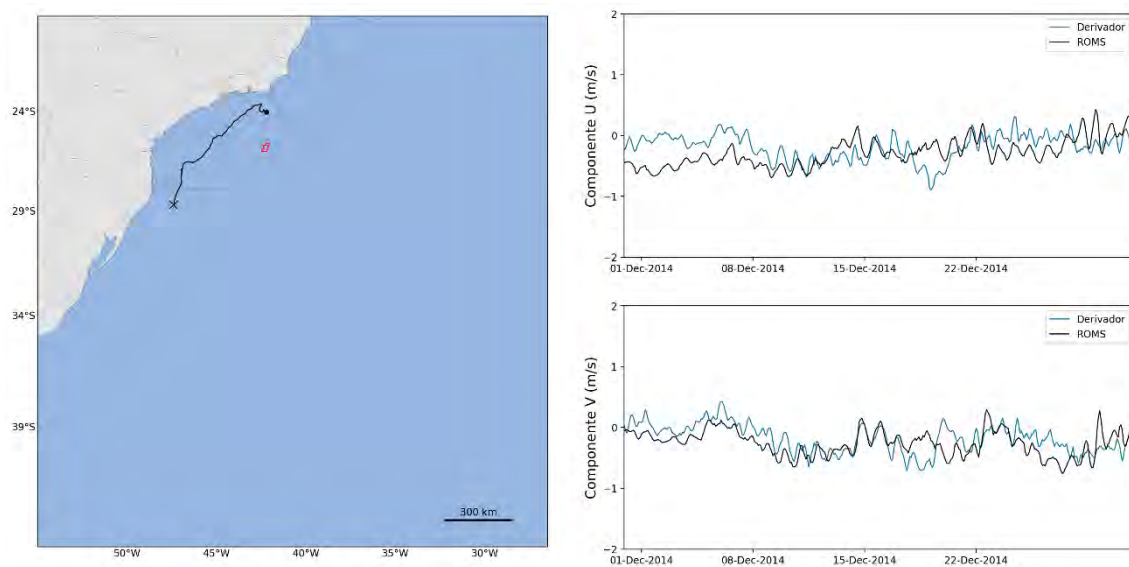


Figura 218: Trajetória descrita pelo derivador 25 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 25 e os resultados do ROMS (direita).

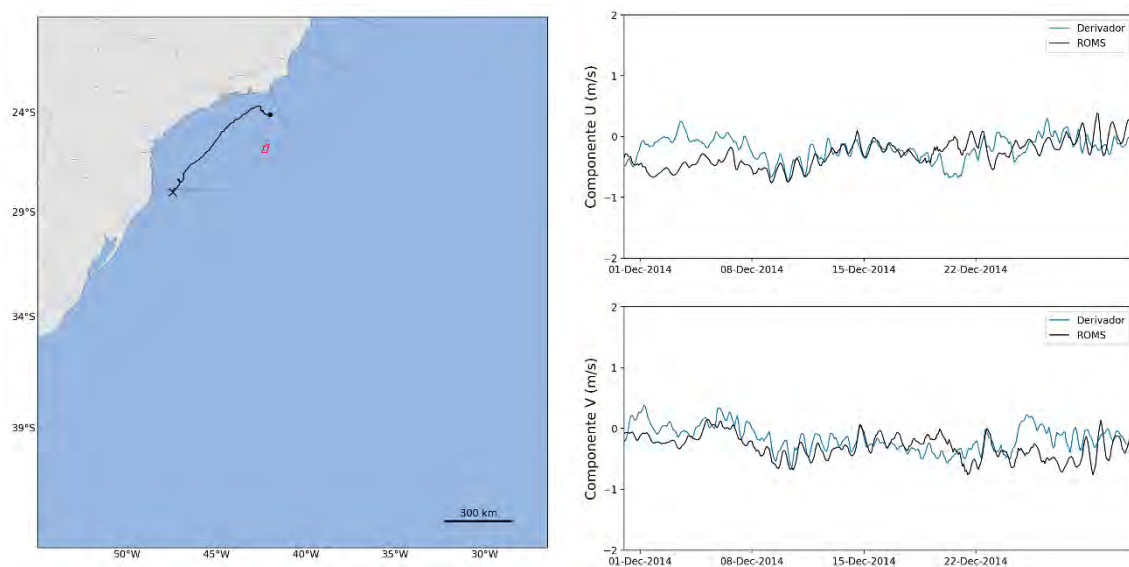


Figura 219: Trajetória descrita pelo derivador 26 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 26 e os resultados do ROMS (direita).

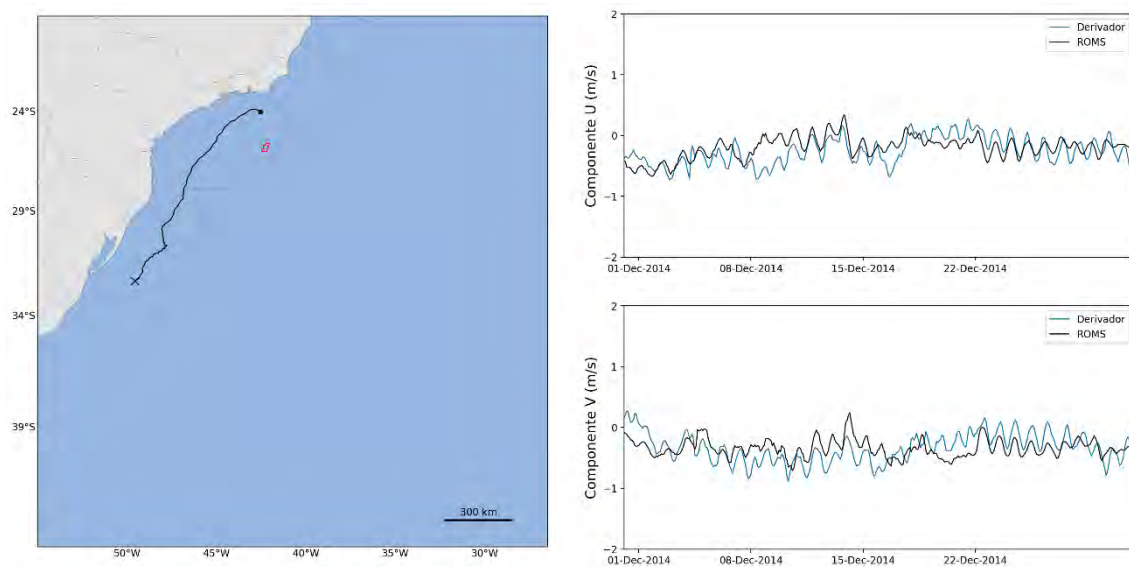


Figura 220: Trajetória descrita pelo derivador 27 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 27 e os resultados do ROMS (direita).

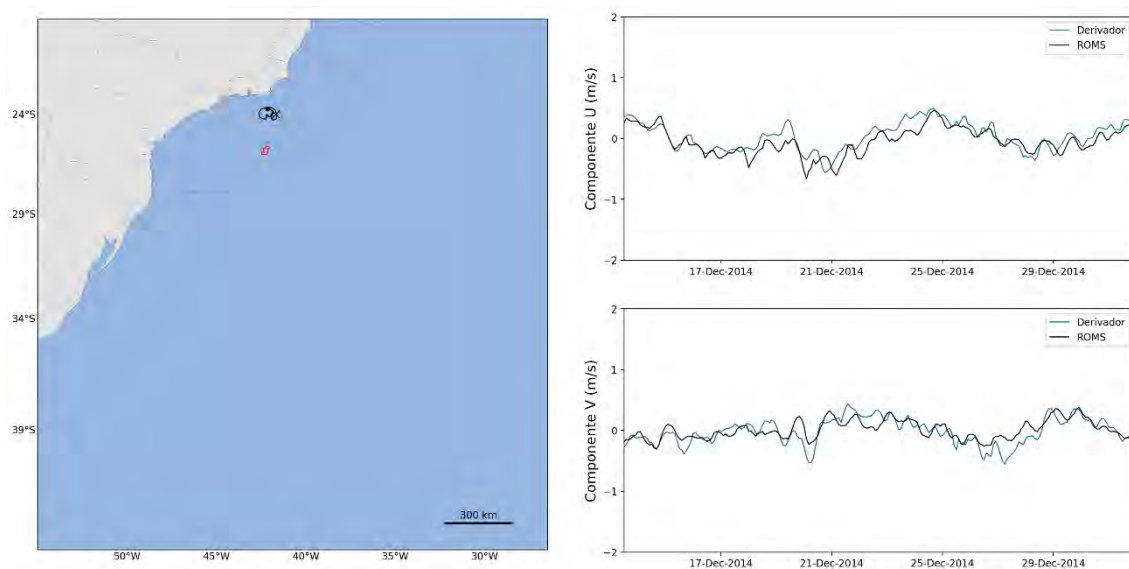


Figura 221: Trajetória descrita pelo derivador 28 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 28 e os resultados do ROMS (direita).

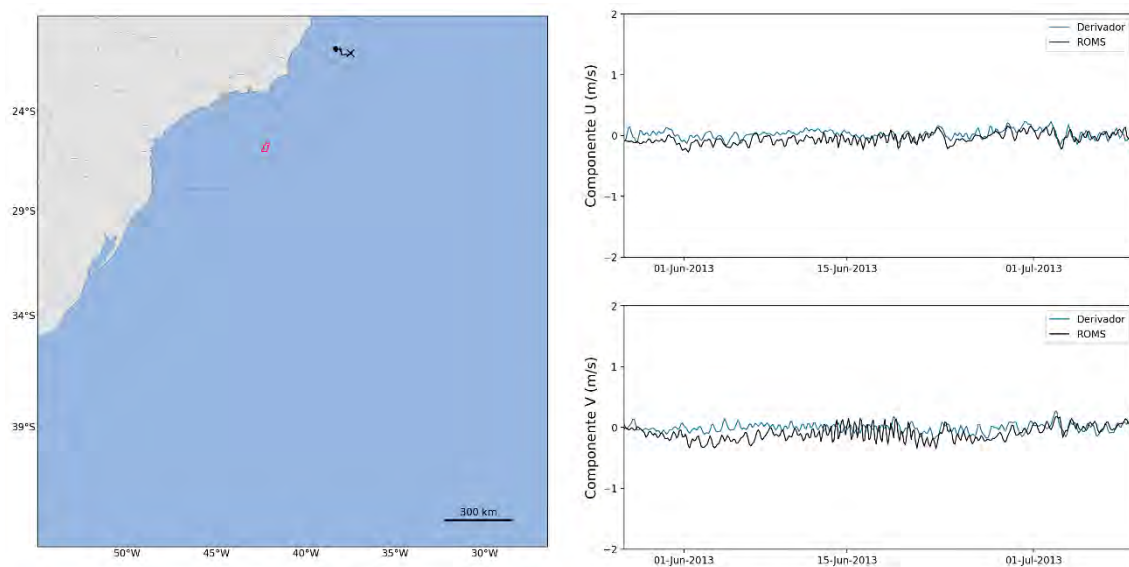


Figura 222: Trajetória descrita pelo derivador 29 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 29 e os resultados do ROMS (direita).

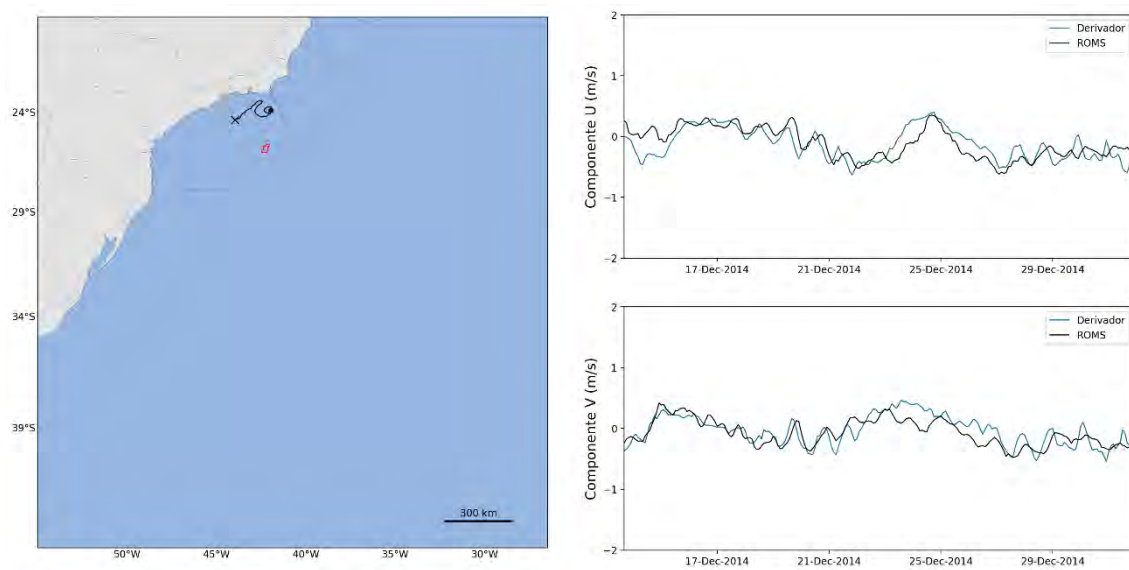


Figura 223: Trajetória descrita pelo derivador 30 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 30 e os resultados do ROMS (direita).

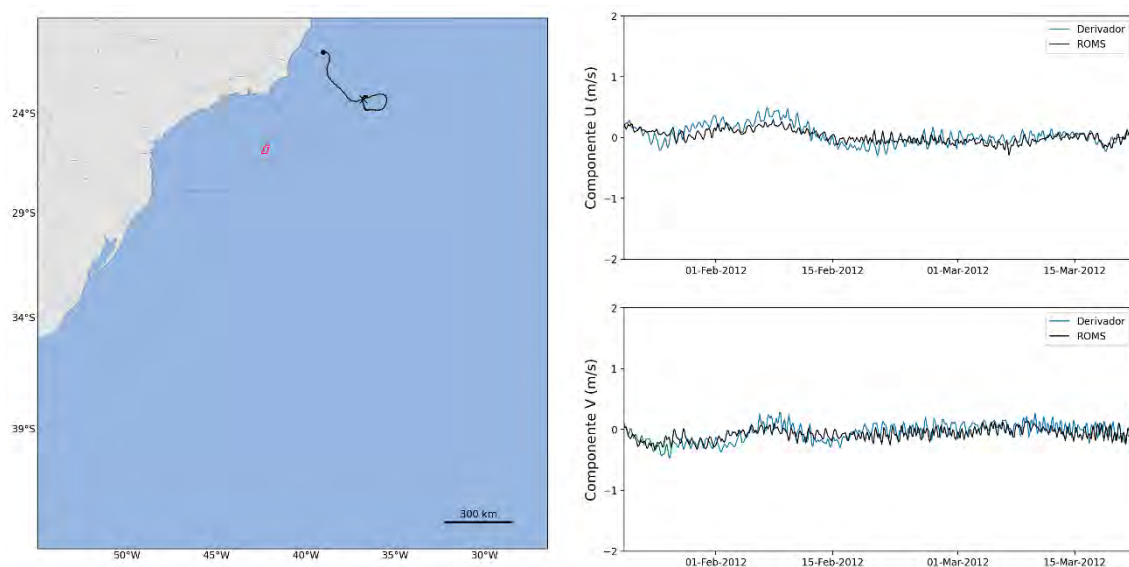


Figura 224: Trajetória descrita pelo derivador 31 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 31 e os resultados do ROMS (direita).

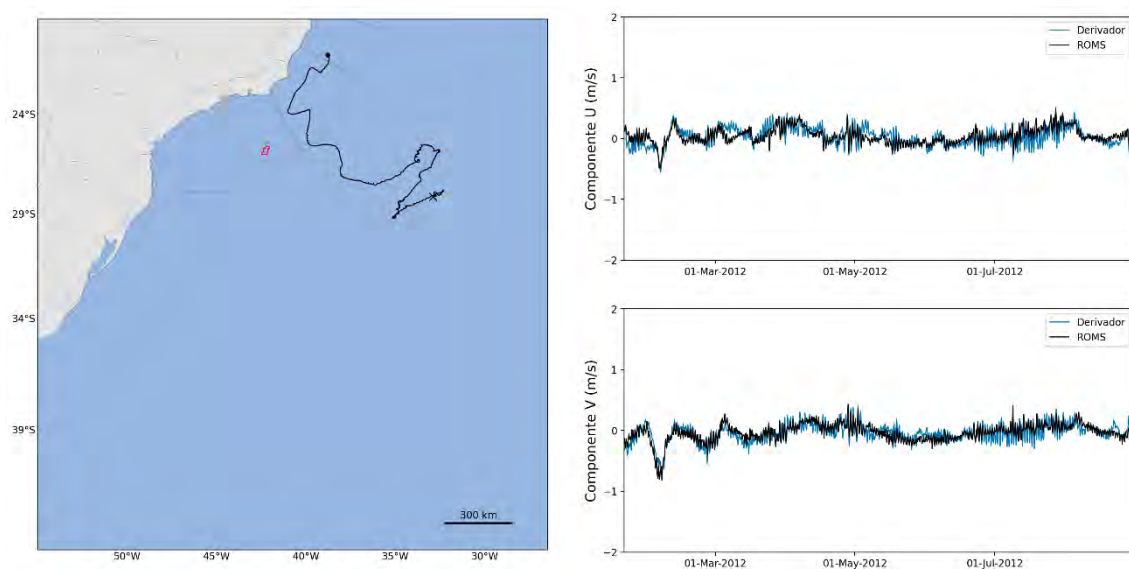


Figura 225: Trajetória descrita pelo derivador 32 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 32 e os resultados do ROMS (direita).



Ministério do Meio Ambiente
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL
CERTIFICADO DE REGULARIDADE - CR



Registro n.º	Data da consulta:	CR emitido em:	CR válido até:
8119469	07/07/2022	07/07/2022	07/10/2022

Dados básicos:

CPF: 136.280.747-89

Nome: GABRIEL MEDEIROS ZIELINSKY

Endereço:

logradouro: RUA PARA

N.º: 172

Complemento: 16

Bairro: ARARAS

Município: TERESOPOLIS

CEP: 25957-260

UF: RJ

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA

Código CBO	Ocupação	Área de Atividade
2134-05	Geólogo	Prestar assessoria e consultoria

Conforme dados disponíveis na presente data, CERTIFICA-SE que a pessoa física está em conformidade com as obrigações cadastrais do CTF/AIDA.

A inscrição no Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA constitui declaração, pela pessoa física, do cumprimento de exigências específicas de qualificação ou de limites de atuação que porventura sejam determinados pelo respectivo Conselho de Fiscalização Profissional.

O Certificado de Regularidade emitido pelo CTF/AIDA não desobriga a pessoa inscrita de obter licenças, autorizações, permissões, concessões, alvarás e demais documentos exigíveis por instituições federais, estaduais, distritais ou municipais para o exercício de suas atividades, especialmente os documentos de responsabilidade técnica, qualquer o tipo e conforme regulamentação do respectivo Conselho de Fiscalização Profissional, quando exigíveis.

O Certificado de Regularidade no CTF/AIDA não produz qualquer efeito quanto à qualificação e à habilitação técnica da pessoa física inscrita.

Chave de autenticação	JHQBQLUBYQ11RAE4
------------------------------	------------------



Ministério do Meio Ambiente
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL
CERTIFICADO DE REGULARIDADE - CR



Registro n.º	Data da consulta:	CR emitido em:	CR válido até:
5416625	29/07/2022	29/07/2022	29/10/2022

Dados básicos:

CPF: 124.540.657-46
Nome: GABRIEL VIEIRA DE CARVALHO

Endereço:

logradouro: RUA TENENTE MARONES DE GUSMAO
N.º: 23 Complemento: 205
Bairro: COPACABANA Município: RIO DE JANEIRO
CEP: 22041-060 UF: RJ

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA

Código CBO	Ocupação	Área de Atividade
2134-05	Geólogo	Prestar assessoria e consultoria

Conforme dados disponíveis na presente data, CERTIFICA-SE que a pessoa física está em conformidade com as obrigações cadastrais do CTF/AIDA.

A inscrição no Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA constitui declaração, pela pessoa física, do cumprimento de exigências específicas de qualificação ou de limites de atuação que porventura sejam determinados pelo respectivo Conselho de Fiscalização Profissional.

O Certificado de Regularidade emitido pelo CTF/AIDA não desobriga a pessoa inscrita de obter licenças, autorizações, permissões, concessões, alvarás e demais documentos exigíveis por instituições federais, estaduais, distritais ou municipais para o exercício de suas atividades, especialmente os documentos de responsabilidade técnica, qualquer o tipo e conforme regulamentação do respectivo Conselho de Fiscalização Profissional, quando exigíveis.

O Certificado de Regularidade no CTF/AIDA não produz qualquer efeito quanto à qualificação e à habilitação técnica da pessoa física inscrita.

Chave de autenticação	EJIVTLG3J1JB7BKA
------------------------------	------------------

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE - CR </div>  </div>			
Registro n.º	Data da consulta:	CR emitido em:	CR válido até:
3790998	29/07/2022	29/07/2022	29/10/2022
Dados básicos:			
CPF: 116.991.707-03 Nome: HENERY FERREIRA GARÇÃO Endereço: logradouro: RUA JORNALISTA ANTONIO RODRIGUES DA COSTA N.º: 17 Complemento: QUADRA 230 Bairro: ITAIPU Município: NITEROI CEP: 24342-400 UF: RJ			
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA			
Código CBO	Ocupação	Área de Atividade	
2134-05	Geólogo	Prestar assessoria e consultoria	
<p>Conforme dados disponíveis na presente data, CERTIFICA-SE que a pessoa física está em conformidade com as obrigações cadastrais do CTF/AIDA.</p> <p>A inscrição no Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA constitui declaração, pela pessoa física, do cumprimento de exigências específicas de qualificação ou de limites de atuação que porventura sejam determinados pelo respectivo Conselho de Fiscalização Profissional.</p> <p>O Certificado de Regularidade emitido pelo CTF/AIDA não desobriga a pessoa inscrita de obter licenças, autorizações, permissões, concessões, alvarás e demais documentos exigíveis por instituições federais, estaduais, distritais ou municipais para o exercício de suas atividades, especialmente os documentos de responsabilidade técnica, qualquer o tipo e conforme regulamentação do respectivo Conselho de Fiscalização Profissional, quando exigíveis.</p> <p>O Certificado de Regularidade no CTF/AIDA não produz qualquer efeito quanto à qualificação e à habilitação técnica da pessoa física inscrita.</p>			
Chave de autenticação		UCDGBEPJ6LK9KVU2	

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE - CR </div>  </div>			
Registro n.º	Data da consulta:	CR emitido em:	CR válido até:
5621594	29/07/2022	29/07/2022	29/10/2022
Dados básicos:			
CPF: 890.313.184-34			
Nome: MARCELO MONTENEGRO CABRAL			
Endereço:			
logradouro: RUA EUCLIDES DA CUNHA			
N.º: 255	Complemento: 507-2		
Bairro: SÃO CRISTÓVÃO	Município: RIO DE JANEIRO		
CEP: 20940-060	UF: RJ		
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA			
Código CBO	Ocupação	Área de Atividade	
2142-40	Engenheiro Civil (Hidráulica)	Prestar consultoria, assistência e assessoria	
<p>Conforme dados disponíveis na presente data, CERTIFICA-SE que a pessoa física está em conformidade com as obrigações cadastrais do CTF/AIDA.</p> <p>A inscrição no Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA constitui declaração, pela pessoa física, do cumprimento de exigências específicas de qualificação ou de limites de atuação que porventura sejam determinados pelo respectivo Conselho de Fiscalização Profissional.</p> <p>O Certificado de Regularidade emitido pelo CTF/AIDA não desobriga a pessoa inscrita de obter licenças, autorizações, permissões, concessões, alvarás e demais documentos exigíveis por instituições federais, estaduais, distritais ou municipais para o exercício de suas atividades, especialmente os documentos de responsabilidade técnica, qualquer o tipo e conforme regulamentação do respectivo Conselho de Fiscalização Profissional, quando exigíveis.</p> <p>O Certificado de Regularidade no CTF/AIDA não produz qualquer efeito quanto à qualificação e à habilitação técnica da pessoa física inscrita.</p>			
Chave de autenticação		ZEKUTXI4W4MCNKG7	

Modelagem de Dispersão de Óleo

Bloco Pau-Brasil, Bacia de Santos

RELATÓRIO TÉCNICO [REV.00]

26 DE JULHO DE 2022

Preparado para:

BP Energy do Brasil

Preparado por:

Flávia Pozzi Pimentel

Henery Ferreira Garção

Júlio Augusto de Castro Pellegrini

Marcelo Montenegro Cabral

Prooceano

Av. Rio Branco, 311/1205 - Centro
CEP 20.040-009 - Rio de Janeiro - RJ
Tel./Fax + 55 21 2532.5666
www.prooceano.com.br

© PROOCEANO 2022

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

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

Controle de revisão

Revisão nº 01

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

Revisão nº 02

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

Revisão nº 03

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

Revisão nº 04

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

Revisão nº 05

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

Equipe técnica

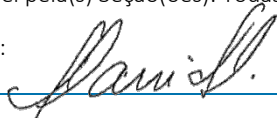
Flávia Pozzi Pimentel

Registro no Conselho de Classe: Não aplicável

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 2473071

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura:



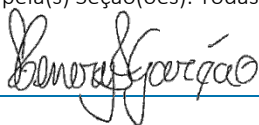
Henery Ferreira Garção

Registro no Conselho de Classe: Não aplicável

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

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura:



Júlio Augusto de Castro Pellegrini

Registro no Conselho de Classe: Não aplicável

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 210325

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura:



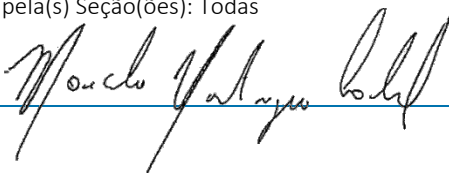
Marcelo Montenegro Cabral

Registro no Conselho de Classe: 2010110225 - CREA/RJ

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

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura:



Sumário

Sumário Executivo	5
1. Introdução.....	8
2. Sobre a Modelagem Computacional.....	10
3. Cenários de Modelagem de Dispersão de Óleo.....	11
4. Metodologia.....	12
4.1. Modelo de transporte.....	12
4.2. Óleo nas Unidades de Conservação.....	12
4.3. Descrição das Grades	12
4.4. Forçantes.....	15
4.5. Variabilidade Ambiental.....	23
4.6. Estratégias de Modelagem	24
5. Resultados.....	29
5.1. Resultados Probabilísticos	31
5.2. Resultados Determinísticos.....	5
6. Considerações Finais.....	41
7. Bibliografia	43
8. Anexos.....	45

Sumário Executivo

O presente relatório descreve os resultados obtidos na modelagem numérica de transporte de óleo no mar para os cenários acidentais de vazamento a partir de um ponto de risco localizado no Bloco Pau-Brasil, na Bacia de Santos.

O principal objetivo do estudo de modelagem foi dar subsídio para o processo de licenciamento do Bloco Pau-Brasil. Para isso foram avaliados o comportamento da deriva e o intemperismo do óleo cru, e suas variações ao longo do tempo e de forma tridimensional no ambiente marinho, avaliando os resultados de vazamentos de óleo a partir da superfície para os cenários de menor volume (8 e 200 m³) e cenários de pior caso (891.919 m³).

Para cumprir esse objetivo, o estudo foi dividido em duas etapas. A primeira consiste na análise das características meteorológicas e simulações hidrodinâmicas da região, mais especificamente dos parâmetros capazes de afetar o comportamento do óleo derramado. Na segunda etapa foram realizadas simulações de dispersão de óleo cru para dois períodos ao longo do ano, definidos a partir das condições meteoceanográficas características da região.

O ponto de vazamento se encontra em região profunda, próximo à região principal do fluxo das correntes de contorno, sendo dominada pela circulação associada ao sistema da Corrente do Brasil (CB). Por não se encontrar exatamente na região do fluxo principal destas correntes, nas camadas mais superficiais e subsuperficiais observa-se grande variação direcional das correntes e menores intensidades. O padrão característico das condições meteorológicas é dominado pelo Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), com predominância de ventos do primeiro quadrante, e pela passagem de sistemas frontais (frentes frias), quando há ocorrência de ventos do terceiro quadrante.

A divisão sazonal adotada neste estudo baseia-se nas variações destes sistemas meteoceanográficos ao longo do ano: o Período 1 compreende os meses de setembro a fevereiro e o Período 2 os meses de março a agosto. No Período 1 há predominância de ventos de nordeste (NE), enquanto no Período 2 há um equilíbrio com o aumento da frequência de ventos de segundo quadrante. Em relação às correntes na região do ponto de vazamento, há grande variação direcional sem uma predominância marcada.

As simulações de dispersão de óleo para o pior caso seguiram a solicitação de considerar o vazamento contínuo por 30 dias, sem intervenção/contingência, e outros 30 dias adicionais após o término do vazamento, sem ações de resposta. Portanto, as simulações não consideram atividades de mitigação para controle do vazamento através do fechamento do poço ou outras ações para interromper, combater ou restringir o vazamento.

Todos os resultados aqui apresentados não consideraram o processo intempérico da biodegradação¹.

Nos vazamentos de 8 m³ e 200 m³, as áreas de probabilidade de presença de óleo em superfície se mantiveram em região com profundidades acima de 1000 m, sem ocorrência de toque na costa. Nos cenários de pior caso, a chegada de óleo na costa foi observada apenas no Período 1, com probabilidade máxima de 4% no município de Imbituba-SC e tempo mínimo de 30,8 dias, nos municípios vizinhos de Palhoça e Paulo Lopes, também no estado de Santa Catarina.

Ressalta-se que nos dois períodos a área de presença de óleo em superfície com probabilidades acima de 30% encontra-se a uma distância de mais de 80 km da costa (Figura 1). De forma geral, o Período 1 alcançou maiores distâncias do ponto de vazamento quando comparado ao Período 2.

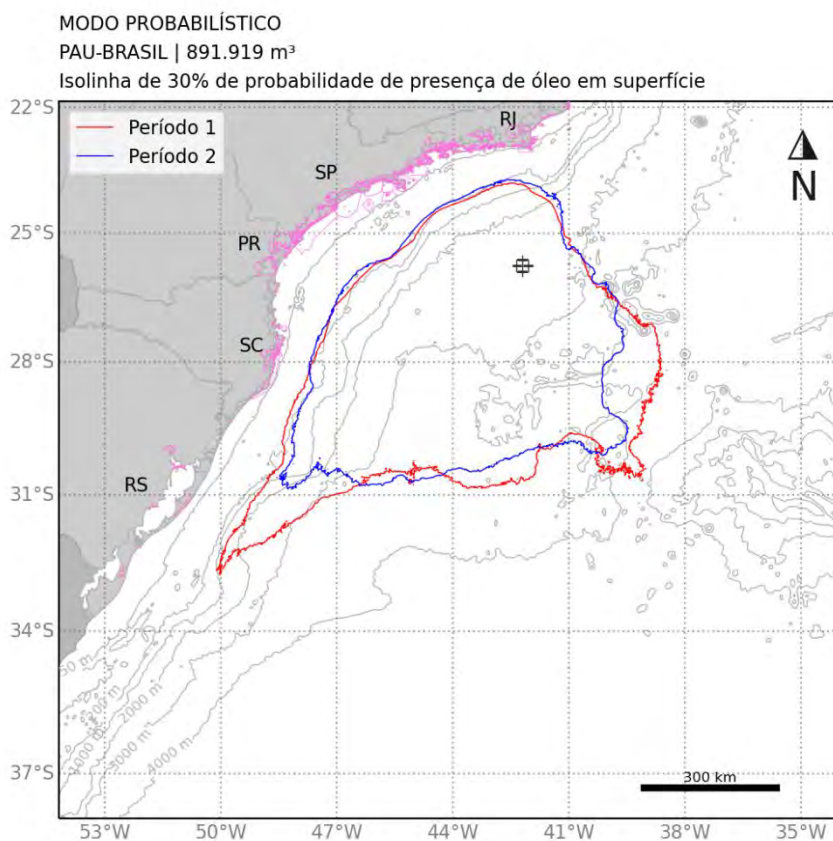


Figura 1: Isolinha de 30% de probabilidade dos resultados de pior caso (891.919 m³) para o Período 1 (em azul) e Período 2 (em vermelho).

¹ O processo de biodegradação foi desconsiderado do estudo com base em termos de referências recentes, emitidos pelo IBAMA, onde é posto que

“Processos de biodegradação só poderão ser usados no modelo caso existam estudos pretéritos que considerem óleos similares aos que são produzidos e os organismos presentes na Bacia em questão”.

Em relação às unidades de conservação (UCs), há probabilidade de chegada de óleo nos cenários de pior caso em 17 unidades no Período 1 e 4 UCs no Período 2. A maior probabilidade e o menor tempo de chegada de óleo ocorreu na APA da Baleia Franca, com valores de 6,2% e 28,9 dias no cenário do Período 1.

Em todos os cenários os principais processos de intemperismo foram a evaporação e a dispersão na coluna d'água. Para os cenários de superfície de 8 m³ e 200 m³, a evaporação variou ~26% a 52%, com medianas entre 42-45%, enquanto o óleo disperso na coluna variou de ~2% a ~74%, com medianas entre 43-48%. O óleo em superfície para esses cenários teve mediana variando de 9,3 a 12% do total vazado, com valor máximo de 50% ao fim de 30 dias. Nesses cenários não tivemos toque de óleo na costa e os valores de óleo no fundo marinho foram ínfimos (< 0,05%).

Nos cenários de fundo de pior caso, a evaporação variou de 29 a 36%, com medianas de 33 e 34%. A dispersão de óleo na coluna d'água variou 19 e 70% do total vazado, com medianas de 48 e 51%. Ao final da simulação, o valor máximo na superfície foi de 47%, com mediana em torno de 17%. O valor máximo observado na costa no período 1 é inferior a 0,05% do valor total vazado.

Na coluna d'água, nos cenários de pior caso, concentrações acima de 1.000 ppb podem ser observados desde o fundo até a superfície nos primeiros 30 dias nos quais o vazamento é contínuo. O maior espalhamento horizontal ocorre na camada próxima à superfície, na qual a área com probabilidade de presença de óleo é similar à observada em superfície.

No fundo marinho, somente são observadas probabilidades inferiores a 5% sobre a plataforma continental no vazamento de pior caso e em regiões profundas à noroeste do ponto de vazamento.

1. Introdução

O presente relatório descreve os resultados obtidos na modelagem numérica de transporte de óleo no mar para os cenários acidentais de vazamento a partir de um ponto de risco localizado no Bloco Pau-Brasil – Bacia de Santos. A localização do ponto de vazamento é apresentada na Figura 2 e na Tabela 1.

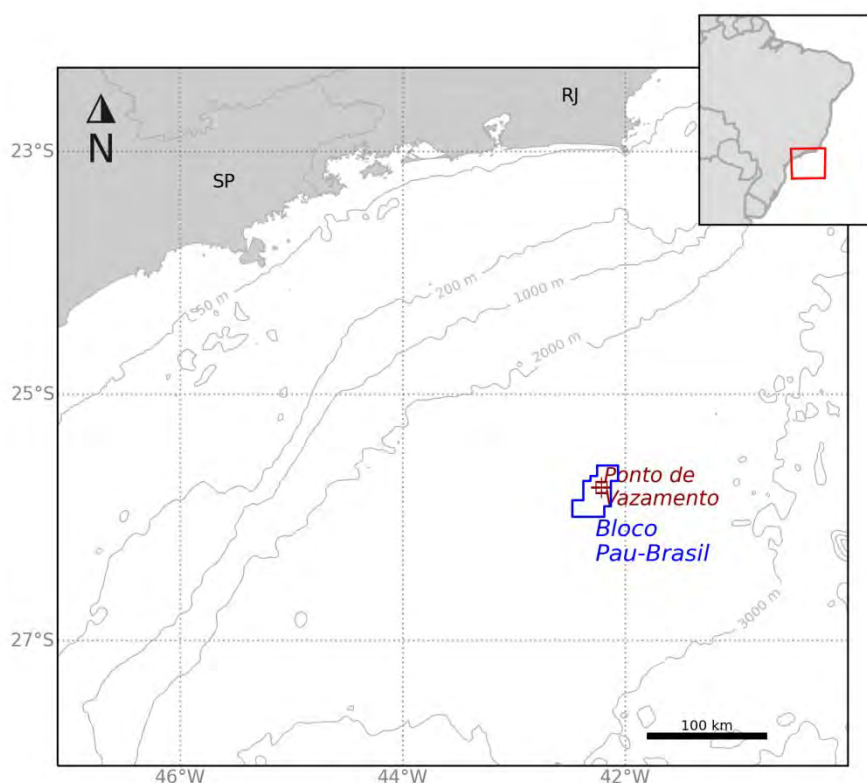


Figura 2: Localização do ponto de vazamento considerado na modelagem.

Tabela 1: Coordenadas do ponto de vazamento considerado na modelagem como ponto de risco.

Datum	Latitude	Longitude
SIRGAS2000	25°45'45,48"S	042°12'46,72"W

Como forçantes oceanográficas foram utilizados os campos de correntes, temperatura e salinidade do mar da base hidrodinâmica desenvolvida com o modelo **ROMS** (*Regional Ocean Modeling System*) (HAIDVOGEL *et al.*, 2008). Maiores detalhes sobre os dados hidrodinâmicos podem ser obtidos no relatório de modelagem hidrodinâmica elaborado para este mesmo processo de licenciamento.

Em seguida foi realizada a simulação da dispersão do óleo para as condições meteoceanográficas características da região, estimando o comportamento do óleo vazado em cada uma delas. Este estudo foi elaborado considerando os requisitos apresentados no item II.6 - MODELAGEM

NUMÉRICA do Termo de Referência do Processo nº 02001.037650/2018-63 - IBAMA. Os sistemas de modelagem, metodologias e análises empregados neste documento estão alinhados com os requisitos da norma internacional ASTM² F2067-13 para desenvolvimento e uso de modelos de trajetórias de derramamentos de óleo (ASTM, 2013).

² *American Society for Testing and Materials*

2. Sobre a Modelagem Computacional

Modelos numéricos são ferramentas que tem como objetivo a representação da dinâmica e dos processos envolvidos no objeto de estudo através de equações matemáticas e parametrizações. Modelos geram resultados que são aproximações do estado real e possuem limitações e erros inerentes ao método (e.g., erro de truncamento, erro de aproximação e parametrização de processos físicos não resolvíveis). Todas essas fontes contribuem para divergências entre o estado real e o simulado do oceano. Apesar de todas as incertezas, os resultados gerados podem descrever de forma satisfatória a hidrodinâmica e processos de dispersão de constituintes quando é avaliado por diferentes fontes de dados coletados no domínio.

Em estudos de modelagem hidrodinâmica e de dispersão de óleo é necessário que o estudo atenda premissas específicas:

- que apresente domínio suficiente para que o óleo não saia de seus limites (ou que caso saia, que seja com valores de probabilidades muito baixos);
- ter resolução espacial e resolução temporal capazes de resolver feições e fenômenos de diferentes escalas;
- ter representação tridimensional do óleo no ambiente marinho, resolver o transporte e dispersão das parcelas do óleo em superfície, em gotículas e dissolvidas na água, e resolver todos os processos de intemperismo do óleo;
- que o número de simulações da modelagem de dispersão de óleo represente a variabilidade ambiental da região de estudo.

Assim se faz necessário delimitações nas modelagens para que seja avaliado o esforço computacional na representação de fenômenos em diferentes escalas nos resultados de cada estudo para que possa atender a todos esses requisitos. A interpretação dos resultados deve ser feita à luz dessas delimitações adotadas e incertezas do modelo.

3. Cenários de Modelagem de Dispersão de Óleo

Foram considerados três possíveis casos de vazamentos acidentais. O montante de óleo relacionado a cada caso é:

- Pequeno porte - 8 m³;
- Médio Porte - 200 m³;
- Pior caso (maior volume) – 891.919 m³ (equivalente a 5.610.000 barris)

Esses volumes simulados estão em concordância com a resolução CONAMA nº 398/2008, que dispõe sobre o conteúdo mínimo do Plano de Emergência Individual, para incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional.

O volume de pior caso corresponde à 30 dias de vazamento de 29.730,63 m³/dia (187.000 barris/dia), valor informado pela contratante como vazão máxima diária em caso de um vazamento de pior caso (*blow-out*). De acordo com a contratante, o cálculo da vazão máxima diária consistiu em uma estimativa preliminar, baseada no estado da arte do seu conhecimento a respeito dos sistemas petrolíferos considerados para a área do bloco e dos parâmetros avaliados para os intervalos de interesse.

No estudo de dispersão de óleo, dois tipos de simulações foram conduzidos: probabilísticas e determinísticas. Em todos os cenários simulados, a biodegradação do óleo foi desligada. Na Tabela 2 é apresentado o resumo dos cenários simulados.

Tabela 2: Resumo dos cenários de vazamento simulados.

Modelo	Tipo de óleo	Volume Total (m ³)	Vazamento	Tempo (dias)	Profundidade do vazamento (m)
Probabilístico					
Pequeno Porte	Cru	8	instantâneo	30 dias	superfície
Médio Porte	Cru	200	instantâneo	30 dias	superfície
Pior caso	Cru	891.919	contínuo (30 dias)	60 dias	fundo (2.250 m)
Determinístico					
Tempo mínimo de toque de óleo na costa	Cru	891.919	contínuo (30 dias)	60 dias	fundo (2.250 m)
Maior massa de óleo acumulada na costa	Cru	891.919	contínuo (30 dias)	60 dias	fundo (2.250 m)

4. Metodologia

4.1. Modelo de transporte

As simulações numéricas apresentadas nesse estudo foram feitas com o OSCAR (*Oil Spill Contingency and Response*), modelo desenvolvido pela SINTEF para o cálculo da dispersão de manchas de óleo. A descrição do modelo de dispersão de óleo é apresentada no Anexo I.

4.2. Óleo nas Unidades de Conservação

Foram elencadas todas as Unidades de Conservação (UCs) - federais, estaduais e municipais - disponibilizadas no Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (MMA, 2019), nos instrumentos legais de criação e em ICMBIO (2018) e WWF (2016), da região em que se verifica probabilidade de óleo na costa ou na região costeiro-oceânica.

Para identificação da probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo em cada UC, foram considerados os resultados do modelo de dispersão de óleo:

- em superfície,
- na coluna d'água; e
- na costa.

Foram selecionados os valores de probabilidade e tempo mais críticos para cada unidade de conservação. As UCs levantadas para a região e consideradas no presente estudo são apresentadas no Anexo II.

4.3. Descrição das Grades

Neste estudo utilizou-se uma grade regular com resolução espacial de 2 km nas direções zonal e meridional. Os limites da grade são: ao sul, 34°18' S, ao norte, 19°59' S, a oeste, 054°50' W e a leste, 037°57' W (Figura 3). Com isso, obteve-se uma matriz com 1000 por 1000 pontos de grade.

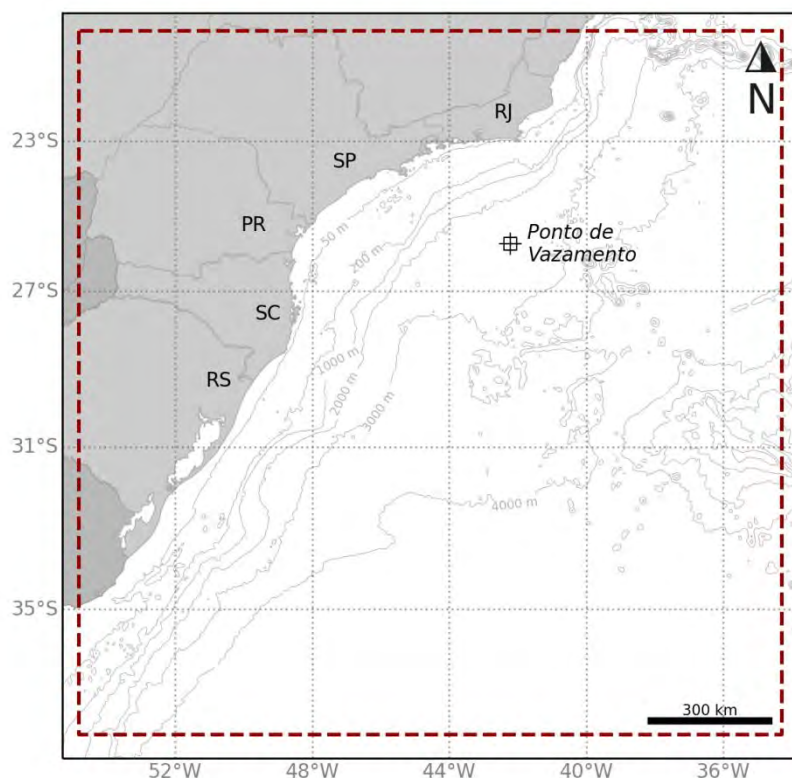


Figura 3: Representação do limite da grade de óleo (linha verde).

Para os volumes de 8 m^3 e 200 m^3 de vazamento a partir da superfície, o número de camadas utilizadas na vertical foi 21, indo de 0 a 202 m de profundidade (primeira camada de 0 a 2 m e as demais camadas espaçadas em 10 m), totalizando 21.000.000 elementos de grade. Para o volume de pior caso, vazamento de fundo, o número de camadas utilizadas na vertical foi 46, indo de 0 a 2.252 m de profundidade (primeira camada de 0 a 2 m e as demais camadas espaçadas em 50 m), totalizando 46.000.000 elementos de grade.

A resolução espacial e o número de camadas na vertical utilizadas são definidos levando em consideração a área total do domínio a ser considerada e as limitações do modelo com relação ao número máximo de elementos de grade permitido em cada dimensão, buscando sempre a maior resolução possível que seja capaz de representar os resultados de interesse.

A grade do modelo de óleo com a batimetria é apresentada na Figura 4. Para manter a concordância com a modelagem hidrodinâmica, os dados de batimetria utilizados são provenientes de cartas náuticas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) e da base global ETOPO1 (AMANTE; EAKINS, 2009).

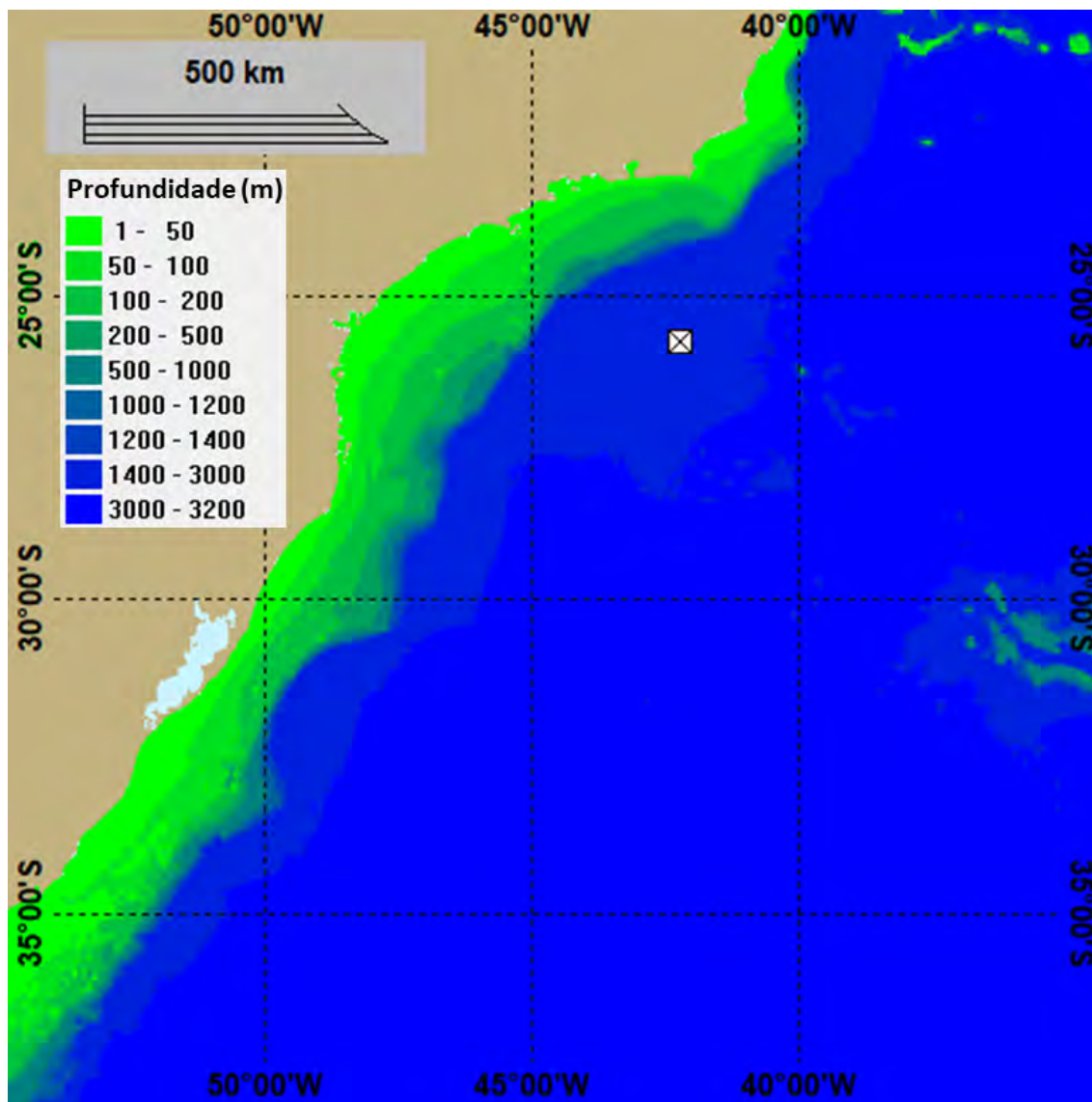


Figura 4: Grade de batimetria utilizada na simulação.

Como discutido no Anexo I – Óleo na Costa, as interações óleo-linha de costa no modelo OSCAR são dependentes tanto do tipo de óleo considerado na modelagem quanto do tipo de linha de costa. O tipo da linha de costa considerado definirá a máxima capacidade de retenção do óleo nos pontos da grade do modelo que representam a costa.

Para este estudo foram utilizadas as informações de linha de costa de Cartas de Sensibilidade ao Óleo (Cartas SAO)³ e, para a região de estudo que não é contemplada nestas Cartas, informações do

³ Cartas acessadas em abril de 2021 pelo sítio <https://antigo.mma.gov.br/seguranca-quimica/cartas-de-sensibilidade-ao-oleo.html>.

projeto MAREM⁴ – Mapeamento Ambiental para Resposta a Emergência no Mar. As Cartas SAO constituem uma ferramenta e fonte de informações para o planejamento de contingência e para a implementação de ações de resposta a incidentes de poluição por óleo. O MAREM faz parte de um Acordo de Cooperação Técnica entre o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) e o Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (IBP), cujo objetivo é criar um banco de dados georreferenciados de todo o litoral brasileiro, para servir de suporte para o planejamento e gestão de uma operação de resposta a acidentes envolvendo derramamento de óleo no mar.

Para adequar a segmentação da costa com a resolução do modelo de óleo, adotou-se o critério de que se certo tipo de costa tivesse extensão inferior à resolução da grade (< 2 km), seria considerado para aquele segmento o tipo de costa predominante no entorno.

Para o domínio do estudo foram definidos cinco tipos de costa predominantes:

- Costão rochoso
- Praia arenosa
- Estrutura artificial abrigada
- Planície de maré
- Manguezal / Marisma / Barra de rio vegetada

O detalhamento da linha de costa utilizado na grade da modelagem de óleo é apresentado no Anexo III.

4.4. Forçantes

4.4.1 Ventos

Os dados de vento utilizados como forçante no modelo são provenientes do ERA5, a última geração da Reanálise do ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) e a primeira produzida como serviço operacional, com resolução temporal horária e espacial de 0,25° em 137 níveis atmosféricos, desde a superfície até 0,01 hPa (HENNERMANN, 2017).

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

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

⁴ Informações acessadas em março de 2021 pelo site <http://www.marem-br.com.br/>.

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

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

Para este estudo foram utilizados e tratados 3 anos de dados do ERA5 (2012 a 2014) com uma frequência temporal de 1 hora. A seguir, são apresentadas as rosas dos ventos mensais (Figura 6), elaboradas para o período analisado, além das tabelas de ocorrência de direção e intensidade (Tabela 3 e Tabela 4) para o ponto mais próximo ao local de vazamento.

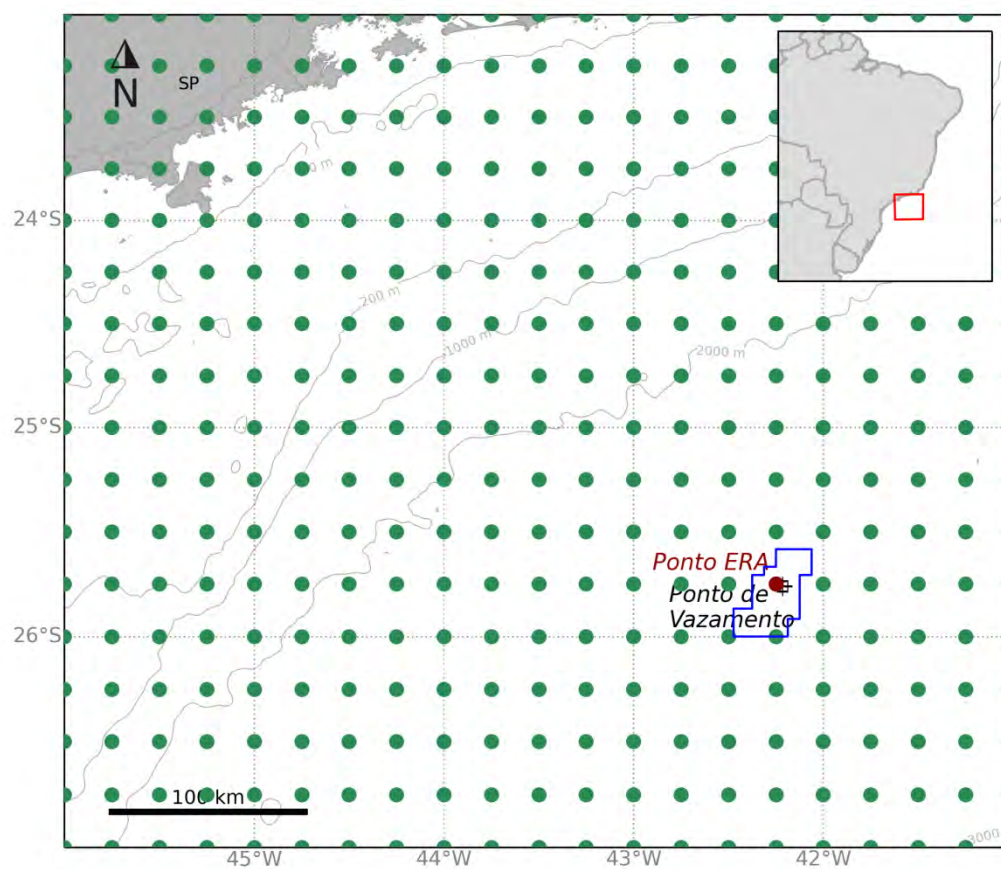


Figura 5: Localização dos pontos de grade do ERA5 (em cinza) em relação ao ponto de vazamento. O ponto em vermelho é o mais próximo do ponto de vazamento.

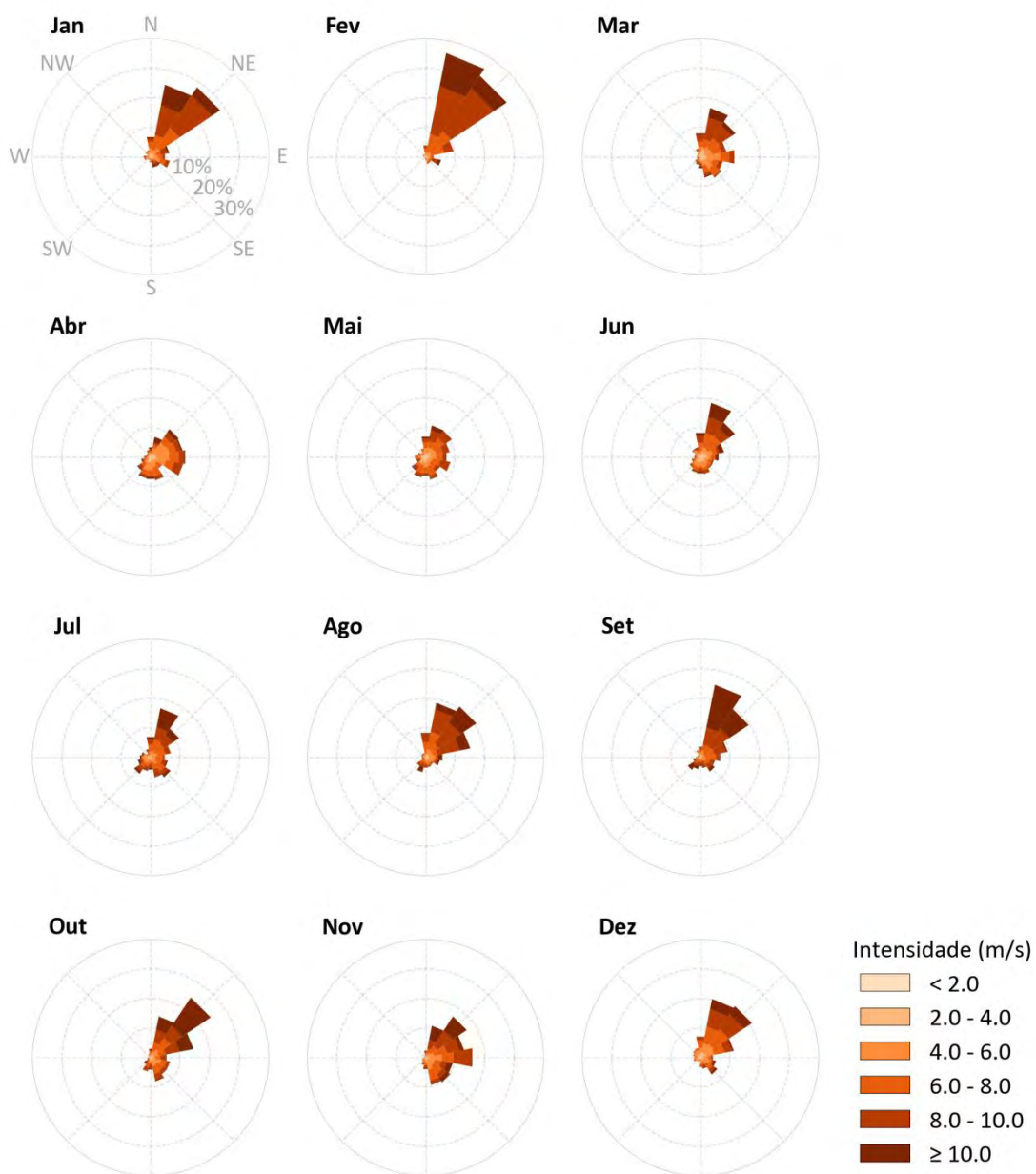


Figura 6: Rosa dos ventos para os 12 meses do ano para o ponto mais próximo ao ponto de vazamento.

Tabela 3: Ocorrência mensal (%) de direção dos ventos para o ponto analisado.

Direção	Meses											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
N	6,81	3,92	8,06	3,33	6,99	8,33	6,99	8,42	3,66	3	2,36	7,21
NNE	24,87	35,78	16,85	6,94	10,89	18,7	16,94	18,82	25,05	14,2	10,97	20,21
NE	28,32	33,04	14,29	11,39	10,75	14,07	11,65	20,7	19,68	24,46	16,76	20,97
ENE	6,5	9,71	8,96	11,06	8,38	8,19	6,99	15,46	9,44	14,83	13,29	11,56
E	4,93	2,7	11,69	11,94	7,17	6,25	4,84	5,82	6,81	5,47	16,11	4,3
ESE	6,68	5,39	7,75	11,3	8,65	4,68	5,96	4,97	5,05	6,72	9,44	5,38
SE	3,9	2,25	8,56	4,68	5,96	4,77	8,15	3,14	5,83	6,81	10,05	6,9
SSE	3,72	2,45	7,21	8,06	7,8	5,88	6,94	3,49	3,75	8,2	9,49	3,9
S	1,97	1,08	3,94	7,55	6,36	5,6	4,21	3,58	3,06	4,12	3,98	3,23
SSW	1,03	0,25	2,73	7,31	7,03	5,42	4,75	5,15	4,07	4,84	2,59	1,3
SW	1,21	0,2	2,24	5,46	5,69	4,4	6,72	3,54	5,14	2,69	1,48	1,61
WSW	2,15	0,25	1,12	3,29	3,14	3,01	4,44	1,21	2,5	1,16	1,06	2,42
W	2,28	0,2	1,3	2,13	3,63	1,94	3,67	1,16	1,44	0,81	0,46	2,06
WNW	1,16	0,88	1,08	1,57	2,69	1,94	3,18	1,39	1,06	0,36	0,51	2,55
NW	2,15	0,98	1,3	1,57	1,84	3,38	1,66	1,61	0,93	0,85	0,69	3,05
NNW	2,33	0,93	2,91	2,41	3,05	3,43	2,91	1,52	2,55	1,48	0,74	3,36

Tabela 4: Ocorrência mensal (%) de intensidade dos ventos para o ponto analisado.

Meses	Intensidade (m/s)					
	< 2,0	2,0 - 4,0	4,0 - 6,0	6,0 - 8,0	8,0 - 10,0	≥ 10,0
Jan	3,58	9,81	15,14	24,87	32,57	14,02
Fev	1,96	5,05	9,46	24,36	40,93	18,24
Mar	3,94	17,7	21,95	24,82	24,24	7,35
Abr	3,94	16,2	33,1	24,68	14,81	7,27
Mai	5,51	16,62	21,55	29,48	21,42	5,42
Jun	4,91	18,38	21,53	24,21	17,41	13,56
Jul	1,34	9,32	20,79	29,53	22,89	16,13
Ago	2,15	8,38	16,13	22,67	32,3	18,37
Set	1,57	6,9	13,1	20,88	27,04	30,51
Out	2,06	8,92	16,44	23,97	24,42	24,19
Nov	1,53	7,78	20,46	26,25	26,53	17,45
Dez	4,44	14,02	24,69	27,73	19,35	9,77

4.4.2 Correntes

Como forçante hidrodinâmica foram utilizados os resultados do modelo hidrodinâmico descritos no relatório de modelagem hidrodinâmica elaborado para este mesmo processo de licenciamento. Assim, são apresentadas as rosas de correntes mensais (Figura 7) para o ponto mais próximo do local de vazamento, além das tabelas de ocorrência de direção e intensidade (Tabela 5 e Tabela 6).

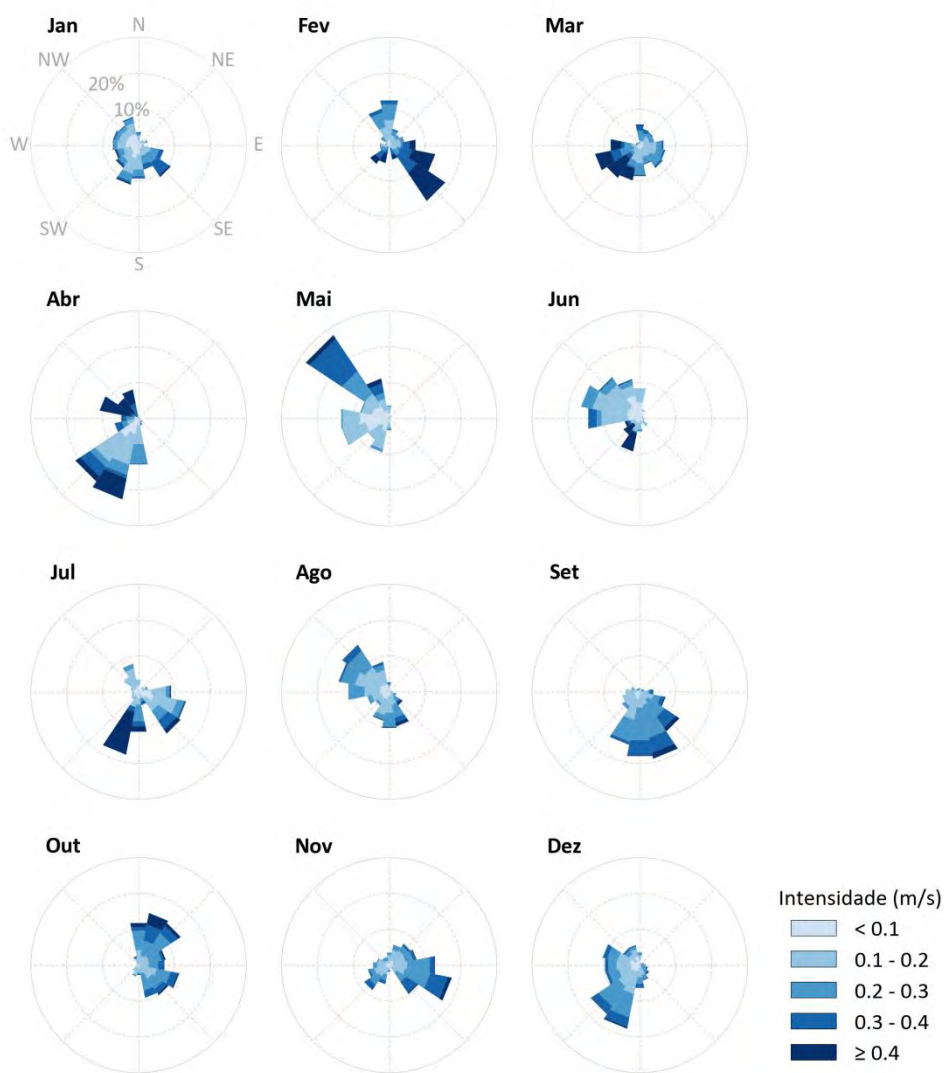


Figura 7: Rosa de correntes mensais para o ponto mais próximo ao ponto de vazamento.

Tabela 5: Ocorrência mensal (%) de direção das correntes para o ponto mais próximo ao ponto de vazamento.

Direção	Meses											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
N	3,64	12,65	5,83	0,37	3,61	8,46	3,37	2,72	1,13	11,97	3,56	3,64
NNE	1,13	4,62	4,56	-	0,85	2,64	0,45	-	0,23	14,84	5,84	0,47
NE	1,63	3,52	4,37	0,12	0,32	1,43	1,8	-	1,01	14,14	7,22	0,7
ENE	2,63	4,29	4,17	-	0,21	0,99	2,7	0,4	1,24	7,72	7,81	1,17
E	1,38	7,48	6,7	0,12	0,11	1,43	9,22	0,8	3,83	7,32	12,96	1,64
ESE	7,15	13,09	7,28	0,62	-	1,32	13,5	2,01	7,33	11,57	17,8	2,35
SE	10,79	18,81	7,77	1,37	-	2,75	14,06	4,53	13,3	10,09	9,69	3,17
SSE	7,03	4,18	5,63	2,12	-	1,65	3,82	9,86	19,05	9,3	0,4	4,34
S	9,54	0,22	8,83	13,08	3,4	3,74	11,36	10,26	18,26	2,77	1,88	6,46
SSW	11,29	5,17	10,1	23,04	9,67	9,45	17,89	8,25	15,11	3,26	5,44	18,08
SW	7,65	6,38	11,07	21,17	7,12	5,49	2,47	4,63	5,98	1,88	8,41	16,43
WSW	6,78	2,64	12,72	6,85	13,5	4,29	2,02	6,24	4,96	0,99	6,03	9,74
W	7,28	2,64	8,25	4,86	13,6	14,62	1,91	11,57	3,95	0,49	4,55	9,86
WNW	7,28	1,1	1,07	11,08	8,29	16,7	2,36	14,39	2,48	0,4	3,56	10,56
NW	6,78	2,86	0,87	6,97	27,95	13,85	5,06	15,79	1,13	0,69	2,47	5,63
NNW	8,03	10,34	0,78	8,22	11,37	11,21	7,99	8,55	1,01	2,57	2,37	5,75

Tabela 6: Ocorrência mensal (%) de intensidade das correntes para o ponto mais próximo ao ponto de vazamento.

Meses	Intensidade (m/s)				
	< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	≥ 0,4
Jan	32,37	34,25	20,95	10,29	2,13
Fev	8,36	27,61	20,57	19,69	23,76
Mar	11,75	30,68	28,83	10,68	18,06
Abr	18,06	26,4	16,56	13,08	25,9
Mai	35,07	36,03	12,75	13,5	2,66
Jun	34,18	42,64	9,67	4,07	9,45
Jul	26,32	36,9	13,72	7,54	15,52
Ago	20,72	41,35	29,58	6,34	2,01
Set	10,37	33,71	36,75	15,45	3,72
Out	6,63	32,44	37,49	16,32	7,12
Nov	13,06	37,49	32,15	15,23	2,08
Dez	18,54	35,8	32,75	11,5	1,41

4.4.3 Separação Sazonal

A partir da observação das informações de ventos e correntes são identificadas duas condições sazonais a serem utilizadas no estudo. A primeira, denominada **Período 1**, compreende os meses de **setembro a fevereiro** e a segunda, denominada **Período 2**, compreende os meses de **março a agosto**.

A partir da observação das rosas dos ventos do ponto do ERA5 próximo ao ponto de vazamento, que trazem informações sobre as frequências de ocorrência conjunta de direção e intensidade dos ventos na região, foi observado em ambos os períodos uma maior frequência de ventos do primeiro quadrante, com predominância de ventos de NNE e NE. No Período 2, porém, ocorre um aumento da frequência de ventos de outras direções, em especial do segundo e terceiro quadrantes (SE e S). Além disso, as maiores intensidades (> 8 m/s) foram observadas no Período 1.

Em relação às correntes, o ponto de vazamento localiza-se em região profunda com grande variação direcional das correntes e com predominância de intensidades baixas ($< 0,3$ m/s).

4.4.4 Salinidade e Temperatura

Para definir os perfis de salinidade e temperatura a serem incorporados na modelagem de dispersão de óleo foram utilizados os dados dos resultados da Modelagem Hidrodinâmica.

O perfil apresentado (Figura 8) representa a média dos dados para o ponto de grade mais próximo do ponto de vazamento e dentro dos períodos sazonais escolhidos (item 4.4.3).

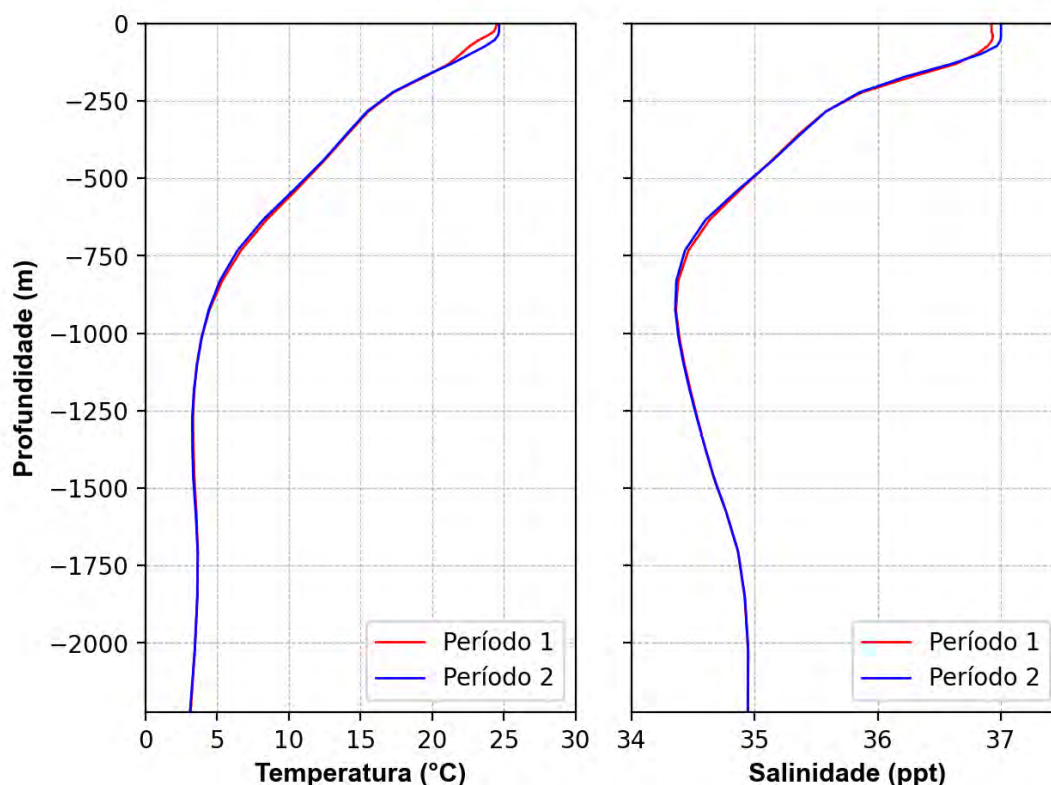


Figura 8: Perfis de salinidade e temperatura para o ponto de grade mais próximo ao ponto de vazamento.

4.5. Variabilidade Ambiental

Na implementação de um modelo probabilístico de vazamento de óleo é necessária a definição de um universo amostral que represente a variabilidade ambiental da região. No modelo OSCAR, o universo amostral é criado por n repetições com condições de vento e corrente correlacionadas (*i.e.* condição de vento e de corrente são para o mesmo dia), o que cria a necessidade de se definir o número de simulações que serão conduzidas na realização da modelagem. Este número deve ser suficiente para representar de forma adequada a variabilidade ambiental presente na região, obtendo um mapa de probabilidade estatisticamente coerente.

A metodologia proposta por Elliot (2004) sugere o número adequado de simulações baseado na análise do número de zeros-ascendentes (*zero-up-crossing*) do vento, que consiste na identificação do número de vezes em que as componentes zonal (u) e meridional (v) do vento trocam de sinal. De forma prática, a alteração de sentido nas componentes está ligada a mudanças no padrão sinótico do vento, como por exemplo, no período de passagem de um sistema frontal pela região.

Dessa forma, com objetivo de avaliar a variabilidade das escalas temporais transientes presentes nos dados de ventos analisados e utilizados nesse relatório, foi realizada uma análise de zeros ascendentes (*zero-up-crossing*) do ponto do ERA5 mais próximo ao ponto de vazamento (Figura 5). Os resultados podem ser observados na Figura 9.

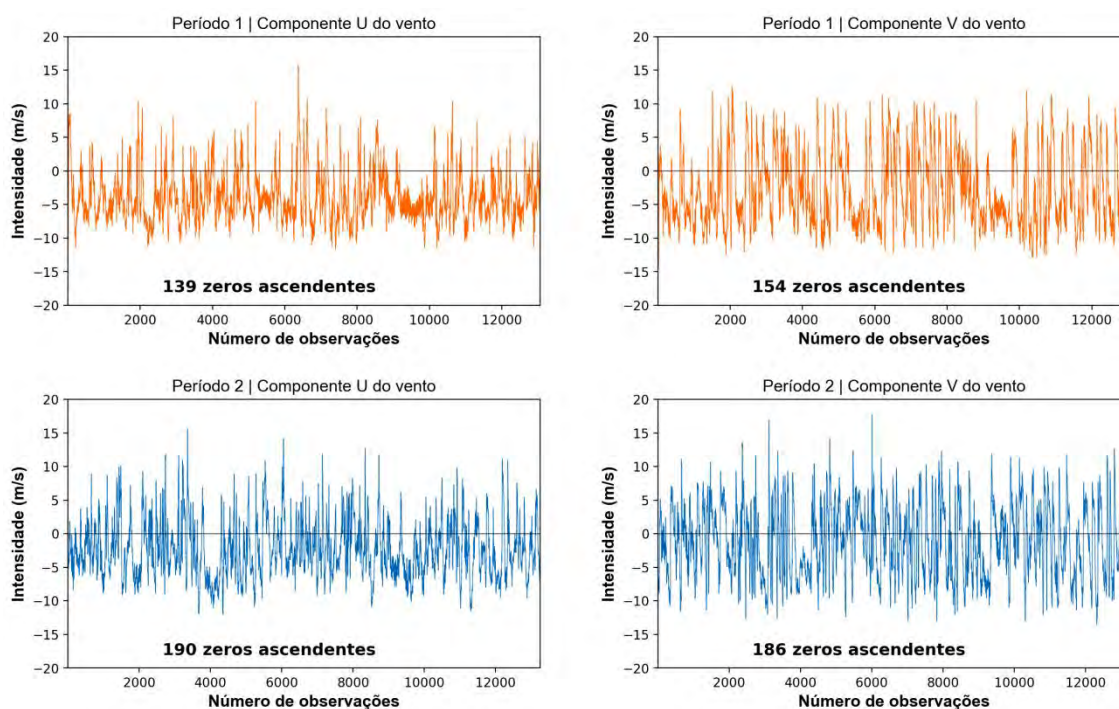


Figura 9: Séries temporais das componentes “u” e “v” do vento para o ponto de vazamento e o número de zeros ascendentes presentes nas séries.

Observa-se que o número de zeros ascendentes para a componente zonal (u) do vento foi de 139 para o Período 1 e 190 para o Período 2. Já a componente meridional (v) apresentou 154 zeros ascendentes no Período 1 e 186 no Período 2.

Assim, tendo como base a metodologia proposta por Elliot (2004), para uma correta representação dessa variabilidade na modelagem probabilística de óleo, os números mínimos de simulações aconselháveis seriam de 154 e 190 para os períodos 1 e 2, respectivamente. No estudo, no entanto, foram utilizadas 500 simulações para cada condição sazonal de acordo com termo de referência específico para estudos de modelagem recente emitido pelo IBAMA. A distribuição dessas simulações é feita com espaçamento de tempo regular de maneira que toda a duração da simulação esteja contida nos meses de cada período sazonal, sendo o período de dados e toda a variabilidade ambiental da região no período contemplada na trajetória do óleo ao longo das simulações.

4.6. Estratégias de Modelagem

4.6.1 Cenários de vazamento

Para os volumes de 8 m³ e 200 m³ foram realizadas simulações de vazamentos instantâneos de óleo cru em superfície, enquanto para as simulações de eventos de pior caso, foram considerados **vazamentos contínuos de fundo** (2.250 m de profundidade) de 30 dias em dois períodos sazonais (4.4.3 - Separação Sazonal). Após o término do vazamento foram ainda simulados mais 30 dias para observação do comportamento da deriva do óleo em todos os cenários, totalizando 30 dias (720h) de simulação nos cenários de 8 m³ e 200 m³ e 60 dias (1440 horas) de simulação nos cenários de pior caso.

Em todas as simulações foi realizada uma modelagem tridimensional. Este tipo de modelagem permite o mapeamento das frações do óleo que ficam dissolvidas e dispersas na coluna d'água, além da parcela do óleo que fica na superfície.

4.6.2 Limiares ambientais

Em todas as simulações considerou-se como critério de existência de óleo na superfície espessuras maiores ou iguais ao limiar de 3×10^{-7} metros. Esse valor de espessura está em conformidade com o limite visual indicado na Informação Técnica nº 023/02 (ELPN/IBAMA), que *“corresponde ao filme de óleo denominado por arco-íris”* e com os recentes Termos de Referência.

Para mapeamento das concentrações de óleo disperso/dissolvido na coluna d'água foi utilizada a concentração de 20 ppb como limite para apresentação dos resultados. A especificação de um valor limiar deve ser baseada em critérios que levem em conta a toxicidade dos compostos presentes no óleo.

Para fins práticos é comum a adoção de um valor restritivo que possa ser utilizado de maneira mais geral. Um bom exemplo disso é o critério de presença de óleo baseado na espessura de óleo na superfície. O valor de 20 ppb foi adotado considerando que este valor é aproximadamente 0,1 % da concentração de óleo e graxas permitida para descarte de água produzida de acordo com a resolução CONAMA 393/2007. Esta resolução estabelece que “o descarte de água produzida deverá

obedecer a concentração média aritmética simples mensal de óleos e graxas de até 29 mg/L, com valor máximo diário de 42 mg/L”.

Dessa forma, se baseando em 0,1% de 29 mg/L temos aproximadamente 29 ppb. O valor de 0,1% foi arbitrado levando em consideração que este valor tem a mesma ordem de grandeza das diluições necessárias para que não sejam observados efeitos tóxicos adversos em descartes de água de produção, conforme observado em Gabardo (2007).

Apesar da concentração de óleo de 20 ppb ser um valor arbitrado em função do estudo de Gabardo (2007), ao compararmos os limiares ambientais a pares internacionais, é observado que o valor selecionado está na mesma ordem de grandeza. Por exemplo, no documento de Oskar Commission (2014) é recomendado o valor de PNEC (do inglês, *Predicted No Effect Concentration* ou Concentração Sem Efeito Previsível) de 70,5 ppb, que cita como referência o estudo de Smit *et al.* (2009). Esse valor equivale ao descritor HC5 (concentração de risco com efeito adverso para 5% das espécies) que protege 95% das espécies em uma curva de Distribuição de Sensibilidade das Espécies, baseada em 30 valores de CENO (Concentração de Efeito Não Observado) crônicos para 17 espécies marinhas.

Ainda citando exemplo, no documento de Rye *et al.* (2004) onde se discute a criação de um Fator de Impacto Ambiental (em inglês, *Environment Impact Factor* – EIF) em concordância entre operadores de óleo e gás na Noruega, o valor de PNEC adotado para o cálculo do EIF é de 40,4 ppb. Dessa forma, observa-se aderência do valor adotado para o presente estudo com publicações internacionais.

Vale ressaltar que o valor de 20 ppb utilizado como limiar para apresentação dos resultados não está diretamente relacionado com o risco de efeitos tóxicos adversos. Apenas foi utilizado um valor que, em ordem de grandeza, permitisse o mapeamento da pluma de óleo disperso/dissolvido na coluna d’água.

Para avaliação da presença de óleo no fundo marinho, foi utilizado o seguinte procedimento: a partir do cruzamento dos mapas de probabilidade de presença de óleo na coluna d’água em diversas profundidades com o mapa de batimetria utilizado no estudo, foram obtidos mapas de probabilidade de presença de óleo no fundo oceânico. É importante observar que existe uma diferença entre este procedimento e a especificação de um limiar de concentração de óleo no fundo marinho. Enquanto a concentração de óleo no fundo marinho leva em consideração um efeito cumulativo de adsorção de óleo nos sedimentos, o critério utilizado no mapa de probabilidade leva em consideração apenas o fato do óleo tocar no fundo oceânico com concentrações superiores a 20 ppb.

4.6.3 Características do óleo

Segundo a contratante, a expectativa para o fluido possivelmente presente na estrutura Pau-Brasil, baseada nas características da rocha geradora e da sua área de maturação, e considerando também os fluidos de Lula, Júpiter e outros campos análogos, é de que seja um óleo cru com gravidade de 26°.

A partir desta informação foi escolhido um óleo do banco de dados do modelo com característica similar. Informações detalhadas do óleo utilizado nas simulações são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7: Características do óleo utilizado nas simulações.

Classificação do óleo de acordo com termos de referência do IBAMA	Descrição		
(X) pesados	maior conteúdo de componentes pesados, evaporação inferior a 50% volume após 1 semana no mar, possibilidade de formação de emulsão.		
() condensados	não contém componentes como asfalto e parafinas pesadas, evaporação tipicamente superior a 70% volume, baixa possibilidade de formação de emulsão		
() leves	maior conteúdo de componentes leves, evaporação entre 50 a 70% volume, formação de emulsões instáveis.		
Propriedades Físicas			
Parâmetro		Valor	Unidade
API		25,9	°
Densidade		0,8988	g/cm³
Viscosidade dinâmica		180 (a 13°C)	cP
Ponto de fluidez (<i>pour point</i>)		3	°C
Caracterização Química			
Componentes do Óleo		Fração no Óleo (%)	
C1-C4 gases (dissolvido no óleo)		0,009922	
C5-saturados (n-/iso-/ciclo)		0,015833	
C6-saturados (n-/iso-/ciclo)		0,009577	
Benzeno		0,001596	
C7-saturados (n-/iso-/ciclo)		0,015444	
C1-Benzeno (Tolueno) et, B		0,07761	
C8-saturados (n-/iso-/ciclo)		0,305905	
C2-Benzeno (xilenos; usando O-xileno)		0,300238	
C9-saturados (n-/iso-/ciclo)		1,223528	

C3-Benzeno	0,942185
C10-saturados (n-/iso-/ciclo)	1,342857
C4 e C4 Benzenos	0,046305
C11-C12 (total sat + aro)	1,865397
Fenóis (C0-C4 alquilado)	0,002968
Naftalenos 1 (C0-C1-alkilado)	3,68029
C13-C14 (total sat + aro)	3,763357
Naftalenos 2 (C2-C3-alkilado)	5,023522
C15-C16 (total sat + aro)	4,796127
HPA 1 (Hidrocarbonetos poliaromático médio solúvel (3 anéis-não-alkilado; < 4 anéis)	0,207772
C17-C18 (total sat + aro)	4,727956
C19-C20 (total sat + aro)	4,311527
Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR: C10 a C36)	5,944226
C21-C25 (total sat + aro)	9,190919
HPA 2 (Hidrocarbonetos poliaromático baixo solúvel (3 anéis-alkilado; 4-5+ anéis))	0,128249
C25+ (total)	52,06668

Curva de Destilação

Temperatura (°C)	Volume (%)
100	0,07
120	0,52
140	1,3
160	2,29
180	3,27
200	4,9
220	7
240	10,3
260	14,5
280	19
300	24,5
320	29,7
340	34,5
360	39,83
400	50
450	61

4.6.4 Parâmetros das Simulações

Os parâmetros utilizados no presente estudo são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Parâmetros numéricos utilizados no modelo de dispersão de óleo.

Parâmetros do modelo			
Número de partículas	Gotículas (não dissolvidas)	20.000	
	Dissolvidas	20.000	
Dimensão da grade	Zonal	~2.000	km
	Meridional	~2.000	km
Resolução da grade	Direção X (longitude)	~2.000	m
	Direção Y (latitude)	~2.000	m
	Direção Z (profundidade) (primeira camada/demais)	2/10 (8 m ³ e 200 m ³) 2/50 (891.919 m ³)	m
Profundidade para grade de concentração	Min:	0	m
	Max:	202/2252	m
Limiar de concentração na coluna d'água		20	ppb
Passos de tempo	Passo de tempo de cálculo	15	min
	Passo de tempo de saída	60	min
Duração da simulação		30 / 60	dias
Número de simulações no modo probabilístico		500	Período 1
		500	Período 2

No modelo OSCAR pode-se utilizar até 30 mil partículas para representar a fração não dissolvida do óleo e 30 mil para representar a fração dissolvida. No estudo atual, optou-se por utilizar 20 mil para cada tipo, totalizando 40 mil partículas. Esse valor foi escolhido com base em testes de sensibilidade com aumentos sucessivos do número de partículas, onde foi verificado que a partir de 10 mil partículas (5 mil não dissolvidas e 5 mil dissolvidas) não se observam diferenças entre os resultados. Com relação à distribuição dos diâmetros e massas das partículas, isto é feito internamente pelo modelo de óleo.

5. Resultados

A seguir serão apresentados os resultados das simulações de deriva do óleo para vazamentos de 8 m³, 200 m³ e pior caso, nos modos probabilístico e determinístico, a partir do ponto de risco considerado.

Na abordagem probabilística são realizadas diversas simulações determinísticas, considerando todos os processos citados nos itens anteriores, em diferentes cenários meteo-oceanográficos (correntes e ventos). Os resultados do modo probabilístico são de grande importância porque ilustram tanto a abrangência da área passível de ser afetada pelo vazamento quanto o tempo mínimo de chegada do poluente em cada local com probabilidade de ser atingido, além de identificar as regiões com maiores probabilidades de serem alcançadas nos diferentes cenários simulados (Figura 10).

Para a obtenção destes resultados foram realizadas 500 diferentes simulações para cada cenário, nos diferentes volumes de vazamento, totalizando 3.000 possíveis trajetórias de óleo. Este número de simulações foi definido para representar a variabilidade ambiental da região.

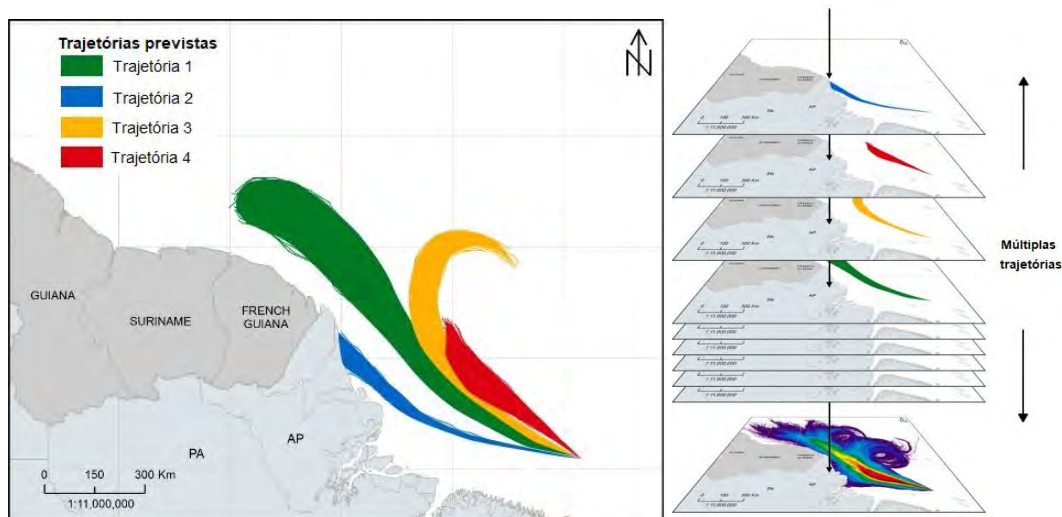


Figura 10: Exemplos de quatro trajetórias de derramamentos individuais para um cenário de vazamento genérico (à esquerda). Centenas de trajetórias individuais são sobrepostas umas sobre as outras, como mostrado à direita para calcular os resultados estocásticos (probabilidade, tempos mínimos de chegada, massa máxima de óleo encalhado na costa, etc.).

Os mapas/gráficos das simulações probabilísticas apresentados a seguir são resultados de:

- **Probabilidade de chegada de óleo** – Este mapa define os locais (superfície, costa, coluna d'água e/ou fundo marinho) e a probabilidade associada em que se espera que a massa de óleo exceda o limiar que define a presença de uma mancha de óleo.
- **Tempo mínimo de chegada de óleo** – Este mapa corresponde ao tempo mínimo de chegada de óleo ao mapa de probabilidade de presença de óleo. A ideia deste mapa é mostrar o menor

tempo necessário para que o óleo exceda os limiares ambientais (espessura, concentração e/ou massa) definidos em cada ponto de grade se ocorrer um vazamento de óleo.

- **Massa ou concentração máxima de óleo** - Este mapa corresponde a massa ou concentração máxima ao mapa de probabilidade de presença de óleo. A ideia deste mapa é mostrar o máximo de massa ou concentração para os locais onde o óleo excede os limiares ambientais (espessura, concentração e/ou massa) definidos em cada ponto de grade se ocorrer um vazamento de óleo.
- **Perfis verticais** - Os resultados de perfil na coluna d'água representam a integração dos valores de probabilidade e concentração de óleo ao longo da longitude, isto é, é apresentado o maior valor de probabilidade ou concentração em cada ponto de grade relativo à longitude e a profundidade.
- **Balanço de massa do óleo** - Gráficos do tipo box-plot para o balanço de massa do óleo considerando todos os processos de intemperismo, onde é possível observar valores mínimo, máximo, mediana, primeiro e terceiro quartis.

Nos resultados são destacadas algumas regiões sensíveis identificadas na área de estudo. A localização das UCs que apresentaram probabilidade de presença de óleo é apresentada no Anexo II.

No modo determinístico, os cenários críticos a serem simulados foram definidos através da análise dos resultados das simulações probabilísticas de pior caso, sendo avaliada a situação em que o óleo atingiu a costa no menor período de tempo possível após o início do vazamento e a situação onde houve maior acúmulo de óleo na costa. O intemperismo e a evolução da massa e área da mancha de óleo serão apresentados ao final de cada simulação determinística, através de gráficos e tabelas que apresentam os valores ao longo da simulação.

5.1. Resultados Probabilísticos

A seguir serão apresentados os resultados do modo probabilístico para os vazamentos de óleo cru a partir de um ponto de risco no Bloco Pau-Brasil, na Bacia de Santos, para:

- três volumes (8 m^3 , 200 m^3 e pior caso – 891.919 m^3);
- dois cenários sazonais definidos, Período 1 (setembro a fevereiro) e Período 2 (março a agosto).

5.1.1 Vazamento de 8 m^3

A dinâmica da região onde está localizado o ponto de vazamento apresenta grande variação direcional das correntes e os ventos predominantes são do primeiro quadrante, sobretudo de NNE e de NE.

Sob influência destas principais forçantes, em ambos os períodos, o óleo pode derivar para diversas direções com predominância para sudoeste.

As áreas de probabilidade de presença de óleo em superfície se mantiveram em região com profundidades acima de 2000 m. Valores de probabilidade superiores a 30% alcançam até 4 km do ponto de vazamento. A distância máxima com probabilidade de presença está a 240 km do ponto de vazamento no Período 1 e 260 km no Período 2. Estes pontos mais afastados podem ser alcançados em até 12 dias tanto no Período 1 quanto no Período 2. Em até 3 dias (72 h) o óleo pode alcançar uma distância máxima de 95 km no Período 1, e 150 km no Período 2.

Na coluna d'água, a área de probabilidade de presença de óleo é inferior à observada em superfície e os valores são inferiores a 10%. A distância máxima com probabilidade de presença está a 95 km do ponto de vazamento no Período 1 e 125 km no Período 2.

Nestes cenários não houve probabilidade de chegada de óleo na costa, nas UCs ou no fundo marinho. A menor distância do óleo em superfície até a costa foi cerca de 223 km no Período 1 e 195 km no Período 2, ambos relativos ao município do Rio de Janeiro-RJ. A menor distância observada do óleo em superfície em relação às UCs é de 217 km no Período 1 relativa à RESEX Marinha Arraial do Cabo e 195 km no Período 2 relativa ao MN das Ilhas Cagarras.

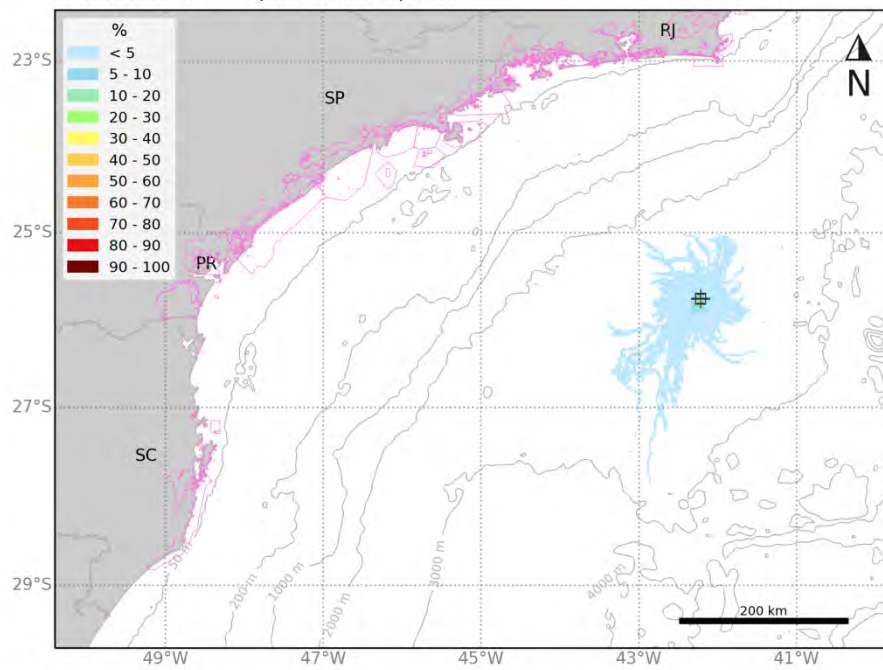
Em relação aos processos intempéricos atuantes ao longo dos 30 dias de simulação, observa-se que a retirada do óleo da superfície ocorreu, majoritariamente pela dispersão na coluna d'água (mediana entre 45,8% e 48,5%) seguida pela evaporação (com mediana entre 42,5% e 44,5%). Ao final da simulação, o valor máximo na superfície foi de 48%, com mediana entre 9 e 10%.

5.1.1.1 Período 1

MODO PROBABILÍSTICO

PAU-BRASIL | 8 m³ | Período 1

Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície



MODO PROBABILÍSTICO

PAU-BRASIL | 8 m³ | Período 1

Tempo Mínimo de Deslocamento na Superfície

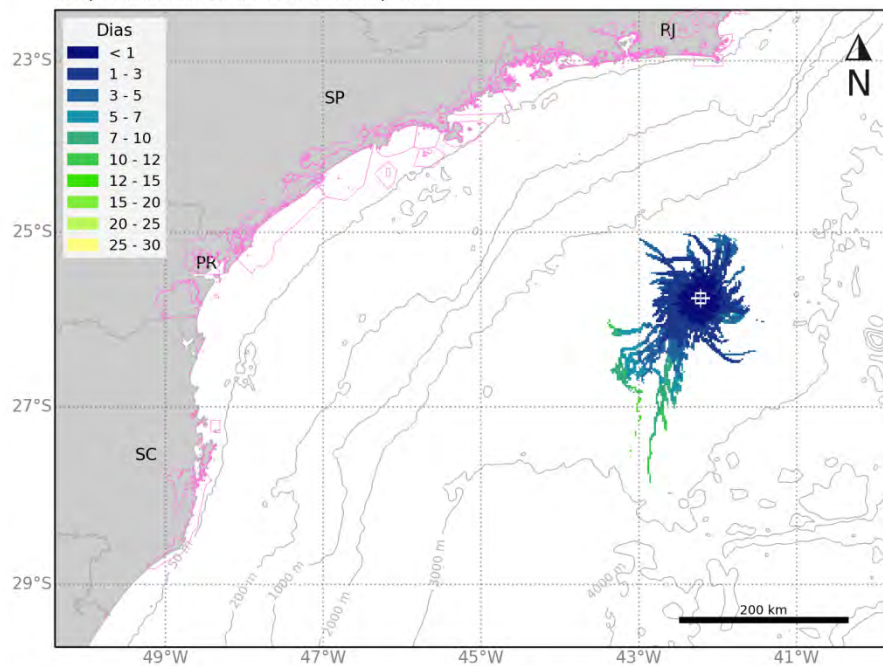


Figura 11: Mapa de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o vazamento de 8 m³ no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

PAU-BRASIL | 8 m³ | Período 1

Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'água

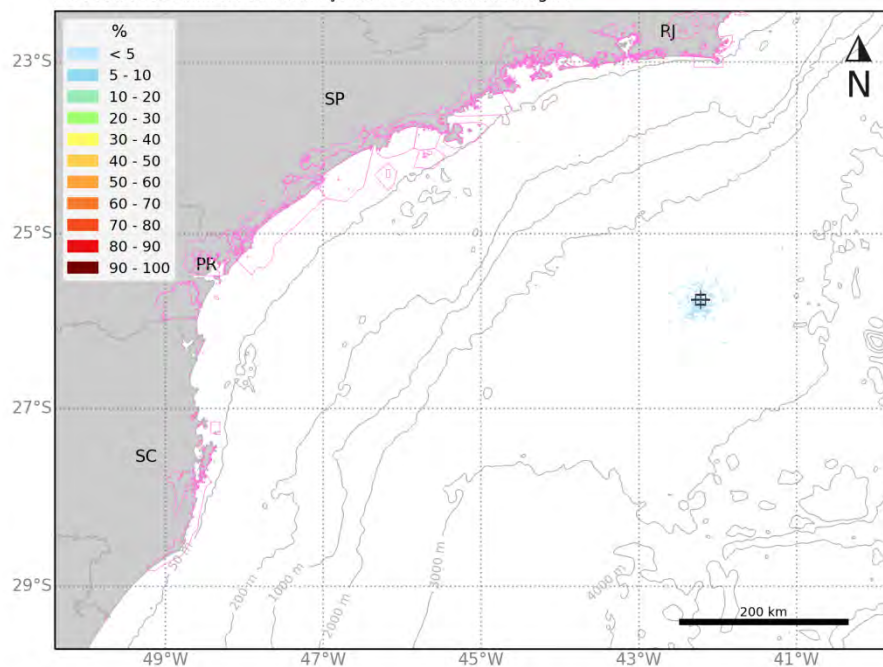


Figura 12: Mapa de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água para o vazamento de 8 m³ no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

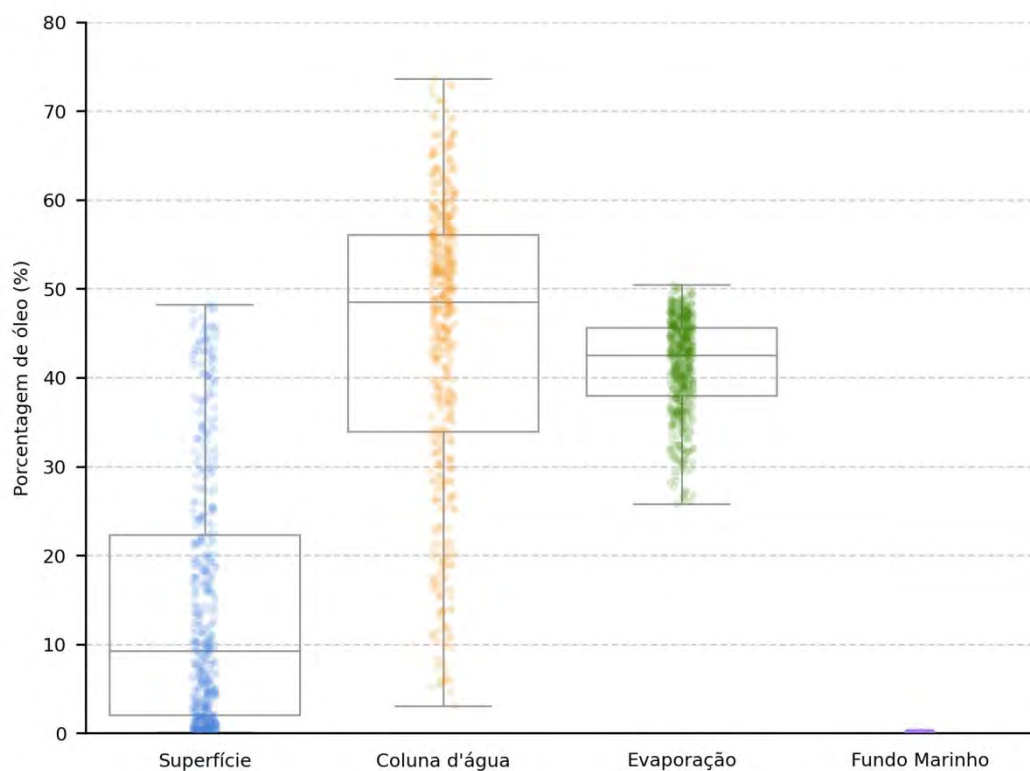


Figura 13: Balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 8 m³ no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

Tabela 9: Tabela de balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 8 m³ no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

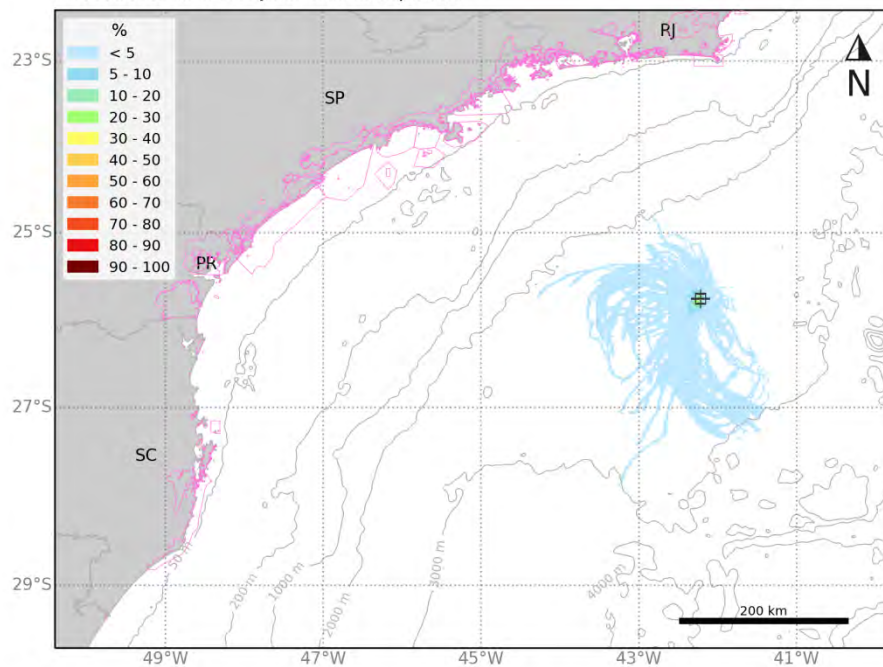
	Superfície	Coluna d'água	Evaporação	Fundo Marinho
Mínimo	0,1	3,1	25,8	-
Primeiro Quartil	2	33,9	38	-
Mediana	9,3	48,5	42,5	-
Terceiro Quartil	22,3	56,1	45,7	-
Máximo	48,2	73,6	50,4	< 0,05

5.1.1.2 Período 2

MODO PROBABILÍSTICO

PAU-BRASIL | 8 m³ | Período 2

Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície



MODO PROBABILÍSTICO

PAU-BRASIL | 8 m³ | Período 2

Tempo Mínimo de Deslocamento na Superfície

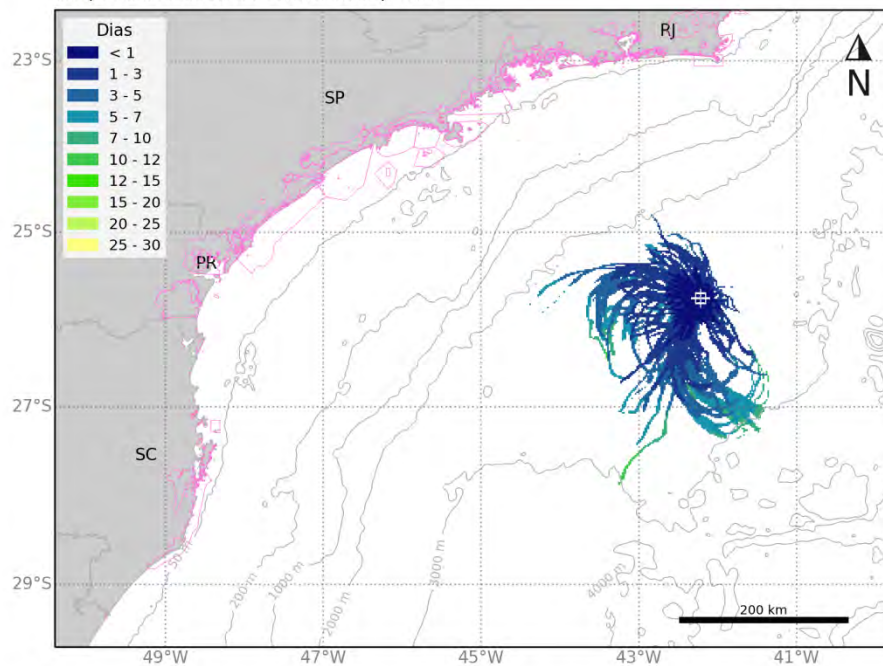


Figura 14: Mapa de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o vazamento de 8 m³ no Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

PAU-BRASIL | 8 m³ | Período 2

Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'água

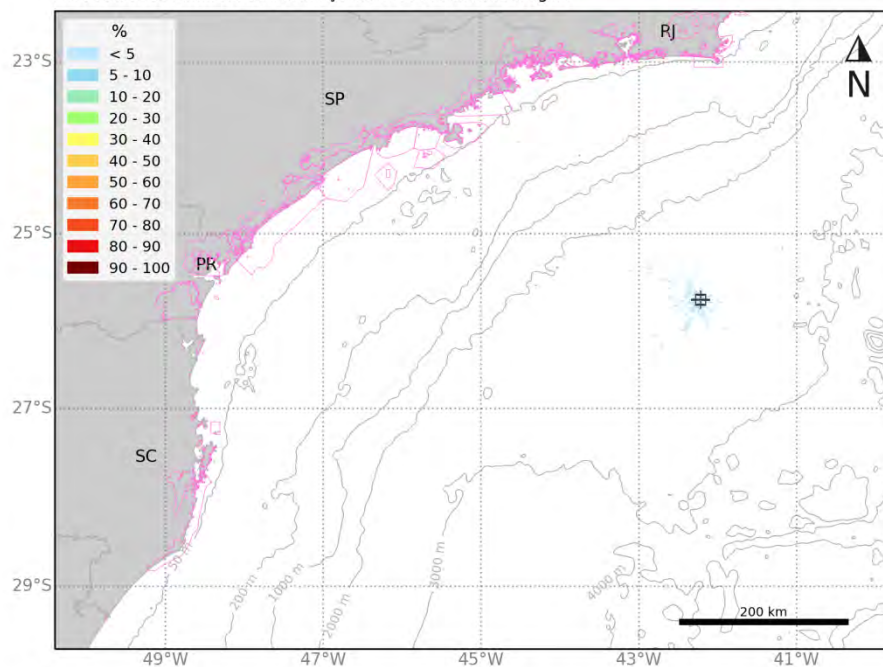


Figura 15: Mapa de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água para o vazamento de 8 m³ no Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).

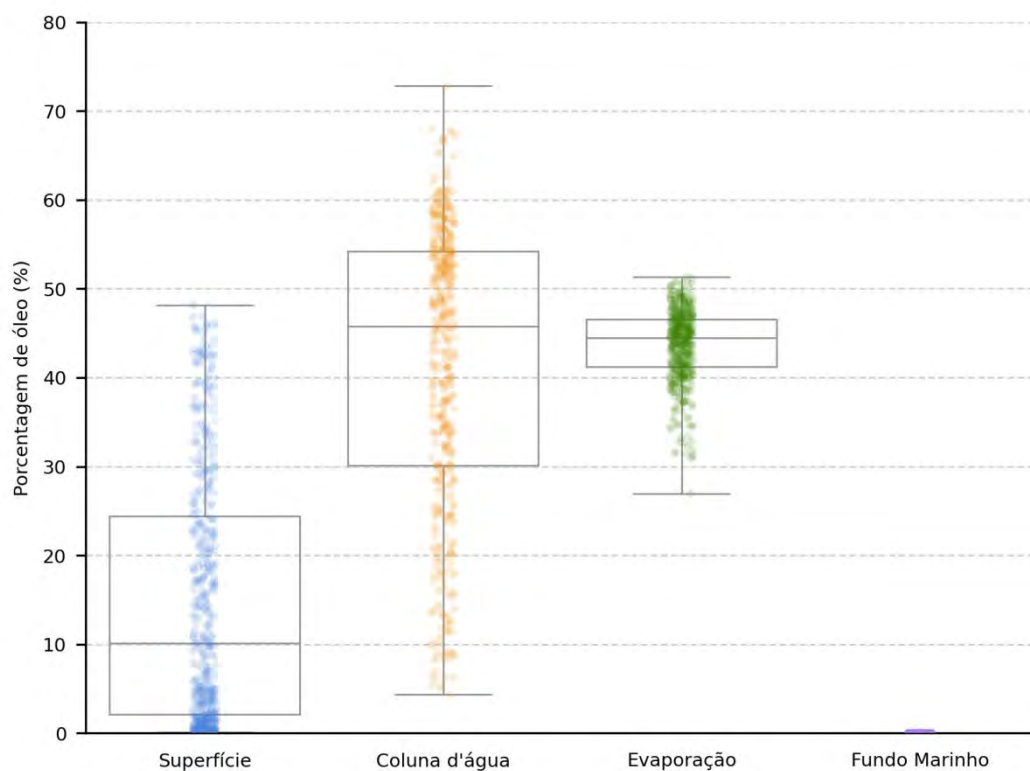


Figura 16: Balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 8 m³ no Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).

Tabela 10: Tabela de balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 8 m³ no Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).

	Superfície	Coluna d'água	Evaporação	Fundo Marinho
Mínimo	0,1	4,3	27	-
Primeiro Quartil	2,1	30,1	41,2	-
Mediana	10,1	45,8	44,5	-
Terceiro Quartil	24,4	54,2	46,6	-
Máximo	48,2	72,8	51,3	< 0,05

5.1.2 Vazamento de 200 m³

Para os vazamentos de 200 m³, assim como nos de pequeno porte, a direção preferencial de deriva do óleo foi para sudoeste do ponto de vazamento, no entanto há probabilidade do óleo derivar para diversas direções em função das principais forçantes atuantes, com grande variação direcional das correntes e os ventos predominantes do primeiro quadrante.

As áreas de probabilidade de presença de óleo em superfície se mantiveram em região com profundidades acima de 1000 m. Valores de probabilidade superiores a 30% alcançam até 16 km do ponto de vazamento no Período 1 e 18 km no Período 2. A distância máxima que o óleo pode alcançar é de 400 km do ponto de vazamento no Período 1 e 495 km no Período 2. Estes pontos mais afastados podem ser alcançados em até 30 dias no Período 1 e 15 dias no Período 2. Em até 3 dias (72 h) o óleo pode alcançar uma distância máxima de 108 km no Período 1, e 160 km no Período 2.

Na coluna d'água, a área de probabilidade de presença de óleo é inferior à observada em superfície e há probabilidade até 250 metros de profundidade, no entanto abaixo de 50 metros os valores observados são inferiores que 30%. A distância máxima com probabilidade de presença de óleo é de 330 km do ponto de vazamento.

Nestes cenários não houve probabilidade de chegada de óleo na costa, nas UCs ou no fundo marinho. A menor distância do óleo em superfície até a costa foi de 116 km no Período 1 relativo ao município do Rio de Janeiro-RJ e 122 km no Período 2, relativos ao município de Arraial do Cabo. A menor distância observada do óleo em superfície em relação às UCs é de 115 km no Período 1 relativa à APA Marinha do Litoral Norte e 109 km no Período 2 relativa à RESEX Marinha Arraial do Cabo.

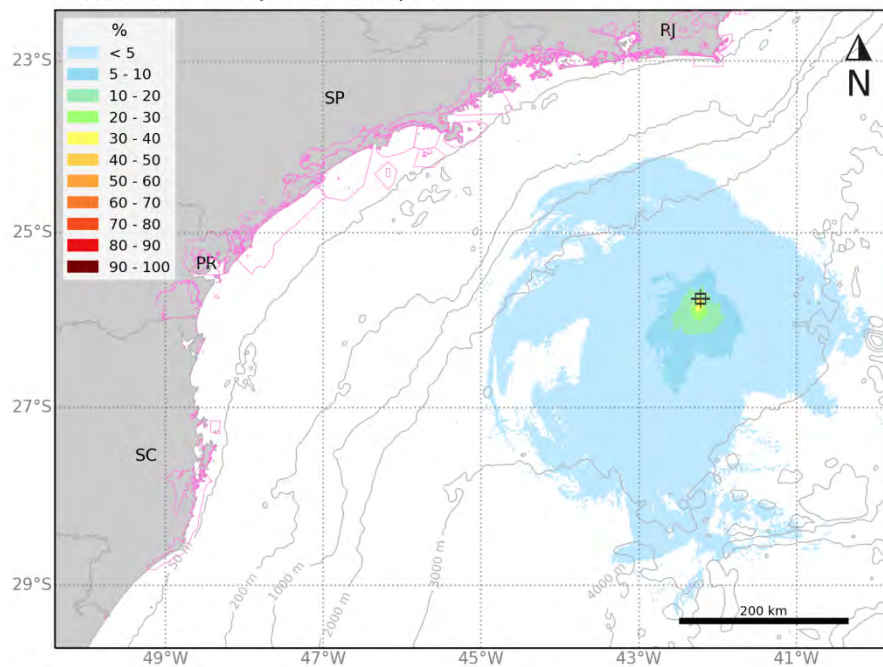
Em relação aos processos intempéricos atuantes ao longo dos 30 dias de simulação, observa-se que a retirada do óleo da superfície ocorreu, principalmente pela evaporação (mediana de 43,4% e 45,4% no Período 1 e Período 2, respectivamente) e pela dispersão na coluna d'água (mediana de 42,9% e 45,9%). Ao final da simulação, o valor máximo na superfície foi de 50%, com mediana de 10,7% e 12%.

5.1.2.1 Período 1

MODO PROBABILÍSTICO

PAU-BRASIL | 200 m³ | Período 1

Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície



MODO PROBABILÍSTICO

PAU-BRASIL | 200 m³ | Período 1

Tempo Mínimo de Deslocamento na Superfície

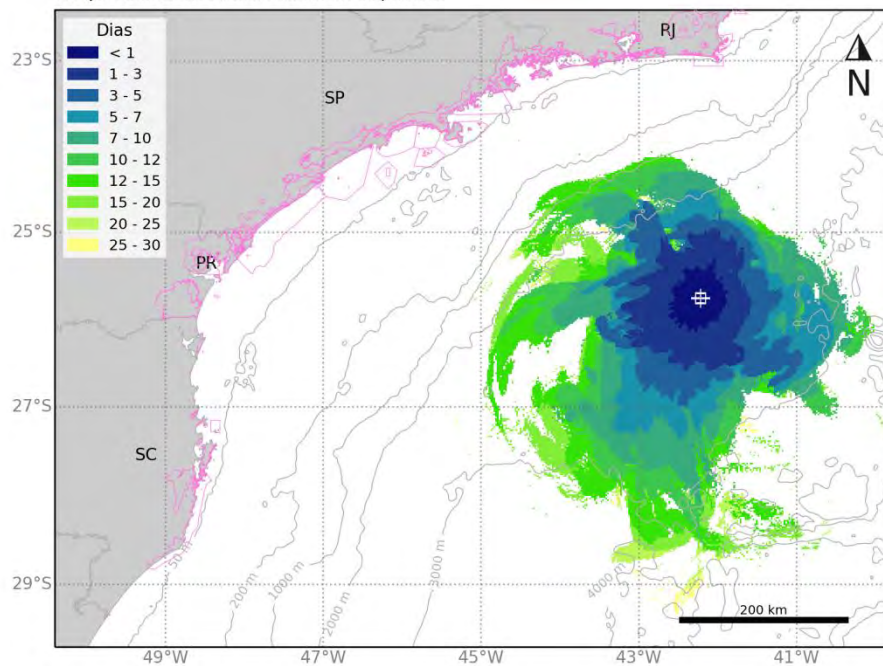


Figura 17: Mapa de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o vazamento de 200 m³ no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

PAU-BRASIL | 200 m³ | Período 1

Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'água

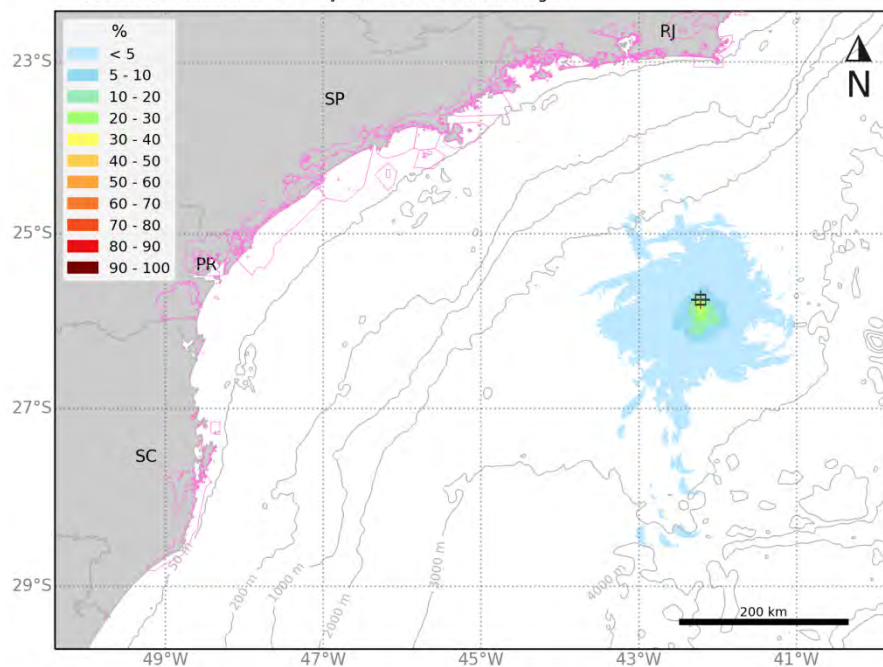


Figura 18: Mapa de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água para o vazamento de 200 m³ no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

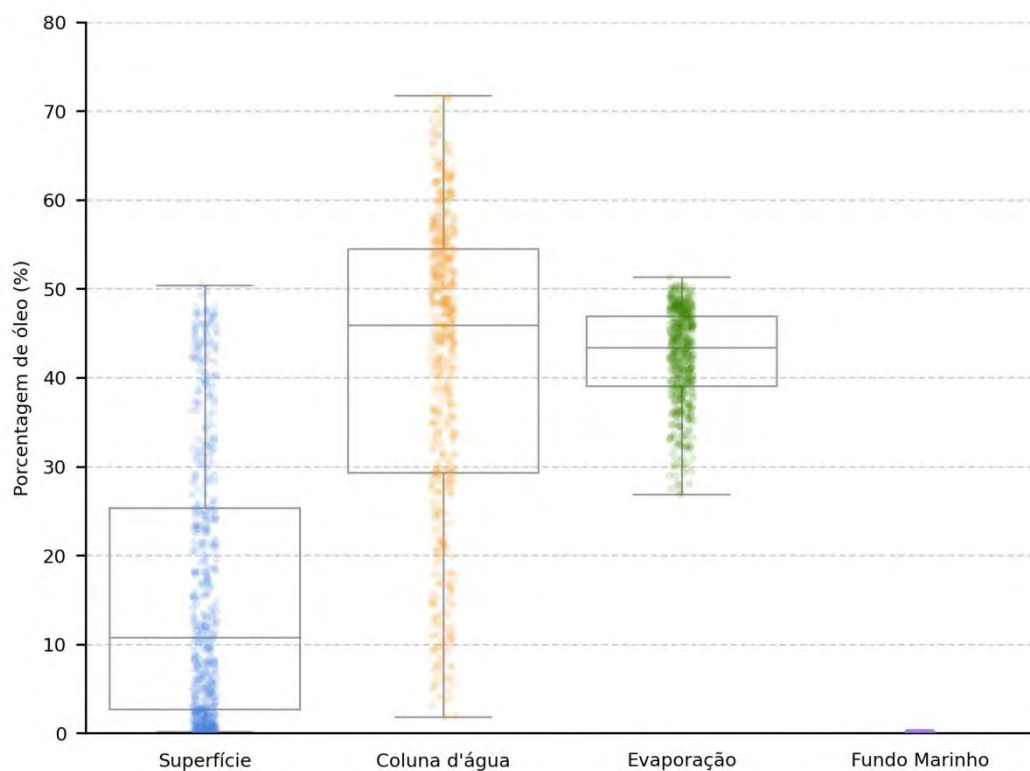


Figura 19: Balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 200 m³ no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

Tabela 11: Tabela de balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 200 m³ no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

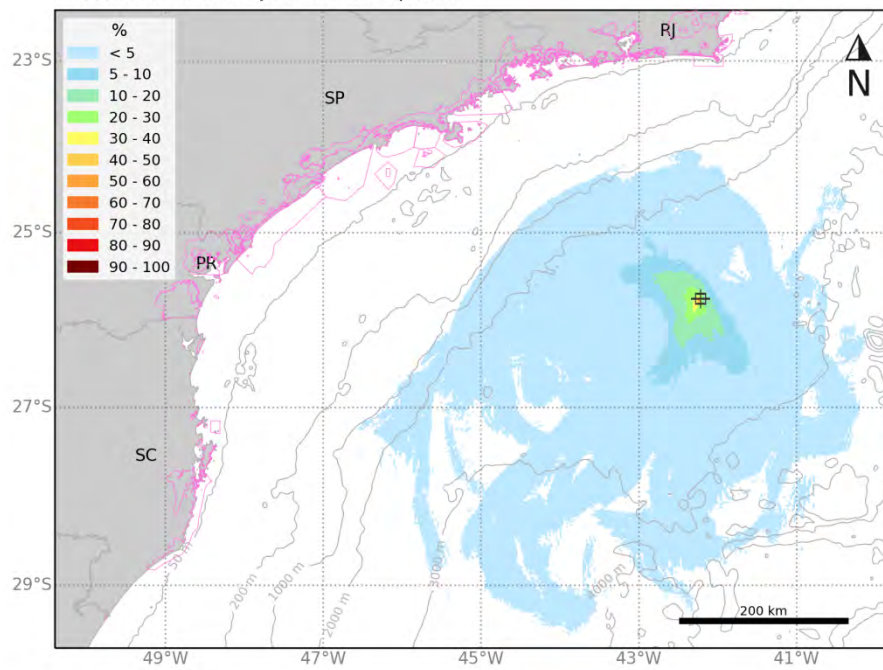
	Superfície	Coluna d'água	Evaporação	Fundo Marinho
Mínimo	0,1	1,8	26,9	-
Primeiro Quartil	2,7	29,3	39	-
Mediana	10,7	45,9	43,4	-
Terceiro Quartil	25,3	54,5	46,9	-
Máximo	50,4	71,7	51,3	< 0,05

5.1.2.2 Período 2

MODO PROBABILÍSTICO

PAU-BRASIL | 200 m³ | Período 2

Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície



MODO PROBABILÍSTICO

PAU-BRASIL | 200 m³ | Período 2

Tempo Mínimo de Deslocamento na Superfície

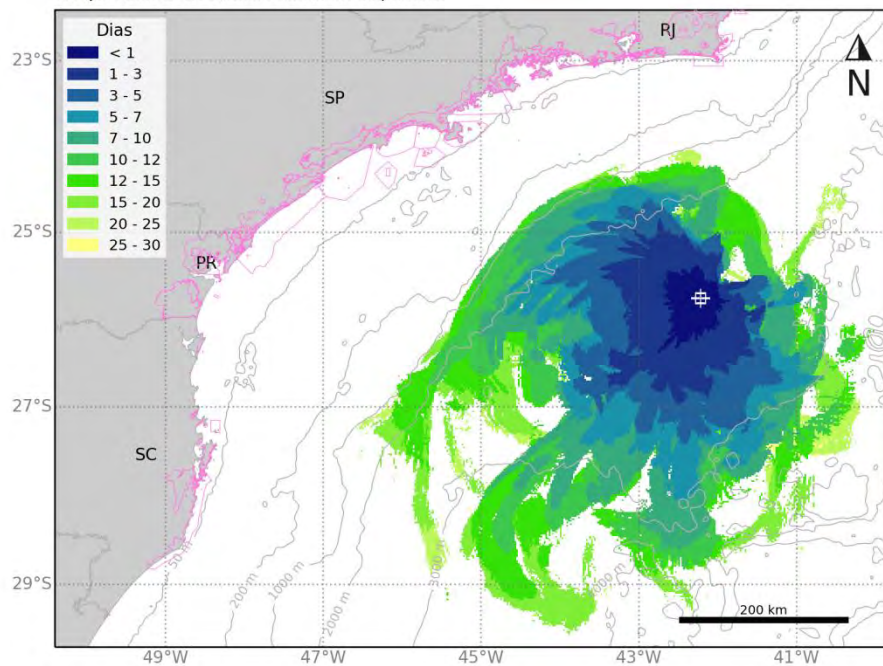


Figura 20: Mapa de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o vazamento de 200 m³ no Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

PAU-BRASIL | 200 m³ | Período 2

Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'água

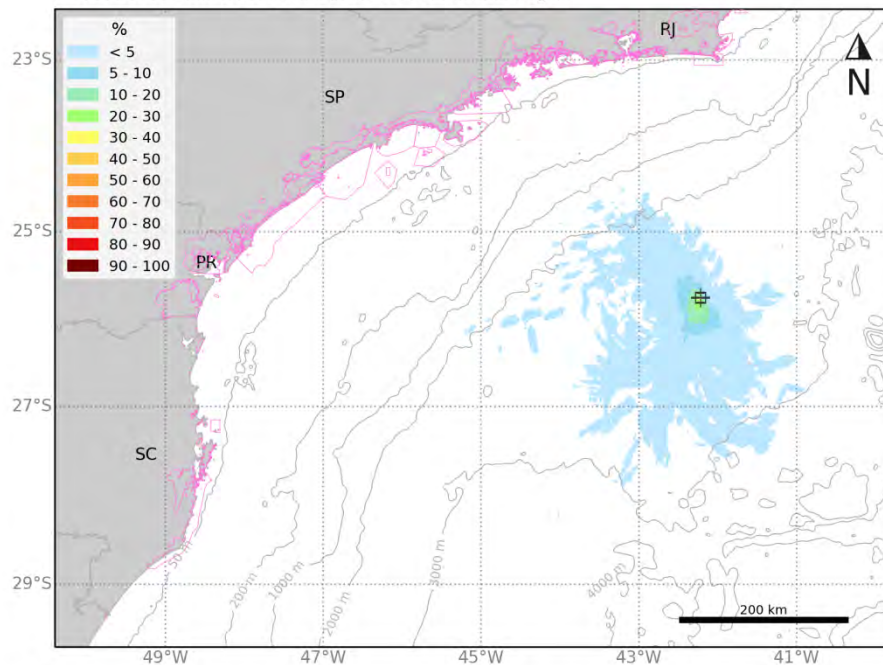


Figura 21: Mapa de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água para o vazamento de 200 m³ no Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).

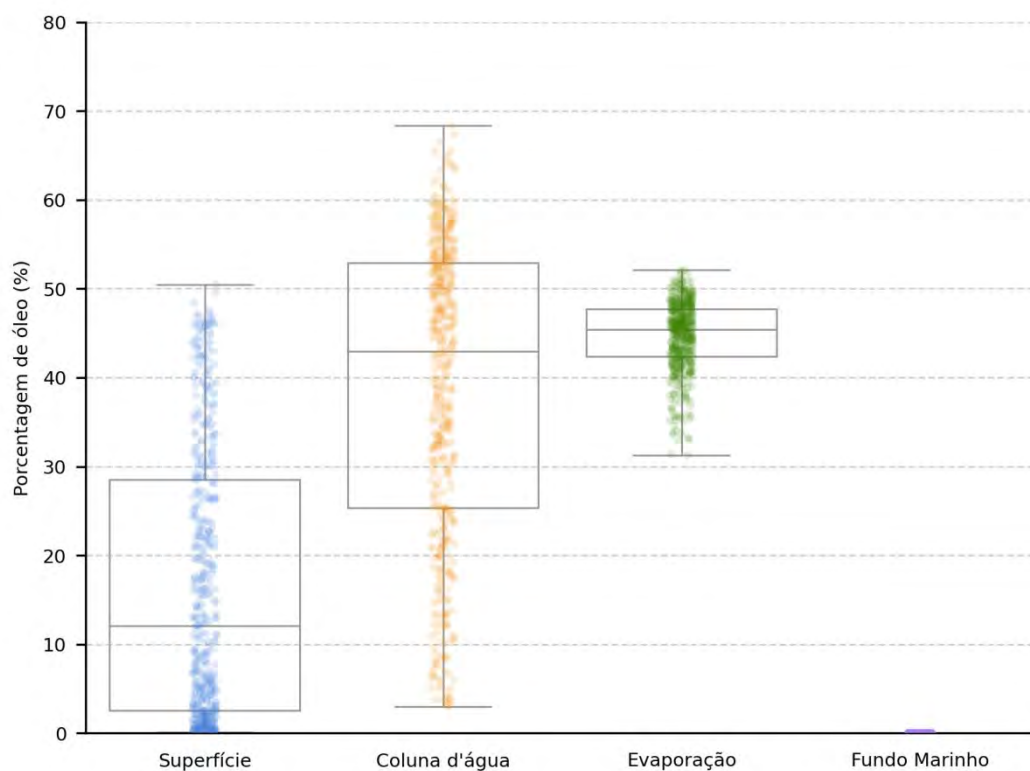


Figura 22: Balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 200 m³ no Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).

Tabela 12: Tabela de balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 200 m³ no Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).

	Superfície	Coluna d'água	Evaporação	Fundo Marinho
Mínimo	0,1	3	31,3	-
Primeiro Quartil	2,6	25,3	42,4	-
Mediana	12,1	42,9	45,4	-
Terceiro Quartil	28,5	52,9	47,7	-
Máximo	50,4	68,3	52,1	-

5.1.3 Vazamento de Pior Caso

Para os vazamentos de pior caso (891.919 m^3), a direção preferencial de deriva do óleo foi para sudoeste do ponto de vazamento, em função da predominância de ventos do primeiro quadrante na região. O ponto de vazamento, por estar localizado em região profunda e não na direção preferencial da CB, apresenta grande variação direcional das correntes. Portanto observa-se além da direção preferencial para SW, a ocorrência, com alta probabilidade, do óleo seguir para sul, oeste e sudeste também. Nas simulações em que o óleo segue em direção à costa, a medida que chega sobre o talude sofre à influência mais forte do fluxo principal da CB para SW.

No Período 2, por apresentar uma maior variação da direção dos ventos e maior ocorrência de correntes para NW, a extensão da área com probabilidades de chegada de óleo acima de 30% na direção sudoeste é menor, até 820 km, enquanto no Período 1 é de até 1085 km. Além disso, são observadas probabilidades mais altas sobre a plataforma continental no Período 2 do que no Período 1, decorrente da maior frequência de frentes frias e ventos do segundo e terceiro quadrante. Por sua vez, no Período 1, a área de maior probabilidade encontra-se mais afastada da costa ao largo dos estados do RJ, SP e PR. A sul do estado do PR, observa-se no Período 1 a área de probabilidade mais próxima à costa do que a no Período 2.

Em superfície, o óleo pode alcançar latitudes a sul de 37°S e a leste de 038°W tanto no Período 1 quanto no Período 2. As regiões mais afastadas são alcançadas após 50 dias do início do vazamento e em até 3 dias (72 h) o óleo pode alcançar uma distância máxima de 150 km tanto no Período 1 quanto no Período 2. No Período 2, por apresentar uma maior variação da direção dos ventos, nota-se que as áreas de maiores probabilidade se estendem menos que no Período 1.

Na coluna d'água, como se trata de um vazamento de fundo, o óleo sobe como em uma coluna vertical, desde 2250 metros à superfície. Ao longo da coluna d'água se observa espalhamento do óleo tanto em longitude quanto em latitude, no entanto o maior espalhamento horizontal ocorre na camada próxima à superfície, na qual a área com probabilidade de presença de óleo é similar à observada em superfície. O óleo pode alcançar latitudes a sul de 37°S e a leste de 038°W tanto no Período 1 quanto no Período 2. No entanto valores acima de 30% são observados a uma distância de até 1030 km do ponto de vazamento no Período 1 e 830 km no Período 2.

Em relação às concentrações os maiores valores ($> 1000 \text{ ppb}$) são observado próximos do ponto de vazamento e em profundidades maiores que 1500 metros. Nas regiões mais próximas à costa os valores de concentração observados são inferiores a 300 ppb

No fundo marinho, são observadas probabilidades de presença de óleo em regiões profundas acima de 1000 m a noroeste do ponto de vazamento, e em regiões esparsas mais próximas à costa, com profundidades menores que 50 m. Os valores predominantes associados são inferiores a 5%, com exceção de regiões pontuais com valores entre 20 e 40%.

Nestes cenários houve probabilidade de chegada de óleo em 15 municípios no Período 1, e em mais 2 municípios os resultados de superfície ficaram próximos à costa. O maior valor, de 4%, foi observado em Imbituba-SC, e o menor tempo de chegada de óleo registrado foi de 30,8 dias nos

municípios vizinhos de Palhoça e Paulo Lopes, também no estado de Santa Catarina. A maior massa de óleo por extensão de costa foi de 35,8 t/km em Paulo Lopes-SC. No Período 2 não houve probabilidade de chegada de óleo na costa, no entanto os resultados de superfície ficaram a uma distância de 0,2 km do município de Itanhaém-SP, com valor de probabilidade associado de 0,6%.

Para as UCs, há probabilidade de chegada de óleo em 17 unidades no Período 1 e 4 UCs no Período 2. A maior probabilidade e o menor tempo de chegada de óleo ocorreu na APA da Baleia Franca, com valores de 6,2% e 28,9 dias no cenário do Período 1.

Em relação aos processos intempéricos atuantes ao longo dos 60 dias de simulação, observa-se que o processo predominante foi a dispersão na coluna d'água (mediana de 48,5% e 50,8% no Período 1 e Período 2, respectivamente), seguido evaporação (mediana de 34% e 33%). Ao final da simulação, o valor máximo na superfície foi de 47%, com mediana de 18% e 16%. Na costa no período 1 o valor máximo é inferior a 0,05% do valor total vazado.

5.1.3.1 Período 1

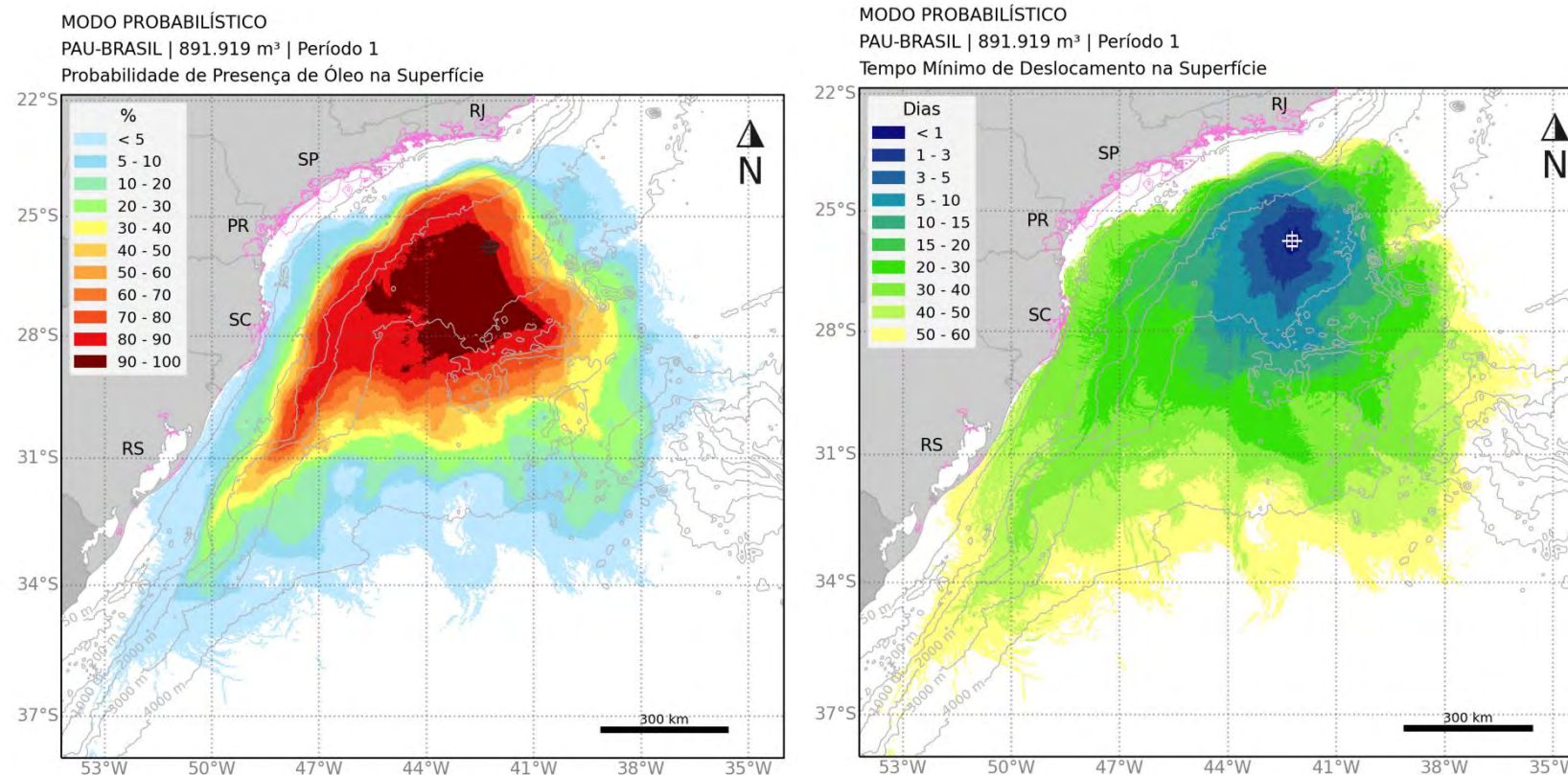


Figura 23: Mapa de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o vazamento de pior caso (891.919 m³) no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

PAU-BRASIL | 891.919 m³ | Período 1

Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'água

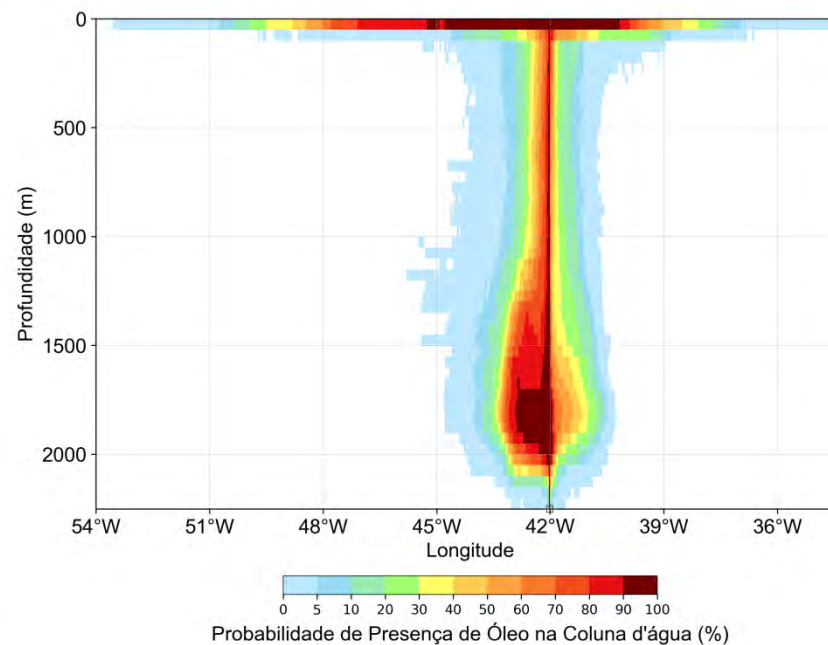
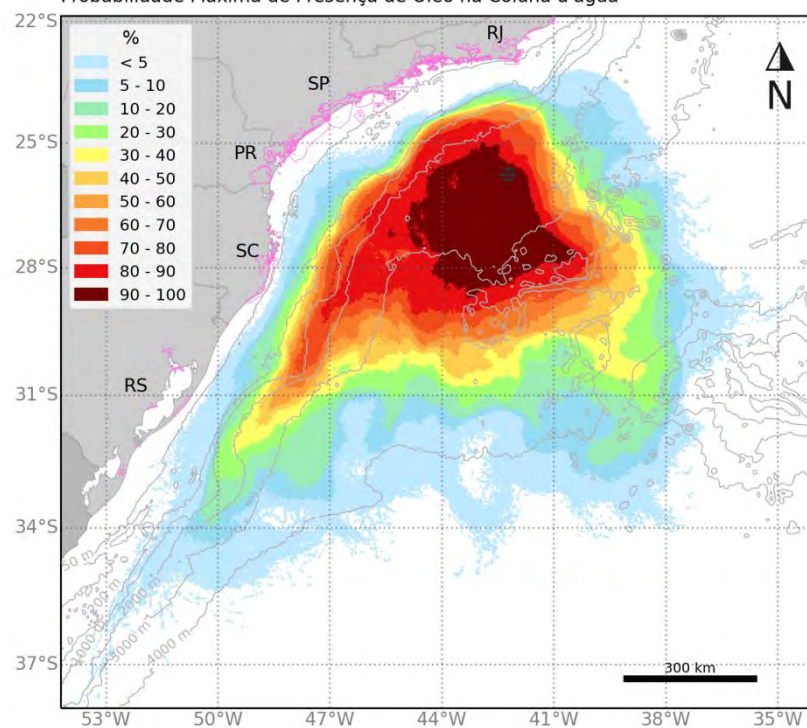


Figura 24: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água e perfil vertical em longitude para o vazamento de pior caso (891.919 m³) no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

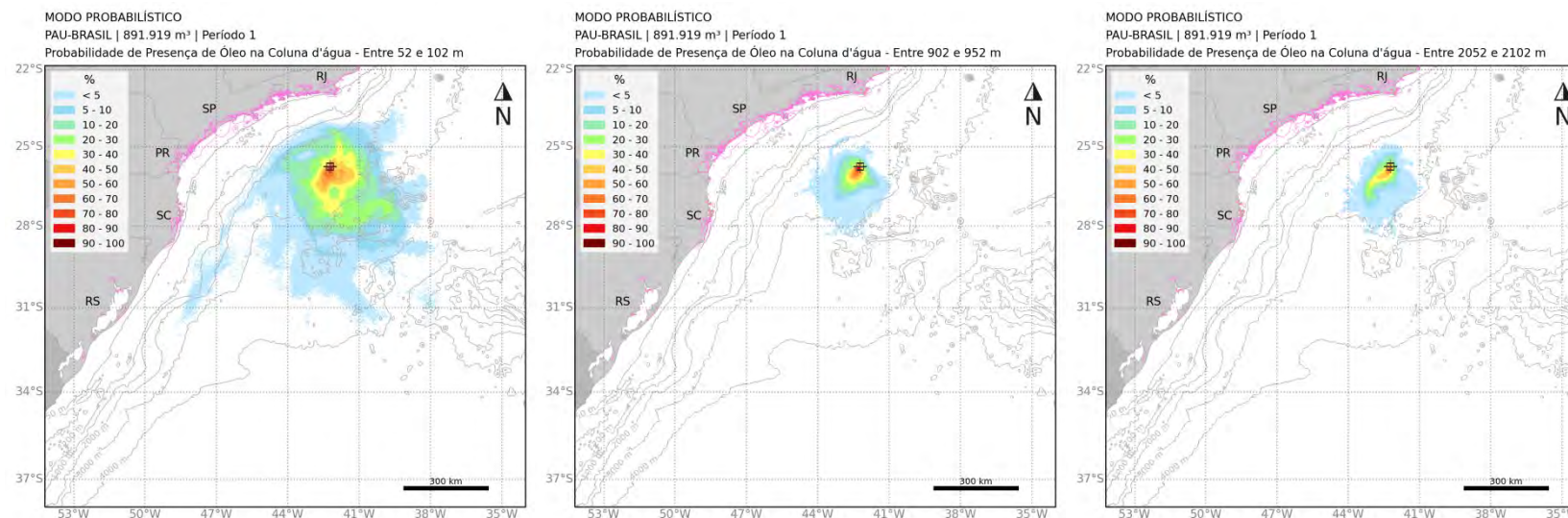


Figura 25: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo para diferentes profundidades na coluna d'água para o vazamento de pior caso (891.919 m³) no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

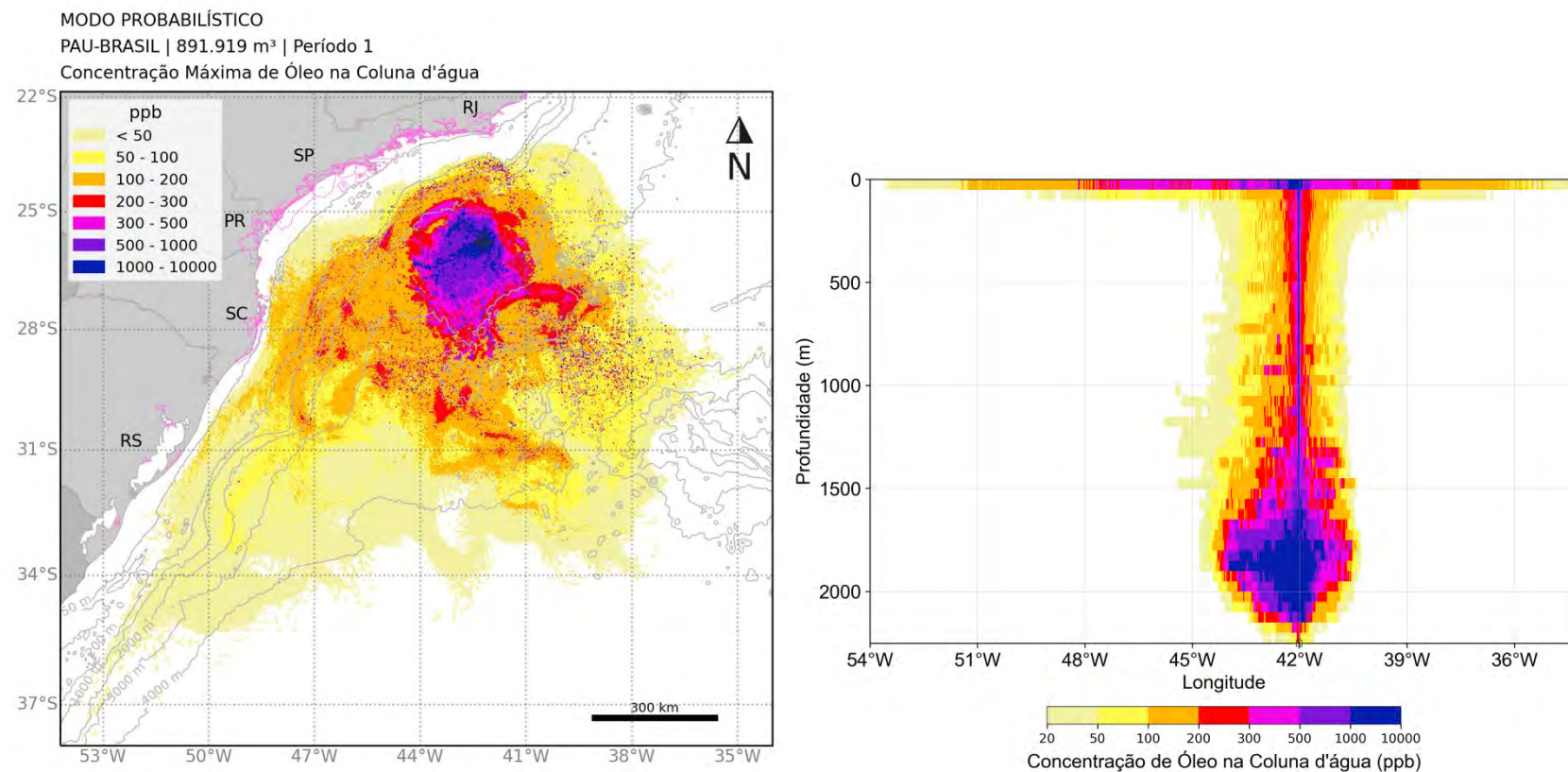


Figura 26: Mapa de concentração máxima de óleo na coluna d'água e perfil vertical em longitude para o vazamento de pior caso (891.919 m³) no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

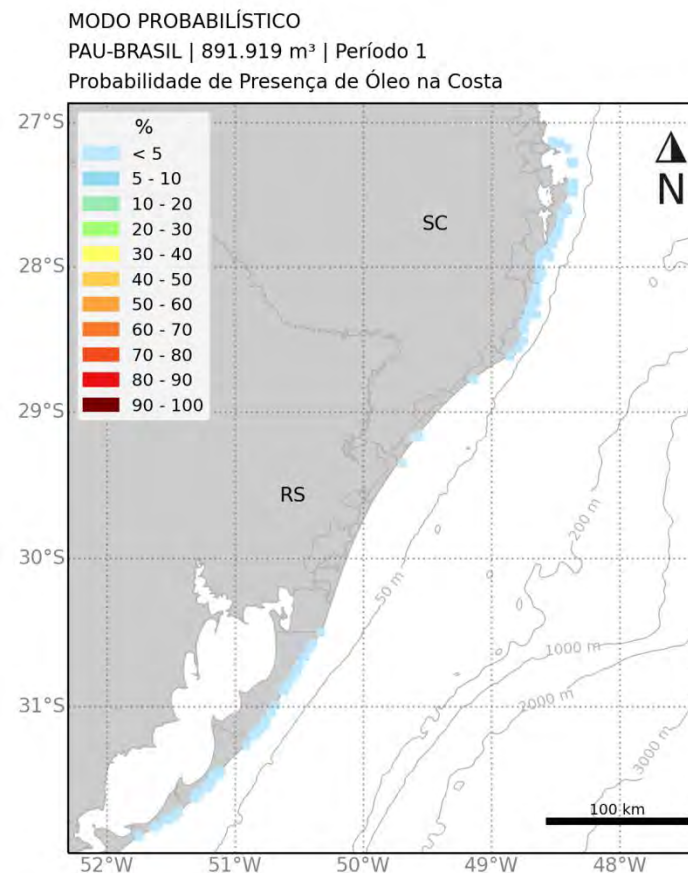
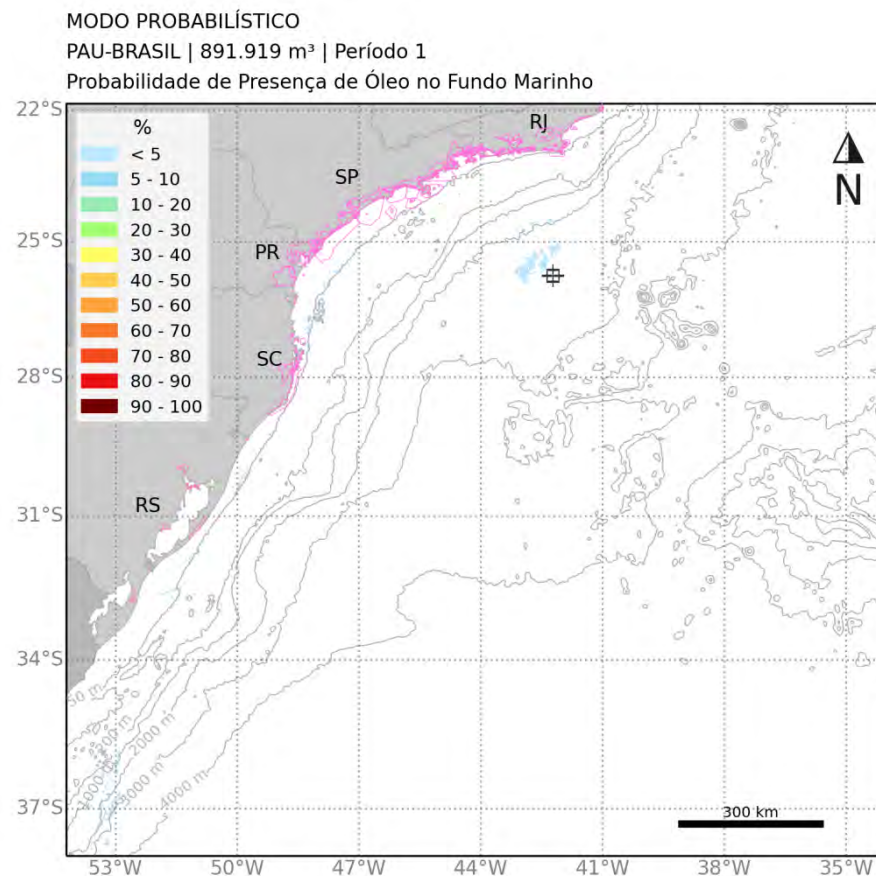


Figura 27: Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho e na costa para o vazamento de pior caso (891.919 m³) no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

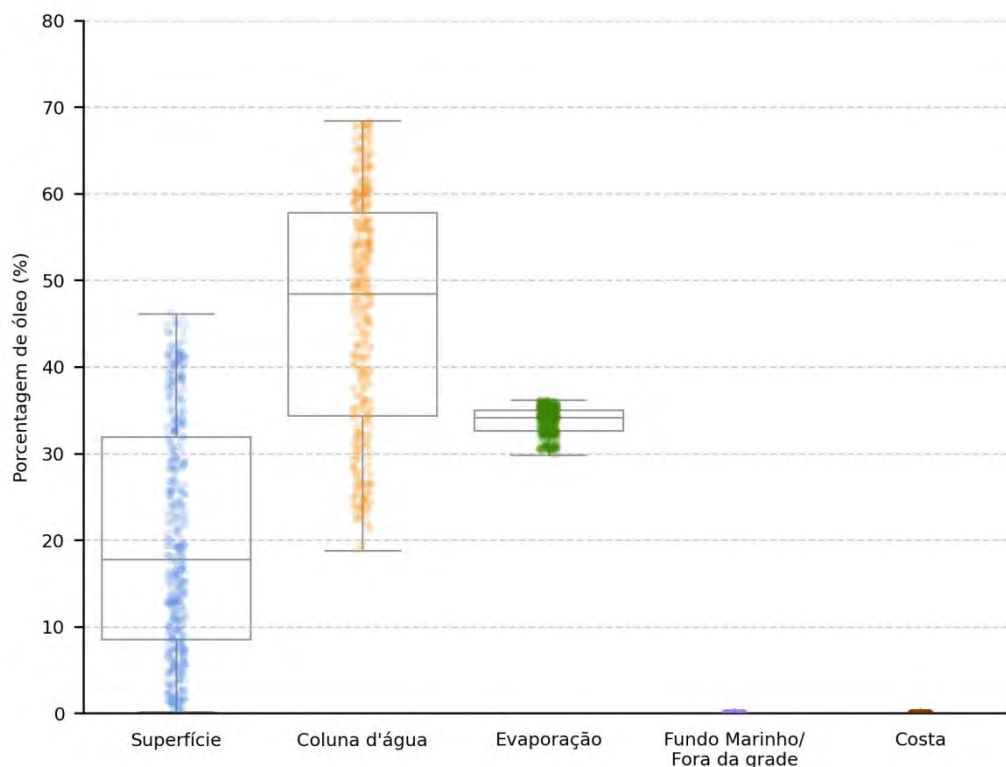


Figura 28: Balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de pior caso (891.919 m³) no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

Tabela 13: Tabela de balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de pior caso (891.919 m³) no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

	Superfície	Coluna d'água	Evaporação	Fundo Marinho/ Fora da grade	Costa
Mínimo	0,2	18,8	29,8	-	-
Primeiro Quartil	8,6	34,4	32,6	-	-
Mediana	17,8	48,5	34,2	-	-
Terceiro Quartil	31,9	57,8	35	-	-
Máximo	46,2	68,4	36,2	< 0,05	< 0,05

5.1.3.2 Período 2

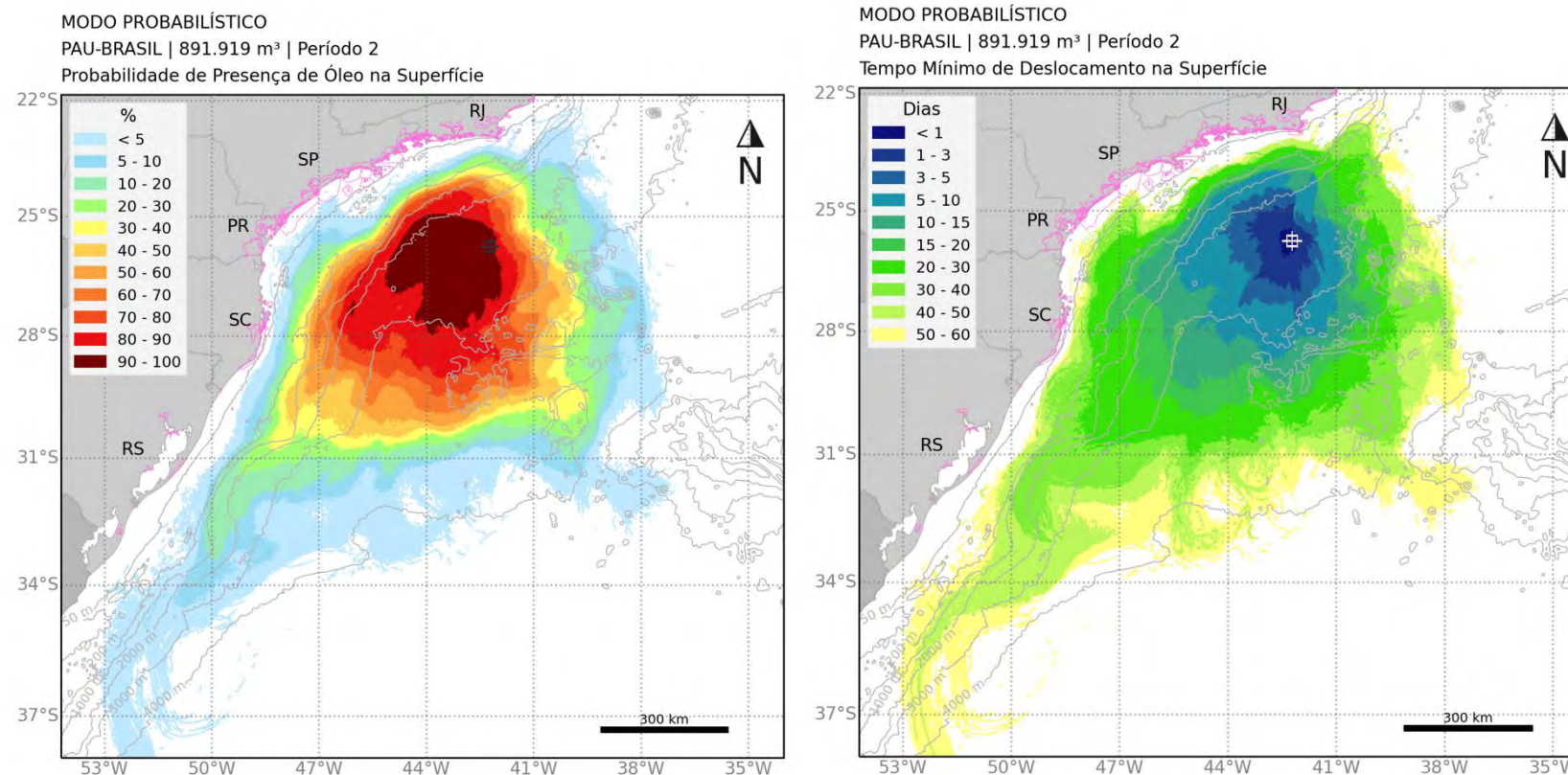


Figura 29: Mapa de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o vazamento de pior caso (891.919 m³) no Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

PAU-BRASIL | 891.919 m³ | Período 2

Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'água

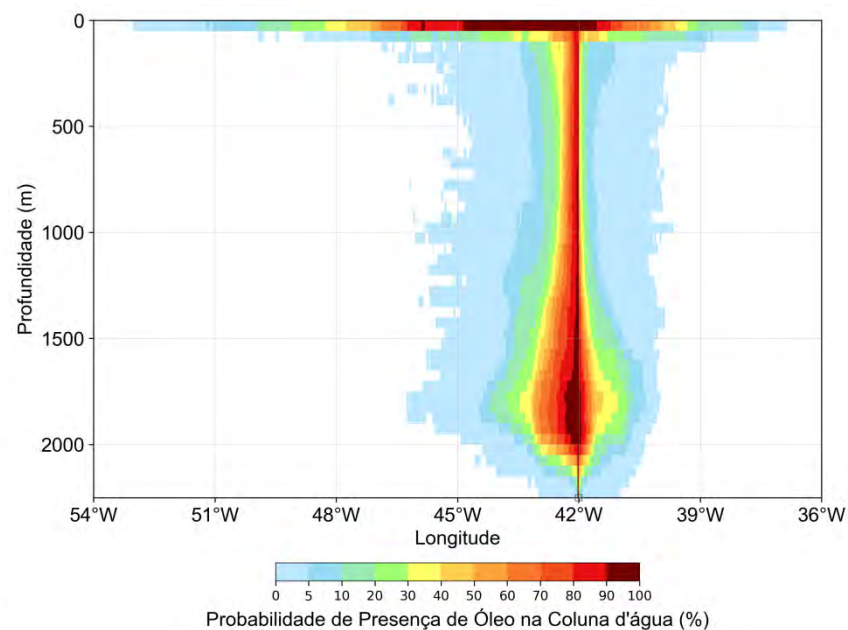
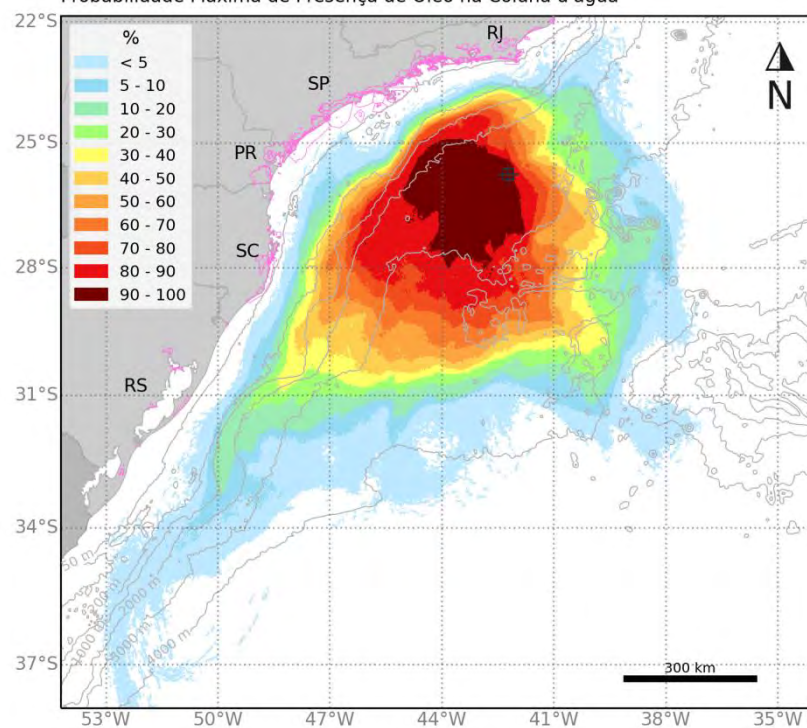


Figura 30: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água e perfil vertical em longitude para o vazamento de pior caso (891.919 m³) no Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

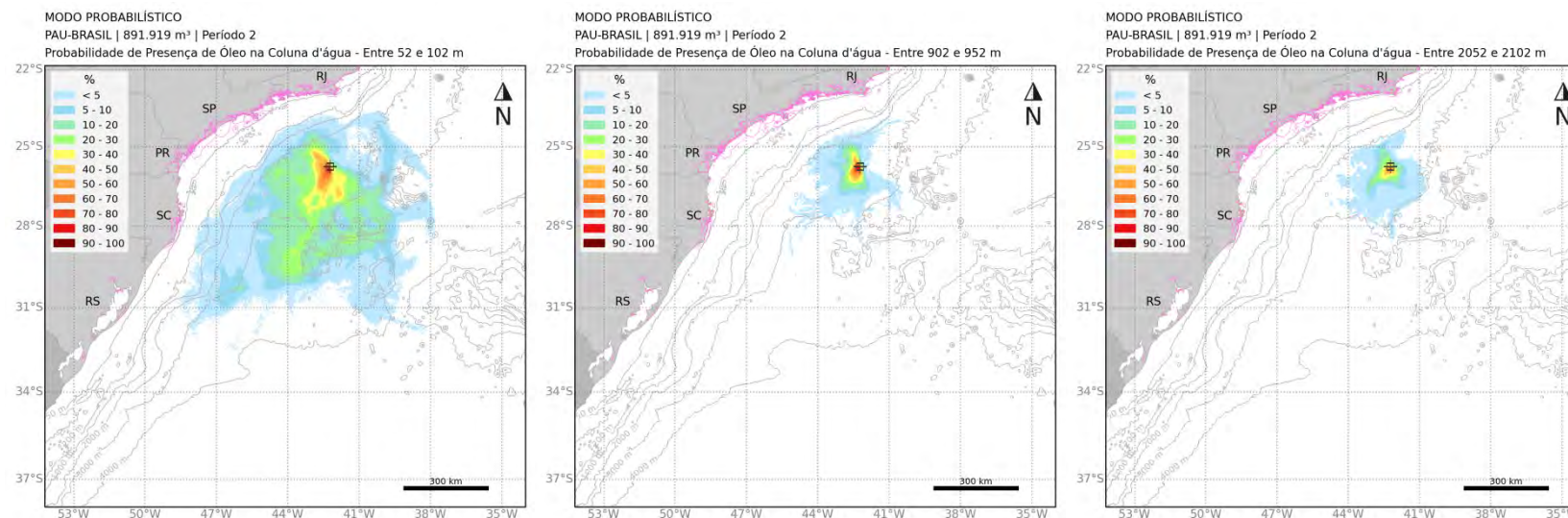


Figura 31: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo para diferentes profundidades na coluna d'água para o vazamento de pior caso (891.919 m³) no Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

PAU-BRASIL | 891.919 m³ | Período 2

Concentração Máxima de Óleo na Coluna d'água

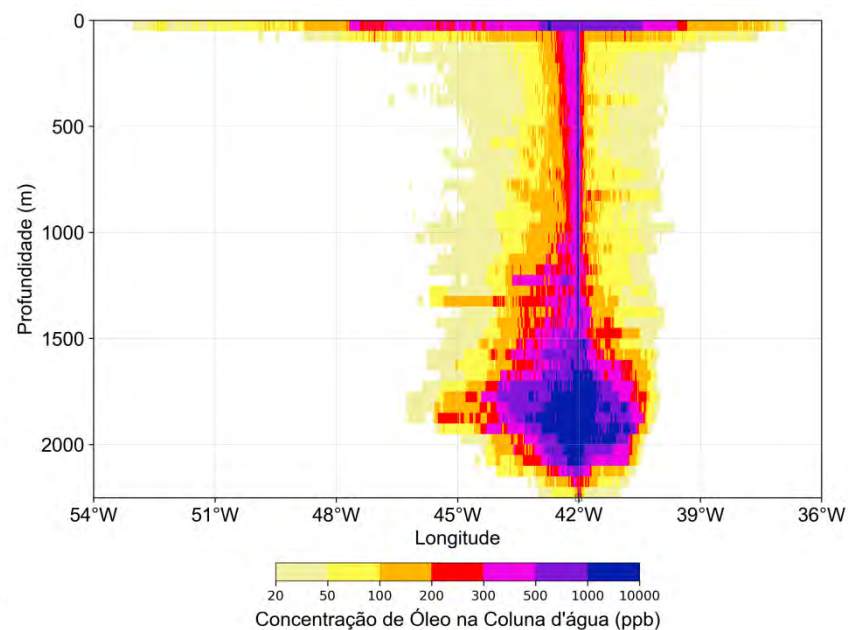
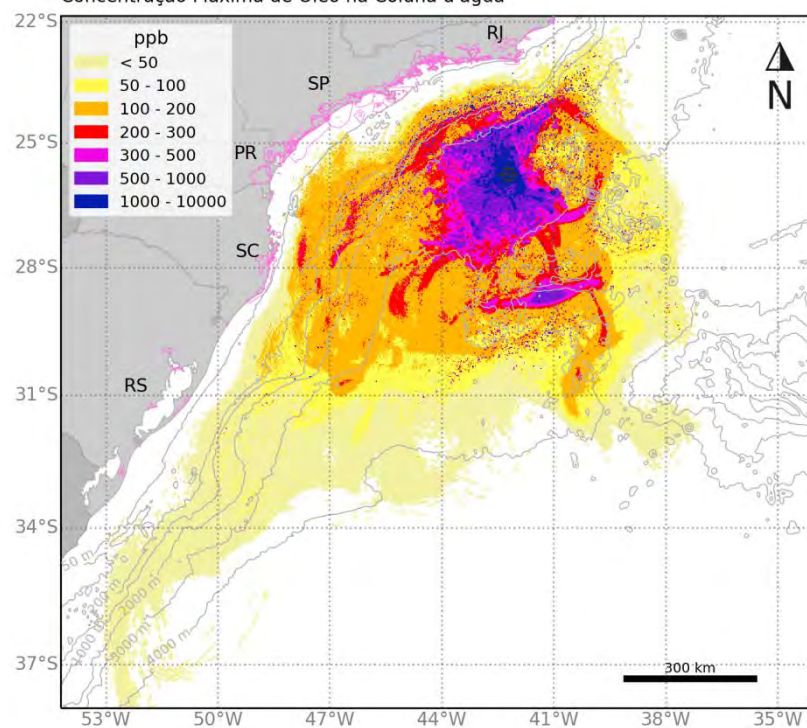


Figura 32: Mapa de concentração máxima de óleo na coluna d'água e perfil vertical em longitude para o vazamento de pior caso (891.919 m³) no Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

PAU-BRASIL | 891.919 m³ | Período 2

Probabilidade de Presença de Óleo no Fundo Marinho

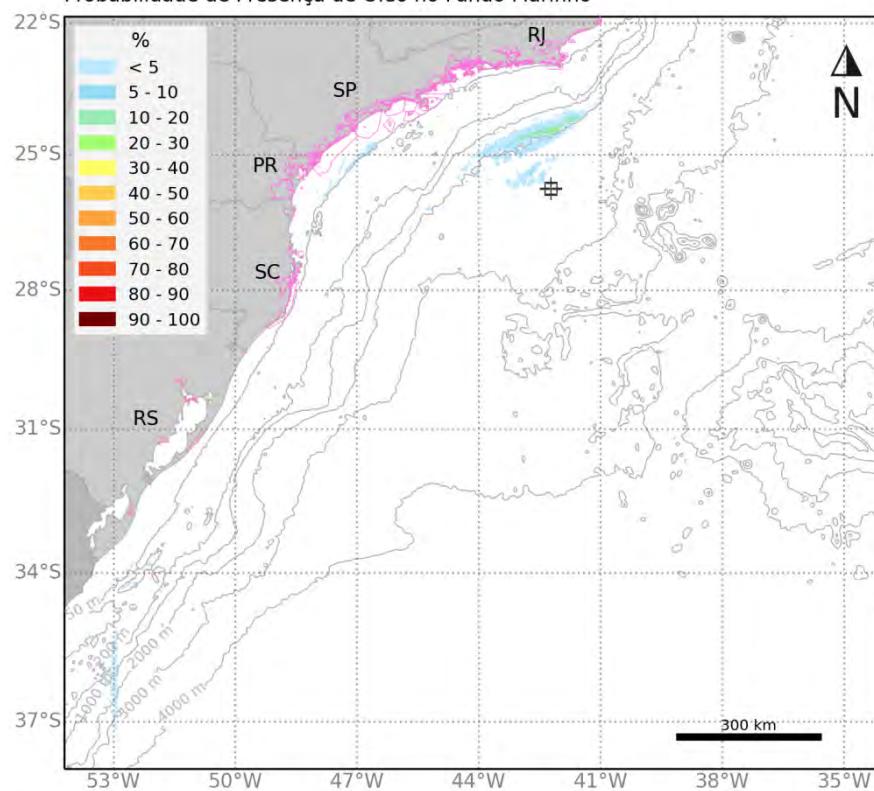


Figura 33: Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho para o vazamento de pior caso (891.919 m³) no Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

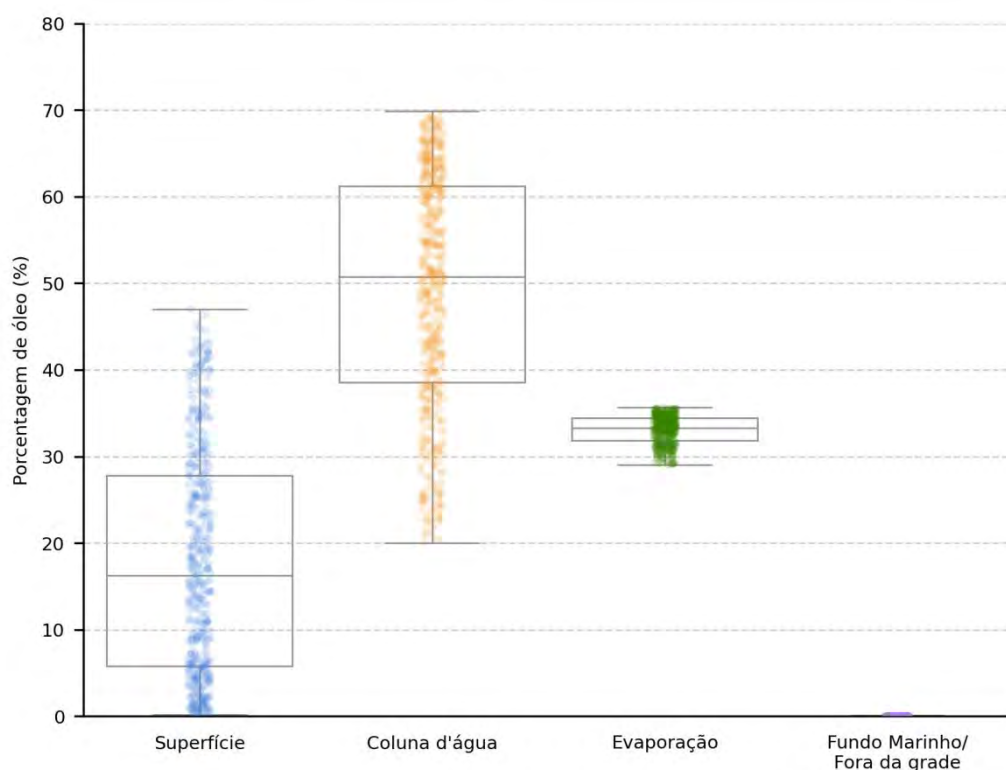


Figura 34: Balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de pior caso (891.919 m³) no Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

Tabela 14: Tabela de balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de pior caso (891.919 m³) no Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

	Superfície	Coluna d'água	Evaporação	Fundo Marinho/ Fora da grade
Mínimo	0,2	20,1	29	-
Primeiro Quartil	5,8	38,5	31,8	-
Mediana	16,2	50,8	33,3	-
Terceiro Quartil	27,8	61,2	34,4	< 0,05
Máximo	47	69,9	35,6	0,1

5.1.3.3 Tabelas Comparativas

A seguir são apresentados os resultados de óleo nos municípios (Tabela 15) e unidades de conservação (Tabela 16) para os vazamentos de pior caso (891.919 m³) em ambos os cenários sazonais.

Tabela 15: Probabilidade de presença, tempo mínimo de chegada, massa máxima e extensão de óleo nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um vazamento de pior caso (891.919 m³), nos cenários de Período 1 e Período 2.

UF	Município	Probabilidade (%)		Tempo Mínimo (dias)		Massa Máxima (t/km)		Extensão (Km)	
		Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
		1	2	1	2	1	2	1	2
SP	ITANHAÉM	-	0,6	-	49,5	-	-	-	-
	PORTO BELO	0,2	-	44,2	-	11,8	-	2,8	-
	BOMBINHAS	1,8	-	36,4	-	11,9	-	14,1	-
	FLORIANÓPOLIS	3,6	-	31,8	-	23,8	-	53,7	-
	PALHOÇA	1,4	-	30,8	-	24	-	8,5	-
SC	PAULO LOPES	3,4	-	30,8	-	35,8	-	14,1	-
	GAROPABA	1	-	35,1	-	12	-	14,1	-
	IMBITUBA	4	-	35,5	-	23,6	-	31,1	-
	LAGUNA	1,2	-	33,5	-	21,4	-	22,6	-
	JAGUARUNA	0,2	-	46,4	-	11,5	-	5,7	-
	BALNEÁRIO ARROIO DO SILVA	0,6	-	44	-	-	-	-	-
	BALNEÁRIO GAIVOTA	0,4	-	45,2	-	11,8	-	5,7	-
	TORRES	0,2	-	58,9	-	7	-	2,8	-
	BALNEÁRIO PINHAL	0,2	-	49,1	-	-	-	-	-
	MOSTARDAS	0,6	-	37,8	-	11,7	-	53,7	-
RS	PALMARES DO SUL	0,4	-	40,2	-	11,6	-	2,8	-
	TAVARES	0,4	-	57,2	-	14,3	-	25,5	-
	SÃO JOSÉ DO NORTE	0,4	-	58,9	-	9,7	-	39,6	-

Os valores em cinza foram retirados dos resultados em superfície e na coluna d'água para os municípios que não apresentaram massa acumulada na costa acima do limiar monitorado. Estes resultados foram obtidos a uma distância de menos de 2 km (um ponto de grade) da costa. Como os valores apresentados são da superfície e da coluna d'água, não são apresentados valores de massa acumulada na costa e extensão.

Tabela 16: Probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nas Unidades de Conservação com possibilidade de serem atingidas em um vazamento de pior caso (891.919 m³), nos cenários de Período 1 e Período 2.

Unidades de Conservação	Probabilidade (%)		Tempo Mínimo (dias)	
	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
RESEX Marinha Arraial do Cabo	-	0,2	-	56
APA Marinha do Litoral Centro	-	0,8	-	48,8
ARIE Ilhas Queimada Grande e Queimada Pequena	-	0,2	-	49,6
APA Marinha do Litoral Sul	-	0,2	-	59,6
PNM Costeira de Zimbros	0,2	-	44	-
REBIO Marinha do Arvoredo	2,6	-	31,3	-
AT Dunas dos Ingleses	0,4	-	39,4	-
PNM Lagoa do Jacaré das Dunas do Santinho	0,6	-	39,4	-
AT Dunas do Santinho	0,6	-	39,5	-
RPPN Morro das Aranhas	0,4	-	48,1	-
PE do Rio Vermelho	0,4	-	48,1	-
PNM da Galheta	0,4	-	43,8	-
MN da Galheta	0,4	-	43,8	-
PNM das Dunas da Lagoa da Conceição	0,6	-	50,6	-
PNM da Lagoinha do Leste	1,4	-	33,2	-
APA da Baleia Franca	6,2	-	28,9	-
PE DA SERRA DO TABULEIRO	3,4	-	30,7	-
APA do Entorno Costeiro	1,4	-	30,7	-
REBIO Praia do Rosa	0,6	-	50,9	-
RVS Ilha dos Lobos	0,2	-	58,9	-
PARNA da Lagoa do Peixe	0,4	-	56,6	-

Os valores em cinza são dos resultados de superfície e da coluna d'água que foram observados a uma distância de menos de 2 km (um ponto de grade) da UC.

5.1.4 Resumo dos Resultados Probabilísticos

A seguir é apresentado o resumo das simulações probabilísticas, com o menor tempo de chegada de óleo na costa, porcentagem de simulações que apresentaram toque e extensão na costa para os cenários que tiveram probabilidade de toque de óleo na costa. Para os cenários que não apresentaram probabilidade de toque na costa serão apresentadas a menor distância da costa em quilômetros, qual a localidade da menor distância, assim como a menor distância para a UC e qual a respectiva UC.

Tabela 17: Resumo dos Resultados Probabilísticos para o ponto de risco.

Cenário		COM Probabilidade de Chegada na Costa			SEM Probabilidade de Chegada na Costa		
		Tempo mínimo para atingir a costa (dias)	Porcentagem de simulações com toque de óleo (%)	Extensão total de toque na costa (km)	Menor distância em relação à costa		Menor distância em relação às UCs
					Distância (km)	Localidade	
8 m ³	Período 1	-	-	-	223	RIO DE JANEIRO - RJ	RESEX Marinha Arraial do Cabo
	Período 2	-	-	-	195	RIO DE JANEIRO - RJ	MN das Ilhas Cagaras
200 m ³	Período 1	-	-	-	116	RIO DE JANEIRO - RJ	APA Marinha do Litoral Norte
	Período 2	-	-	-	122	ARRAIAL DO CABO - RJ	RESEX Marinha Arraial do Cabo
891.919 m ³	Período 1	30,8	9,8	271,5	-	-	-
	Período 2	-	-	-	0,2	ITANHAÉM - SP	-

O cenário que apresentou o menor tempo de chegada de óleo na costa foi o de pior caso (891.919 m³) Período 1, de 30,8 dias. Em relação à porcentagem de simulações com toque de óleo, o valor foi de 9,8% neste único cenário com probabilidade de toque de óleo na costa. Para os cenários em que não houve toque de óleo na costa a menor distância até a costa foi de 0,2 km relativa ao município de Itanhaém – SP no cenário de pior caso Período 2, e a menor distância até a alguma UC foi de 109 km relativo à RESEX Marinha Arraial do Cabo no cenário de 200 m³ Período 2.

5.2. Resultados Determinísticos

Com base nos resultados obtidos nas simulações probabilísticas, foram identificadas as condições críticas para o cenário de vazamento de 891.919 m³ na região do Bloco Pau-Brasil, na Bacia de Santos.

A situação de **menor tempo** de chegada de óleo na costa e a de **maior massa** acumulada (em toneladas) ao longo da costa ocorreram no Período 1. Na Tabela 18 são apresentadas as informações dessas condições críticas selecionadas.

Tabela 18: Informações das simulações determinísticas críticas consideradas para o vazamento de pior caso.

Simulação	Data da simulação (GMT)	Primeira localidade de toque	Tempo de toque na costa (dias)	Massa final de óleo na costa (t)
Tempo mínimo de toque de óleo na costa	24/11/2013 às 1 h	Palhoça-SC e Paulo Lopes-SC	30,8	34
Maior massa (em toneladas) de óleo acumulada ao longo de toda costa	05/11/2013 às 5 h	Florianópolis-SC	47,9	333

5.2.1 Menor tempo de chegada de óleo à costa

A seguir são apresentadas informações relacionadas aos ventos e correntes do período simulado que se estendeu de 24/11/2013 às 1 h até 23/01/2014 às 1h. Os valores estão relacionados ao ponto de grade mais próximo do local do vazamento.

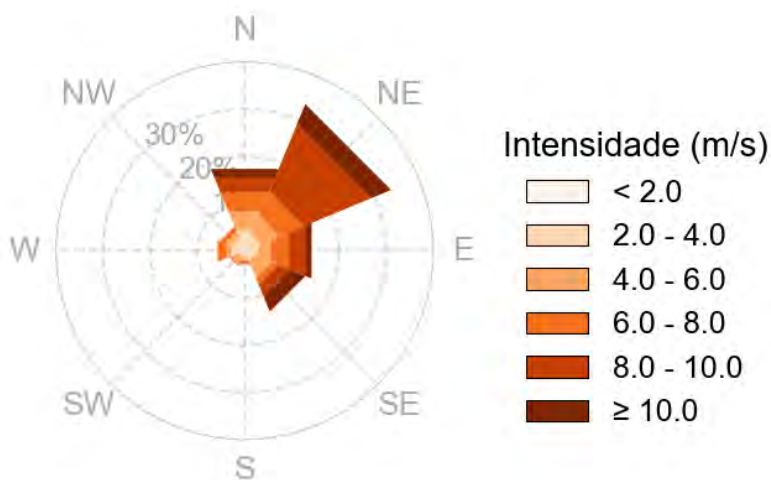


Figura 35: Rosa dos ventos para o período de simulação da situação de menor tempo de toque na costa.

Tabela 19: Ocorrência conjunta entre direção e intensidade dos ventos para o ponto mais próximo do local do vazamento para o período da condição de menor tempo de toque na costa.

Direção ->	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Freq (%)
Intensidade (m/s)									
< 2,0	10	15	12	8	8	7	15	12	6
2,0 - 4,0	58	38	32	27	12	14	31	30	16,8
4,0 - 6,0	61	62	43	56	14	26	14	23	20,7
6,0 - 8,0	63	81	59	21	7	4	28	15	19,3
8,0 - 10,0	50	222	57	39	4	-	1	-	25,9
≥ 10,0	28	66	18	50	-	-	-	-	11,2
Freq (%)	18,7	33,6	15,3	13,9	3,1	3,5	6,2	5,6	-

Tabela 20: Estatística do vento para o período da condição de menor tempo de toque na costa.

Direção média (°)	Direção de maiores intensidades (°)	Velocidade média (m/s)	Velocidade mínima (m/s)	Velocidade máxima (m/s)	Desvio Padrão(m/s)
51	139	6,5	0,3	12,5	2,8



Figura 36: Rosa de corrente para o período de simulação da situação de menor tempo de toque na costa.

Tabela 21: Ocorrência conjunta entre direção e intensidade de corrente para o ponto mais próximo do local do vazamento para o período da condição de menor tempo de toque na costa.

Direção ->	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Freq (%)
Intensidade (m/s)									
< 0,1	12	15	18	15	26	25	31	11	21,2
0,1 - 0,2	8	10	19	46	67	77	35	12	38,1
0,2 - 0,3	4	4	17	34	42	67	14	8	26,4
0,3 - 0,4	2	2	9	44	12	14	2	5	12,5
≥ 0,4	-	-	-	8	-	2	3	-	1,8
Freq (%)	3,6	4,3	8,8	20,4	20,4	25,7	11,8	5	-

Tabela 22: Estatística de corrente para o período da condição de menor tempo de toque na costa.

Direção média (°)	Direção de maiores intensidades (°)	Velocidade média (m/s)	Velocidade mínima (m/s)	Velocidade máxima (m/s)	Desvio Padrão(m/s)
180	255	0,2	0	0,5	0,1

Pelos dados de vento no período da simulação nota-se a predominância de ventos de nordeste (33,6%) e intensidades entre 8 e 10 m/s (26%). As informações de correntes mostram grande

variação direcional, com predominância do 2° e 3° quadrante (SW: 25,7%; S: 20,4%; e SE: 20,4%), com velocidades predominantes baixas, entre 0,1 e 0,2 m/s (38%).

A seguir, é apresentada a deriva do óleo em superfície e na coluna d'água, além da área varrida pela mancha de óleo durante toda a simulação. O resultado na coluna d'água representa a integração dos valores de concentração de óleo ao longo da longitude, isto é, apresentado o maior valor de concentração em cada ponto de grade relativo à longitude e a profundidade.

MODO DETERMINÍSTICO

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 24-11-2013 13h

Vento 5.0 m/s →

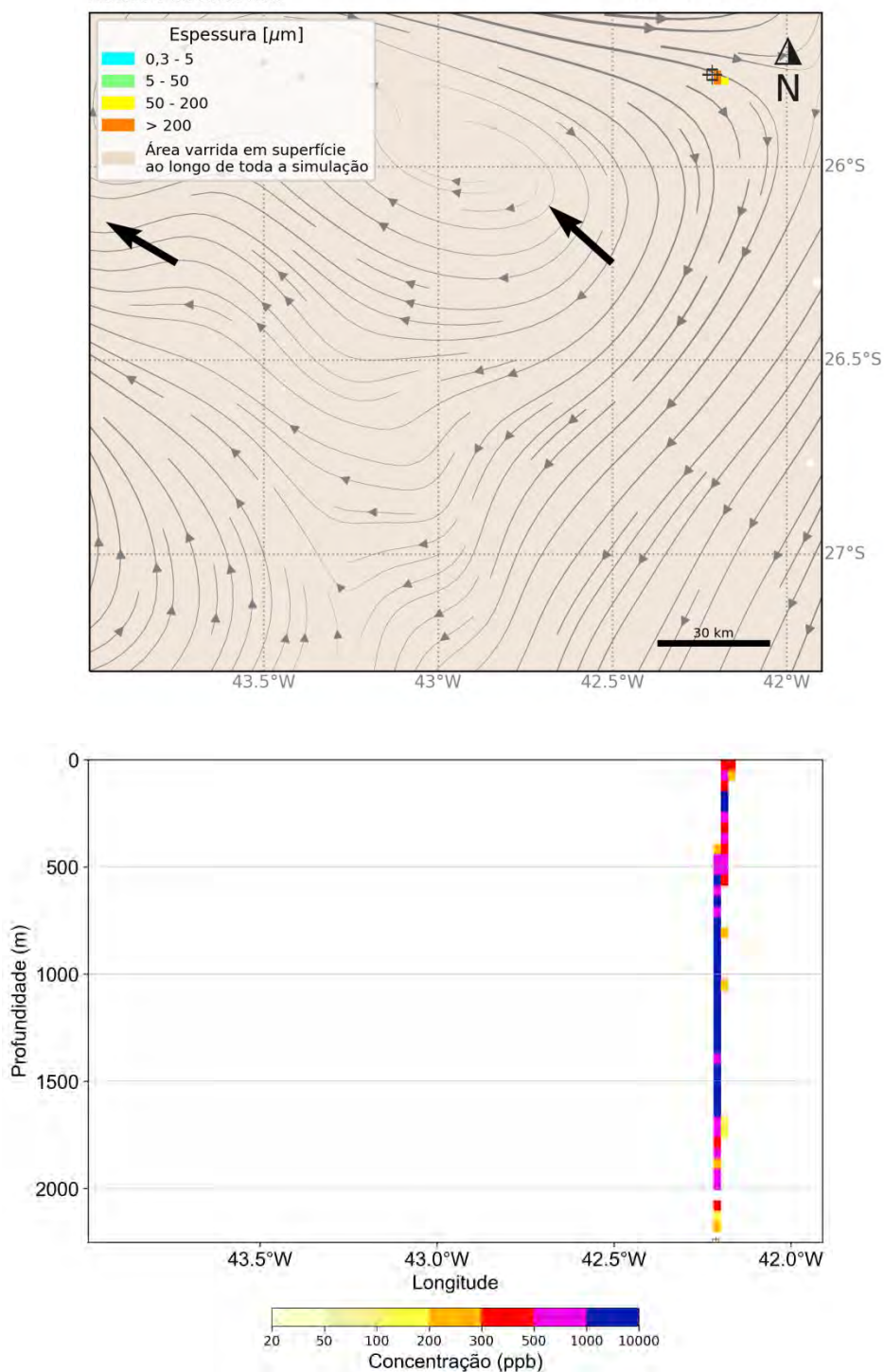


Figura 37: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 12 h do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

MODO DETERMINÍSTICO

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 25-11-2013 13h

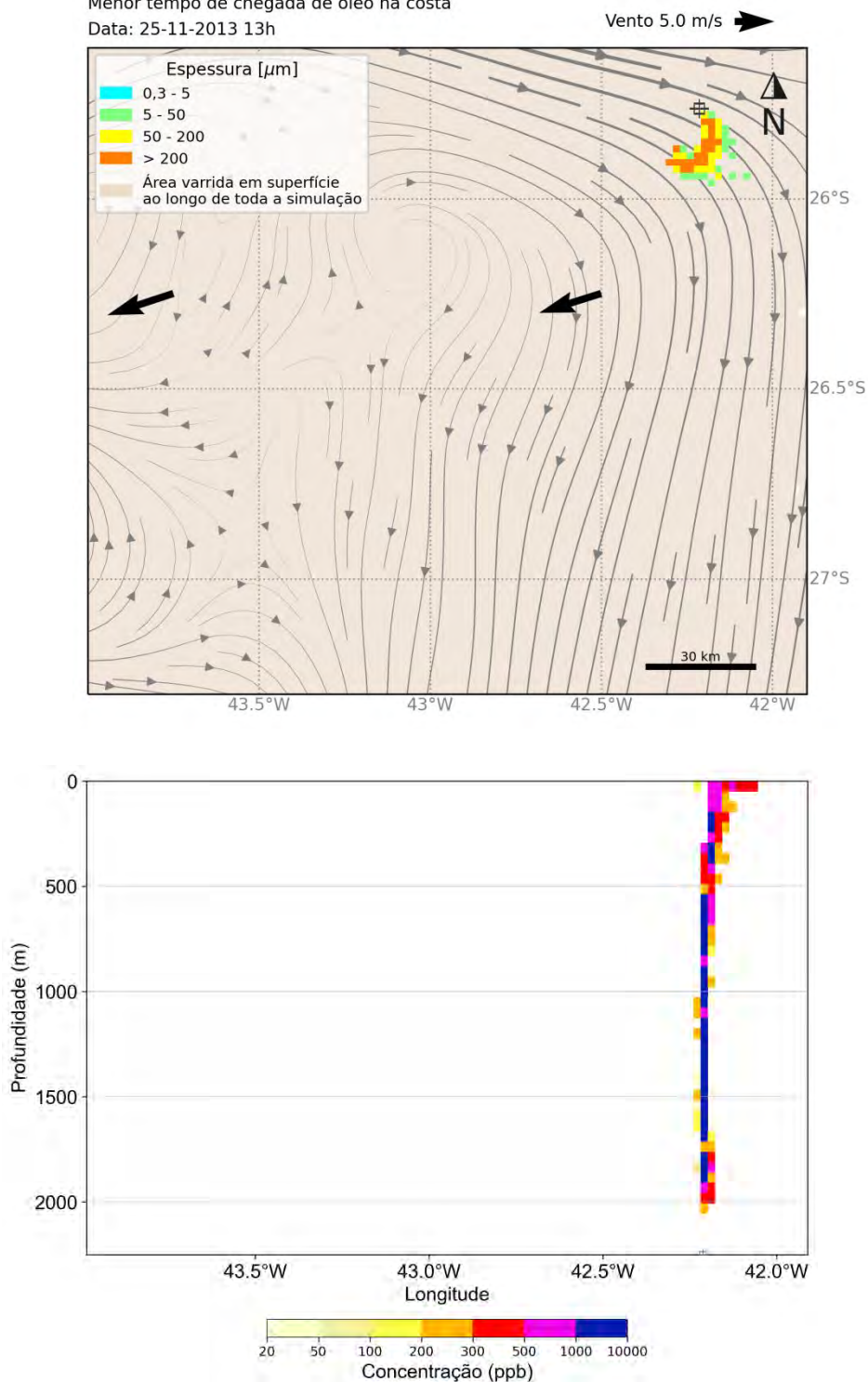


Figura 38: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 36 h do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

MODO DETERMINÍSTICO

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 26-11-2013 13h

Vento 5.0 m/s →

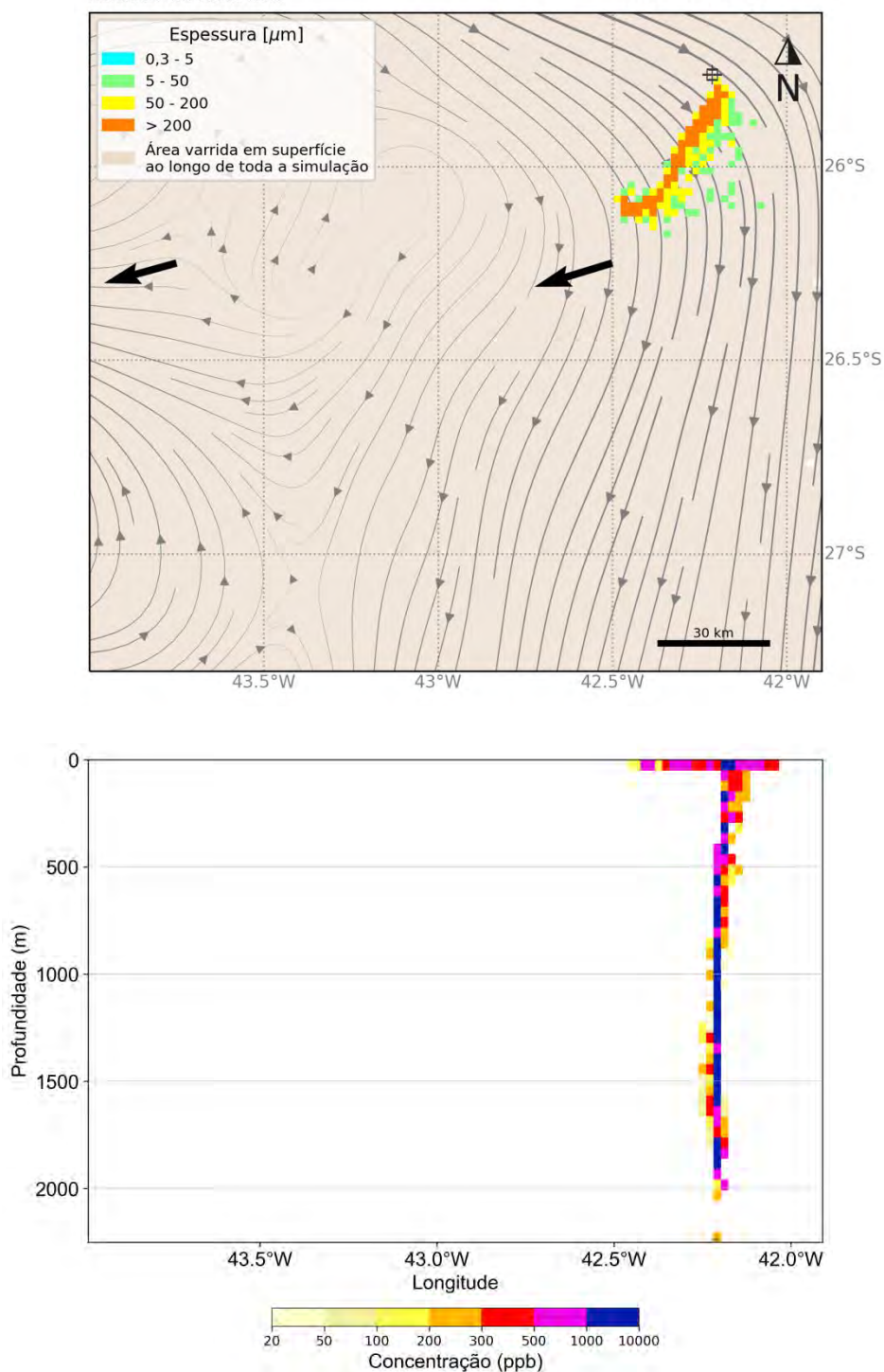


Figura 39: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 60 h do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

MODO DETERMINÍSTICO

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 01-12-2013 01h

Vento 5.0 m/s →

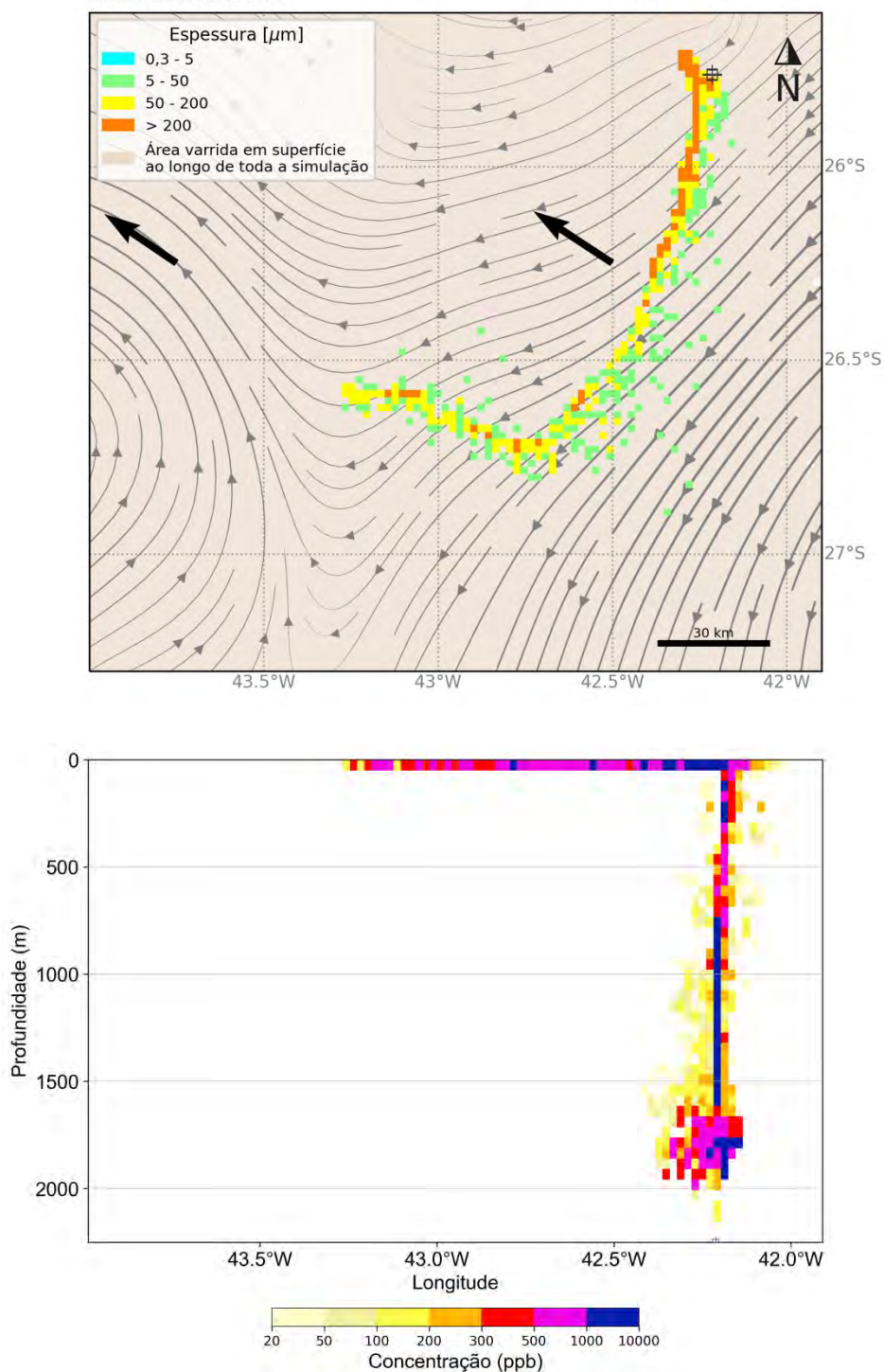


Figura 40: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 168 h (1 semana) do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

MODO DETERMINÍSTICO

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 08-12-2013 01h

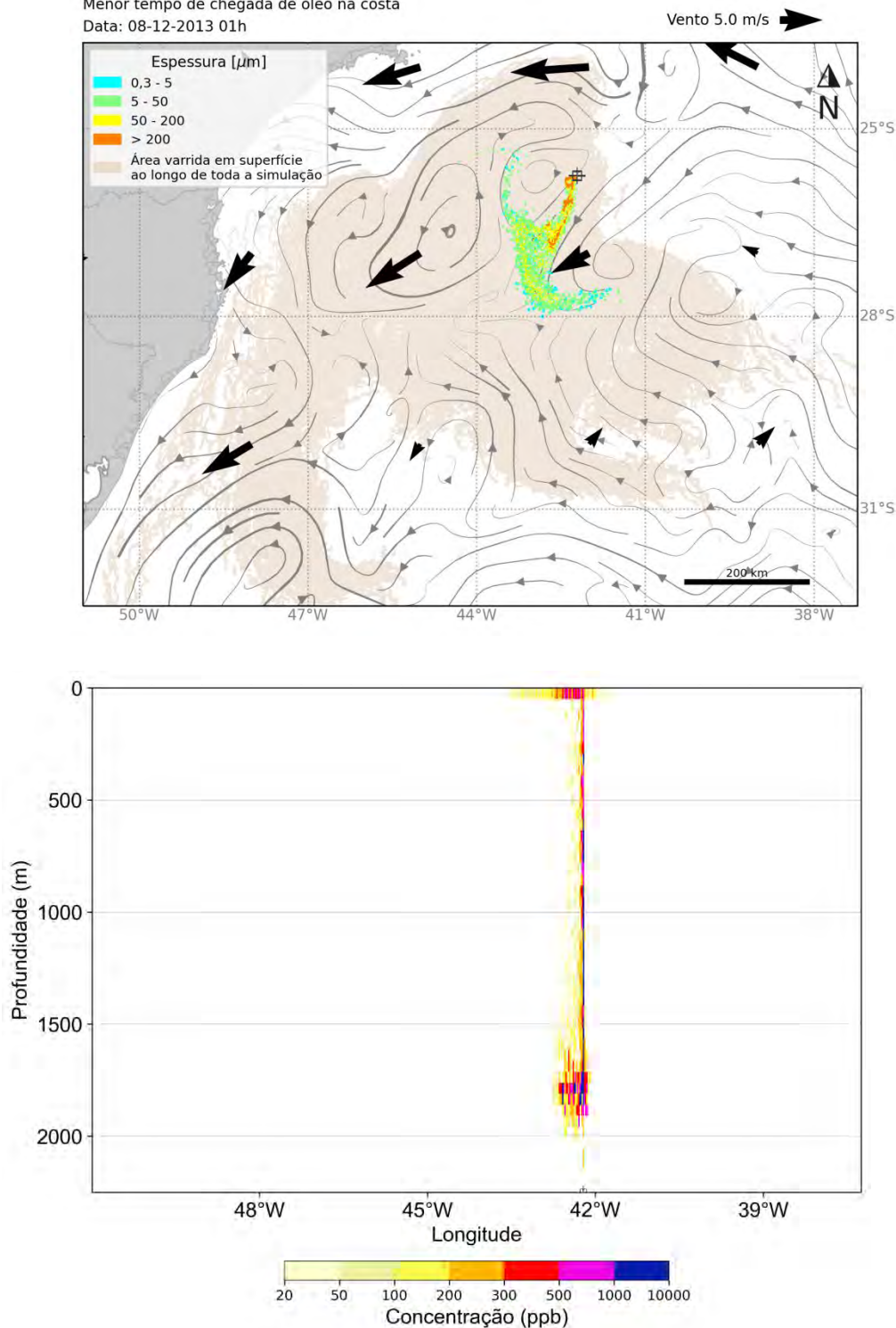


Figura 41: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 336 h (2 semanas) do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

MODO DETERMINÍSTICO

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 15-12-2013 01h

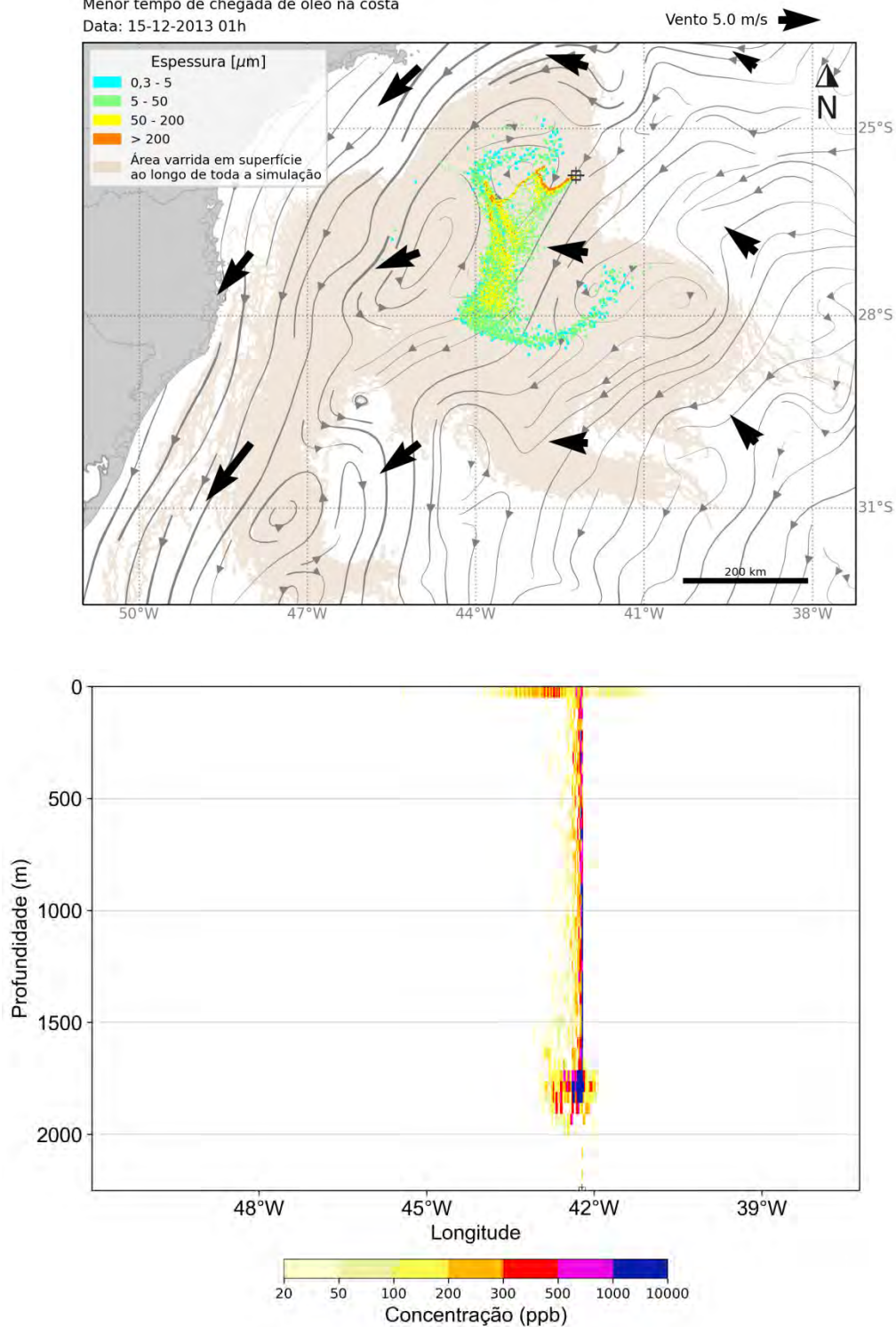


Figura 42: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 504 h (3 semanas) do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

MODO DETERMINÍSTICO

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 24-12-2013 01h

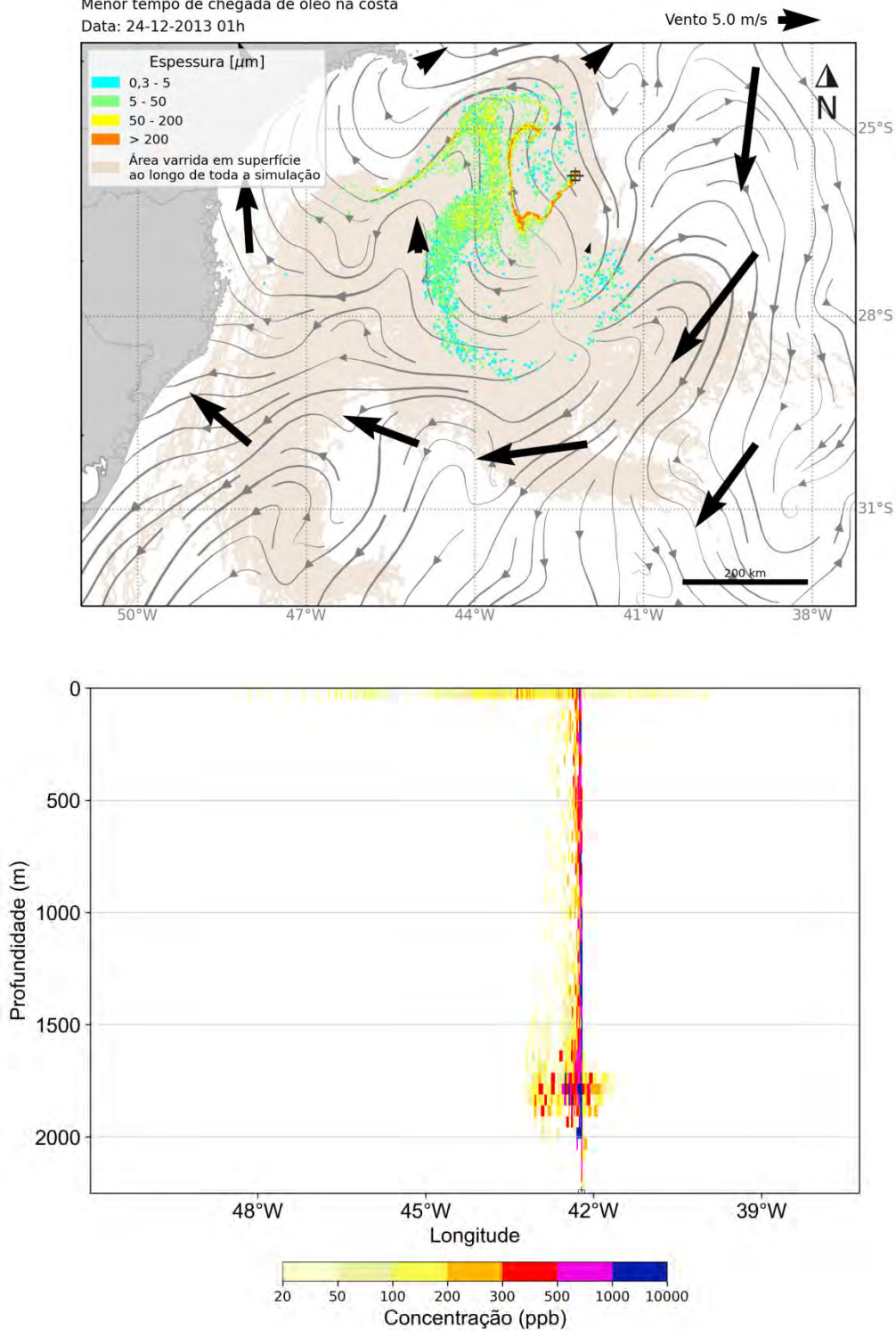


Figura 43: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 720 h (30 dias) do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

MODO DETERMINÍSTICO

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 25-12-2013 19h

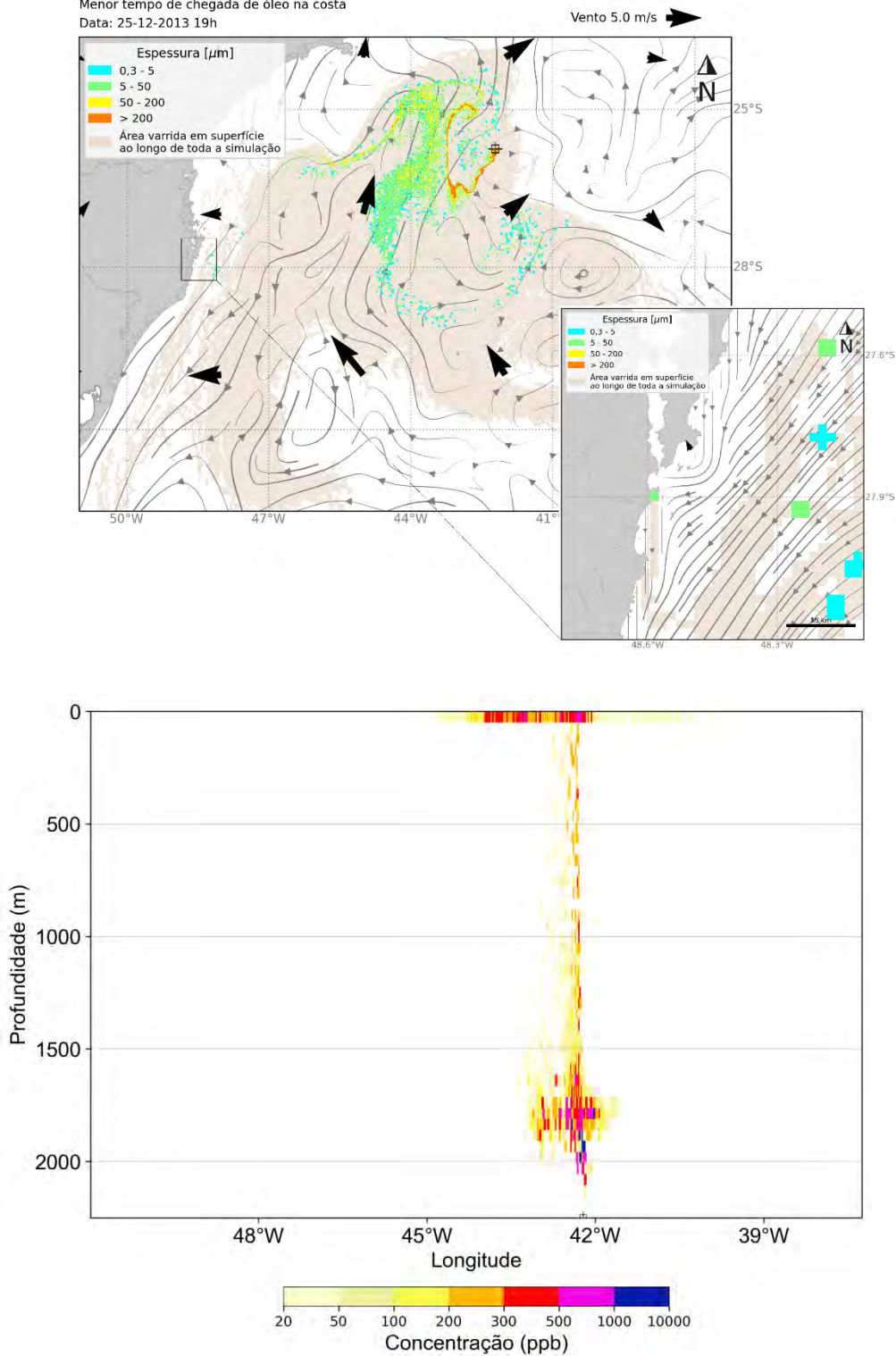


Figura 44: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 738 h (30,8 dias – primeiro toque na costa) do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

MODO DETERMINÍSTICO

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 08-01-2014 01h

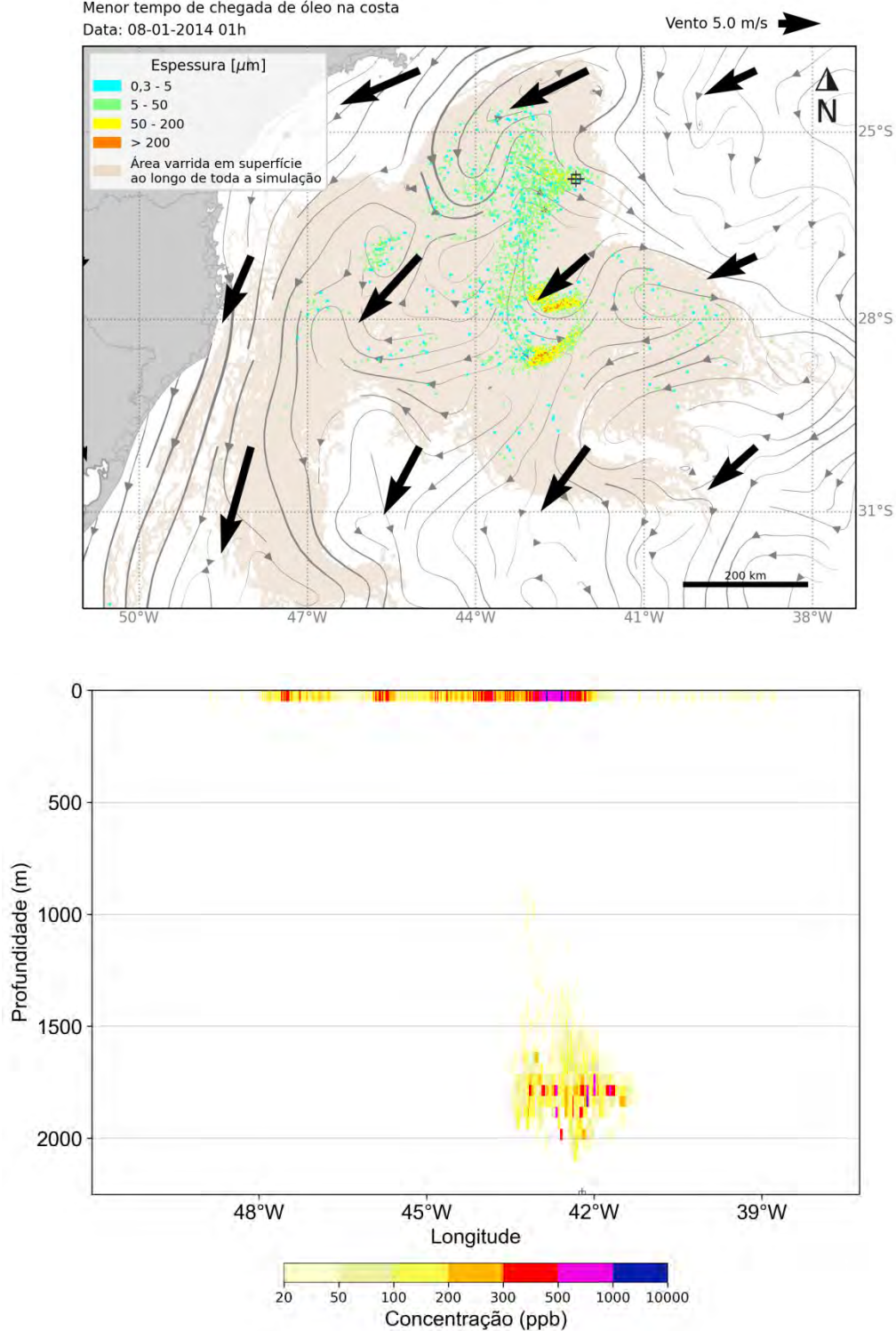


Figura 45: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 1080h (45 dias) do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

MODO DETERMINÍSTICO

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 23-01-2014 01h

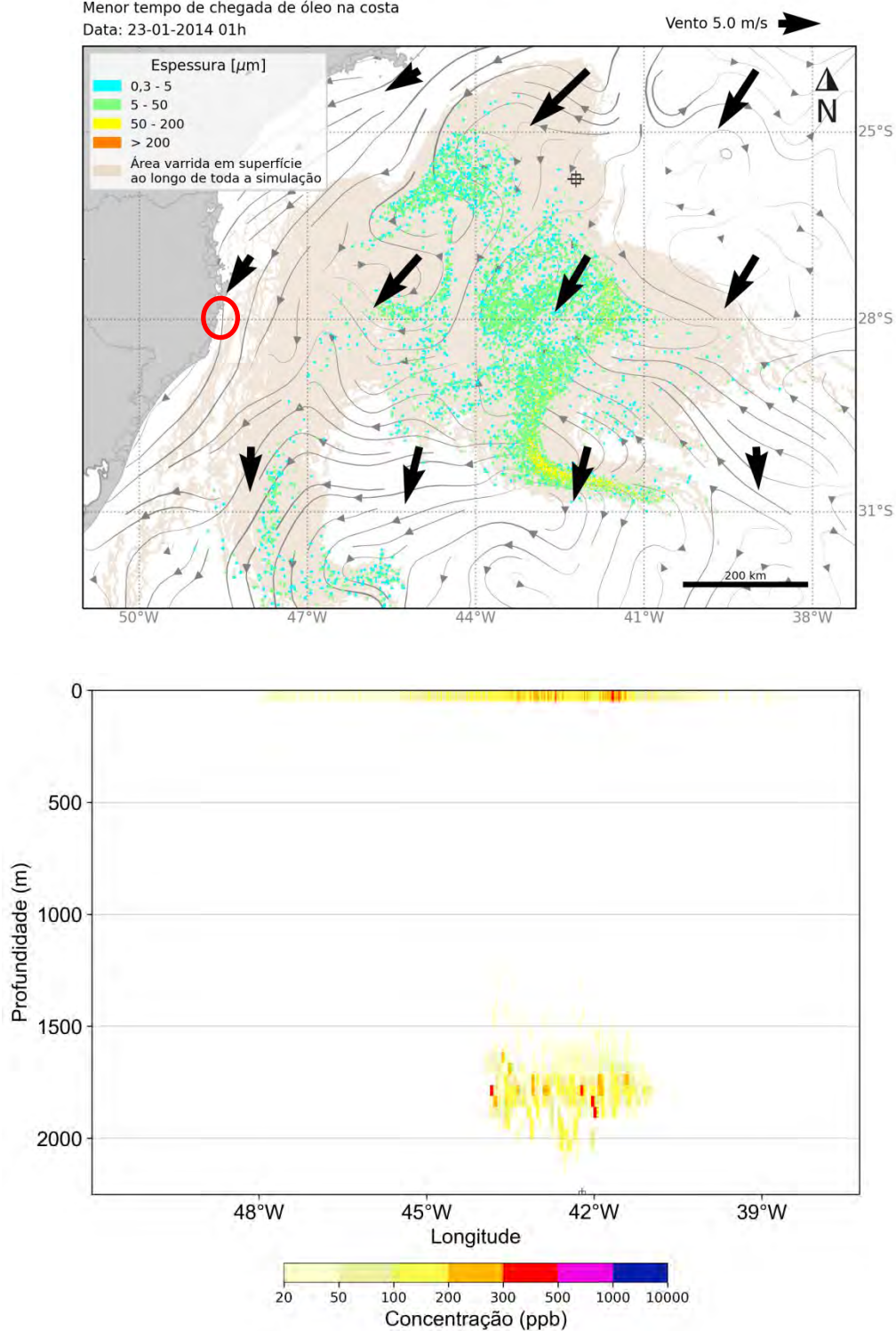


Figura 46: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 1440h (60 dias) do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

A deriva do óleo ocorre para sudoeste nas primeiras 72 horas, e em seguida segue para sul. A partir de 10 dias, observa-se um maior espalhamento do óleo em superfície, ocorrendo divisões de direções de deriva. Parte do óleo segue para leste e depois deriva para norte, parte continua para SW, parte para SE. O óleo chega à costa em 30,8 dias na divisa entre os municípios de Palhoça-SC e Paulo Lopes-SC. Ao final da simulação, há óleo em superfície com espessura de 0,3 a 200 μm até latitude de 32,5°S e menos de 0,05% do óleo se encontra na costa.

Em relação à coluna d'água, concentrações acima de 1000 ppb são observadas ao longo de toda a coluna d'água como uma coluna vertical, desde o fundo até a superfície nos primeiros 30 dias. O principal espalhamento horizontal ocorre nas camadas mais superficiais. No entanto abaixo de 1500 metros também se observa um espalhamento horizontal, mais próximo ao local do vazamento. Após o término do vazamento, observa-se concentrações de óleo acima de 20 ppb nestas duas regiões de espalhamento horizontal. Ao final de 60 dias de simulação as concentrações observadas são inferiores a 500 ppb, com predominância de valores menores que 100 ppb.

Neste cenário não se observa óleo associado ao fundo marinho com concentrações acima do valor limiar de 1g de óleo/ m^2 ⁵.

A seguir, é apresentada a evolução temporal do balanço de massa do óleo e a evolução da área e a massa de óleo durante a simulação.

⁵ Valor baseado em Long et al. (1995) considerando uma espessura de contaminação de 10 cm, densidade de sedimentos de 2,6 g/ cm^3 .

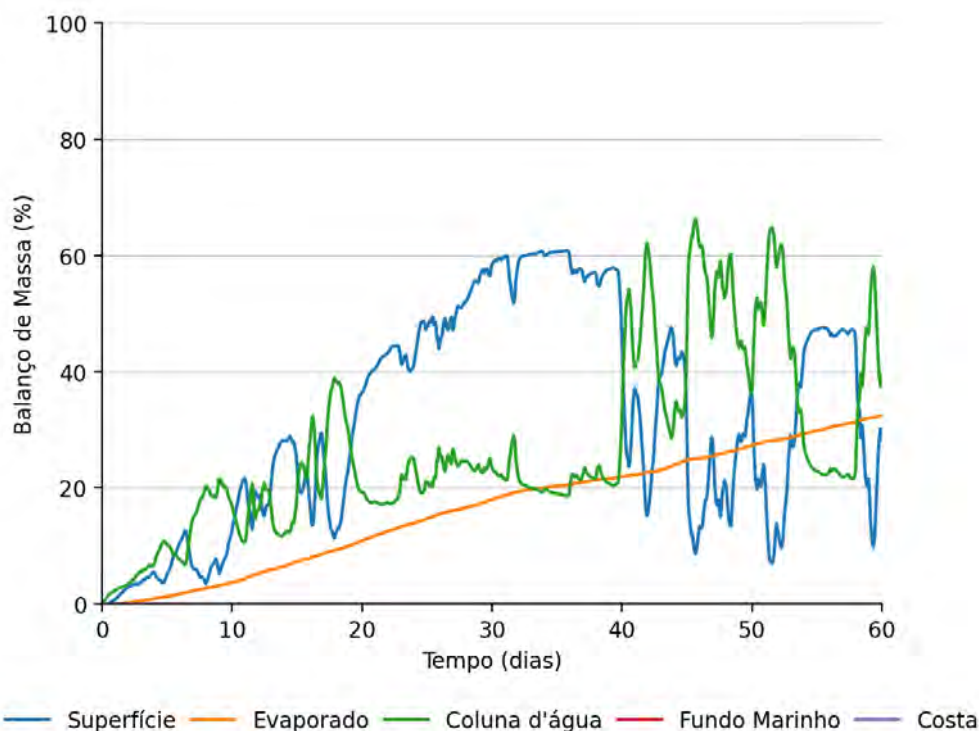


Figura 47: Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condição crítica de menor tempo de chegada.

Tabela 23: Balanço de massa do óleo durante a simulação em valores percentuais em condição crítica de menor tempo de chegada.

Tempo (horas)	Superfície		Evaporado		Coluna d'água		Fundo Marinho		Costa	
	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)
12	0,1	879,7	< 0,05	45,1	1,6	12690	-	-	-	-
36	1,9	15720	0,2	1253	2,9	23880	-	-	-	-
60	3,5	28700	0,4	3505	4,4	35890	-	-	-	-
168	6,2	50320	2,3	18790	14,9	121500	-	-	-	-
336	28,1	229700	6,5	53200	12	98450	-	-	-	-
504	40,5	331200	11,8	96650	17,6	144100	-	-	-	-
720	58,4	477600	18	147300	23,5	192200	-	-	-	-
738	53	433300	19,2	157200	27,7	226600	-	-	< 0,05	34
1080	27,5	224400	24,8	202600	47,7	390100	-	-	< 0,05	34
1440	28,4	231800	32,4	264600	39,2	320700	-	-	< 0,05	34

É observado que grande parte do óleo ao final da simulação ficou na coluna d'água (39%). A evaporação foi um processo de intemperismo significativo, responsável pela retirada de parte do óleo que chegou a superfície, 32,4% do total de óleo vazado. O óleo remanescente em superfície por

sua vez foi de 28,4%. Ao final de 60 dias uma porcentagem inferior a 0,05% ficou acumulada na costa, equivalente a 34 toneladas, e não houve acúmulo de óleo no fundo marinho.

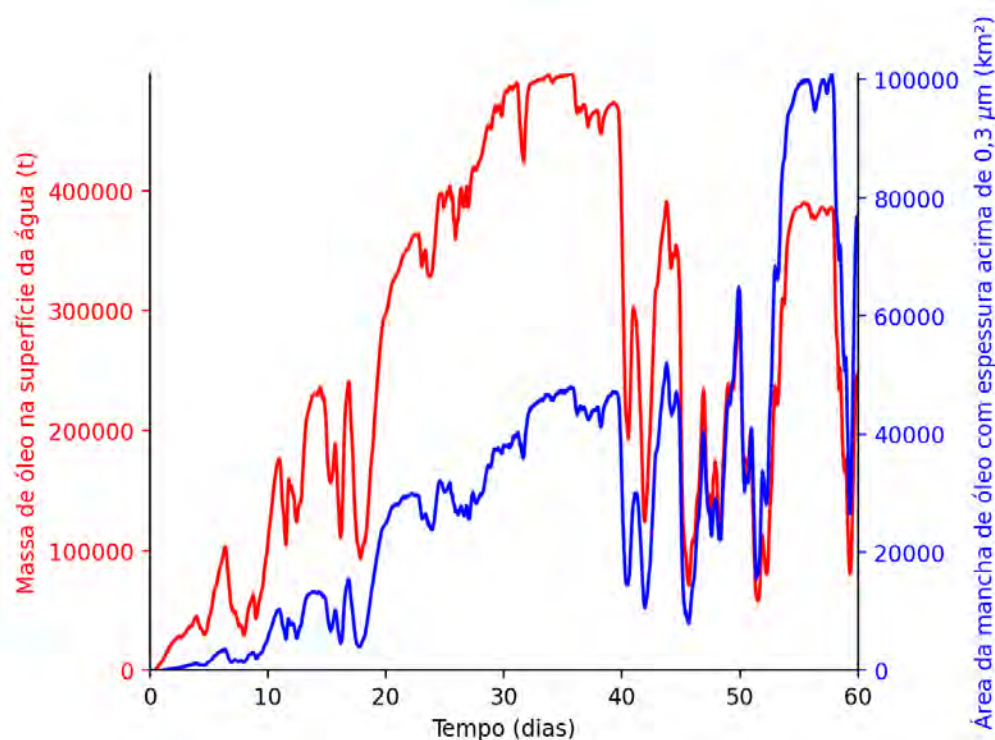


Figura 48: Área superficial da mancha de óleo e a massa de óleo na superfície do mar durante a simulação da trajetória em condição crítica de menor tempo de chegada.

Tabela 24: Área superficial, massa de óleo e espessura máxima da mancha de óleo durante a simulação em condição crítica de menor tempo de chegada.

Tempo (horas)	Área (km²)	Massa (t)	Espessura máxima (um)
12	12	880	417
36	220	15720	1270
60	540	28700	1033
168	1420	50320	2186
336	13200	229700	2442
504	28000	331200	1491
720	38100	477600	2256
738	37600	433300	2397
1080	29000	224400	435
1440	73200	231800	201

Os gráficos da massa e da área da mancha de óleo em superfície mostram um crescimento até os primeiros 35 dias. Após esse período, já findado o vazamento, os processos de intemperismo atuantes fazem com que o óleo e área em superfície decresçam. No entanto ao final da simulação observa um espalhamento maior do óleo remanescente em superfície.

A espessura do óleo em superfície se mantém alta quando ainda ocorre o vazamento, nos primeiros 30 dias. Após o término até o final da simulação observa-se uma diminuição para valores de 200 μm .

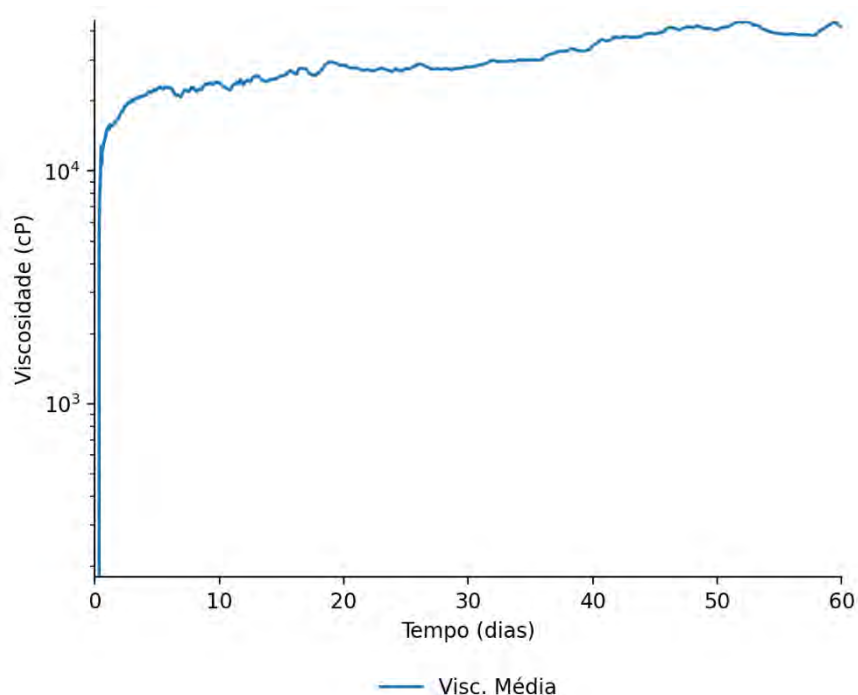


Figura 49: Viscosidade média do óleo durante a simulação em condição crítica de menor tempo.

Tabela 25: Tabela de viscosidade média do óleo durante a simulação em condição crítica de menor tempo de chegada.

Tempo (horas)	Visc. Média (cP)
12	12760
36	15960
60	19080
72	20330
168	21360
336	24600
720	27980
762	29720
1080	38870
1440	41850

A viscosidade média apresentou um aumento rápido nos primeiros dias e em seguida uma curva de crescimento mais lenta até o final da simulação.

5.2.2 Maior massa acumulada na costa

A seguir são apresentadas informações relacionadas aos ventos e correntes do período simulado que se estendeu de 05/11/2013 às 5 h até 04/01/2014 às 5h. Os valores estão relacionados ao ponto de grade mais próximo do local do vazamento.

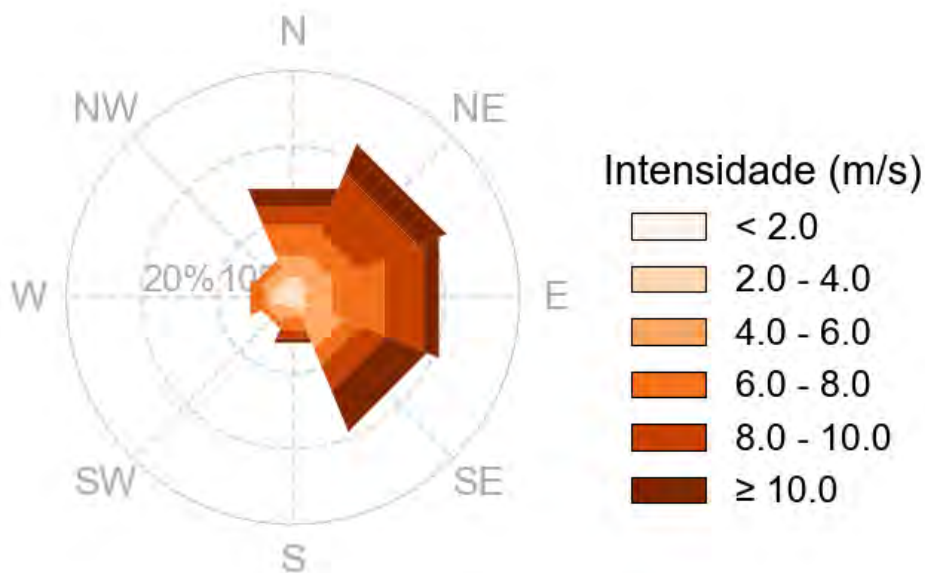


Figura 50: Rosa dos ventos para o período de simulação da situação de maior massa de óleo acumulada na costa.

Tabela 26: Ocorrência conjunta entre direção e intensidade dos ventos para o ponto mais próximo do local do vazamento para o período da condição de maior massa de óleo acumulada na costa.

Direção ->	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Freq (%)
Intensidade (m/s)									
< 2.0	6	12	2	3	8	8	14	10	4,4
2.0 - 4.0	36	22	22	29	11	16	29	29	13,5
4.0 - 6.0	45	50	57	73	21	29	14	24	21,7
6.0 - 8.0	62	52	107	35	26	11	30	15	23,5
8.0 - 10.0	39	122	81	53	18	-	1	-	21,8
≥ 10.0	36	59	32	83	9	-	-	-	15,2
Freq (%)	15,5	22	20,9	19,2	6,5	4,4	6,1	5,4	-

Tabela 27: Estatística do vento para o período da condição de maior massa de óleo acumulada na costa.

Direção média (°)	Direção de maiores intensidades (°)	Velocidade média (m/s)	Velocidade mínima (m/s)	Velocidade máxima (m/s)	Desvio Padrão(m/s)
73	28	6,8	0,3	13,1	2,8

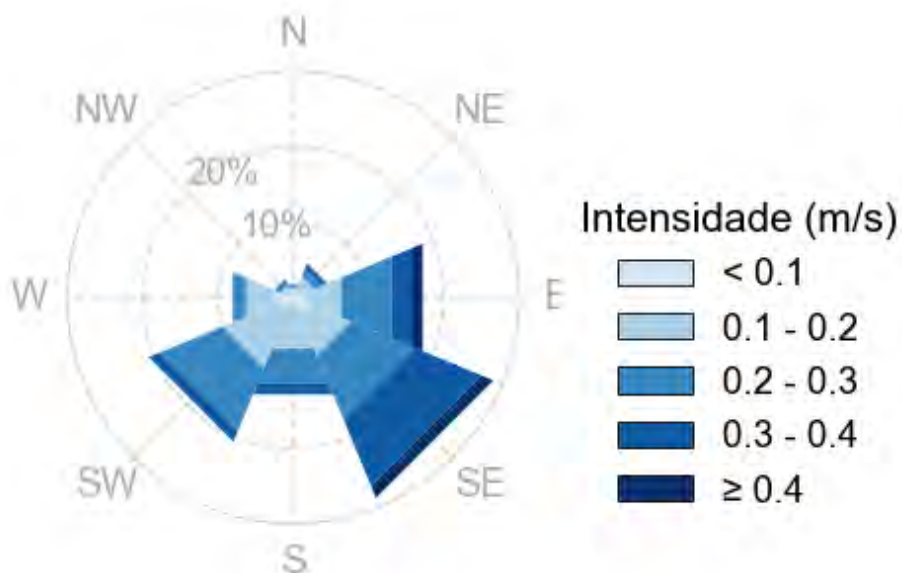


Figura 51: Rosa de corrente para o período de simulação da situação de maior massa de óleo acumulada na costa.

Tabela 28: Ocorrência conjunta entre direção e intensidade de corrente para o ponto mais próximo do local do vazamento para o período da condição de maior massa de óleo acumulada na costa.

Direção ->	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Freq (%)
Intensidade (m/s)									
< 0,1	5	7	15	18	7	12	20	3	12,1
0,1 - 0,2	6	15	35	42	46	61	29	10	33,9
0,2 - 0,3	3	8	52	66	36	65	12	4	34,2
0,3 - 0,4	-	4	21	69	11	11	1	2	16,5
≥ 0,4	-	1	11	12	-	-	-	-	3,3
Freq (%)	1,9	4,9	18,6	28,7	13,9	20,7	8,6	2,6	-

Tabela 29: Estatística de corrente para o período da condição de maior massa de óleo acumulada na costa.

Direção média (°)	Direção de maiores intensidades (°)	Velocidade média (m/s)	Velocidade mínima (m/s)	Velocidade máxima (m/s)	Desvio Padrão(m/s)
146	112	0,2	0	0,5	0,1

No período da simulação ocorre a predominância de ventos de nordeste (22%) e com intensidades entre 6 e 8 m/s (23,5%). As informações de correntes mostram que a direção das correntes é

principalmente para SE (34,2%), com contribuições significativas de correntes para E, SW e S. As velocidades predominantes são inferiores a 0,3 m/s (80%).

A seguir é apresentada a deriva do óleo em superfície e na coluna d'água, além da área varrida pela mancha de óleo durante toda a simulação. O resultado na coluna d'água representa a integração dos valores de concentração de óleo ao longo da longitude, isto é, é apresentado o maior valor de concentração em cada ponto de grade relativo à longitude e a profundidade.

MODO DETERMINÍSTICO

Maior massa de óleo acumulada na costa

Data: 05-11-2013 17h

Vento 5.0 m/s →

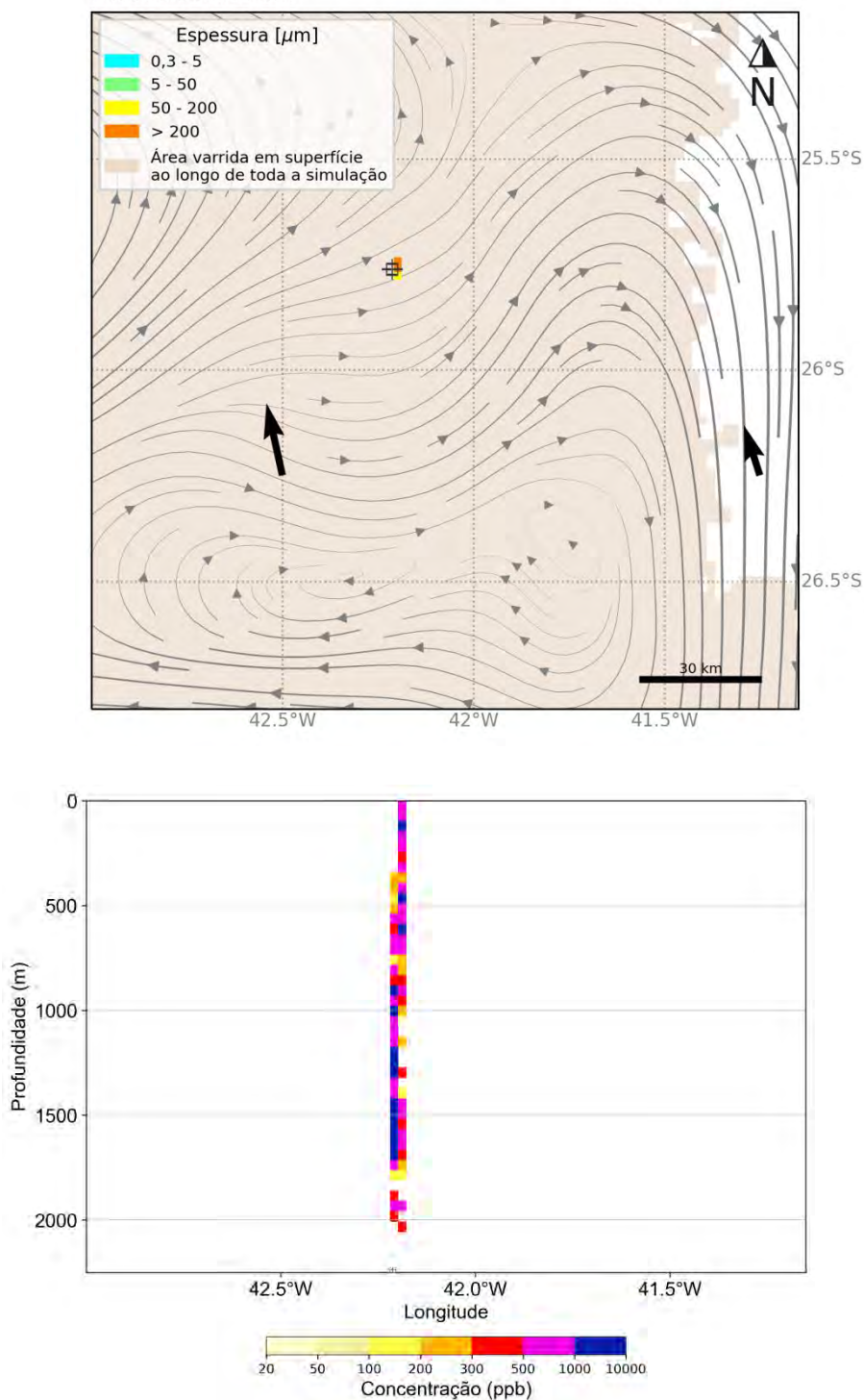


Figura 52: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 12 h do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

MODO DETERMINÍSTICO

Maior massa de óleo acumulada na costa

Data: 06-11-2013 17h

Vento 5.0 m/s ➔

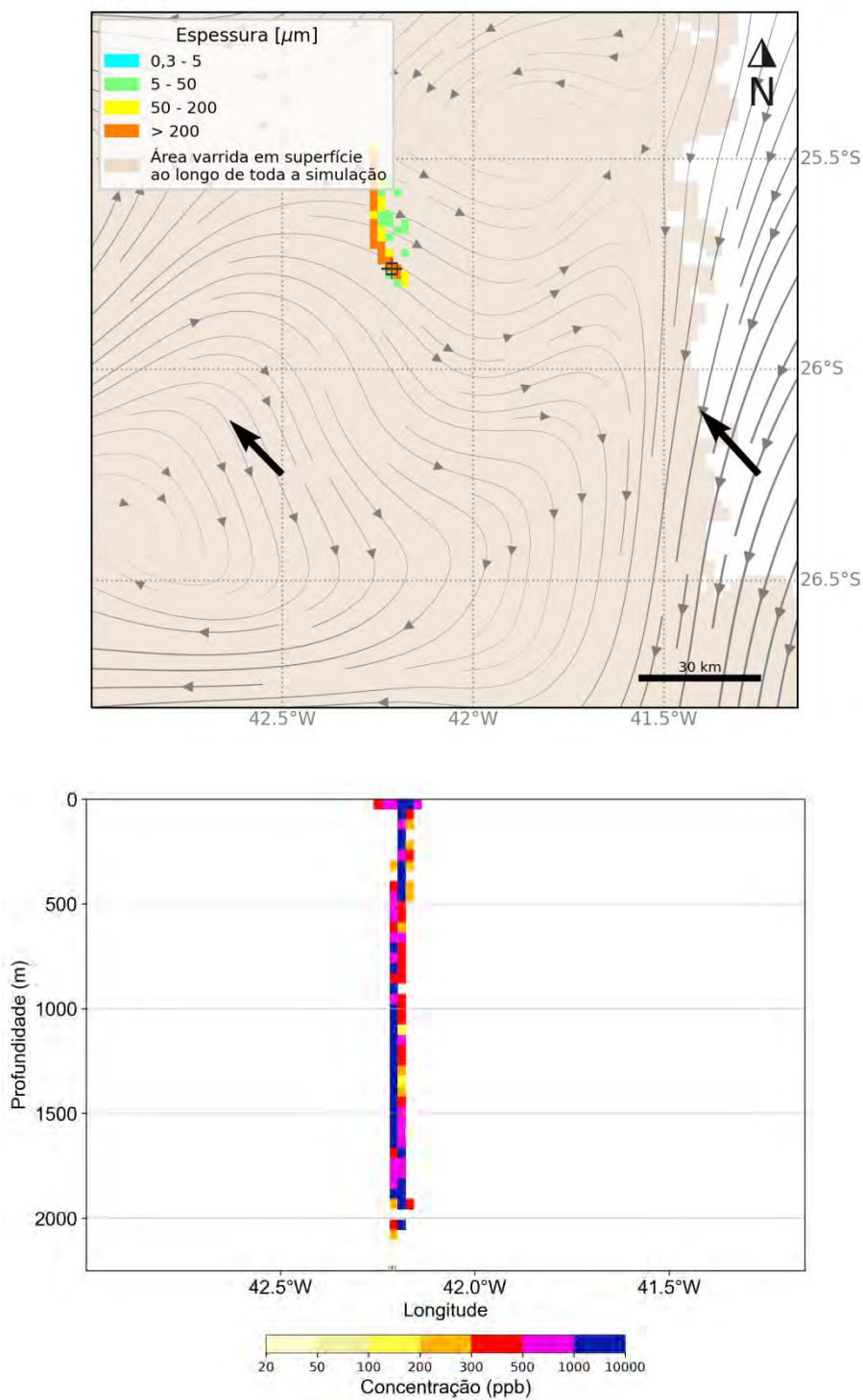


Figura 53: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 36 h do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

MODO DETERMINÍSTICO

Maior massa de óleo acumulada na costa

Data: 07-11-2013 17h

Vento 5.0 m/s ➔

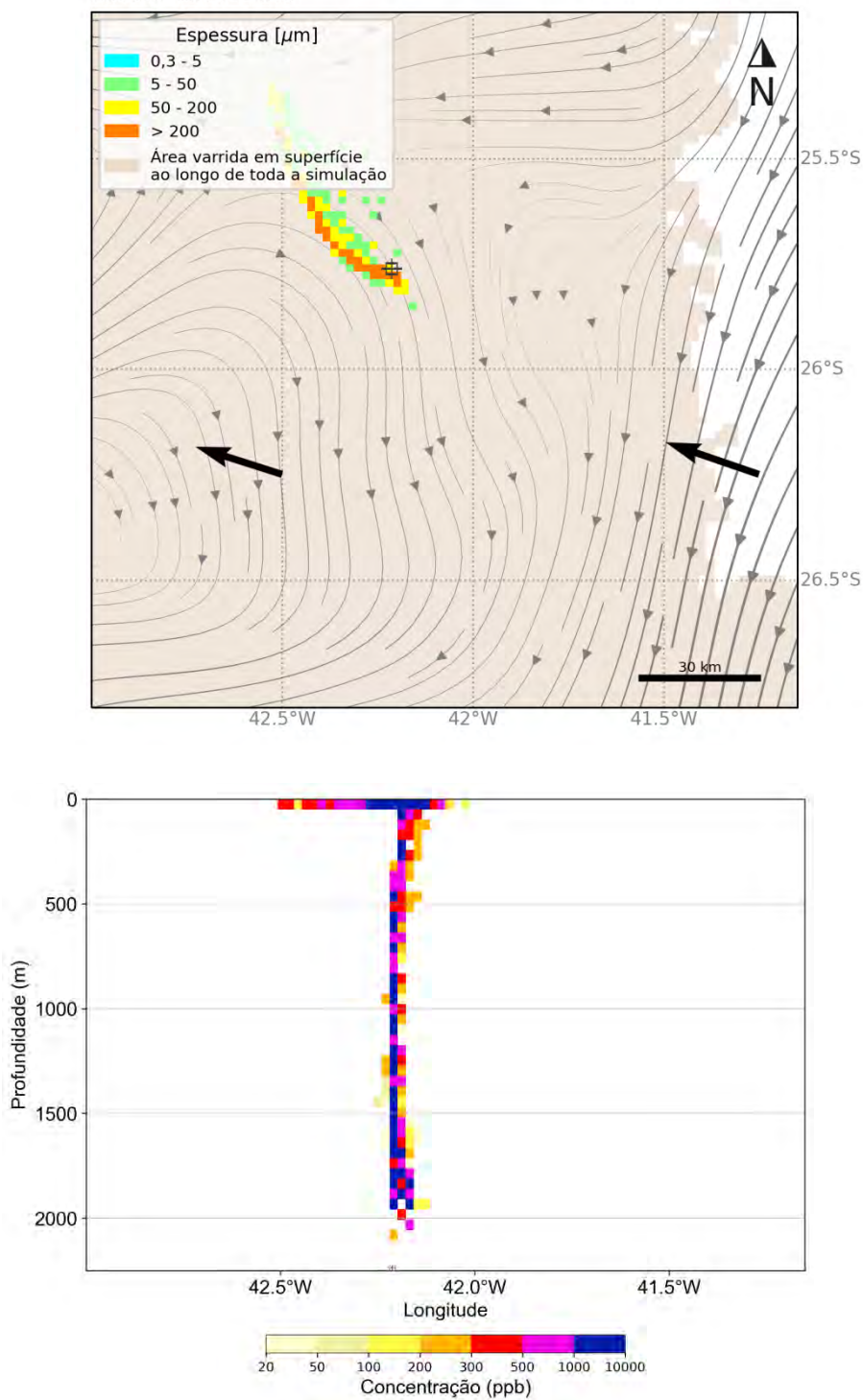


Figura 54: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 60 h do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

MODO DETERMINÍSTICO

Maior massa de óleo acumulada na costa

Data: 12-11-2013 05h

Vento 5.0 m/s →

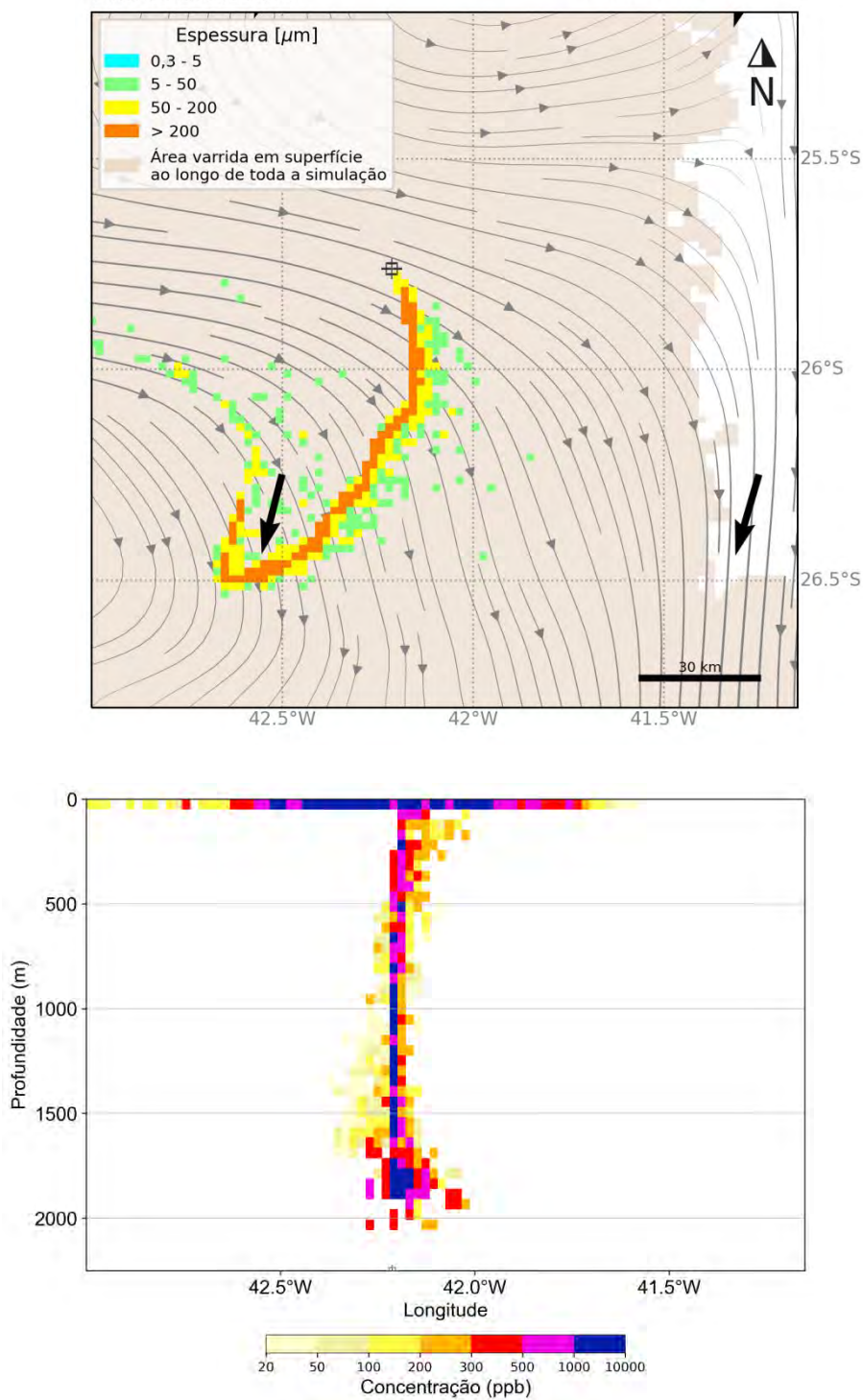


Figura 55: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 168 h (1 semana) do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

MODO DETERMINÍSTICO

Maior massa de óleo acumulada na costa

Data: 19-11-2013 05h

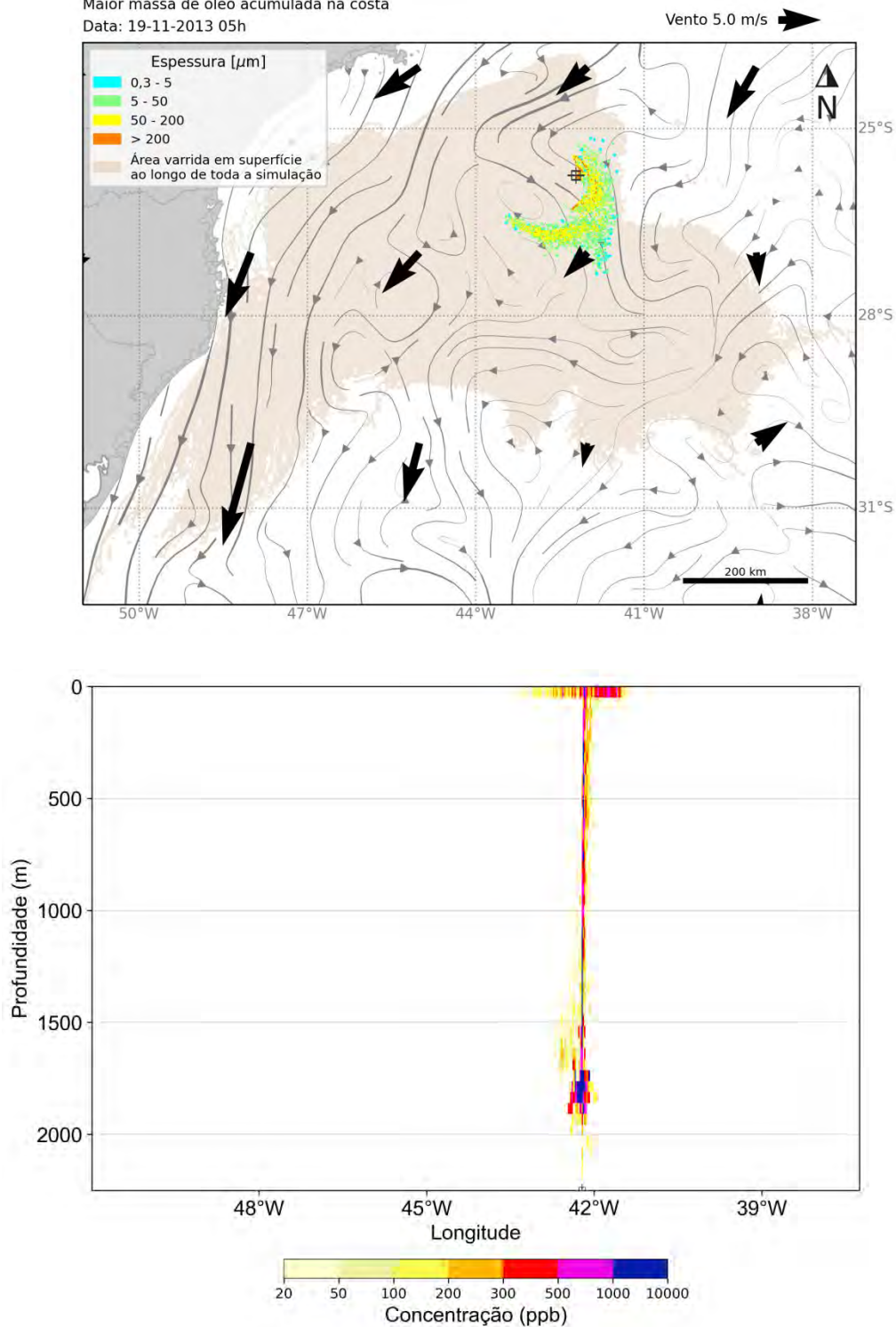


Figura 56: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 336 h (2 semanas) do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

MODO DETERMINÍSTICO

Maior massa de óleo acumulada na costa

Data: 26-11-2013 05h

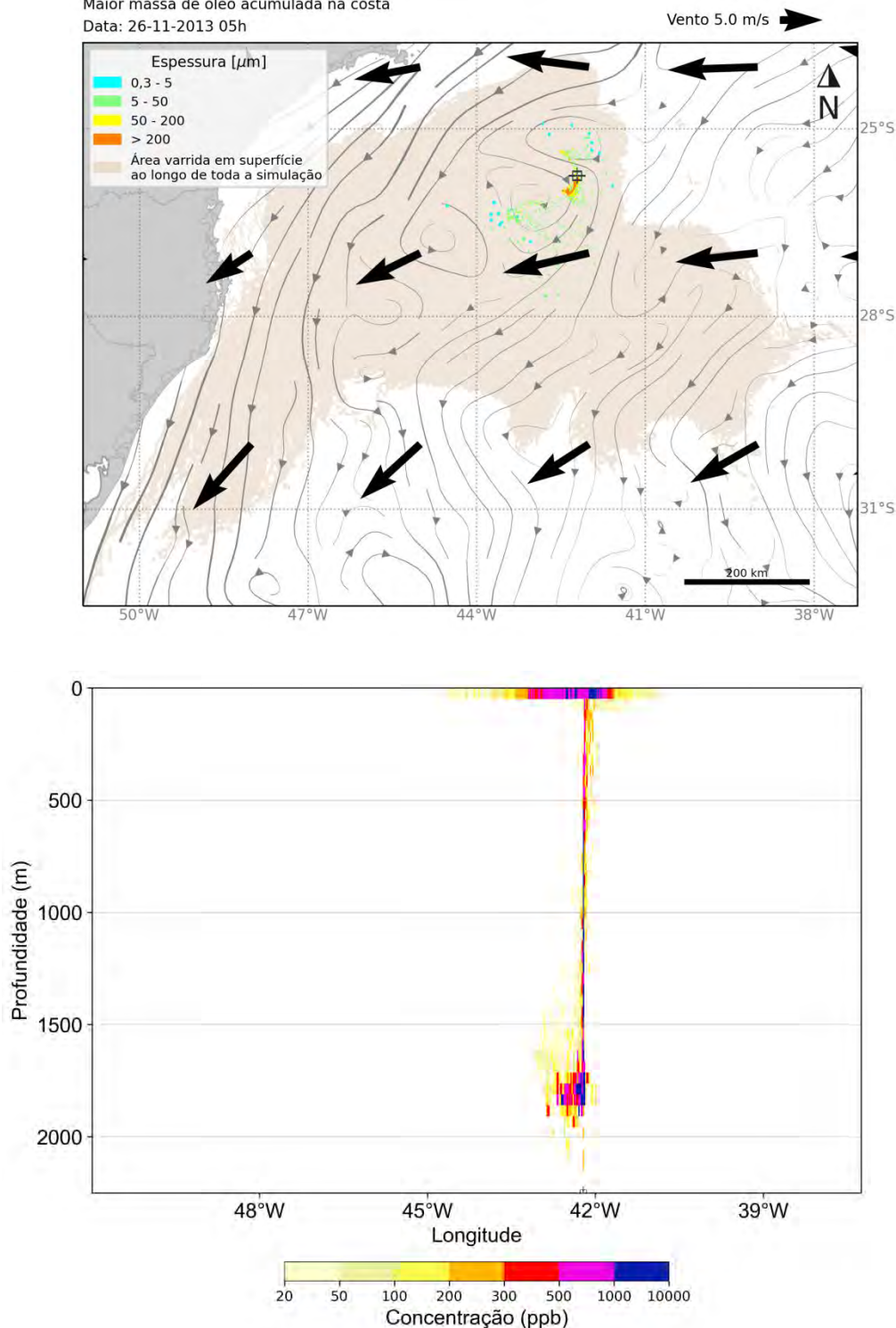


Figura 57: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 504 h (3 semanas) do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

MODO DETERMINÍSTICO

Maior massa de óleo acumulada na costa

Data: 05-12-2013 05h

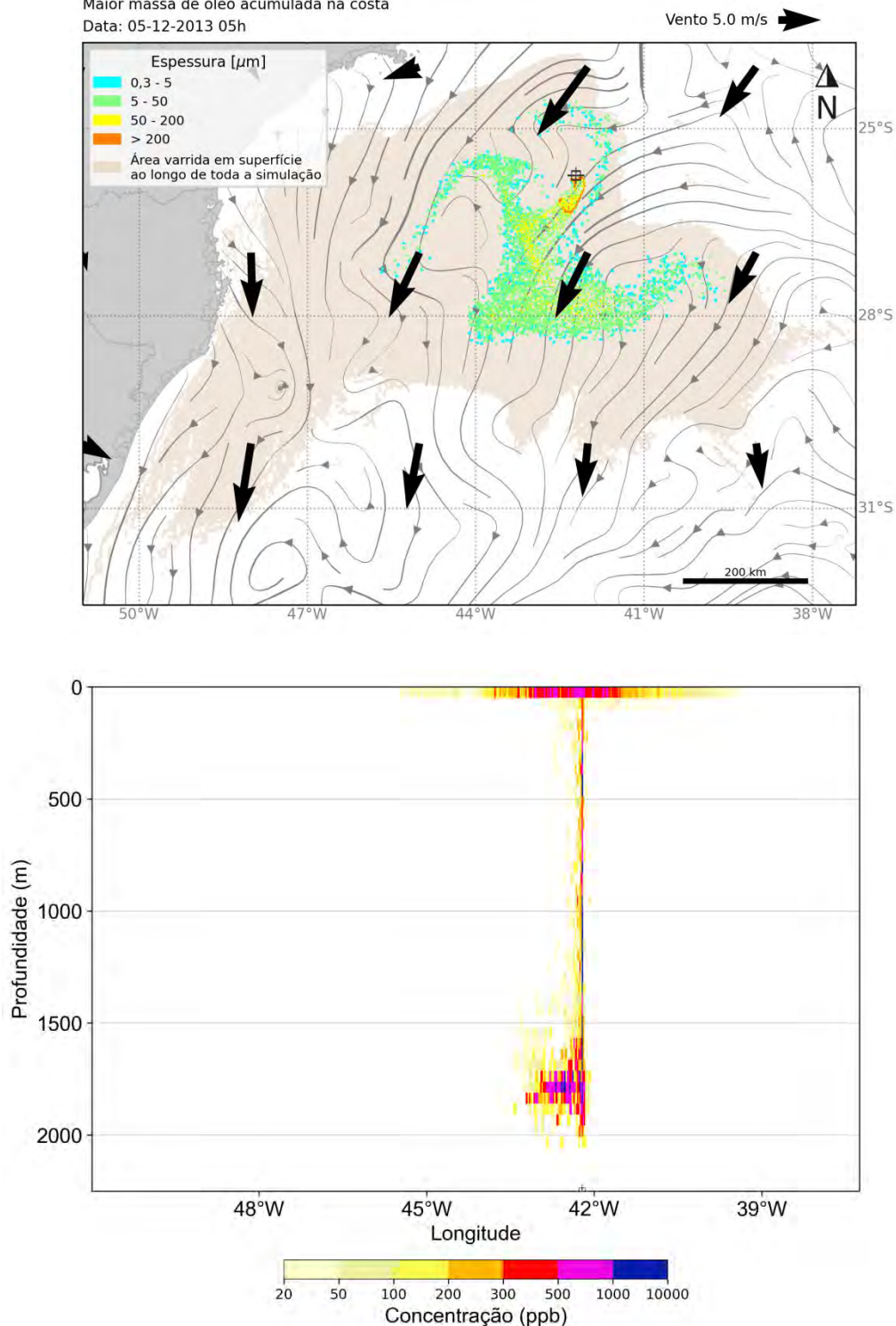


Figura 58: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 720 h (30 dias) do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

MODO DETERMINÍSTICO

Maior massa de óleo acumulada na costa

Data: 20-12-2013 05h

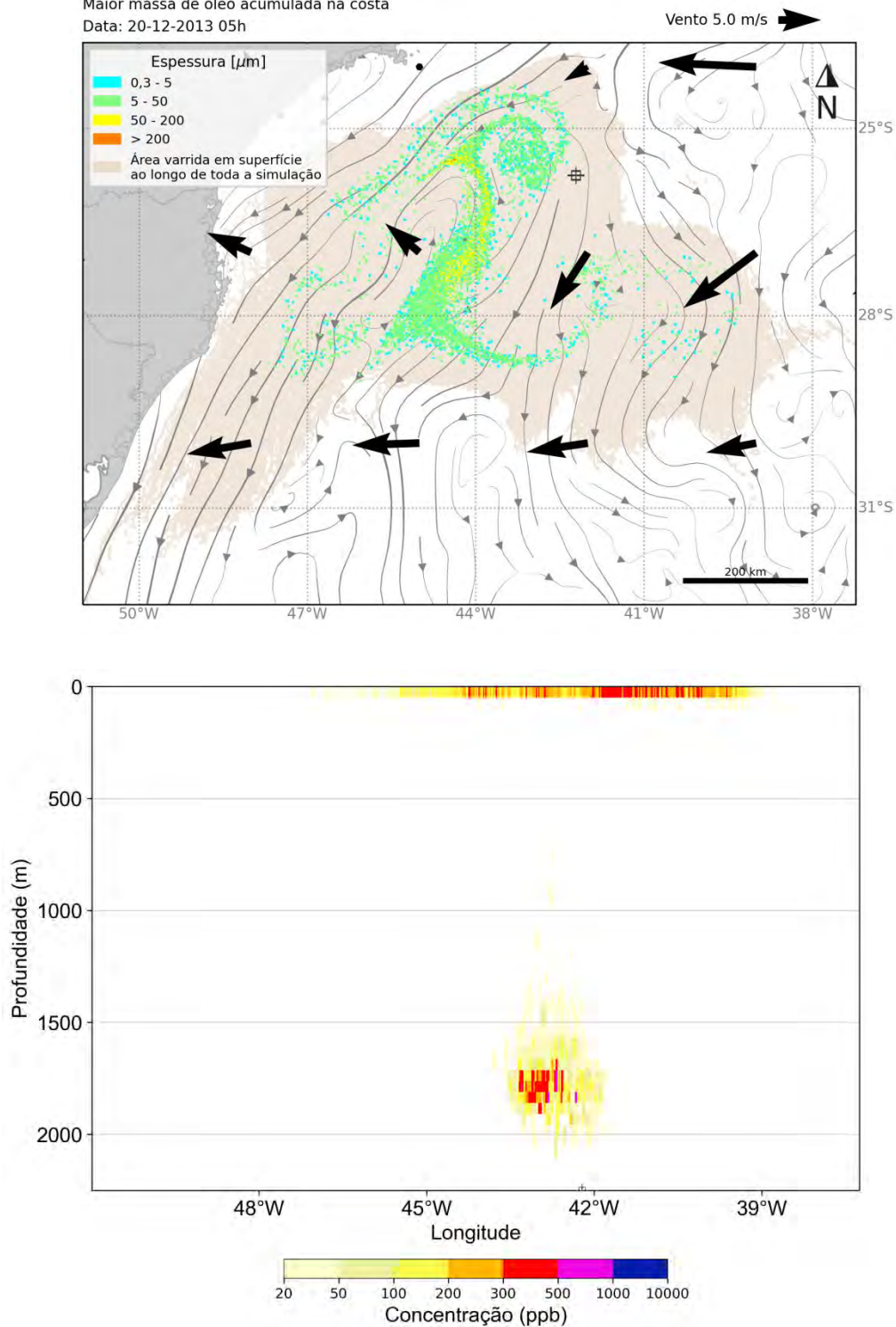


Figura 59: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 1080 h (45 dias) do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

MODO DETERMINÍSTICO

Maior massa de óleo acumulada na costa

Data: 23-12-2013 02h

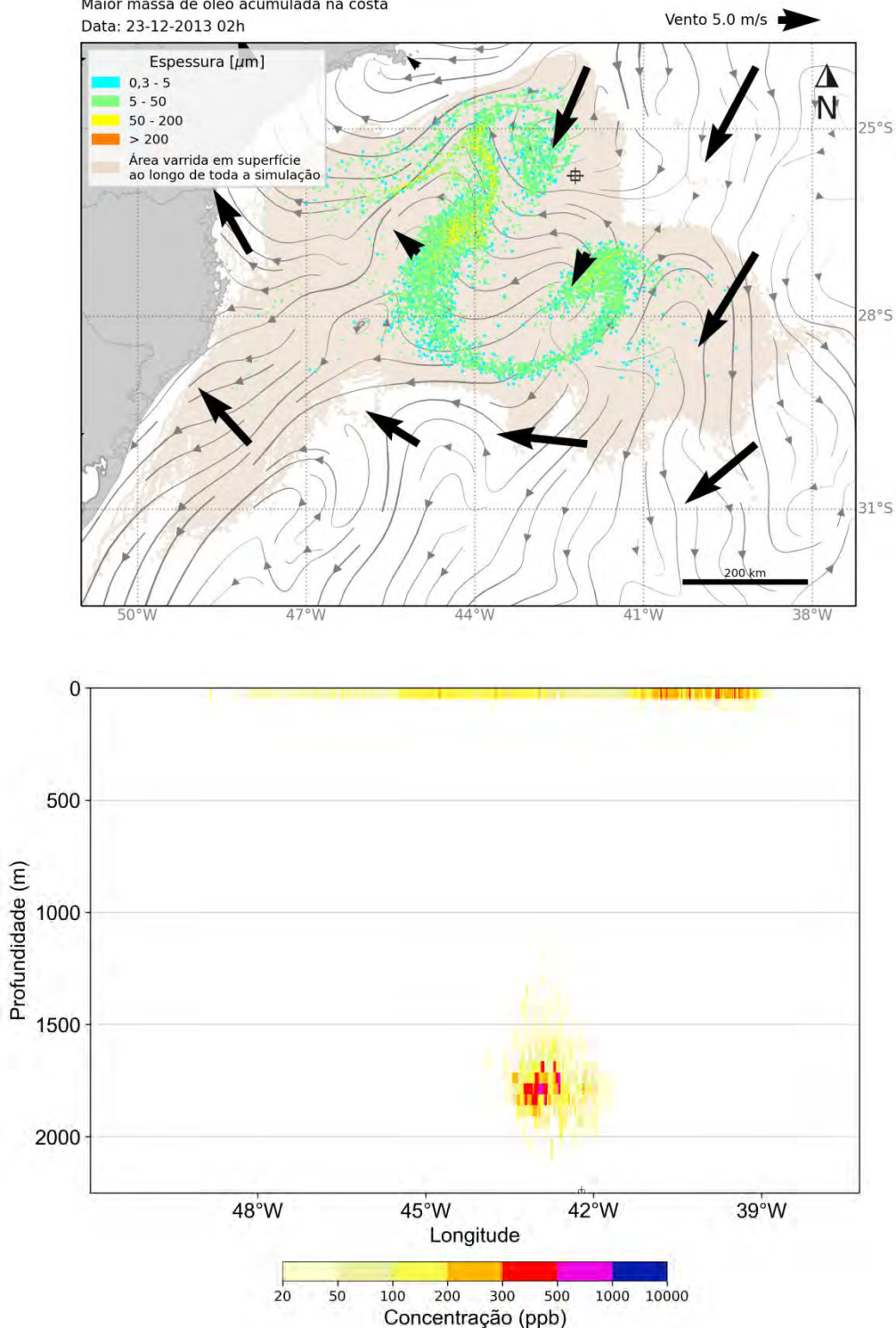


Figura 60: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 1149 h (47,9 dias – primeiro toque de óleo na costa) do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

MODO DETERMINÍSTICO

Maior massa de óleo acumulada na costa

Data: 04-01-2014 05h

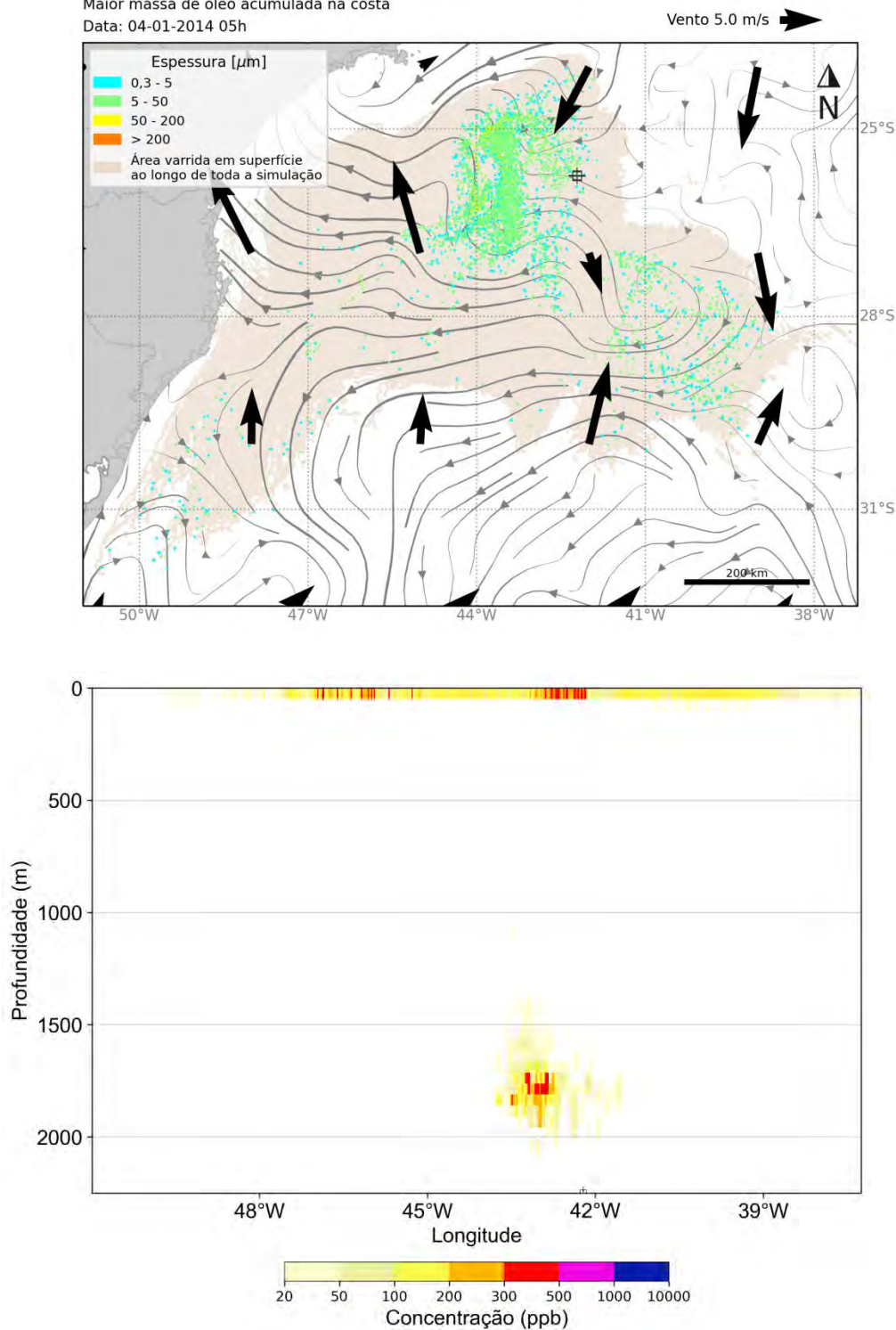


Figura 61: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 1440 h (60 dias) do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

A deriva do óleo ocorre inicialmente para N e NE nas primeiras 72 horas, e em seguida segue para sul, se espalhando em áreas maiores na superfície. Com o espalhamento observa-se diferentes direções de deriva de partes da mancha de óleo sob influência das variações das correntes e ventos. Parte do óleo que segue para SW chega à costa após 47,9 dias do início do vazamento, no município de Florianópolis-SC. Ao final da simulação, há óleo em superfície com espessura de 0,3 a 200 μm até latitude de 32,5°S e menos de 0,05% do óleo se encontram na costa. Além de Florianópolis, outros municípios próximos (Palhoça, Paulo Lopes, Garopaba e Imbituba) também foram atingidos.

Em relação à coluna d'água, concentrações acima de 1000 ppb são observadas ao longo de toda a coluna d'água como uma coluna vertical, desde o fundo até a superfície nos primeiros 30 dias. O principal espalhamento horizontal ocorre nas camadas mais superficiais. No entanto abaixo de 1500 metros também se observa um espalhamento horizontal, mais próximo ao local do vazamento. Após o término do vazamento, observa-se concentrações de óleo acima de 20 ppb nestas duas regiões de espalhamento horizontal. Ao final de 60 dias de simulação as concentrações observadas são inferiores à 500 ppb, com predominância de valores menores que 100 ppb.

Neste cenário não se observa óleo associado ao fundo marinho com concentrações acima de 1 g/m².

A seguir, é apresentada a evolução temporal do balanço de massa do óleo e a evolução da área e a massa de óleo durante a simulação.

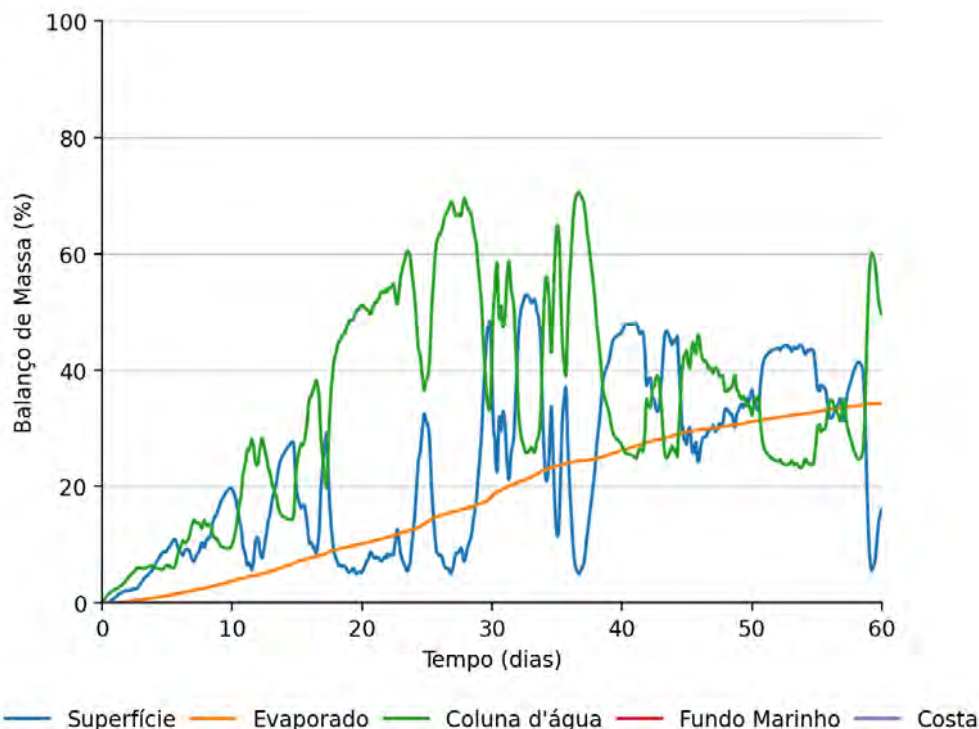


Figura 62: Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condição crítica de maior massa acumulada na costa.

Tabela 30: Balanço de massa do óleo durante a simulação em valores percentuais em condição crítica de maior massa acumulada na costa.

Tempo (horas)	Superfície		Evaporado		Coluna d'água		Fundo Marinho		Costa	
	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)
12	0,1	1133	< 0,05	45,5	1,5	12440	-	-	-	-
36	1,7	14130	0,2	1307	3,1	25420	-	-	-	-
60	2,4	20010	0,4	3409	5,5	44670	-	-	-	-
336	25,7	210300	6,2	50590	14,7	120500	-	-	-	-
504	7,6	62390	10,7	87540	51,6	422000	-	-	-	-
720	37,8	309200	18,4	150300	43,8	357600	-	-	-	-
1080	27,6	225800	29,4	240200	43	351100	-	-	-	-
1149	32,7	267000	30,3	247800	37	302300	-	-	< 0,05	33,8
1440	16,1	131900	34,3	280400	49,5	404500	-	-	< 0,05	332,7

É observado que grande parte do óleo ao final da simulação ficou na coluna d'água (49,5%). A evaporação foi um processo de intemperismo significativo, responsável pela retirada de parte do óleo que chegou a superfície, 34,3% do total de óleo vazado. O óleo remanescente em superfície por sua vez foi de 16%. Ao final de 60 dias uma porcentagem inferior a 0,05% ficou acumulada na costa, equivalente a 332,7 toneladas, e não houve acúmulo de óleo no fundo marinho.

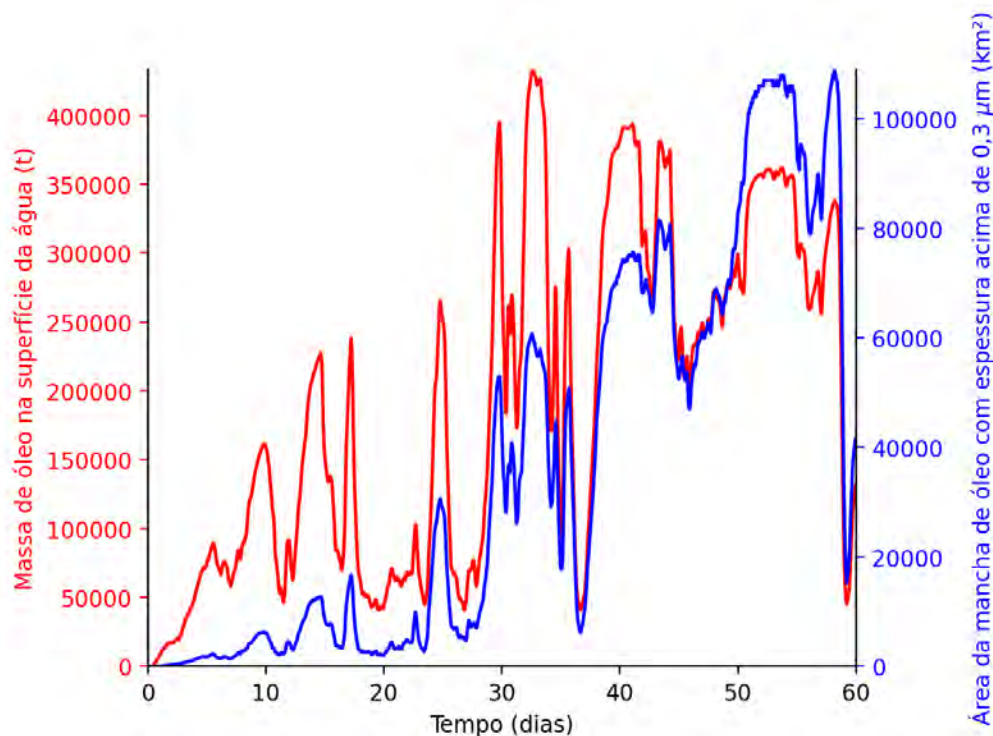


Figura 63: Área superficial da mancha de óleo e a massa de óleo na superfície do mar durante a simulação da trajetória em condição crítica de maior massa acumulada na costa.

Tabela 31: Área superficial, massa de óleo e espessura máxima da mancha de óleo durante a simulação em condição crítica de maior massa acumulada na costa.

Tempo (horas)	Área (km ²)	Massa (t)	Espessura máxima (um)
12	12	1133	519
36	180	14130	1170
60	452	20010	1062
168	1430	59470	1339
336	12100	210300	4989
504	3300	62390	2175
720	44200	309200	2272
1080	52500	225800	341
1149	65900	267000	211
1440	41500	131900	133

Os gráficos da massa e da área da mancha de óleo em superfície mostram oscilações de crescimento e decréscimo ao longo de toda a simulação em função do contínuo vazamento e processos intempéricos atuantes. Há medida que o óleo se espalha na superfície há também evaporação e dispersão na coluna d'água. Após os 30 dias o óleo em superfície observa-se um maior espalhamento.

A espessura do óleo em superfície se mantém alta quando ainda ocorre o vazamento, nos primeiros 30 dias. Após o término até o final da simulação observa-se uma diminuição para valores inferiores à 150 µm.

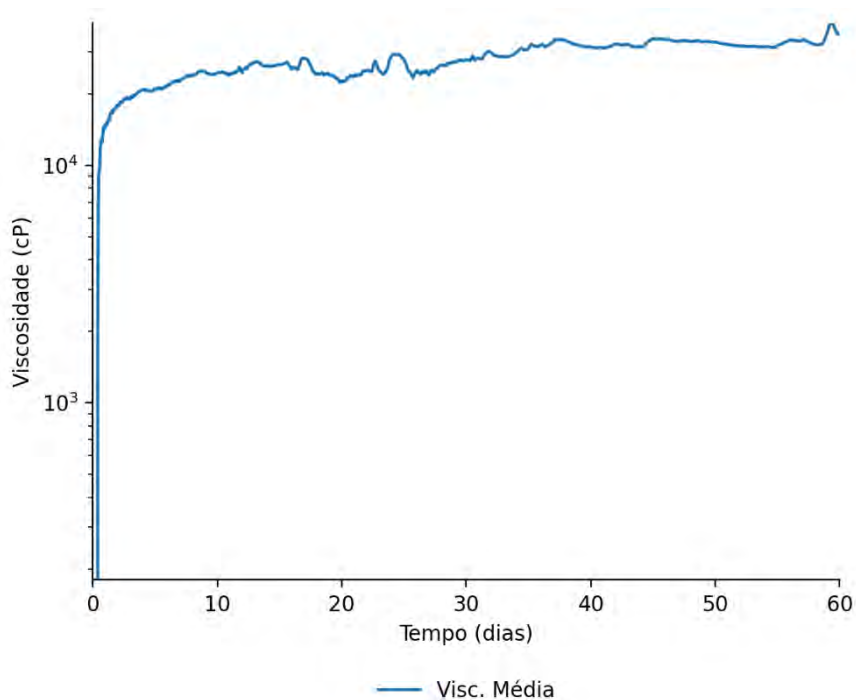


Figura 64: Viscosidade média do óleo durante a simulação em condição crítica de menor tempo.

Tabela 32: Tabela de viscosidade média do óleo durante a simulação em condição crítica de menor tempo de chegada.

Tempo (horas)	Visc. Média (cP)
12	9525
36	16910
60	18960
168	22850
504	23800
720	27790
1080	34170
1149	33170
1440	35420

A viscosidade média apresentou um aumento rápido nos primeiros dias e em seguida uma curva de crescimento mais lenta até o final da simulação.

6. Considerações Finais

A dinâmica da região onde está localizado o ponto de vazamento apresenta grande variação direcional das correntes e os ventos predominantes são do primeiro quadrante, sobretudo de NNE e de NE. Sob influência destas principais forçantes, as simulações probabilísticas mostraram que o óleo pode derivar para diversas direções com predominância para sudoeste.

Nos vazamentos de 8 m³ e 200 m³, as áreas de probabilidade de presença de óleo em superfície se mantiveram em região com profundidades acima de 1000 m, sem ocorrência de toque na costa. Nos cenários de 8 m³, a menor distância do óleo até a costa foi cerca de 223 km no Período 1 e 195 km no Período 2. Nos cenários de 200 m³, a menor distância do óleo até a costa foi de 116 km no Período 1 e 122 km no Período 2.

No cenário de pior caso (891.919 m³) ocorreu probabilidade de chegada de óleo na costa em ambos os Períodos e os resultados em superfície ficaram a uma distância de 0,2 km da costa.

No Período 2, por apresentar uma maior variação da direção dos ventos e maior ocorrência de correntes para NW, a extensão da área com probabilidades de chegada de óleo acima de 30% na direção sudoeste é menor, até 820 km, enquanto no Período 1 é de até 1085 km. Em superfície, o óleo pode alcançar latitudes a sul de 37°S e a leste de 038°W tanto no Período 1 quanto no Período 2.

Na coluna d'água, por se tratar de um vazamento de fundo, o óleo sobe como em uma coluna vertical, desde 2250 metros à superfície. Ao longo da coluna d'água se observa espalhamento do óleo tanto em longitude quanto em latitude, no entanto o maior espalhamento horizontal ocorre na camada próxima à superfície, na qual a área com probabilidade de presença de óleo é similar à observada em superfície.

No fundo marinho, são observadas probabilidades de presença de óleo em regiões profundas acima de 1000 m a noroeste do ponto de vazamento, e em regiões esparsas mais próximas à costa, com profundidades menores que 50 m. Os valores predominantes associados são inferiores a 5%.

No Período 1 do cenário de vazamento de pior caso houve probabilidade de chegada de óleo em 15 municípios e, em mais 2 municípios, os resultados de superfície ficaram próximos à costa. O maior valor, de 4%, foi observado em Imbituba-SC, e o menor tempo de chegada de óleo registrado foi de 30,8 dias nos municípios vizinhos de Palhoça e Paulo Lopes, também no estado de Santa Catarina. O município de Paulo Lopes-SC foi a localidade com o registro de maior massa de óleo por extensão de costa, de 35,8 t/km.

Para as UCs, há probabilidade de chegada de óleo em 17 unidades no Período 1 e 4 UCs no Período 2, apenas no cenário de pior caso. A maior probabilidade e o menor tempo de chegada de óleo ocorreu na APA da Baleia Franca, com valores de 6,2% e 28,9 dias no cenário do Período 1.

Em todos os cenários os principais processos de intemperismo foram a evaporação e a dispersão na coluna d'água, com medianas em torno de 45% para os cenários de superfície de 8 m³ e 200 m³

medianas. Nos cenários de pior caso a evaporação apresentou medianas em torno de 34% e a dispersão na coluna d'água de 50%. Ao final da simulação, o valor máximo na superfície foi de 47%, com mediana em torno de 17%. No Período 1, o valor máximo observado para óleo na costa foi inferior a 0,05% do valor total vazado.

As simulações determinísticas foram escolhidas com base nos resultados probabilísticos de pior caso. Foram selecionadas duas condições específicas, representativas de tempo mínimo de chegada de óleo à costa e da massa absoluta máxima de óleo na costa para a ocorrência de vazamento de pior caso a partir do ponto de risco selecionado. Em ambas as simulações, a deriva foi preferencial para sudoeste alcançando a costa após 30 dias de simulação em municípios do estado de Santa Catarina. O menor tempo de chegada de óleo à costa foi de 30,8 dias, na divisa entre Palhoça e Paulo Lopes -SC, enquanto a maior massa acumulada na costa foi de 333 t, distribuídos entre os municípios de Florianópolis, Palhoça, Paulo Lopes, Garopaba e Imbituba.

7. Bibliografia

- AMANTE, C., and B.W. EAKINS. 2009. ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24, 19 pp, Whole-world grids available on-line at [<http://ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>] from the NOAA, NESDIS, National Geophysical Data Center, Boulder, Colorado U.S.A.
- ASTM, 2013. Standard Practice for Development and Use of Oil-Spill Trajectory Models. Designation: F2067-13. American Society for Testing and Materials. DOI: 10.1520/F2067-13.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. 2005. Resolução Conama nº 357. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/> > Acesso em 13/03/2015.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. 2007. Resolução Conama nº 393. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/> > Acesso em 13/03/2015.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. 2008. Resolução Conama nº 398. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/> > Acesso em 05/11/2021.
- ELLIOT, A.J. A probabilistic description of the wind over Liverpool Bay with application to oil spill simulations Estuarine, Coastal and Shelf Science 61 (2004) 569–581.
- ELPN/IBAMA. Informação Técnica nº 023/2002. Modelagem de Derramamento de Óleo no Mar.
- GABARDO. I. T., 2007. Caracterização Química e Toxicológica da água Produzida descartada em plataformas de óleo e gás na costa brasileira e seu comportamento dispersivo no mar. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande Norte. UFRN.
- HAIDVOGEL, D. B., H. ARANGO, W. P. BUDGELL, B. D. CORNUELLE, E. CURCHISTER, E. DI LORENZO, K. FENNEL, W. R. GEYER, A. J. HERMANN, L. LANEROLLE, J. LEVIN, J. C. McWILLIAMS, A. J. MILLER, A. M. MOORE, T. M. POWELL, A. F. SHCHEPETKIN, C. R. SHERWOOD, R. P. SIGNELL, J. C. WARNER, and J. WILKIN, 2008. Ocean forecasting in terrain-following coordinates: Formulation and skill assessment of the Regional Ocean Modeling System. Journal of Computational Physics, 227, 3595-3624.
- HENNERMANN, K. ERA5 Data Documentation. Disponível em: <https://software.ecmwf.int/wiki/display/CKB/ERA5+data+documentation> Acesso em 20/09/2017.
- ICMBIO, 2018. Sistema Informatizado de Monitoria de RPPN. Disponível em: <http://sistemas.icmbio.gov.br/simrppn/publico/>. Acesso em 18 de dezembro de 2018.

- LONG, E. R.; MACDONALD, D. D.; SMITH, S.L.; CALDER, F. D. (1995) Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. Environ. Manage. 19, 81-97.
- MMA, 2019. Cadastro Nacional de Unidades de Conservação. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs/dados-georreferenciados>. Acesso em 04 de janeiro de 2019.
- OSPAR COMMISSION. 2014. Background document. Establishment of a list of Predicted No Effect Concentration (PNECs) for naturally occurring substances in produced water. OSPAR Agreement 2014-05.
- RYE, H.; REED, M.; DITLEVSEN, M.K.; BERNTSEN, S. The “Environment Impact Factor” (EIF) for produced water discharges – a tool for reducing environmental impacts. In: Development and Application of Computer Techniques to Environmental Studies. WIT Press, 2004.
- SMIT, M.G.; BECHMANN, R.K.; HENDRIKS, A.J.; SKADSHEIM, A.; LARSEN, B.K.; BAUSSANT, T.; SHAW, B.; SANNI, S. 2009. Relating biomarkers to whole-organisms effects using species sensitivity distributions: A pilot study for marine species exposed to oil. Environmental Toxicology and Chemistry, vol. 28, no. 5, pp. 1104-1109.
- WWF, 2016. Observatório de UCs. Disponível em: <http://observatorio.wwf.org.br/mapa/>. Acesso em 10 de dezembro de 2016.

8. Anexos

ANEXO I Descrição do modelo de transporte de óleo

ANEXO II Mapa com Unidades de Conservação consideradas no estudo

ANEXO III Mapa com detalhamento de linha de costa utilizado para a definição da grade do modelo do OSCAR

ANEXO IV Cadastro Técnico Federal da equipe técnica

- ANEXO I -

Descrição do Modelo de Transporte de Óleo

Modelo de Dispersão de Óleo

Descrição do modelo OSCAR

RELATÓRIO TÉCNICO [REV.00]

Preparado por:

Prooceano

Prooceano

Av. Rio Branco, 311/1205 - Centro
CEP 20.040-009 - Rio de Janeiro - RJ
Tel./Fax + 55 21 2532.5666

© PROOCEANO 2021

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

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

Controle de revisão

Revisão nº 01

Data:

Descrição:

Responsável:

Empresa:

Revisão nº 02

Data:

Descrição:

Responsável:

Empresa:

Revisão nº 03

Data:

Descrição:

Responsável:

Empresa:

Revisão nº 04

Data:

Descrição:

Responsável:

Empresa:

Revisão nº 05

Data:

Descrição:

Responsável:

Empresa:

Equipe técnica

Lívia Sant'Angelo Mariano

Registro no Conselho de Classe: Não Aplicável

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 6005736

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura: 

Henery Ferreira Garção

Registro no Conselho de Classe: Não Aplicável

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

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura: 

Flávia Pozzi Pimentel

Registro no Conselho de Classe: Não Aplicável

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 2473071

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

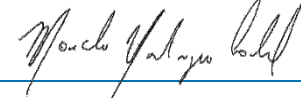
Assinatura: 

Marcelo Montenegro Cabral

Registro no Conselho de Classe: 2010110225 - CREA/RJ

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

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura: 

Sumário

Controle de revisão	2
Equipe técnica	3
Sumário	4
1. Introdução.....	5
2. Processos Físico-Químicos do Óleo.....	6
2.1. Advecção.....	6
2.2. Espalhamento	7
2.3. Evaporação	7
2.4. Dispersão Natural	8
2.5. Emulsificação	9
2.6. Dissolução	10
2.7. Degradação.....	10
2.8. Sedimentação	12
3. Propriedades Físicas do Óleo	13
4. Concentração na coluna d'água.....	14
5. Óleo na Costa.....	15
6. Massa Máxima de Óleo na Costa	16
7. Blowout Submerso	17
8. Resumo dos Parâmetros Físicos e Numéricos	19
9. Bibliografia	22

1. Introdução

O presente relatório apresenta o modelo computacional OSCAR utilizado em estudos de dispersão de óleo tanto em regiões offshore como para corpos d'água interiores. O OSCAR (*Oil Spill Contingency and Response*), modelo desenvolvido pela SINTEF, é capaz de avaliar a evolução de óleo na superfície da água, ao longo de costas, na coluna d'água e no sedimento. Os principais componentes do sistema OSCAR são um modelo de intemperismo, um modelo de trajetória em três dimensões e um modelo de combate a vazamentos acidentais (REED, 2001; REED *et al.*, 2004).

Na Figura 1 é apresentado um esquema ilustrativo das três principais etapas no processo da simulação: os dados de entrada (características do vazamento e condições ambientais), os processos realizados em diferentes intervalos de tempo (intemperismo atuante no óleo) e os resultados (balanço de massa do óleo, distribuição geográfica e propriedades).

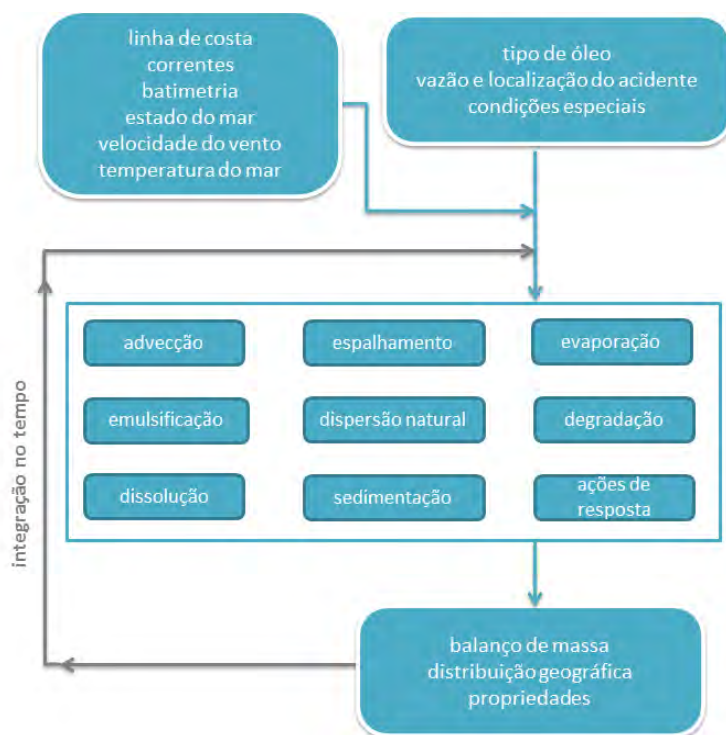


Figura 1: Esquema simplificado dos dados de entrada, processos e dados de saída (resultados) usados e obtidos pelo modelo OSCAR. Adaptado de Reed (2001).

Uma breve descrição dos processos físicos/químicos atuantes no óleo e de como eles são representados no modelo OSCAR, será apresentada a seguir, com base no relatório desenvolvido por Reed (2001).

2. Processos Físico-Químicos do Óleo

O modelo OSCAR utiliza a aproximação de multicomponentes. Tal metodologia consiste na especificação de um número de componentes individuais ou pseudo-componentes para representação da massa de óleo. Cada componente é associado com um conjunto de parâmetros que governam os processos de transformação do óleo.

Os processos de evaporação, dissolução e degradação estão diretamente relacionados com a massa de cada um dos componentes do óleo e são calculados dinamicamente a cada passo de tempo do modelo. Detalhes sobre a formação de multicomponentes do OSCAR podem ser vistos em Reed *et al.* (2000).

Outros processos como espalhamento, entranhamento e mistura vertical estão mais diretamente relacionados com “macro-características” do óleo, como densidade e viscosidade.

No entanto, como apresentado a seguir, existe uma inter-relação entre todos os processos de intemperismo.

2.1. Advecção

A advecção é calculada a partir da soma de uma velocidade local média e de uma componente turbulenta de base aleatória. A velocidade local média é a soma das velocidades de correntes, ventos e a componente governada pela onda (Stokes) e a componente turbulenta (w') é expressa como:

$$w' = R\sqrt{6k / \Delta t} \quad 2-1$$

onde R é um número aleatório entre -1 e 1, K é o coeficiente de dispersão turbulenta, estimado para as direções horizontais e verticais, e t o tempo.

O coeficiente de dispersão horizontal pode ser calculado a partir de dados aproximados de estudos de dispersão de traçadores (OKUBO (1971, 1974) apud REED, 2001; BOWDEN, 1983):

$$K_x = 0,0027t^{1,34} \quad 2-2$$

para K em cm²/s e t em segundos.

O coeficiente de difusão turbulenta acima da picnoclina relacionado às condições de onda, segundo Ichiye (1967, apud REED, 2001), é:

$$K_z = 0,0028 \frac{H^2}{T} \exp(-2Kz) \quad 2-3$$

sendo H a altura de onda, T o período de onda e K o número de onda. Abaixo da profundidade da picnoclina, Kz é assumido como uma constante igual a 10-4 m/s² (KULLENBERG, 1984 apud REED, 2001). Na ausência da picnoclina, a equação de Ichiye é aplicada da superfície ao fundo.

O deslocamento vertical das gotículas de óleo é calculado pela soma da velocidade turbulenta de base aleatória e uma velocidade vertical (subida ou descida). As velocidades verticais são calculadas usando a média harmônica de dois extremos, sendo o coeficiente de arrasto em função do número de Reynolds (JOHANSEN, 2000):

$$w_{\text{ascendente}} = 1/(w_1^{-1} + w_2^{-1})$$

onde

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

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

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

O **coeficiente de arrasto do vento** na deriva superficial do óleo utilizada neste estudo foi **3,5% da intensidade do vento**.

2.2. Espalhamento

O espalhamento do óleo na superfície do mar envolve diversas interações entre forças e processos, e alguns estudos (FAY, 1969 apud REED, 2001, HOULT, 1972; FANNELØP & WALDMAN, 1972 apud REED, 2001) já mostraram que o espalhamento passivo do óleo ocorre devido às forças da gravidade, momento e viscosidade. Para a representação do espalhamento transversal de uma mancha de vazamento contínuo, é utilizada neste modelo uma equação unidimensional:

$$x_{LE} = C_0 \left(\frac{g \Delta \rho}{\rho_w^2} \right)^{1/4} \frac{m^{1/2}}{(\rho_w \mu_w)^{1/8}} t^{3/8} \quad 2-4$$

onde x_{LE} é a largura da mancha de óleo (m), g é a aceleração da gravidade (m/s^2), $\Delta \rho$ é a diferença entre as densidades da água e do óleo (kg/m^3), ρ_w é a densidade da água (kg/m^3), μ_w é a viscosidade da água (cP), m é $\frac{1}{2}$ da taxa de liberação de massa dividido pela corrente superficial (kg/m) e C_0 é a constante de espalhamento.

Esta equação representa o regime de gravidade-viscosidade no processo de espalhamento e somente é utilizado para a parte espessa da mancha de óleo.

2.3. Evaporação

A taxa de evaporação é controlada pela pressão de vapor dos componentes individuais do óleo as suas frações molares em qualquer localização da mancha superficial, e calculada como. (MACKAY *et al.*, 1980; SEBASTIÃO & SOARES, 1995; REED *et al.*, 1999):

$$dm_i / dt = K_e P_i A M_i F_i / (RT) \quad 2-5$$

onde m_i é a massa associada ao i -ésimo componente do vazamento; t é o tempo (s); K_e é o coeficiente de transferência de massa evaporada (m/s); T é a temperatura (K); P_i é a pressão de vapor para o i -ésimo componente (atm); A é a área da mancha de óleo (m²); M_i é o peso molecular da i -ésimo componente (g/mol); F_i é a fração molar do i -ésimo componente remanescente na mancha; e R é a constante universal dos gases, $8,206 \times 10^{-5}$ atm-m³/mol-K.

O coeficiente de transferência de massa, K_e , depende do vento e é calculado por (AMOROCHO & DEVRIES, 1980 *apud* REED, 2001):

$$K_e = C_d U(t) \quad 2-6$$

sendo C_d o coeficiente de atrito entre a atmosfera e o ar, e $U(t)$ a velocidade do vento (m/s). O coeficiente de arrasto C_d é calculado em função da velocidade do vento:

$$C_d = \left(\frac{U^*}{U(t)} \right)^2 \quad 2-7$$

em que

$$U^* = CU(t), \text{ quando } U(t) < u_1$$

$$U^* = Cu_1 + (Du_2 - Cu_1) \frac{U(t) - u_1}{u_2 - u_1}, \text{ quando } u_1 \leq U(t) \leq u_2$$

$$U^* = DU(t), \text{ quando } U(t) > u_2$$

sendo C , D , u_1 e u_2 valores constantes (0,0323; 0,0474, 7 e 20, respectivamente).

2.4. Dispersão Natural

A dispersão de óleo na superfície do mar é obtida por (DELVIGNE & SWEENEY, 1988):

$$Q_{di} = C^* D^{0,57} S F d_i^{0,7} \Delta d \quad 2-8$$

onde Q_{di} é a taxa de dispersão por unidade de área das gotículas de óleo com diâmetros entre $(d_i - \Delta d)$ e $(d_i + \Delta d)$ (kg/m²s); C^* é um coeficiente de dispersão derivado empiricamente; D é a energia da onda dissipada por unidade de área (kg/s²); S é a fração da superfície do oceano coberta por óleo; F é a fração da superfície do mar coberta pela arrebentação de ondas por unidade de tempo (1/s); d_i é o diâmetro médio das partículas na classe de tamanho i (m); e Δd é o intervalo do diâmetro das partículas (m).

O coeficiente empírico C^* é uma função da viscosidade do óleo:

$$C^* = 4450 \nu^{-0,4} \quad 2-9$$

onde ν é a viscosidade cinemática do óleo (m^2/s). A energia dissipada da quebra da onda D , é aproximadamente:

$$D = 0,0034 \rho_w g H_b^2 \quad 2-10$$

onde ρ_w é a densidade da água do mar (kg/m^3); g é a aceleração da gravidade (m/s^2); e H_b é altura de quebra da onda (m). A fração F de superfície do oceano coberta pela arrebentação de ondas por unidade de tempo é, aproximadamente:

$$F = 3 \cdot 10^{-6} U(t)^{3,5} \quad 2-11$$

onde $U(t)$ é a velocidade do vento (m/s). O tamanho das partículas é dado por:

$$d_0 = \frac{C_0 \nu^{0,34}}{\sqrt{e}} \quad 2-12$$

sendo ν é a viscosidade cinemática do óleo (m^2/s); e é a taxa de dissipação de energia (geralmente $1000 \text{ J}/\text{m}^3\text{s}$); C_0 é, aproximadamente, 500 para o menor tamanho de partícula e 3400 para o maior tamanho de partícula. As gotículas são divididas em intervalos entre os tamanhos, mínimo e máximo, encontrados.

2.5. Emulsificação

A emulsificação $W(t)$ é calculada a partir de uma regressão exponencial:

$$W(t + \Delta t) = W_m(t) - [W_m(t) - W(t)] 0,5^{\frac{\Delta t}{t_{1/2}}} \quad 2-13$$

onde $W_m(t)$ é o teor máximo de água (%); Δt é o passo de tempo (s); $t_{1/2}$ é o tempo de meia-vida dependente do vento para emulsificação (s).

O valor $t_{1/2}$ e a função $W_m(t)$ são derivados de dados de laboratório e, correlacionam a taxa de emulsificação e o teor máximo de água pela fração evaporada. A partir desses dados, a meia-vida de referência t_{ref} para um vento de 10 m/s de velocidade, é encontrada em:

$$t_{ref} = C t_{lab} \quad 2-14$$

onde, t_{lab} é a média de valores de meia-vida encontrados em laboratório para amostras de óleo artificialmente intemperizados (s), e C é uma constante empírica. Esses dados são baseados no estudo de Cormack (1983):

$$t_{1/2} = \left[\frac{1 + U_{ref}}{1 + U(t)} \right]^2 t_{ref} \quad 2-15$$

onde U_{ref} , é de 10 (m/s), e $U(t)$ é a velocidade do vento (m/s). W_m como função da fração evaporada é obtida a partir de dados de laboratório, assumindo-se que a quantidade máxima de água é linearmente dependente da fração evaporada.

2.6. Dissolução

Como a evaporação, a dissolução, é dependente da fração molar de cada componente em uma mancha de óleo.

$$dm_i / dt = K_d A (F_i S_i - C_i) \quad 2-16$$

onde K_d é o coeficiente de transferência de massa por difusão (m/s); A é a área superficial da mancha de óleo (m²); F_i é a fração molar do componente i remanescente na mancha; S_i é a solubilidade do componente i (g/m³, ppm); e C_i é a concentração ambiente do componente i (g/m³).

Para uma mancha de óleo, o coeficiente de transferência de massa K_d é calculado (THIBODEAUX, 1979 *apud* REED, 2001):

$$K_d = Sh_i D_i / L \quad 2-17$$

Para manchas na superfície, é feita a correlação de superfície plana para o Número de Sherwood:

$$Sh_i = 0,578 Re^{0,5} Sc_i^{0,33} \quad 2-18$$

onde Re é o número de Reynolds; Sc_i é o número de Schmidt; U_{rel} é a velocidade relativa entre o óleo e a água (m/s); L é a extensão da mancha (m); ν_w é a viscosidade cinemática da água ($\sim 8,9 \times 10^{-7}$ m²/s a 25°C) e D_i a difusividade molecular do componente i (m²/s).

Para as partículas de óleo, a correlação da transferência de massa para esferas é usada para o número de Sherwood:

$$Sh = 2 + 0,347 Re^{0,62} Sc_i^{0,31i} \quad 2-19$$

2.7. Degradação

O cálculo da degradação do óleo no modelo OSCAR é feita através da soma da transformação de cada componente do óleo por diferentes formas de degradação. A Figura 2 mostra o esquema de transformação dos componentes considerados no modelo OSCAR.

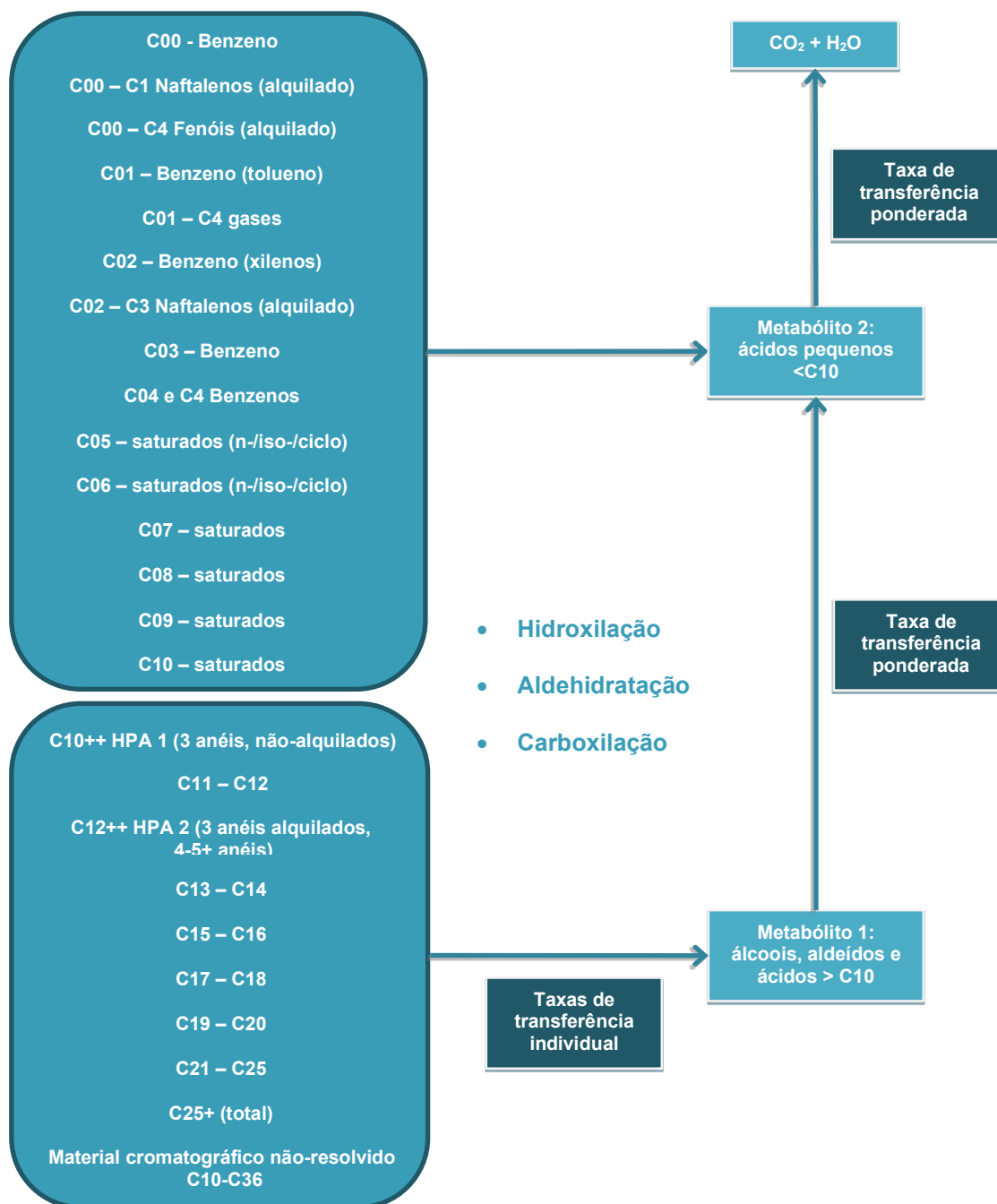


Figura 2: Esquema da degradação dos principais componentes do óleo. Adaptado de Reed (2001).

2.8. Sedimentação

No OSCAR a separação entre a fase dissolvida e particulada/adsorvida é calculada com base na teoria de equilíbrio linear. A fração de óleo particulada, ou adsorvida em material particulado, é passível de sedimentação no fundo, misturando-se aos sedimentos, e podendo ser dissolvida novamente para a coluna d'água (REED *et al.*, 1996).

A relação entre a concentração de equilíbrio de um poluente na fase aquosa (C_w) e a concentração de equilíbrio na fase sólida (C_s) pode ser obtida a uma determinada temperatura. Existem várias teorias que descrevem as isotermas de adsorção, tais como as isotermas de Langmuir (Equação 1-20) e de Freundlich (Equação 1-21) (REED, 2001).

$$C_s = \frac{K_1 K_2 C_w}{1 + K_1 C_w} \quad 2-20$$

$$C_s = K_f C_w^{1/n} \quad 2-21$$

Segundo Reed (2001), em ambiente aquático, o valor da fase aquosa do poluente, C_w , é geralmente baixo, e em consequência, o termo n na equação 1-21 é geralmente igual a 1 e o termo $K_1 C_w$ na equação 1-20 é muito menor do que 1. Dessa forma, as equações podem ser reduzidas a uma equação linear

$$C_s = K_p C_w C_{ss} \quad 2-22$$

onde C_{ss} é a concentração de sedimentos suspensos. O coeficiente de partição de uma substância química, K_p , é dependente da temperatura, do pH e das características físicas e químicas do sólido adsorvido. Através de estudo do comportamento de compostos orgânicos, principalmente os hidrofóbicos não-iônicos, observou-se que o carbono orgânico é o fator predominante no processo de adsorção (REED, 2001). Assim, se K_p é normalizado pela fração de carbono orgânico do sólido (f_{oc})

$$K_{oc} = \frac{K_p}{f_{oc}} \quad 2-23$$

então K_{oc} torna-se independente de sorventes. Somado a isso, o coeficiente de partição baseado no carbono orgânico apresenta ótima correlação tanto com K_{ow} (coeficiente de partição octanol/água) como com a solubilidade em água (S) (Equações 1-24 e 1-25, respectivamente).

$$\log K_{oc} = A \log K_{ow} + B \quad 2-24$$

$$\log K_{oc} = a \log S + b \quad 2-25$$

Assim, é possível determinar K_{oc} tanto do valor de K_{ow} como da solubilidade, sendo que as constantes de correlação (A , B , a e b) são normalmente dependentes da estrutura do composto. A Tabela 1 mostra algumas equações de correlação entre K_{oc} , K_{ow} e S usados no modelo.

Tabela 1: Equações de regressão para estimativa dos parâmetros K_{oc} e K_{ow} para diferentes componentes químicos. Fonte: Reed, 2001.

Equação	R ²	Classe
Parâmetro: K_{ow}		
$\log 1/S = 1,113 \log K_{ow} - 0,926$	0,935	Álcool
$\log 1/S = 1,229 \log K_{ow} - 0,720$	0,960	Cetona
$\log 1/S = 1,013 \log K_{ow} - 0,520$	0,980	Éster
$\log 1/S = 1,182 \log K_{ow} - 0,935$	0,880	Éter
$\log 1/S = 1,294 \log K_{ow} - 1,043$	0,908	Alcino
$\log 1/S = 1,294 \log K_{ow} - 0,248$	0,970	Alceno
$\log 1/S = 0,996 \log K_{ow} - 0,339$	0,951	Aromático
$\log 1/S = 1,237 \log K_{ow} - 0,248$	0,908	Alcano
Parâmetro: K_{oc}		
$\log K_{oc} = 0,937 \log K_{ow} - 0,006$	0,950	Aromático
$\log K_{oc} = 0,544 \log K_{ow} + 1,377$	0,740	Todos os outros

Embora seja possível especificar um valor constante de concentração de sedimentos suspensos nas simulações, neste estudo adotou-se um valor nulo de concentração de sedimentos suspensos. Dessa forma, se objetiva uma abordagem mais conservadora que não permite a retirada de óleo da superfície e da coluna d'água por esse processo. Os valores de sedimentação apresentados nas simulações são referentes ao óleo na coluna d'água que toca diretamente o fundo marinho.

3. Propriedades Físicas do Óleo

As principais propriedades do óleo utilizadas pelo modelo são a densidade e a viscosidade do óleo. Essas propriedades variam de acordo com curvas obtidas em laboratório em função da fração de óleo evaporado. A seguir são apresentadas as equações das curvas obtidas em laboratório para os cálculos das propriedades do óleo (JOHANSEN, 1991 *apud* REED, 2001):

$$\text{Densidade (g/L)} \quad \rho_0 = a_p + b_p f \quad 3-1$$

$$\text{Viscosidade (cP)} \quad \mu_0 = e^{(a\mu + b\mu f)} \quad 3-2$$

sendo f a fração evaporada (%) e a e b fatores de regressão. Os parâmetros de ajuste a e b fazem parte do banco de dados da SINTEF que integra o modelo OSCAR e são obtidas através de ensaios laboratoriais. A densidade da emulsão $\rho(t)$ é calculada:

$$\rho(t) = \frac{W(t)\rho_w + [100 - W(t)]\rho_0(t)}{100} \quad 3-3$$

sendo $W(t)$ a porcentagem de água (%), ρ_w a densidade da água do mar, e $\rho_o(t)$ a densidade do óleo livre de água (g/L).

A equação de Mooney, de 1951, é usada para calcular a viscosidade de emulsão $\mu(t)$:

$$\mu(t) = \mu_o(t) e^{\frac{aW(t)}{100-bW(t)}} \quad 3-4$$

onde a e b são constantes empíricas.

4. Concentração na coluna d'água

Como a grande maioria dos modelos numéricos de transporte de contaminantes, o OSCAR utiliza um modelo de partículas (modelagem lagrangiana) para obter aproximações da equação do transporte advectivo-difusivo:

$$\frac{\delta C_i}{\delta t} + \vec{V} \cdot \vec{\nabla} C_i = \vec{\nabla} \cdot D_k \vec{\nabla} C_i + \sum_{j=1}^n r_j C_i + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n r_{ij} C_i \quad 4-1$$

onde C_i é a concentração do i -ésimo constituinte químico do vazamento; t é o tempo; \vec{V} é o vetor do transporte advectivo; e D_k é o coeficiente de difusão turbulenta para $k = x, y$ e z .

O primeiro termo da equação é a taxa de variação temporal da concentração de um determinado constituinte em uma determinada localização espacial. Esta taxa de variação é calculada através da determinação dos outros termos da equação utilizando partículas lagrangeanas para representar o campo de concentração. Os termos r_j são taxas de vários processos, tais como a evaporação, emulsificação e espalhamento das manchas superficiais e volatilização dos compostos do óleo.

Os termos de degradação r_{ij} aparecem no modelo para determinar os subprodutos da degradação como transferência de massa de um componente à outro. Desta forma, as modificações nas propriedades toxicológicas são incorporadas no modelo.

A equação de transporte advectivo e difusivo determina a variação das concentrações no tempo e no espaço e serve como base para os modelos de partículas (ver, por exemplo, Fischer, 1979). Em contraste com os modelos de partículas, existem modelos que resolvem numericamente a equação de transporte advectivo e difusivo de maneira convencional, isto é, através de esquemas baseados em métodos de diferenças finitas, volumes finitos ou elementos finitos. Estas aproximações conhecidas como modelagem euleriana fornecem diretamente os valores de concentrações e suas variações no espaço e no tempo em uma grade fixa, pré-definida. Este tipo de modelagem é inviável para o problema em questão devido às dimensões do domínio e as escalas envolvidas no transporte de óleo em bacias oceânicas.

Os modelos de partículas apresentam uma série de vantagens em relação aos modelos eulerianos, pois são capazes de representar os fenômenos de transporte e calcular a distribuição de massa do

contaminante de maneira acurada independentemente de uma grade, além de não estarem sujeitos a oscilações numéricas espúrias e efeitos de difusão numérica (ver por exemplo Andrade, 2006).

Enquanto os modelos eulerianos calculam diretamente os valores das concentrações, os modelos de partículas calculam a distribuição espacial de massa do contaminante representada por uma nuvem de partículas, sendo cada partícula uma representação discreta de uma parcela da massa total do contaminante no ambiente.

Se valores de concentração são requeridos, os resultados dos modelos de partículas precisam ser transformados e representados em uma grade. Como apresentado em Jong (2004), o OSCAR tem a vantagem em relação a outros modelos de partículas, pois permite essa transformação, inclusive fazendo a distinção entre as parcela da massa de óleo que está dissolvida, dispersa ou na superfície.

Existem várias maneiras de fazer essa transformação. A maneira mais simples é através da contagem de partículas que estão dentro das células da grade. Uma maneira mais avançada, que é a utilizada no OSCAR, é considerar a partícula como uma pequena nuvem que cresce com o tempo, usando funções de espalhamento gaussiano (ver por exemplo Andrade, 2006).

No OSCAR, a célula da grade em três dimensões é definida pelos espaçamentos meridional, zonal e vertical definidos pelo usuário. Embora os processos de mistura e de intemperismos do óleo estejam sendo resolvidos de maneira acurada e independentemente da grade, os resultados de concentração devem ser interpretados considerando o tamanho da célula da grade utilizada. Os resultados de concentração devem ser vistos como valores médios no volume definido pelas dimensões das células da grade. Sendo assim, plumas ou manchas de contaminantes que tenham dimensões inferiores às dimensões da grade estão sujeitos a uma “diluição numérica” artificial.

5. Óleo na Costa

Para modelagens probabilísticas, principalmente para vazamentos em áreas *offshore*, a prática atual é fazer uma aproximação de acumulação de óleo na costa através de uma estimativa das capacidades de armazenamento e remoção de óleo na costa derivadas empiricamente. Tal procedimento é utilizado na maioria dos modelos de transporte de óleo que incluem algum tipo de algoritmo de interação do óleo com a costa. (GUNDALACH & REED, 1986; GUNDALACH, 1987; FRENCH *et al.*, 1996; REED *et al* 1999, 2000; CHENG *et al.*, 2000; FRENCH MCCAY, 2004 *apud* ETKIN *et al.*, 2007).

O modelo OSCAR incorpora uma dinâmica, relativamente simples, para simular as interações óleo-costa. Estes procedimentos representam uma simplificação dos conjuntos desenvolvidos para um modelo de derramamento de óleo em uma zona costeira mais complexa.

A partir de trabalhos científicos, grupos de capacidade máxima de absorção de óleo foram estimados juntamente com uma série de taxas de remoção. As capacidades de absorção destinam-se a refletir tanto a inclinação da costa como a sua permeabilidade, e em alguns casos, a exposição às ondas e aos ventos.

O volume máximo de óleo, V_{max} (m³), quando há o encontro da mancha de óleo com a linha de costa, pode ser expresso como:

$$V_{max} = \delta_i L W_i \quad 5-1$$

Onde δ_i é a máxima capacidade de retenção por tipo de costa i , L é o comprimento da célula de praia e W_i é a largura da região de deposição por tipo de costa

Durante as simulações computacionais, se este volume máximo já estiver sido atingido, a massa de óleo que chega à costa não é mais depositada e o óleo continua a ser transportado pelos ventos e correntes para outras regiões:

O modelo também considera que ao longo da simulação uma quantidade de óleo vai sendo removida através da seguinte equação:

$$\Delta m = m_i (1 - \exp[-r_i \Delta t]) \quad 5-2$$

Onde Δm é a massa removida no passo de tempo Δt , m_i é a massa na célula de costa i , e r_i é a taxa de remoção de por tipo de costa i .

Na Tabela 2 são apresentadas as capacidades máximas de retenção e taxas de remoção do óleo do modelo para vários tipos de linha de costa.

Tabela 2: Capacidades máximas de retenção (mm) e taxas de remoção de óleo (por dia), para três classes de óleo e vários tipos de linha de costa.

	Manguezal / Barra de Rio Vegetada	Areia	Areia / Cascalho	Rocha protegida	Rocha exposta	Estrutura Artificial
Capacidade máxima de retenção (mm)						
$\mu < 30$ cP	70	30	70	5	5	1
$\mu < 2000$ cP	70	25	40	15	15	2
$\mu > 2000$ cP	70	20	30	20	20	5
Taxas de remoção de óleo (por dia)						
$\mu < 30$ cP	0,001	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5
$\mu < 2000$ cP	0,001	0,01	0,005	0,01	0,1	0,1
$\mu > 2000$ cP	0,001	0,01	0,005	0,01	0,1	0,1

6. Massa Máxima de Óleo na Costa

Para obter a massa máxima de óleo na costa, os elementos de grade são monitorados ao longo de toda a simulação. São armazenadas as informações de massa máxima de óleo que atingiram **cada elemento de grade** ao longo das n simulações. Ao final, têm-se um mapa das massas máximas por ponto de grade ou célula de costa que atingiram os elementos de grade que representam a costa.

Em seguida, é calculada a distribuição de massa ao longo da linha de costa considerando que o tamanho da linha de costa de cada ponto de grade é a sua diagonal. Assim se tem a quantidade de massa por unidade de comprimento (Ex: toneladas por quilômetro).

7. Blowout Submerso

Nos últimos anos diversos modelos foram desenvolvidos para simular o transporte de misturas de óleo e gás em águas profundas. Lindersen (2013) apresenta alguns desses modelos e as bases teóricas para os seus desenvolvimentos.

De maneira geral os modelos de *blowout* submerso levam em consideram três diferentes fases: A fase de jato, a fase de pluma e uma fase passiva com velocidade vertical controlada pelo tamanho das gotículas de óleo, conforme ilustrado na Figura 4.

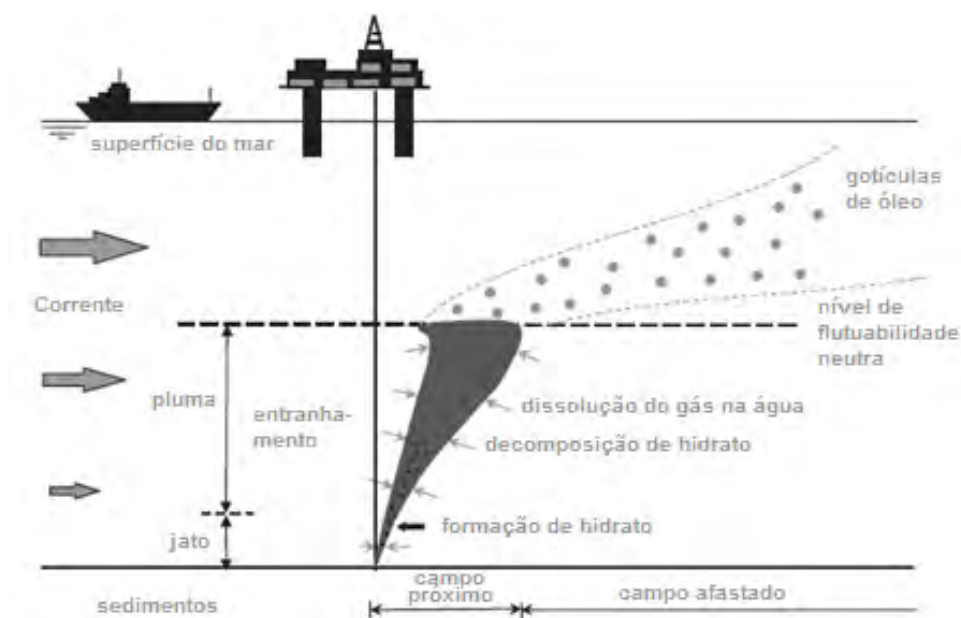


Figura 3: Esquema geral de plumas de *blowout* de óleo em profundidade. Adaptado de Lindersen (2013).

O modelo OSCAR contém um módulo específico para a modelagem de vazamentos de óleo em profundidade. Este módulo, chamado Plume3D, contém um modelo de pluma multifásico geral desenvolvido pela SINTEF, com acoplamento entre o campo próximo (*Near-Field*), que inclui as fases de jato e a fase de pluma, e o campo afastado (*Far-Field*), que permite o acompanhamento das gotículas dispersas, bolhas e partículas minerais decorrentes de descargas de óleo e gás oriundas do fundo do oceano. Detalhes sobre esse modelo podem ser encontradas em Johansen & Durgut (2006) e em Johansen *et al.* (2012).

Vazamentos de óleo e gás no fundo oceânico resultarão na formação de gotículas de óleo e bolhas de gás respectivamente. Na fase de jato os movimentos são dominados pelas correntes induzidas pelo próprio vazamento e o tamanho dessas bolhas e gotículas não são consideradas.

Na fase de pluma, as gotículas e bolhas de diversos tamanhas se movem em conjunto como uma mistura integral. Nesta fase, a dissolução dos gases, a formação de hidratos e o estranhamento de água do ambiente têm papel dominante na densidade da pluma, que por sua vez, controla o movimento vertical da pluma. Nesta fase, os tamanhos das gotículas e bolhas não afetam de maneira significativa o movimento da pluma. Aspectos importantes da fase de pluma em águas profundas, considerados no Plume3D são:

- Comportamento de gás não ideal;
- Dissolução de gás das bolhas para a água do ambiente;
- Efeito de correntes do ambiente;
- Formação e dissociação de Hidratos.

Após a fase de pluma é atingido o nível terminal da pluma dinâmica e inicia-se a fase passiva onde a velocidade vertical do óleo no ambiente é controlada pelo tamanho das gotículas de óleo formadas nas plumas. O Plume3d contém um algoritmo desenvolvido pela SINTEF para estimativa das distribuições do tamanho das gotículas de óleo a partir de experimentos realizados nos tanques dos laboratórios da SINTEF. Detalhes sobre esses experimentos podem ser encontrados em Brandvik *et al.* (2012).

A partir do nível terminal da pluma dinâmica a trajetória do óleo na coluna d'água é afetada pelo tamanho das gotículas de óleo formadas a partir do *blowout* em águas profundas. Como ilustração, considerando uma profundidade de 1.000 m, pequenas gotículas, com diâmetros inferiores a 0,5 mm, precisam de aproximadamente 1 dia para chegar a superfície. Na mesma situação, gotículas maiores, com diâmetro maiores que 5 mm, podem chegar a superfície em algumas poucas horas, enquanto que partículas menores do que 1.000 μm podem ficar retidas na coluna d'água por grandes períodos antes de chegarem a superfície. Além do tamanho das gotículas, fatores como correntes, turbulência vertical e estratificação vertical de densidade também são considerados na velocidade de subida dessas gotículas.

Detalhes sobre o algoritmo e as formulações utilizadas para cálculo da distribuição dos tamanhos das gotículas podem ser vistos em Brandvik *et al.* (2012) e Lindersen (2013).

O cálculo do tamanho das gotículas de óleo é feito em função de:

- Macro-características do óleo (viscosidade, densidade, etc);
- Dimensões do vazamento;

- Vazão do *blowout*;
- Correntes.

O acoplamento do Plume3D com o modelo de partículas lagrangiano do OSCAR permite um mapeamento tridimensional das partículas em cada instante e, conseqüentemente, o cálculo das concentrações de óleo na coluna d'água e espessuras de óleo em superfície, conforme ilustrado na Figura 4.

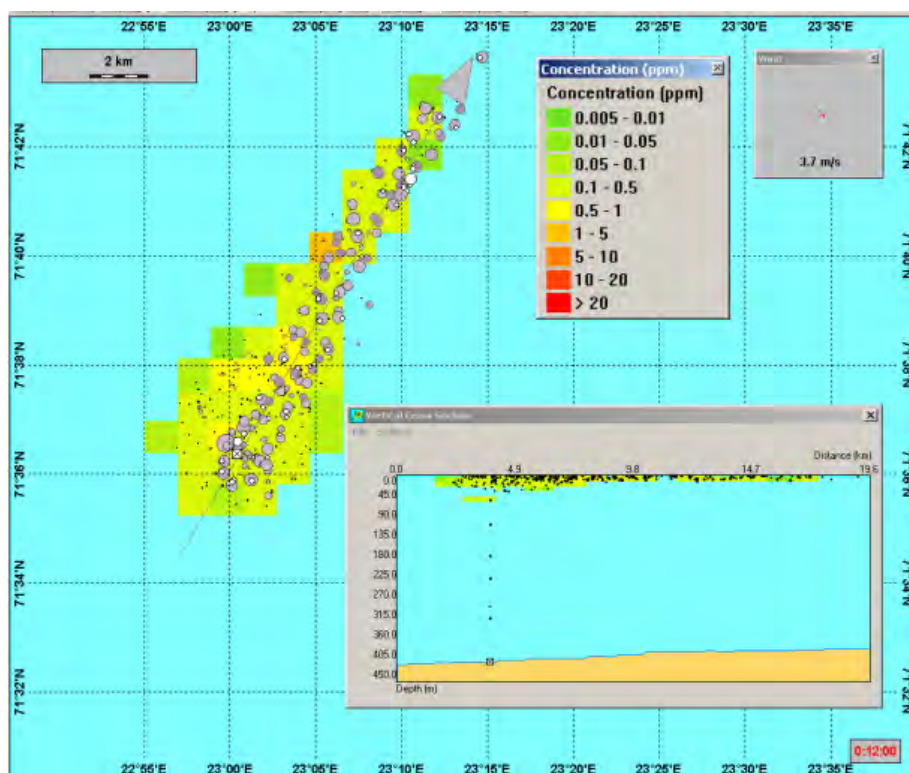


Figura 4: Ilustração de uma simulação de *blowout* no fundo oceânico com o OSCAR. O mapa mostra a distribuição de partículas representando o óleo em superfície (círculos em cinza) e as partículas representando o óleo na coluna d'água (pontos pretos e marrons).

8. Resumo dos Parâmetros Físicos e Numéricos

Os parâmetros físicos utilizados no modelo de dispersão de óleo são apresentados na Tabela 3 enquanto as constantes são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 3: Parâmetros físicos e químicos utilizados no modelo de óleo.

Parâmetro	Descrição
w'	componente turbulenta
K	coeficiente de dispersão turbulenta

K_x	coeficiente de dispersão horizontal
H e H_b	altura de onda
T (1)	período de onda
x_{le}	largura da mancha de óleo
$\Delta\rho$	diferença entre as densidades da água e do óleo
m	1/2 da taxa de liberação de massa dividido pela corrente superficial
m_i	massa associada ao i-ésimo componente de vazamento
K_e	coeficiente de transferência de massa evaporada
T (2)	Temperatura do óleo
P_i	pressão de vapor para o i-ésimo componente
F_i	fração molar do i-ésimo componente remanescente na mancha
C_d	coeficiente de atrito entre a atmosfera e o ar
$U(t)$	velocidade do vento
Q_{di}	taxa de dispersão por unidade de área das gotículas de óleo
C^*	coeficiente de dispersão derivado empiricamente
D	energia da onda dissipada por unidade de área
S	fração da superfície do oceano coberta por óleo
F	fração da superfície do mar coberta pela arrebentação de ondas por unidade de tempo
d_i	diâmetro média das partículas na classe de tamanho i
Δd	intervalo do diâmetro das partículas
ν	viscosidade cinemática do óleo
e	taxa de dissipação de energia
$W(t)$	emulsificação
$W_m(t)$	teor máximo de água no óleo
$t_{1/2}$	tempo de meia-vida dependente do vento para emulsificação
t_{ref}	tempo de meia-vida de referência
t_{lab}	média de valores de meia-vida encontrados em laboratório
K_d	coeficiente de transferência de massa por difusão
A	área superficial da mancha de óleo
S_i	solubilidade do componente i
C_i	concentração ambiente do componente i
Sh_i	Número de Sherwood
Re	Número de Reynolds
Sc_i	Número de Schmidt
U_{rel}	velocidade relativa entre o óleo e a água
L	extensão da mancha
D_i	difusividade molecular do componente i
C_w	concentração de equilíbrio de um poluente na fase aquosa
C_s	concentração de equilíbrio na fase sólida

C_{ss}	concentração de sedimentos suspensos
K_p	parâmetro dependente da temperatura, pH e das características físico-químicas do sólido adsorvido
A, B, a, b	constantes de correlação dependentes da estrutura do composto
$a'_{\mu, \rho, p}$	fatores de regressão
$b'_{\mu, \rho, p}$	fatores de regressão
ρ_o	densidade da água do óleo
D_k	coeficiente de difusão turbulenta para $k = x, y$ e z .
ρ_w	densidade da água
μ_w	viscosidade dinâmica da água
ν	viscosidade cinemática da água

Tabela 4: Constantes físicas utilizadas no modelo de óleo.

Constante	Valor	Descrição
K_z	10^{-4} m/s^2	coeficiente de dispersão vertical
g	$9,81 \text{ m/s}^2$	aceleração gravitacional
ν	$1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	viscosidade cinemática da água
R	$8,206 \times 10^{-5} \text{ atm} \cdot \text{m}^3/\text{mol} \cdot \text{K}$	constante universal dos gases
C	0,0323	constante
D	0,0474	constante
u_1	7	constante
u_2	20	constante
$C_o(2)$	500 a 3400	constante
a	2,5	constante empírica
b	0,654	constante empírica
C_{wind}	3,5%	coeficiente de arrasto do vento

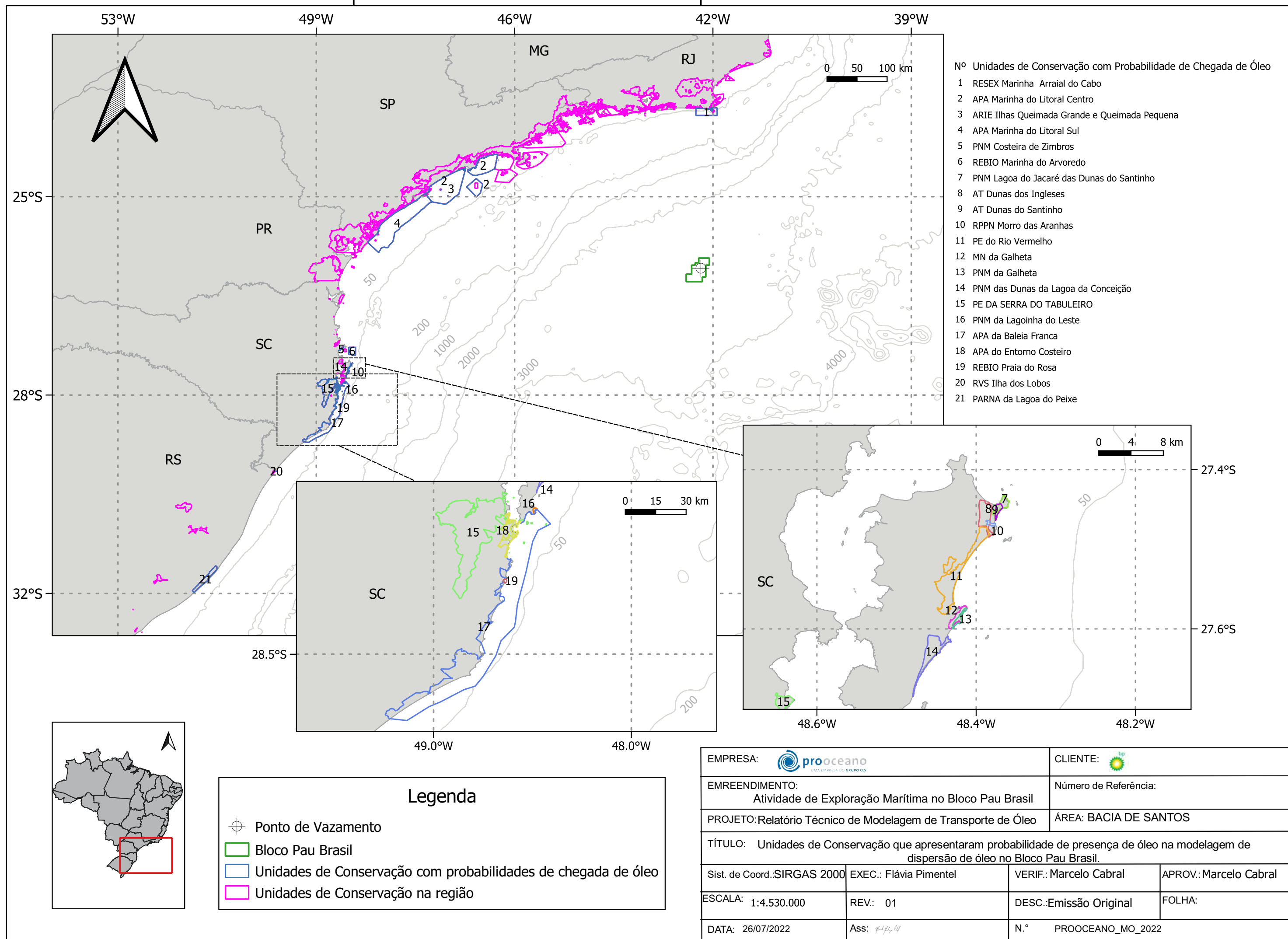
9. Bibliografia

- ANDRADE, R.C., 2006 Uma Nova Abordagem para a Solução Numérica de Problemas de Advecção e Difusão Multidimensional, em Corpos de Água Naturais. Tese de doutorado do Programa de Engenharia Oceânica – Área de Engenharia Costeira & Oceanográfica – COPPE/UFRJ.
- BOWDEN, K.F. 1983. Physical oceanography of coastal waters. John Wiley, NY, 302 p.
- BRANDVIK, P., JOHANSEN, Ø., LEIRVIK, F., FAROOQ, U. and DALING, P. (2012). Droplet breakup in sub-surface oil releases - Part 1: Experimental study of droplet breakup and effectiveness of dispersant injection, Submitted to Marine Pollution Bulletin October 2012 .
- DELVIGNE, G. A. L.; SWEENEY, C. E.. Natural dispersion of Oil. Oil & Chemical Pollution 4 (1988) 281-310.
- ETKIN, D.S., FRENCH-MCCAY, D.; MICHEL, J. 2007. Review of the State-of-the-Art on Modeling Interactions between Spilled Oil and Shorelines for the Development of Algorithms for Oil Spill Risk Analysis Modeling. Available from BOEM Environmental Division, Branch of Environmental Sciences. OCS Study MMS 2007-063. 161 p.
- FISCHER, H. B.; LIST, E. J.; KOH, R. C. Y.; IMBERGER, J.; BROOKS, N., 1979. Mixing in Inland and Coastal Waters., Academic Press, New York, 1979
- HOULT, D. P. Oil spreading on the sea. Annual Review of Fluid Mechanics, p. 341-367, 1972.
- JOHANSEN, Ø. 2000. DeepBlow – A Lagrangian Plume Model for Deep Water Blowouts. Spill Science & Technology Bulletin. Vol. 6, No. 2: 103 – 111.
- JOHANSEN, Ø. and DURGUT, I. (2006). Implementation of the near-field module in theERMS model, Technical report, SINTEF.
- JONG, K, 2004 A Comparison of Four Particle Models. A Comparison of DemWaq, DREAM, GNOME, and SIMPAR. Ministeriere Van Verkeer en Waterstraat.
- LINDERSEN, P, J, B, 2013. Modelling of Subsurface Releases of Oil and Gas. Master's Thesis. Norwegian University of Science and Technology. Department of Chemical Engineering. Trondheim, Norway.
- MACKAY, D., I. BUIST, R. MASCARENHAS & S. PATERSON. 1980. Oil Spill Processes and Models. Environmental Protection Service. Canada. Report EE-8.
- REED, M. 2001. Technical Description and Verification Tests of OSCAR 2000, a Multi-Component 3-Dimensional Oil Spill Contingency And Response Model. SINTEF Report. 52p.

- REED, M., AAMO, O. M., DOWNING, K. (1996): Calibration and Testing of IKU's Oil Spill Contingency and Response (OSCAR) Model System. Proceedings of the 1996 Arctic and Marine Oil Spill Program (AMOP) Technical Seminar, pp.689-726.
- REED, M.; DALING, P.; LEWIS, A.; DITLEVSEN, M. K.; BRØRS, B.; CLARK, J.; AURAND, D. 2004. Modelling of dispersant application to oil spills in shallow coastal waters. Environmental Modelling & Software, v. 19, p. 681-690.
- REED, M. 2000; SINGSAAS, I.; DALING, P.S; FAKNES, L; BRAKSTAD, O.G.; HETLAND, B. A.; HOKSTAD, J. 2000. Modeling the Water-Accommodated Fraction in OSCAR2000. In: 2001 International Oil Spill Conference. Computer Technology and Oil Spills. SINTEF Report. pp.1083-1091.
- REED, M.; JOHANSEN, Ø.; BRANDVIK, P. J.; DALING, P.; LEWIS, A.; FIOCCO, R.; MACKAY, D.; PRENTKI, R. 1999. Oil Spill Modelling towards the Close of the 20th Century: Overview of the State of the Art. Spill Science and Technology Bulletin, 5 (1): pp 3-16.
- SEBASTIÃO, P.; SOARES, C. G. 1995. Modeling the Fate of Oil Spills at Sea. Spill Science and Technology Bulletin, 2 (2): pp 121-131.

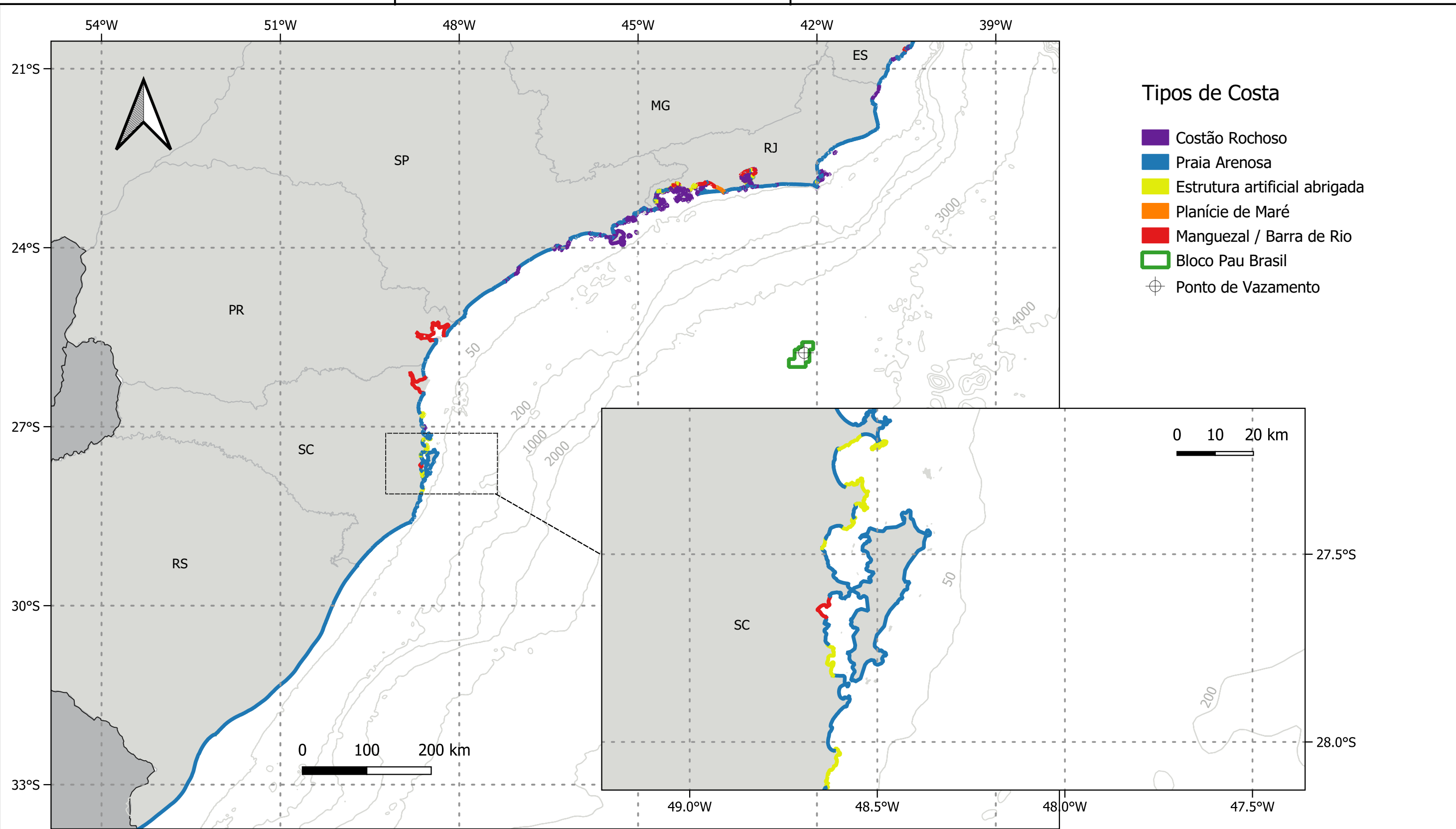
- ANEXO II -



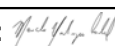
Mapa com Unidades de Conservação Consideradas
no Estudo



- ANEXO III -

Mapa com Detalhamento de Linha de Costa
Utilizado para a Definição da Grade do Modelo do
OSCAR



EMPRESA: 		CLIENTE: 	
EMPREENDIMENTO: Atividade de Exploração Marítima no Bloco Pau Brasil		Número de Referência:	
PROJETO:Relatório Técnico de Modelagem de Transporte de Óleo		ÁREA: BACIA DE SANTOS	
TÍTULO: Detalhamento da linha de costa considerada na modelagem de dispersão de óleo no Bloco Pau Brasil.			
Sist. de Coord.:SIRGAS 2000	EXEC.:Flávia Pimentel	VERIF. Marcelo Cabral	APROV.: Marcelo Cabral
ESCALA: 1:4.890.000	REV.: 01	DESC.: Emissão Original	FOLHA:
DATA 26/07/202	Ass: 	N.º PROOCEANO_MO_2022	

- ANEXO IV -

Cadastro Técnico Federal da Equipe Técnica





Ministério do Meio Ambiente
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL
CERTIFICADO DE REGULARIDADE - CR



Registro n.º	Data da consulta:	CR emitido em:	CR válido até:
2473071	29/07/2022	29/07/2022	29/10/2022

Dados básicos:

CPF: 106.363.107-60

Nome: FLÁVIA POZZI PIMENTEL

Endereço:

logradouro: RUA PEREIRA DA SILVA

N.º: 172

Complemento: AP 202

Bairro: LARANJEIRAS

Município: RIO DE JANEIRO

CEP: 22221-140

UF: RJ

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA

Código CBO	Ocupação	Área de Atividade
2134-05	Geólogo	Prestar assessoria e consultoria

Conforme dados disponíveis na presente data, CERTIFICA-SE que a pessoa física está em conformidade com as obrigações cadastrais do CTF/AIDA.

A inscrição no Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA constitui declaração, pela pessoa física, do cumprimento de exigências específicas de qualificação ou de limites de atuação que porventura sejam determinados pelo respectivo Conselho de Fiscalização Profissional.

O Certificado de Regularidade emitido pelo CTF/AIDA não desobriga a pessoa inscrita de obter licenças, autorizações, permissões, concessões, alvarás e demais documentos exigíveis por instituições federais, estaduais, distritais ou municipais para o exercício de suas atividades, especialmente os documentos de responsabilidade técnica, qualquer o tipo e conforme regulamentação do respectivo Conselho de Fiscalização Profissional, quando exigíveis.

O Certificado de Regularidade no CTF/AIDA não produz qualquer efeito quanto à qualificação e à habilitação técnica da pessoa física inscrita.

Chave de autenticação	ZNQRB28Q73FDQDPJ
------------------------------	-------------------------

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE - CR </div>  </div>			
Registro n.º	Data da consulta:	CR emitido em:	CR válido até:
3790998	29/07/2022	29/07/2022	29/10/2022
Dados básicos:			
CPF: 116.991.707-03 Nome: HENERY FERREIRA GARÇÃO Endereço: logradouro: RUA JORNALISTA ANTONIO RODRIGUES DA COSTA N.º: 17 Complemento: QUADRA 230 Bairro: ITAIPU Município: NITEROI CEP: 24342-400 UF: RJ			
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA			
Código CBO	Ocupação	Área de Atividade	
2134-05	Geólogo	Prestar assessoria e consultoria	
<p>Conforme dados disponíveis na presente data, CERTIFICA-SE que a pessoa física está em conformidade com as obrigações cadastrais do CTF/AIDA.</p> <p>A inscrição no Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA constitui declaração, pela pessoa física, do cumprimento de exigências específicas de qualificação ou de limites de atuação que porventura sejam determinados pelo respectivo Conselho de Fiscalização Profissional.</p> <p>O Certificado de Regularidade emitido pelo CTF/AIDA não desobriga a pessoa inscrita de obter licenças, autorizações, permissões, concessões, alvarás e demais documentos exigíveis por instituições federais, estaduais, distritais ou municipais para o exercício de suas atividades, especialmente os documentos de responsabilidade técnica, qualquer o tipo e conforme regulamentação do respectivo Conselho de Fiscalização Profissional, quando exigíveis.</p> <p>O Certificado de Regularidade no CTF/AIDA não produz qualquer efeito quanto à qualificação e à habilitação técnica da pessoa física inscrita.</p>			
Chave de autenticação		UCDGBEPJ6LK9KVU2	

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE - CR </div>  </div>			
Registro n.º	Data da consulta:	CR emitido em:	CR válido até:
210325	29/07/2022	29/07/2022	29/10/2022
Dados básicos:			
CPF: 032.928.877-63 Nome: JÚLIO AUGUSTO DE CASTRO PELLEGRINI Endereço: logradouro: RUA CESÁRIO ALVIM N.º: 55 Complemento: 806-A Bairro: HUMAITÁ Município: RIO DE JANEIRO CEP: 22261-030 UF: RJ			
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA			
Código CBO	Ocupação	Área de Atividade	
2134-05	Geólogo	Prestar assessoria e consultoria	
<p>Conforme dados disponíveis na presente data, CERTIFICA-SE que a pessoa física está em conformidade com as obrigações cadastrais do CTF/AIDA.</p> <p>A inscrição no Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA constitui declaração, pela pessoa física, do cumprimento de exigências específicas de qualificação ou de limites de atuação que porventura sejam determinados pelo respectivo Conselho de Fiscalização Profissional.</p> <p>O Certificado de Regularidade emitido pelo CTF/AIDA não desobriga a pessoa inscrita de obter licenças, autorizações, permissões, concessões, alvarás e demais documentos exigíveis por instituições federais, estaduais, distritais ou municipais para o exercício de suas atividades, especialmente os documentos de responsabilidade técnica, qualquer o tipo e conforme regulamentação do respectivo Conselho de Fiscalização Profissional, quando exigíveis.</p> <p>O Certificado de Regularidade no CTF/AIDA não produz qualquer efeito quanto à qualificação e à habilitação técnica da pessoa física inscrita.</p>			
Chave de autenticação		S1DH6CF4K48S556P	



Ministério do Meio Ambiente
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL
CERTIFICADO DE REGULARIDADE - CR



Registro n.º	Data da consulta:	CR emitido em:	CR válido até:
6005736	29/07/2022	29/07/2022	29/10/2022

Dados básicos:

CPF: 140.274.557-54
Nome: LÍVIA SANT'ANGELO MARIANO

Endereço:

logradouro: RUA CAMPOS SALES
N.º: 168 Complemento: 202
Bairro: TIJUCA Município: RIO DE JANEIRO
CEP: 20270-215 UF: RJ

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA

Código CBO	Ocupação	Área de Atividade
2134-05	Geólogo	Prestar assessoria e consultoria

Conforme dados disponíveis na presente data, CERTIFICA-SE que a pessoa física está em conformidade com as obrigações cadastrais do CTF/AIDA.

A inscrição no Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA constitui declaração, pela pessoa física, do cumprimento de exigências específicas de qualificação ou de limites de atuação que porventura sejam determinados pelo respectivo Conselho de Fiscalização Profissional.

O Certificado de Regularidade emitido pelo CTF/AIDA não desobriga a pessoa inscrita de obter licenças, autorizações, permissões, concessões, alvarás e demais documentos exigíveis por instituições federais, estaduais, distritais ou municipais para o exercício de suas atividades, especialmente os documentos de responsabilidade técnica, qualquer o tipo e conforme regulamentação do respectivo Conselho de Fiscalização Profissional, quando exigíveis.

O Certificado de Regularidade no CTF/AIDA não produz qualquer efeito quanto à qualificação e à habilitação técnica da pessoa física inscrita.

Chave de autenticação	TUCBJZKCXF7QNCP3
------------------------------	------------------

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE - CR </div>  </div>			
Registro n.º	Data da consulta:	CR emitido em:	CR válido até:
5621594	29/07/2022	29/07/2022	29/10/2022
Dados básicos:			
CPF: 890.313.184-34			
Nome: MARCELO MONTENEGRO CABRAL			
Endereço:			
logradouro: RUA EUCLIDES DA CUNHA			
N.º: 255	Complemento: 507-2		
Bairro: SÃO CRISTÓVÃO	Município: RIO DE JANEIRO		
CEP: 20940-060	UF: RJ		
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA			
Código CBO	Ocupação	Área de Atividade	
2142-40	Engenheiro Civil (Hidráulica)	Prestar consultoria, assistência e assessoria	
<p>Conforme dados disponíveis na presente data, CERTIFICA-SE que a pessoa física está em conformidade com as obrigações cadastrais do CTF/AIDA.</p> <p>A inscrição no Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA constitui declaração, pela pessoa física, do cumprimento de exigências específicas de qualificação ou de limites de atuação que porventura sejam determinados pelo respectivo Conselho de Fiscalização Profissional.</p> <p>O Certificado de Regularidade emitido pelo CTF/AIDA não desobriga a pessoa inscrita de obter licenças, autorizações, permissões, concessões, alvarás e demais documentos exigíveis por instituições federais, estaduais, distritais ou municipais para o exercício de suas atividades, especialmente os documentos de responsabilidade técnica, qualquer o tipo e conforme regulamentação do respectivo Conselho de Fiscalização Profissional, quando exigíveis.</p> <p>O Certificado de Regularidade no CTF/AIDA não produz qualquer efeito quanto à qualificação e à habilitação técnica da pessoa física inscrita.</p>			
Chave de autenticação		ZEKUTXI4W4MCNGG7	