

## **II.5.1. Meio Físico**

### **II.5.1.1. Meteorologia**

### **II.5.1.2. Oceanografia**

Os itens de Meteorologia (Item II.5.1.1) e Oceanografia (Item II.5.1.2) foram elaborados pela empresa PROOCEANO, de acordo com o Termo de Referência SEI/IBAMA 8197751, específico para a Atividade de Perfuração Marítima da Acumulação de Patola, do Campo de Baúna, Bloco BM-S-40, Bacia de Santos, e encontram-se apresentados a seguir.

# Meio Físico | Meteorologia e Oceanografia

Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna) |  
Acumulação de Patola  
Bacia de Santos

**RELATÓRIO TÉCNICO [REV.00]**

28 DE MAIO DE 2021

**Preparado para:**

Karooon Energy

**Preparado por:**

Luiza Peiter

Henery Garção

Marcelo 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](http://www.prooceano.com.br)

© 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: 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

### Henery Ferreira Garção

Registro no Conselho de Classe: -

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

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura:



### Luiza Peiter de Barros Barreto

Registro no Conselho de Classe: -

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 7437543

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura:



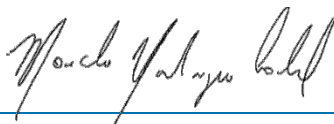
### Marcelo Montenegro Cabral

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.....  | 4   |
| Sumário Executivo .....   | 5   |
| 1. Introdução.....  | 7   |
| 2. Meteorologia .....   | 9   |
| 2.1. Caracterização dos Fenômenos de Macroescala.....           | 13  |
| 2.2. Caracterização dos Fenômenos de Mesoescala .....           | 19  |
| 2.3. Caracterização dos Fenômenos de Microescala.....           | 59  |
| 2.4. Identificação da Sazonalidade.....                         | 61  |
| 2.5. Identificação de Fenômenos Meteorológicos Extremos .....   | 63  |
| 3. Oceanografia.....  | 65  |
| 3.1. Caracterização dos Fenômenos de Macroescala.....           | 67  |
| 3.2. Caracterização dos Fenômenos de Meso- e submesoescala..... | 71  |
| 3.3. Identificação da variabilidade ambiental .....             | 213 |
| 3.4. Identificação de fenômenos oceanográficos extremos.....    | 216 |
| 4. Síntese Conclusiva.....                                      | 218 |
| 5. Bibliografia .....   | 221 |

## Sumário Executivo

A partir de uma ampla compilação de dados meteoceanográficos coletados *in situ* – derivadores, sensores a bordo do FPSO Cidade Itajaí (PMA/BM-S-40), perfis de CTD coletados no bloco BM-S-40 (PCA/BM-S-40), boia meteoceanográfica (PNBOIA - Santos) e estações meteorológicas costeiras (INMET) -, dados de sensoriamento remoto, resultados de reanálises globais, dados bibliográficos e modelagem hidrodinâmica foi realizada a caracterização da meteorologia e oceanografia do Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna).

A meteorologia da região de estudo é influenciada principalmente pelos padrões sazonais do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), pela passagem de frentes frias e de ciclones extratropicais. A influência do ASAS propicia condições de bom tempo, estabilidade termodinâmica, temperaturas amenas, ventos de NE/E e céu claro, enquanto a evolução de sistemas frontais vindos do S desestabiliza essas condições, causando nebulosidade e precipitação, ventos de SW/S, queda de temperatura e oscilação da pressão atmosférica.

Durante os meses de verão, a temperatura no Campo de Baúna oscila entre 20 e 30°C (média climatológica de 25°), a precipitação acumulada mensal é de aproximadamente 120 mm, a umidade relativa do ar é de aproximadamente 82%, a pressão atmosférica média é de 1012 hPa. Nas estações meteorológicas costeiras utilizadas a evaporação média mensal é de aproximadamente 87 mm e a insolação é de 160 horas. Já no inverno, a temperatura oscila entre 12 e 25°C (média climatológica de 20°C) e a precipitação acumulada mensal é mais baixa (82 mm), assim como a umidade relativa do ar (78%). Já a pressão atmosférica média aumenta para 1020 hPa, devido à aproximação e fortalecimento do ASAS. Para a região costeira a evaporação média mensal é menor (63 mm), assim como a insolação (123 horas).

O regime de ventos na região do Campo de Baúna é predominantemente de quadrante NE (N, NE e E) ao longo de todo o ano (~60% de ocorrência). Os ventos deste quadrante são gerados pela influência do ASAS e apresentam intensidade média de 6 m/s e máximas de 25 m/s. Durante a passagem de frentes frias e ciclones extratropicais, os ventos passam para o quadrante sul (SW, S, SE) e alcançam intensidades maiores que 20 m/s com mais frequência. Como descrito pela literatura científica e corroborado pelo PMA/BM-S-40, nos meses de inverno a média de ocorrência de frentes frias aumenta, chegando a até 7,5 frentes por mês – contra aproximadamente 4 nos meses de verão. Logo, é durante o inverno que se observa maior percentual de ocorrência de ventos do quadrante sul. Além dos padrões sazonais climatológicos descritos, observou-se o sinal de variabilidade diária em quase todas as variáveis, principalmente o sinal diurno nos ventos associado ao fenômeno de brisa marinha – brisa terrestre.

O regime de ondas no Campo de Baúna é gerada pela influência dos ventos locais (*wind sea*) superposto a ondulações geradas remotamente (*swell*). As ondas geradas pela influência dos ventos do ASAS possuem direção preferencial de NE e E, altura significativa média de 1 a 1,3 m (máxima de 5,8 m), e período de 4 a 10 s, aproximadamente. As ondas geradas pela ação de ciclones extratropicais no sul do continente produzem ondas do quadrante sul (SW, S e SE) com alturas de

até 6,4 metros (sendo de 1 a 3 metros mais frequente) e período de 6 a 14 s. Acompanhando a sazonalidade da passagem de frentes frias na região, é no período de inverno que se observam as condições de agitação marítima mais severas, com maior frequência de ocorrência de ondas do quadrante sul, com maiores alturas e períodos associados.

O Campo de Baúna se encontra em lâmina d'água de aproximadamente 300 m de profundidade, em uma região de baixa declividade do talude continental e ao lado de uma plataforma continental extensa, de cerca de 150 km. O Campo de Baúna se encontra, da superfície ao fundo, sob a influência direta da Corrente do Brasil (CB) que, em média, flui para SW com intensidades de 0,25 m/s (máxima de ~ 1 m/s), apresentando regime médio mais intenso no verão e primavera.

A atividade de mesoescala na região é intensa, alterando o padrão climatológico da direção das correntes e posição do núcleo da CB, sendo uma importante fonte de variabilidade das correntes superficiais. A presença de meandros e vórtices associados à CB leva à ocorrência de correntes de todas as direções, dentre as quais destaca-se a direção W, que chegou a representar cerca de 20% das correntes medidas *in-situ* a bordo do FPSO Cidade Itajaí (PMA/BM-S- 40). Tal variabilidade associada às feições de mesoescala evidencia ainda a tendência de transporte da CB para a plataforma continental na região do entorno do Campo de Baúna, conforme observado em dados de modelos e corroborado por trajetórias observadas de derivadores. Em maiores frequências, atenta-se para a importância das oscilações quase-inercias, que rotacionam as correntes em sentido anti-horário com período de aproximadamente 30 horas. Na plataforma continental adjacente as correntes se encontram em equilíbrio dinâmico com o campo de vento. Sob o domínio do ASAS as correntes apresentam direção para SW e, na ocorrência da passagem de frentes frias observa-se a inversão das correntes, que adquirem direção para N/NE. Com a maior taxa de ocorrência de frentes frias no inverno, os pulsos de corrente para NE resultam no transporte residual de mesma direção, gerando a Corrente Costeira do Brasil (CCB).

A temperatura da água em superfície oscila entre 24 e 30 °C em janeiro (média de 27°C) e entre 18 e 23°C em agosto (média de 21 °C). A salinidade apresenta pouca variabilidade sazonal no entorno do Campo tendo como característica climatológica mais notável a presença de águas menos salinas na plataforma continental no período de inverno. Devido à profundidade local ser de aproximadamente 300 m, na região do Campo de Baúna são encontradas as massas d'água Água Topical (AT), Água de Mistura (AM) e Águas Centrais do Atlântico Sul (ACAS). Nas adjacências do Campo, em áreas com profundidade maior, a Água Intermediária Antártica (AIA) também pode ser observada. A maré apresenta comportamento predominantemente semi-diurno com amplitude média de 0,6 m, e gera correntes de, no máximo, 0,08 m/s no Campo de Baúna.

## 1. Introdução

De forma a obter um amplo conhecimento da área do Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna), onde está localizada a acumulação de Patola, neste item é realizada a caracterização meteorológica e oceanográfica da região. Além de compor um diagnóstico ambiental amplo, objetiva-se contribuir com a identificação e avaliação de processos e fenômenos que possam causar ou magnificar impactos e riscos associados aos outros compartimentos do meio ambiente. Este diagnóstico foi elaborado a partir da compilação de dados meteoceanográficos observados na região, dados de reanálises globais e regionais, dados de sensoriamento remoto além de uma ampla pesquisa bibliográfica. Dentre os dados utilizados destaca-se a compilação dos resultados do “Projeto de Monitoramento Ambiental do Desenvolvimento da Produção de Petróleo dos Campos de Baúna e Piracaba, BM-S-40, Bacia de Santos” (doravante denominado **PMA/BM-S-40**), especificamente dos resultados do subprojeto “Monitoramento Meteoceanográfico Operacional” (**PMA/BS-40 subprojeto PMOP**) e do subprojeto “Monitoramento por Sensoriamento Remoto” (**PMA/BS-40 subprojeto PMSR**). Também foram utilizados os resultados do Projeto de Caracterização Ambiental da área do Bloco BM-S-40, executado no âmbito do licenciamento da Atividade de Perfuração Marítima da Acumulação de Patola nos meses de fevereiro e março de 2021 (doravante denominado **PCA/BM-S-40**).

A área de interesse é a região do Campo de Baúna e seu entorno, localizada na porção sul da Bacia de Santos (26,5°S; 46,5°W) na região denominada Embaiamento de Santos, adjacente aos estados de São Paulo, Paraná e Santa Catarina, com profundidades locais entre aproximadamente 200 e 300 metros. Como pode ser observado na Figura 1, a plataforma continental adjacente apresenta uma extensão de cerca de 150 km e a quebra da plataforma na região do Campo de Baúna apresenta baixa declividade entre 200 e 600 metros.

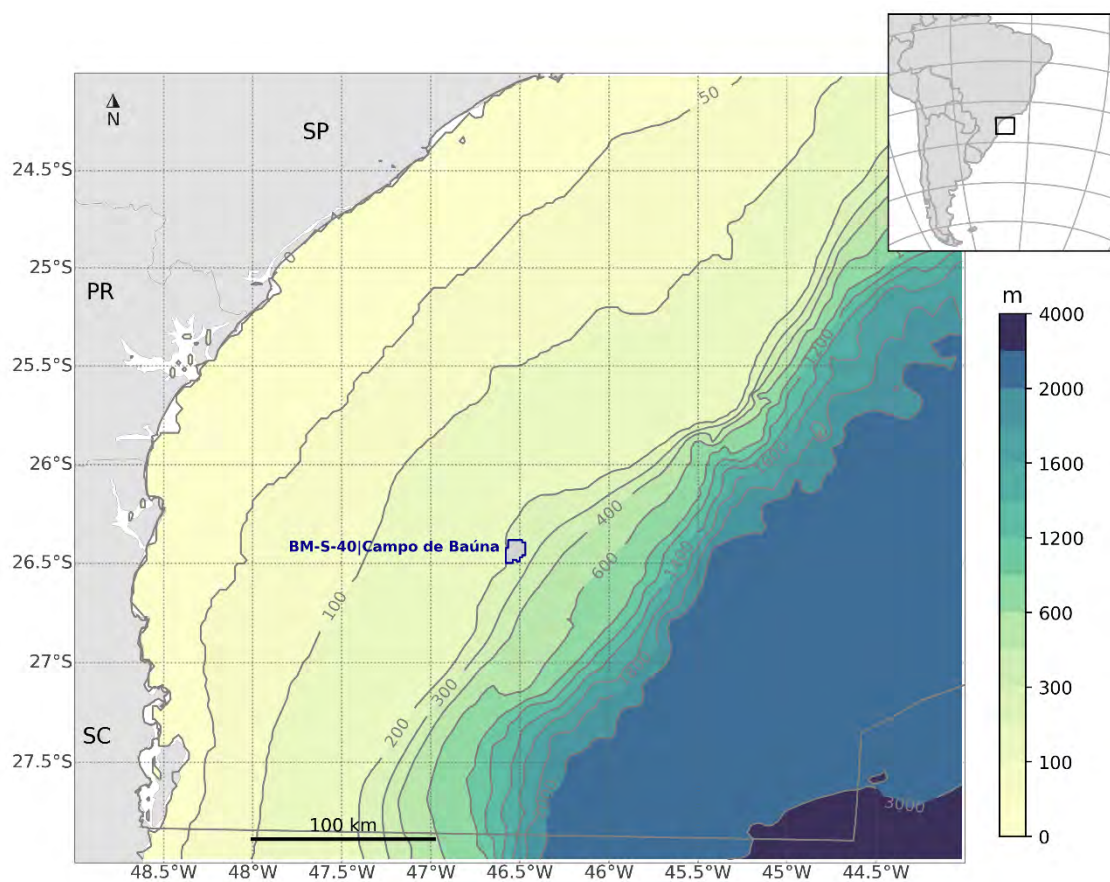


Figura 1: Localização do Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna) ao sul da Bacia de Santos.

## 2. Meteorologia

A caracterização meteorológica da região de estudo baseou-se na análise e interpretação dos dados das seguintes fontes:

- Normais climatológicas de temperatura, precipitação, evaporação, umidade, pressão atmosférica e insolação, obtidas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) das estações meteorológicas de Iguape (SP), Paranaguá (PR) e Florianópolis (SC) – Análise de mesoescala.
- Dados de temperatura do ar, precipitação, pressão atmosférica, umidade relativa e ventos das estações automáticas do INMET de Iguape (SP) e Florianópolis (SC) – Análise de meso e microescala.
- Dados de ventos, temperatura do ar, precipitação, pressão atmosférica, umidade relativa e ventos da reanálise do ERA5, do ECMWF (*European Center for Medium Range Weather Forecast*) – Análise de mesoescala.
- Dados de ventos do Programa Nacional de Boias (PNBOIA), especificamente da boia meteo-oceanográfica “Santos” – Análise de mesoescala.
- Acompanhamento e contabilização da passagem de frentes frias na Bacia de Santos do PMSR – Análise de macro- e mesoescala.
- Dados bibliográficos existentes para a região – Análise de macroescala.

As normais climatológicas do INMET fornecem médias mensais de parâmetros meteorológicos de um determinado local por períodos de 30 anos, caracterizando a distribuição dos dados dentro de uma faixa de incidência habitual. Serão apresentadas as normais climatológicas de temperatura, precipitação, evaporação, umidade relativa, pressão atmosférica e insolação obtidas das estações meteorológicas de Iguape (SP), Paranaguá (PR) e Florianópolis (SC), para o período de 1961 a 1990. Não estão disponíveis os dados de evaporação da estação de Iguape, portanto para análise desta variável específica será analisado e interpretado os resultados das estações de Paranaguá e Florianópolis somente.

Para a avaliação da variabilidade dos parâmetros meteorológicos em maior frequência amostral, foram utilizados dados de temperatura, precipitação, umidade relativa, pressão atmosférica e ventos para as estações meteorológicas de Iguape (SP) e Florianópolis (SC). Esses dados foram coletados em intervalos de uma hora, entre 2010 e 2019. Não estão disponíveis as variáveis evaporação e insolação nos dados horários do INMET, sendo sua caracterização feita apenas em função das normais climatológicas descritas anteriormente.

Os dados do projeto ERA5 são 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. Estes dados foram utilizados para análises da região total da Bacia de Santos, bem como para análises pontuais e de extremos, com resultados a cada 4 h, de janeiro de 1989 a dezembro de

2019. Os dados também foram utilizados na elaboração de séries de normais climatológicas mensais de cada parâmetro e na identificação de eventos extremos, com a definição de limiares para cada variável. Os limiares foram baseados na distribuição normal das variáveis, ou seja, valores acima e abaixo da média somado ou subtraído a duas vezes o desvio padrão, são marcados como eventos extremos.

Para complementar a caracterização do regime de ventos, foram usados dados horários da boia de Santos do Programa Nacional de Boias, coletados entre 2011 e 2018, disponíveis no Banco Nacional de Dados Oceanográficos.

A caracterização da variação espacial dos parâmetros meteorológicos (temperatura, precipitação, umidade e pressão atmosférica) na região de estudo foi realizada através das médias sazonais elaboradas com dados diários do projeto ERA5 no período compreendido de 1989 até 2019. Não há informações de evaporação e insolação nos resultados da Reanálise do ERA5, por isso a caracterização destes parâmetros ficou restrita às normais climatológicas do INMET.

A Tabela 1 apresenta um resumo dos dados utilizados para os diferentes parâmetros, com as fontes de dados utilizadas nos estudos e suas respectivas localizações. A localização das fontes de dados utilizadas pode ser visualizada na Figura 2.

Tabela 1: Resumo dos parâmetros analisados, fontes e abrangência temporal, frequência e localização dos dados utilizados para caracterização da área de estudo. Legenda: TA= Temperatura do Ar; P = Precipitação; E = Evaporação; UR = Umidade Relativa; PA = Pressão Atmosférica; V = Ventos; I = Insolação

| Fontes                | Coordenadas |             | Parâmetros              | Descrição                               | Período     |
|-----------------------|-------------|-------------|-------------------------|---|-------------|
|                       | Latitude    | Longitude   |                         |   |             |
| INMET – Iguape        | 24,67°S     | 47,55°W     | TA, P, UR, PA, I e V    | Normais climatológicas (médias mensais) | 1961 a 1990 |
| INMET – Paranaguá     | 25,56°S     | 48,52°W     | TA, P, E, UR, PA, I e V | Normais climatológicas (médias mensais) | 1961 a 1990 |
| INMET - Florianópolis | 27,6°S      | 48,62°W     | TA, P, E, UR, PA, I e V | Normais climatológicas (médias mensais) | 1961 a 1990 |
| INMET – Iguape        | 24,67°S     | 47,55°W     | TA, P, UR, PA e V       | Dados horários                          | 2010 a 2019 |
| INMET - Florianópolis | 27,6°S      | 48,62°W     | TA, P, UR, PA e V       | Dados horários                          | 2010 a 2019 |
| ERA5 (pontual)        | 26,5°S      | 46,5°W      | TA, P, UR, PA e V       | Observações a cada 4 horas              | 2012 a 2016 |
| ERA5 (área)           | 28°S – 24°S | 49°W – 44°W | TA, P, UR, PA e V       | Observações a cada 4 horas              | 2012 a 2016 |
| BNDO/PNBOIA           | 25,4395 °S  | 45,0361 °W  | V                       | Dados horários                          | 2011 a 2018 |



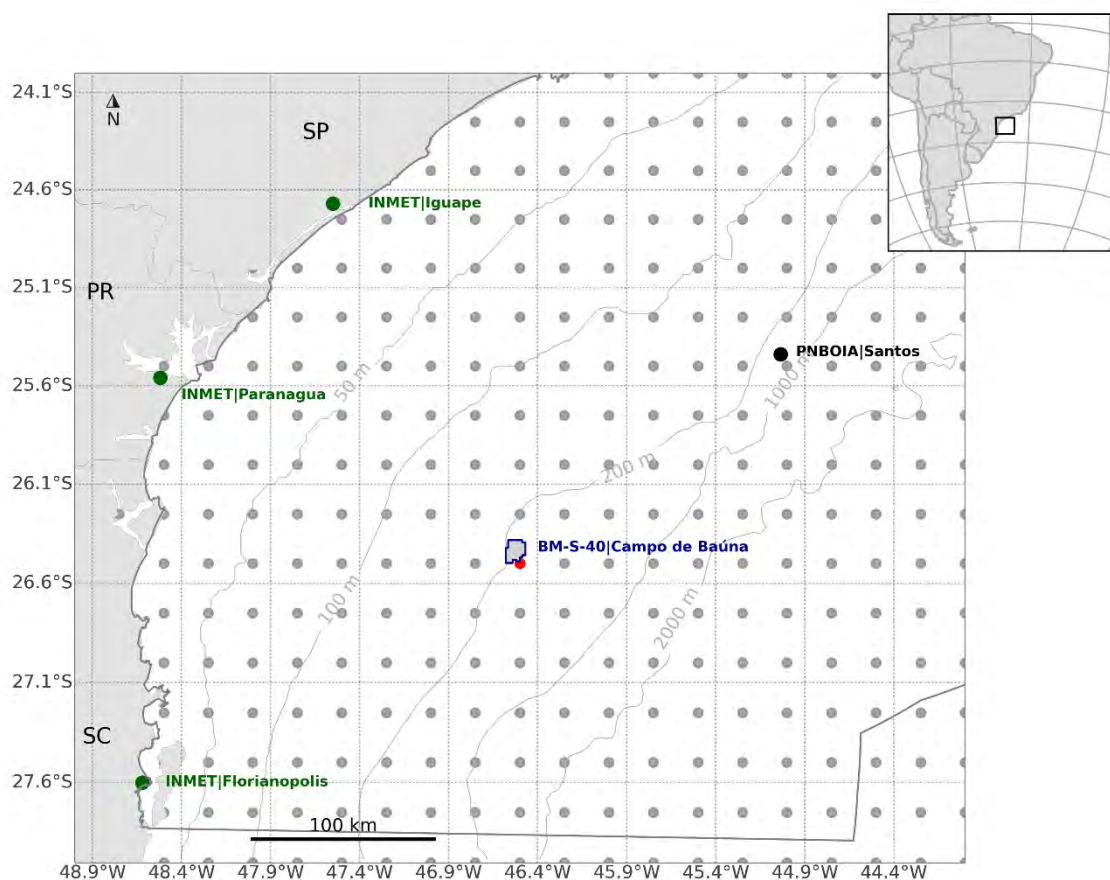


Figura 2: Área do Campo de Baúna (polígono azul) e seu entorno e localização das fontes de dados utilizadas para a caracterização da área de estudo. Os pontos em verde representam a localização das estações automáticas do INMET. O ponto preto representa localização da boia meteorológica do PNBOIA, os pontos cinzas são os pontos de grade do ERA5 e o ponto vermelho é o ponto ERA5 mais próximo do empreendimento, utilizado para as análises pontuais meteorológicas.

## 2.1. Caracterização dos Fenômenos de Macroescala

A meteorologia na região da Bacia de Santos e na área próxima ao Campo de Baúna é influenciada por fenômenos de grande escala que atuam sobre a América do Sul e os oceanos adjacentes. Devido ao seu posicionamento, relevo e à sua grande extensão territorial, a América do Sul apresenta características climáticas distintas ao longo do seu território. Essa variabilidade climática está diretamente relacionada com as condições atmosféricas decorrentes da interação entre fenômenos pertencentes a várias escalas de tempo e espaço, que vão desde a planetária até a escala local.

A Bacia de Santos e o Campo Baúna sofrem influência do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) durante todo o ano. O ASAS é um sistema semi-estacionário com diâmetro por volta de 2000 km, associado a condições de bom tempo – estabilidade termodinâmica, céu claro, sem precipitação - cujo núcleo de alta atmosférica se encontra no meio do oceano Atlântico. Durante o verão, o núcleo do ASAS é menos intenso (1020 hPa) e se encontra mais afastado do continente do que no inverno, quando apresenta máximos climatológicos em torno de 1026 hPa nos meses de julho e agosto. Essa oscilação E-W ocorre porque, durante o inverno, as temperaturas são menores sobre o continente e, conseqüentemente, os centros de alta pressão migram em sua direção, enquanto no verão, as temperaturas sobre o continente são maiores e, portanto, os centros de alta pressão encontram-se mais afastados (HASTENRATH, 1985) (Figura 3).

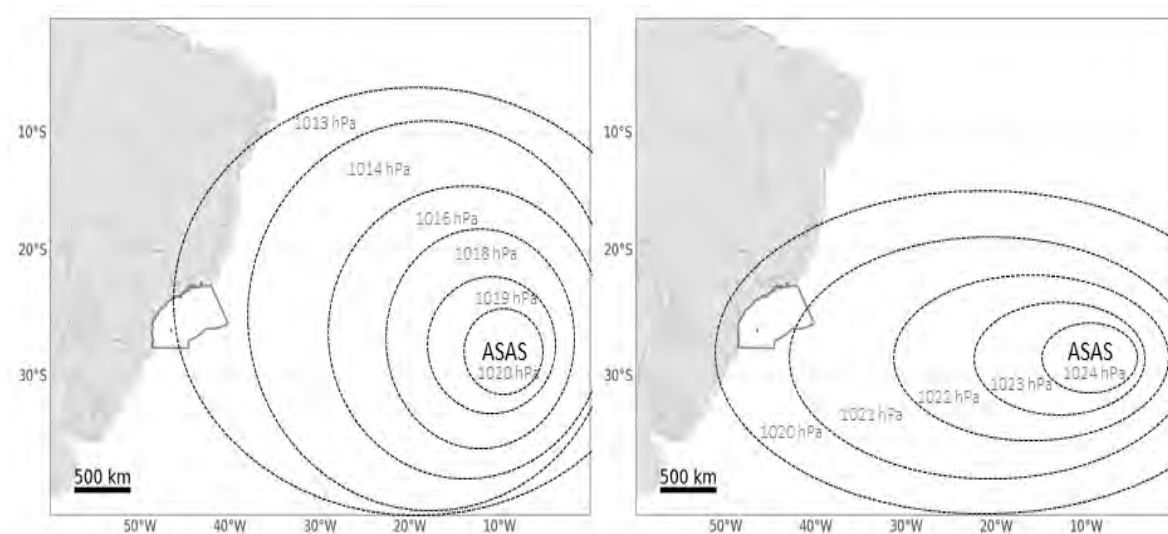


Figura 3: Figura esquemática representando a posição do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e os valores de pressão atmosférica nos meses de verão (esquerda) e inverno (direita).

A influência do ASAS sobre a região da Bacia de Santos perdura ao longo de todo o ano, provocando ventos típicos de NE/E (característicos de bom tempo), com intensidade média de 5,5 a 8 m/s. No entanto, essa situação de estabilidade termodinâmica é interrompida pela passagem de sistemas frontais (frentes frias) e de ciclones extratropicais. A evolução de uma frente fria é descrita como o deslocamento de uma massa de ar fria ao encontro de uma massa de ar quente, ambas associadas a sistemas de alta pressão (anticiclones). Entre os sistemas de alta pressão, encontram-se regiões com pressões atmosféricas mais baixas associadas a ciclones extratropicais. Na Bacia de Santos, a

configuração típica da passagem de frentes frias é referente ao avanço da Alta Migratória Fria (AF) sobre o ASAS, com uma região de baixa pressão entre os dois sistemas associadas aos ciclones extratropicais (CE). Durante a passagem desses sistemas frontais, os ventos sobre a plataforma se invertem para o quadrante Sul (principalmente SW e W/SW), podendo atingir até 20 m/s. A penetração dos CE e AF e sistemas frontais também aumentam a nebulosidade, e podem causar precipitação e diminuição da temperatura local, resultando em um grande impacto no clima do sudeste brasileiro ao longo de todo o ano. Dessa forma, esses sistemas possuem importante papel na transferência de calor, momentum e umidade das altas para as baixas latitudes. A Figura 4 apresenta a carta sinótica disponibilizada pela Marinha do Brasil para o dia 20 de setembro de 2020, em um momento de passagem de uma frente fria na região do Campo de Baúna.

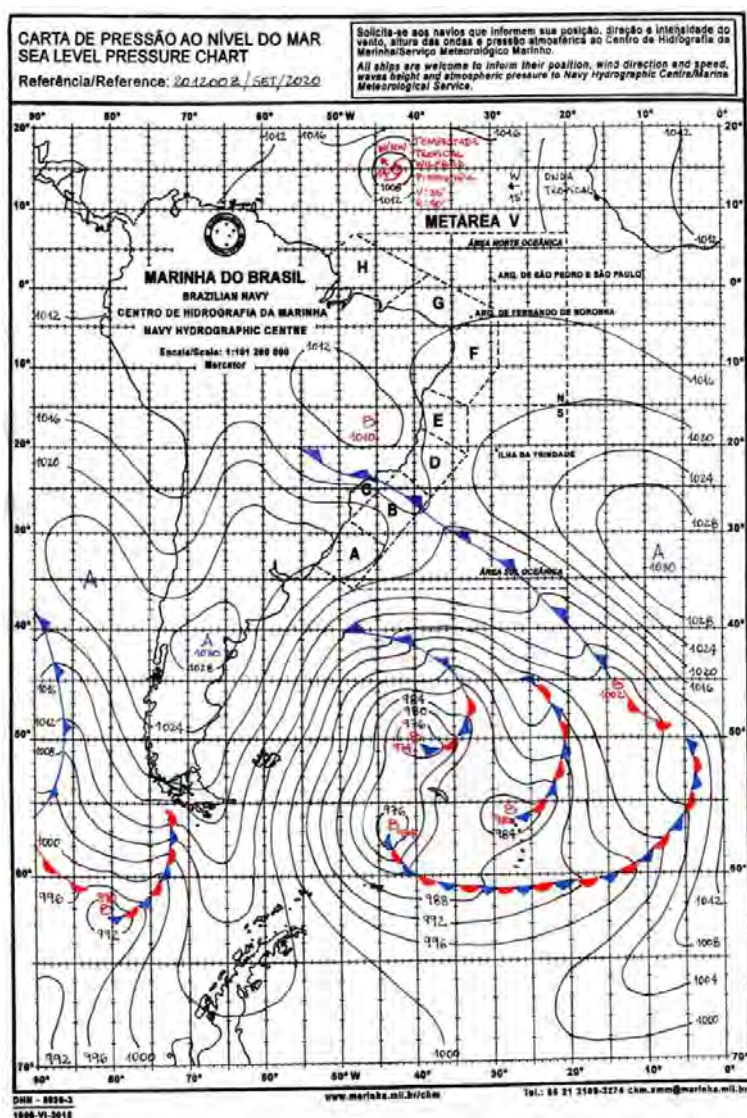


Figura 4 - Trecho da carta sinótica do dia 20 de setembro de 2020 (12:00). Fonte: <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas>.

No setor quente da frente, segundo Stech & Lorenzzetti (1992), a velocidade média do vento é de 5 m/s, variando sua direção predominantemente de nordeste para noroeste com a aproximação da frente. Imediatamente após a passagem da frente fria, o vento tem direção sudoeste, com velocidades tipicamente em torno de 8 m/s (STECH & LORENZZETTI, 1992). Aproximadamente um dia após a passagem da frente pela região, o vento novamente gira no sentido anti-horário, de sudoeste para nordeste (STECH & LORENZZETTI, 1992). A entrada de sistemas frontais na América do Sul é influenciada por diversos fatores.

Em média, se verifica a passagem de 4 sistemas frontais por mês (intervalo entre frentes de 5 a 10 dias) na região sudeste do Brasil, sendo esta frequência reduzida no verão e aumentada no inverno. No Campo de Baúna, a estatística da passagem de sistemas frontais foi obtida no Projeto de Monitoramento Ambiental (PMA/BM-S-40, subprojeto PMSR) e encontra-se compilada na Tabela 2. Verifica-se que os meses de junho e setembro apresentam o maior número de passagens de frentes frias (7 e 7,5 respectivamente), enquanto os meses de janeiro, março e abril apresentam a menor quantidade (1,3 e 3, respectivamente).

Tabela 2: Número de passagens de sistemas frontais na Bacia de Santos. Fonte: Adaptado de “Projeto de Monitoramento Ambiental do Desenvolvimento da Produção de Petróleo dos Campos de Baúna e Piracaba, BM-S-40, Bacia de Santos”.

|              | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <b>2013</b>  | 1   | 4   | 3   | 3   | 5   | 7   |     |     |     |     |     |     |
| <b>2014</b>  |     |     |     |     |     |     | 3   | 4   | 9   | 4   | 6   | 4   |
| <b>2015</b>  |     |     |     |     |     |     | 6   | 4   | 6   | 5   | 6   | 4   |
| <b>Média</b> | 1   | 4   | 3   | 3   | 5   | 7   | 4,5 | 4   | 7,5 | 4,5 | 6   | 4   |

Apesar de serem observados durante todo o ano, é no verão que os sistemas frontais atuam de modo a causar muita precipitação ao se associar a outros tipos de sistemas que provocam chuvas na região: os sistemas convectivos. A convecção é provocada pela associação das altas temperaturas com a umidade do ar. Estes dois fatores favorecem a formação de nuvens, causando instabilidades e chuvas isoladas em forma de pancadas, principalmente no final da tarde (AZEVEDO, 2002). Este tipo de chuva ocorre, pois o ar úmido e quente torna-se instável, elevando-se rapidamente e encontrando porções mais frias da atmosfera, gerando precipitação.

Durante o inverno, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) ocupa a sua posição mais setentrional (MARTIN et al., 1998), colaborando para que os sistemas frontais atuem com maior frequência sobre a região sudeste brasileira. Neste período, os sistemas frontais estão mais relacionados com a penetração de massas de ar frio. No verão, o deslocamento da ZCIT mais para sul favorece a predominância dos ventos alísios de nordeste. Nesse período, os sistemas frontais raramente chegam a ultrapassar o Trópico de Capricórnio.

Durante o outono, a ZCIT encontra-se em sua posição mais ao sul, porém os sistemas frontais voltam a atuar com certa frequência, devido ao posicionamento mais a leste do ASAS neste período. Além disso, os ventos passam a ser de sudeste, fechando desta forma o ciclo anual de atuação dos principais sistemas atmosféricos que atuam na região sudeste associados a formação de frentes frias

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é outro sistema típico de verão presente na região que pode provocar intensas chuvas no sudeste brasileiro. Esse fenômeno semi-estacionário pode ser descrito como a presença de uma banda de nebulosidade sobre o continente, com orientação noroeste-sudeste que se estende do sul da região amazônica até a área central do Atlântico Sul (QUADRO *et. al.*, 2012). A ZCAS e a atividade convectiva na bacia amazônica são os principais componentes do sistema de monções da América do Sul (SAMS) (JONES & CARVALHO, 2002). Esse tipo de formação permanece estacionário por mais de três dias, resultando em longos períodos de chuva (Carvalho *et. al.*, 2004).

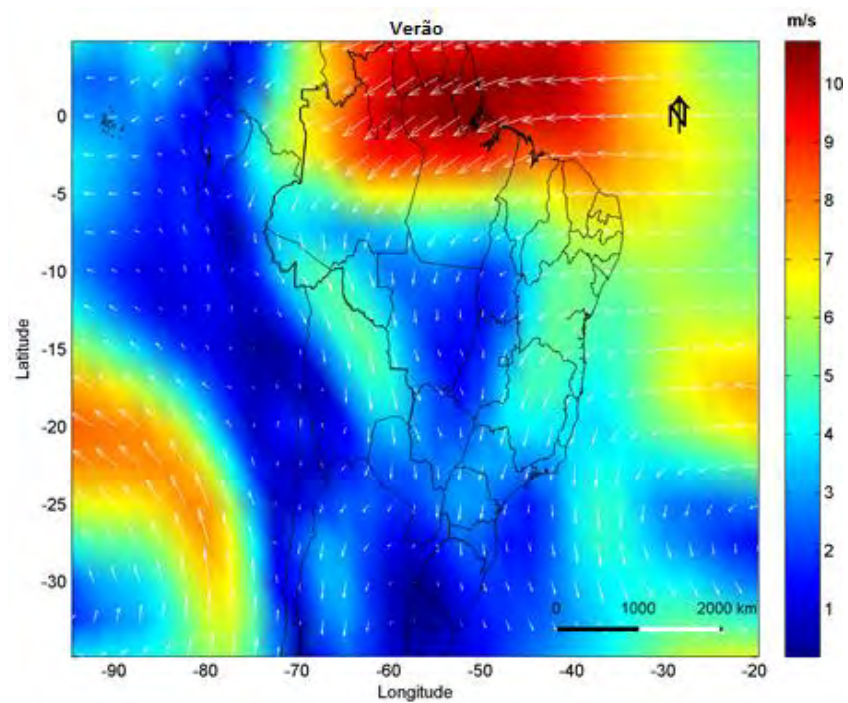
A América do Sul é também uma região de forte interação meridional entre os trópicos e os extra-trópicos. As regiões tropicais e subtropicais da América do Sul sofrem influência direta dos fenômenos ENOS (El Niño-Oscilação Sul) e La Niña. Este fenômeno é caracterizado por uma oscilação entre aquecimento (El Niño) e resfriamento (La Niña) anômalo das temperaturas da superfície do mar no oceano Pacífico Tropical, podendo afetar o padrão de ventos e regime de chuvas em escala global (SATYAMURTY *et. al.*, 1998; LIMA, 1996). Como impacto, o El Niño é caracterizado pela falta de padrão característico de mudança das chuvas, mas com aumento moderado das temperaturas médias, enquanto a La Niña é caracterizada pela falta de padrão característico da chuva e temperatura (CIRINO *et. al.*, 2015). No entanto, a região sudeste do Brasil (adjacente a Bacia de Santos) não é afetada pelos ENOS de maneira clara como nas outras regiões. Apesar da falta de padrão da influência do ENSO no Sudeste, este foi reportado por Carvalho *et. al.* (2004) como um modulador da ZCAS, umas das feições mais características do Sudeste.

Em baixos níveis, o padrão médio do escoamento sobre o sudeste brasileiro não muda significativamente entre o verão e o inverno (Figura 5 (a) e (b), respectivamente). É importante destacar a presença do jato de baixos níveis (abaixo de 850 hPa) que é responsável pelo transporte de vapor d'água e calor da Amazônia para a região Sul, Paraguai e o norte da Argentina. No inverno, observa-se ventos associados aos centros do Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) e do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), mais fracos que no verão. Também é possível observar um ligeiro deslocamento do ASPS em direção à linha do Equador, em relação à sua posição no verão, e do ASAS para mais próximo do continente sul-americano, deslocado para oeste (RI PRO06, 2007).

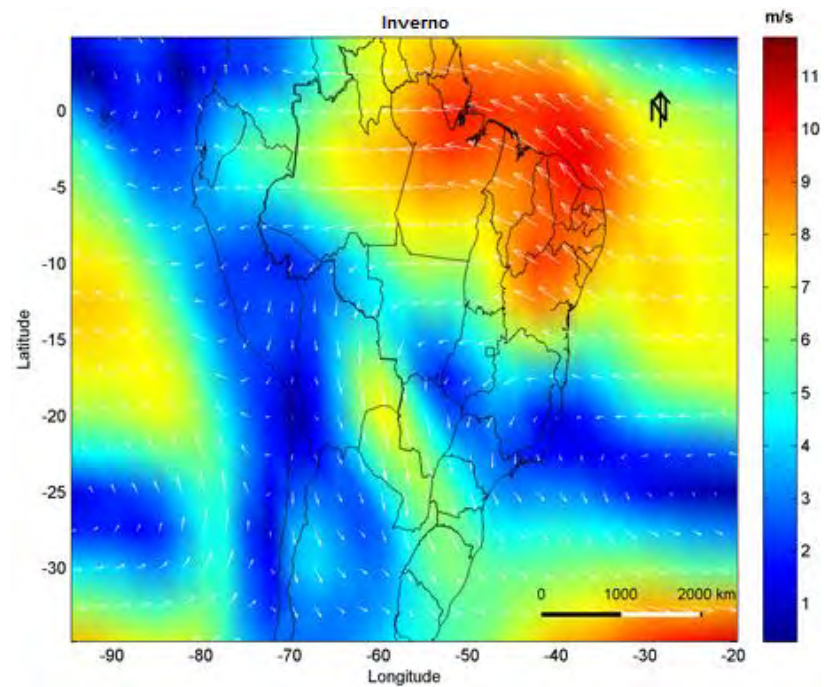


Figura 5: Campos médios sazonais do vento no nível de 850 hPa (m/s) referentes ao período de verão (a) e inverno (b). Dados de 1978 a 2007. Fonte: RI PRO06, 2007.

(a)



(b)



A Figura 6 apresenta uma carta sinótica meteorológica com a ilustração dos principais fenômenos meteorológicos de macroescala atuantes na área de estudo. Nesta carta, pode-se observar o posicionamento da ZCAS sobre a área de estudo, o posicionamento da ZCIT ao norte da América do Sul, do ASAS sobre o oceano Atlântico Sul, além do deslocamento de uma frente fria posicionada na costa da Argentina.

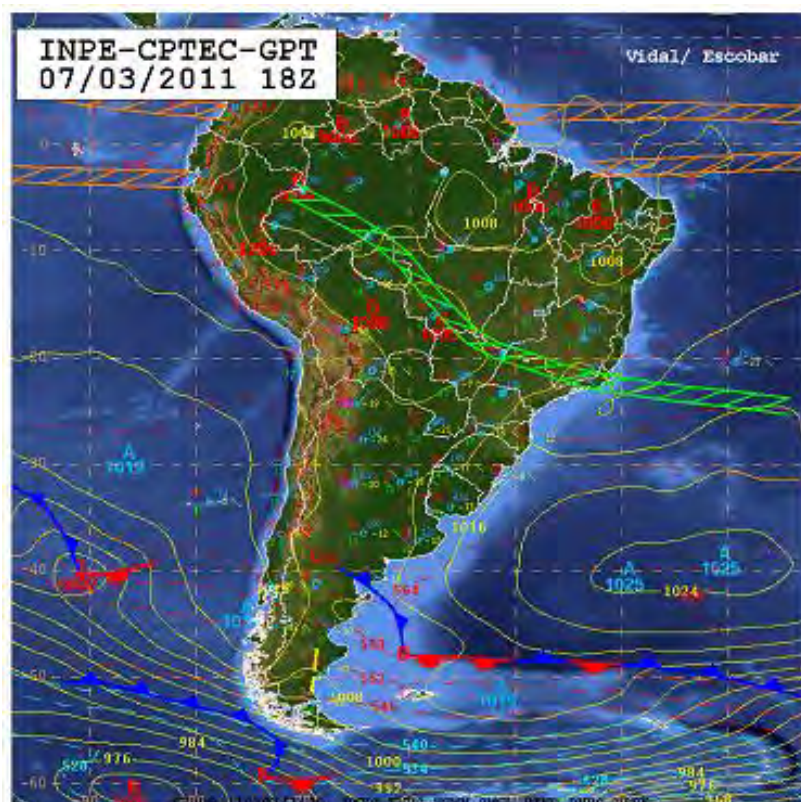


Figura 6: Carta sinótica do dia 7 de março de 2011, indicativa do posicionamento de uma ZCAS (linhas verdes), de uma frente fria (linha azul) e da ZCIT (linhas em laranja). Fonte: CPTEC/INPE.

## 2.2. Caracterização dos Fenômenos de Mesoescala

Neste item é realizada a caracterização meteorológica de mesoescala atuantes na região sul da Bacia de Santos, com enfoque no Campo de Baúna e seu entorno, ou seja, processos que ocorrem em escala espacial de alguns quilômetros até centenas de quilômetros e escala temporal entre semanas e meses.

O item encontra-se dividido em subitens para cada parâmetro analisado: temperatura do ar, precipitação, evaporação, umidade relativa, insolação, pressão atmosférica e regime de ventos. Informações detalhadas dos dados e suas fontes, bem como de sua abrangência temporal e espacial, podem ser encontradas na Tabela 1.

A caracterização das normais climatológicas foi feita utilizando-se as três estações do INMET mais representativas para a área de estudo: Iguape (SP), Paranaguá (PR) e Florianópolis (SC), e as análises em maior frequência amostral foram feitas utilizando-se as estações automáticas de Iguape (SP) e Florianópolis (SC). Também foram utilizados dados da Reanálise do ERA5.

### 2.2.1 Temperatura do Ar

As normais climatológicas de temperatura média, mínima e máxima do ar obtidas das estações meteorológicas de Iguape, Paranaguá e Florianópolis para o período de 1961 a 1990, demonstram uma nítida relação entre a latitude e a temperatura ao longo da área de estudo (Figura 7). As menores temperaturas são verificadas em regiões mais ao sul da Bacia, aumentando em direção ao limite norte. Tal relação está relacionada diretamente com o ângulo de incidência solar, que aumenta em direção às latitudes mais baixas. Além disso fica evidente a sazonalidade na região, com valores máximos entre janeiro e março (verão) e mínimos entre junho e agosto (inverno). As estações de Iguape, Paranaguá e Florianópolis apresentam valores médios no verão de 25,3 °C, 25,15 °C e 24,4 °C, respectivamente, sendo o máximo em fevereiro em todas as três estações. Os valores médios no inverno são de 18,5 °C (Iguape), 17,45 °C (Paranaguá) e 16,6 °C (Florianópolis), sendo o valor mínimo no mês de julho em todas as estações. A estação do outono é caracterizada por um decréscimo quase linear dos valores de temperatura até chegar ao seu mínimo no inverno. Após o inverno, ocorre o inverso, e durante a primavera os valores climatológicos aumentam até atingirem seu máximo no verão.



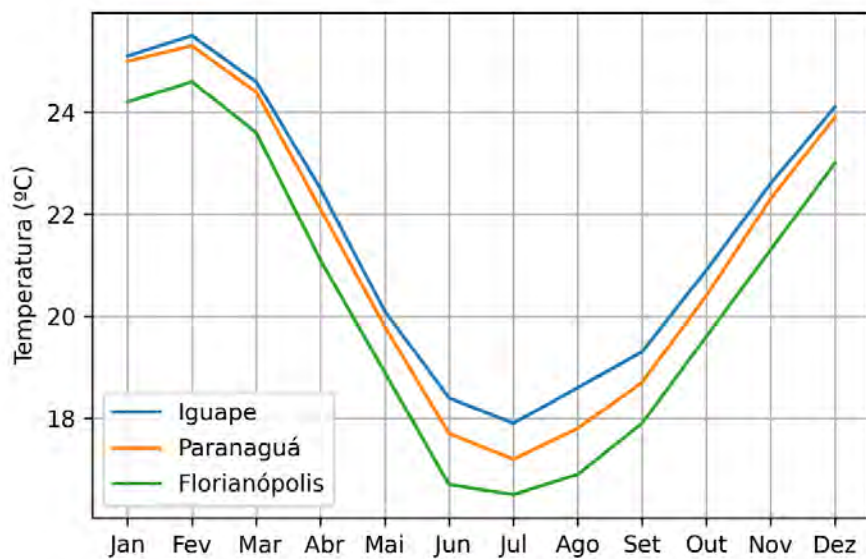


Figura 7: Normais climatológicas da temperatura do ar média das estações meteorológicas do INMET de Iguape, Paranaguá e Florianópolis. Fonte: INMET (1961 a 1990).

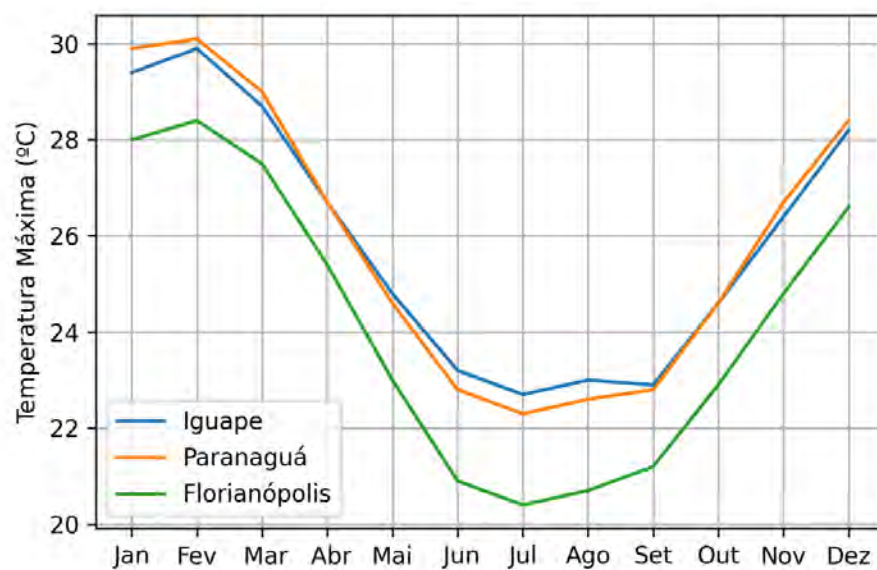


Figura 8: Normais climatológicas da temperatura do ar máxima das estações meteorológicas do INMET de Iguape, Paranaguá e Florianópolis. Fonte: INMET (1961 a 1990).

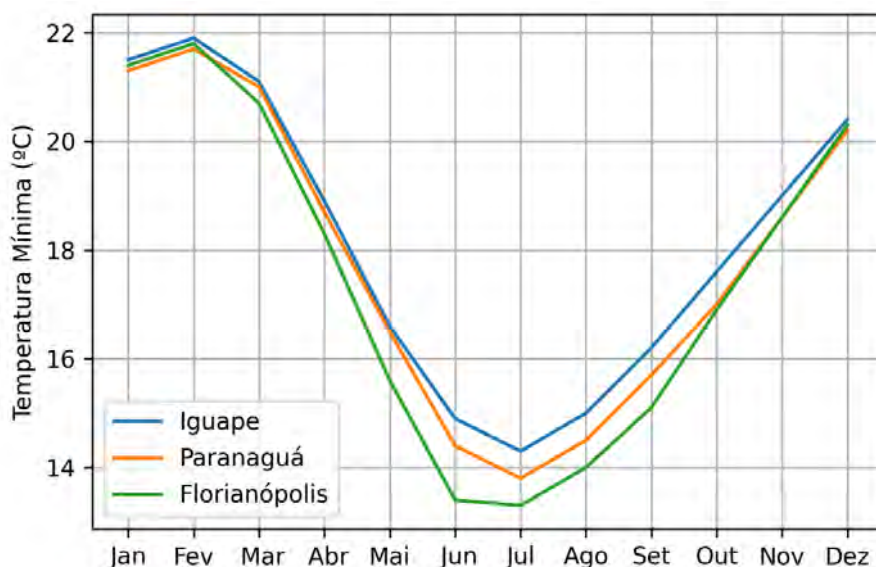


Figura 9: Normais climatológicas da temperatura do ar mínima das estações meteorológicas do INMET de Iguape, Paranaguá e Florianópolis. Fonte: INMET (1961 a 1990).

Para a avaliação da variabilidade da temperatura em menor período de tempo foram usados os dados horários das estações meteorológicas do INMET de Iguape (SP) e Florianópolis (SC) para o período de janeiro de 2010 a dezembro de 2019. A temperatura média, máxima e mínima mensal para cada uma das estações está representada na Figura 10 e resumida na Tabela 3.

O comportamento das curvas se assemelha com as normais climatológicas, com maiores temperaturas nos meses de dezembro a março, e menores nos meses de junho a setembro. As máximas podem apresentar variações devido a ondas de calor nos meses de inverno, associadas à baixa umidade. Ademais, nota-se uma grande amplitude térmica nas estações analisadas.

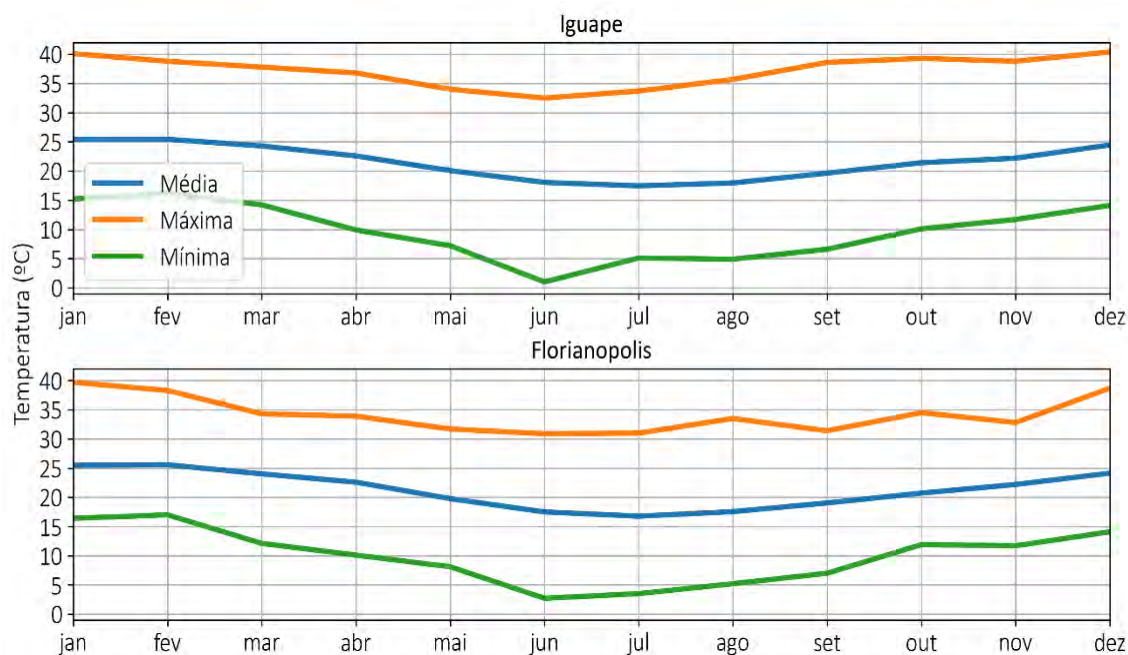


Figura 10: Temperatura do ar (°C) média, máxima e mínima mensal para, de cima para baixo, a estação de Iguape (SP) e Florianópolis (SC). Fonte: INMET (2010 a 2019).

Tabela 3: Estatísticas básica dos dados horários de temperatura do ar obtidos nas estações meteorológicas automáticas Iguape (SP) e Florianópolis (SC). Fonte: INMET (2010 a 2019).

| Estações           | Máxima (°C) | Média (°C) | Mínima (°C) | Desvio Padrão (°C) |
|--------------------|-------------|------------|-------------|--------------------|
| Iguape (SP)        | 40,40       | 21,58      | 1,00        | 4,47               |
| Florianópolis (SC) | 39,37       | 21,28      | 2,70        | 4,31               |

A Figura 11 e Figura 12 apresentam as séries temporais e respectivas análises espectrais nas estações de Iguape e Florianópolis, respectivamente. Observa-se uma variação sazonal e um alto pico de energia no período de 1 dia, relacionada ao ciclo de aquecimento solar diário, evidenciada pela amplitude térmica ao longo do dia, próxima a 10°C.

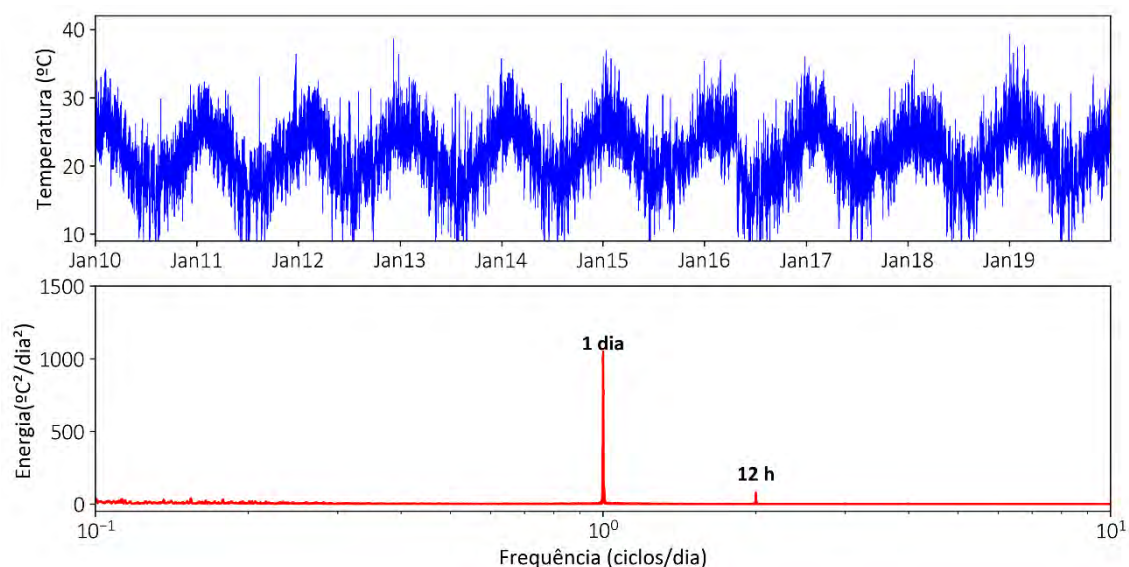


Figura 11: Série temporal de temperatura média do ar (°C) (acima) na estação de Florianópolis e espectro de energia no domínio da frequência (abaixo). Fonte: INMET (2010 a 2019).

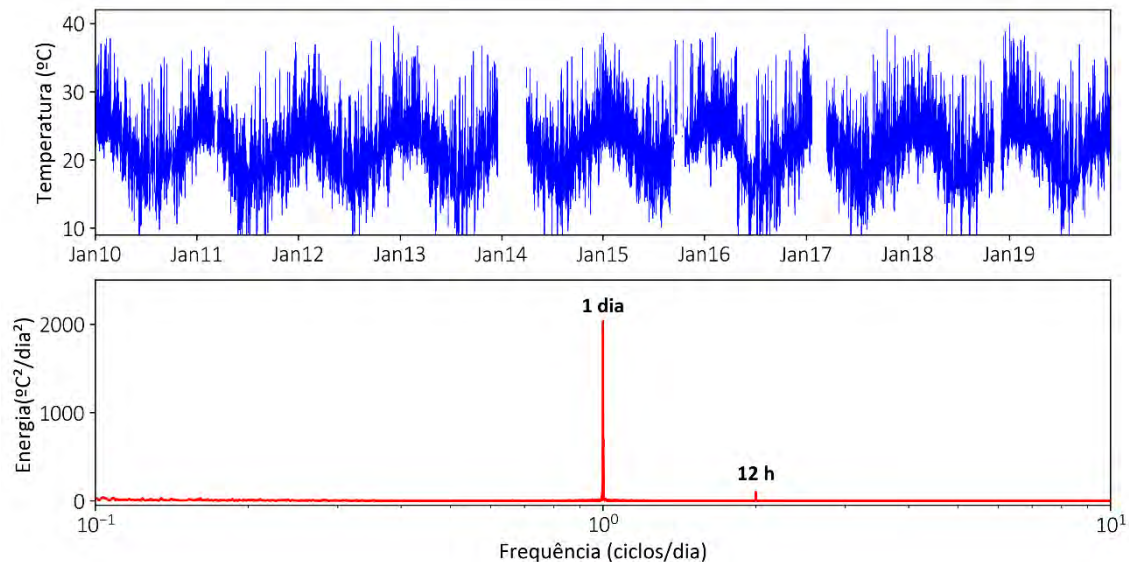


Figura 12: Série temporal de temperatura média do ar (°C) (acima) na estação de Iguaçu e espectro de energia no domínio da frequência (abaixo). Fonte: INMET (2010 a 2019).

Para a avaliação das variações espaciais e sazonais de temperatura do ar na região do Campo de Baúna e seu entorno, foram utilizados os dados de temperatura do ar a 2 metros de altitude obtidos do projeto ERA5. Para análise selecionou-se o ponto de grade mais próximo do empreendimento (Figura 2).

Na Figura 13 são apresentadas as médias mensais de temperatura do ar para o ponto de grade do ERA5 selecionado. Nota-se que o comportamento das temperaturas na região oceânica é similar aos observados nas estações em terra. No entanto, devido ao maior calor específico da água, a temperatura do ar na região oceânica apresenta menor amplitude térmica. Os maiores valores ocorrem em fevereiro (29,51°C) e os menores em julho (11,6°C), com média de 25°C no verão e 20°C no inverno.

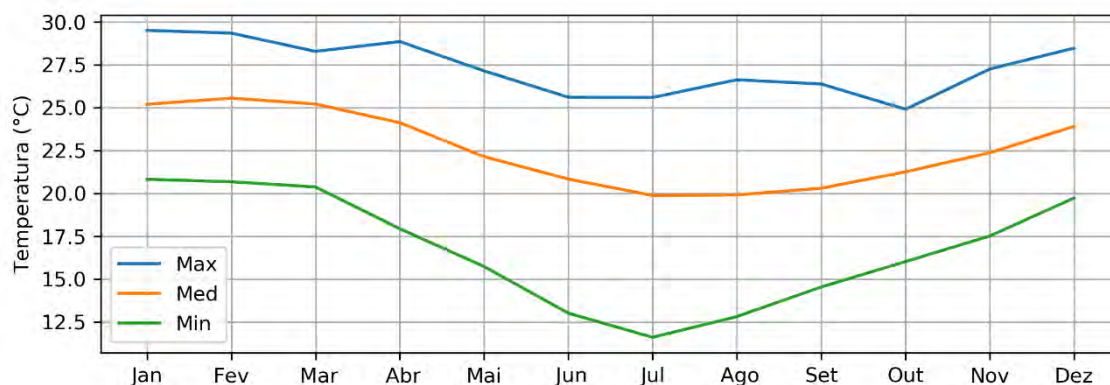


Figura 13: Temperatura do ar (°C) média, máxima e mínima mensal para o ponto de grade do ERA5. Fonte: era5 (1989 a 2019).

Observando os mapas de médias sazonais de temperatura (Figura 14), nota-se que no verão, além de apresentar os maiores valores médios de temperatura para todo o domínio, seus valores variam pouco espacialmente - aproximadamente 0,5 °C da região extrema norte relacionada a região extrema ao sul - apresentando valores em torno de 25 °C para o Campo de Baúna. No inverno o gradiente térmico horizontal no sentido norte-sul fica mais demarcado, apresentando valores mínimos na região sul em torno de 17 °C e máximos na região norte em torno de 21 °C, com valores médios em torno de 20 °C no entorno do Campo Baúna. As estações de outono e primavera se comportam como estações de transição com valores intermediários.



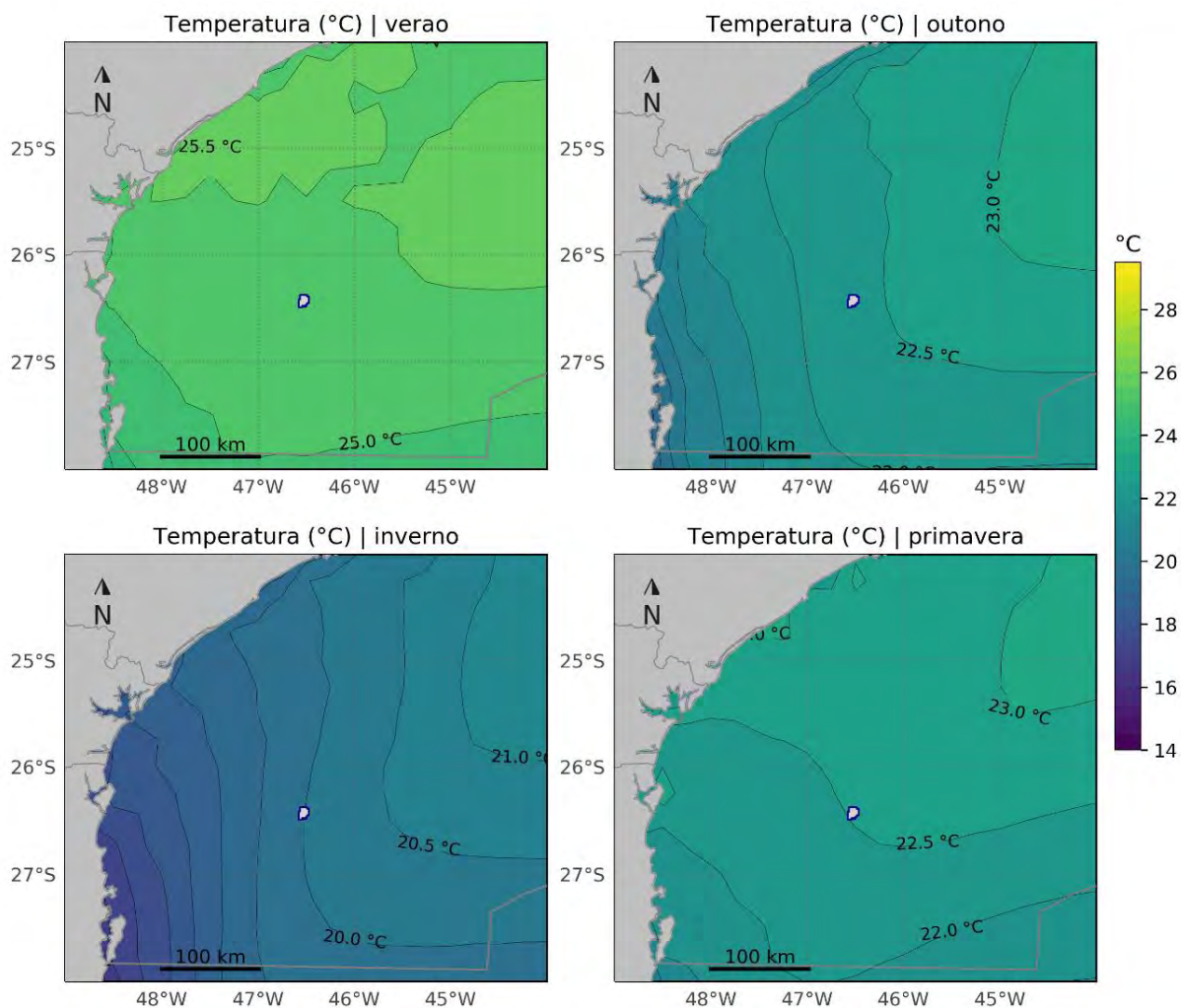


Figura 14: Distribuição da temperatura média do ar (°C) na área do Campo de Baúna (polígono azul) nas quatro estações do ano. Fonte: ERA5 (1989 a 2019).

### 2.2.2 Precipitação

A seguir serão apresentadas as normais climatológicas para precipitação (mm) das estações de Iguape, Paranaguá e Florianópolis no período de 1961 a 1990.

Em regiões tropicais, a precipitação reflete as características e comportamento de outros parâmetros, tais como temperatura, umidade relativa e regime de vento. Acompanhando os padrões dos sistemas meteorológicos descritos no item 2.1, no verão é que os sistemas frontais atuam de modo a causar muita precipitação ao se associar a outros tipos de sistemas que provocam chuvas na região: os sistemas convectivos. Os dados das estações meteorológicas de Iguape, Paranaguá e Florianópolis, apresentadas na Figura 15, evidenciam esta sazonalidade bem demarcada. Observa-se maiores precipitações no verão e menores no período de inverno.

Entre as estações, Florianópolis apresentou menores precipitações médias mensais ao longo do ano, com mínimo de 92,8 mm em abril e máximo de 196,9 mm em fevereiro. Já a estação de Paranaguá e Iguape apresentaram os valores máximos de 283,1 mm (janeiro) e 262,7 mm (março), respectivamente.

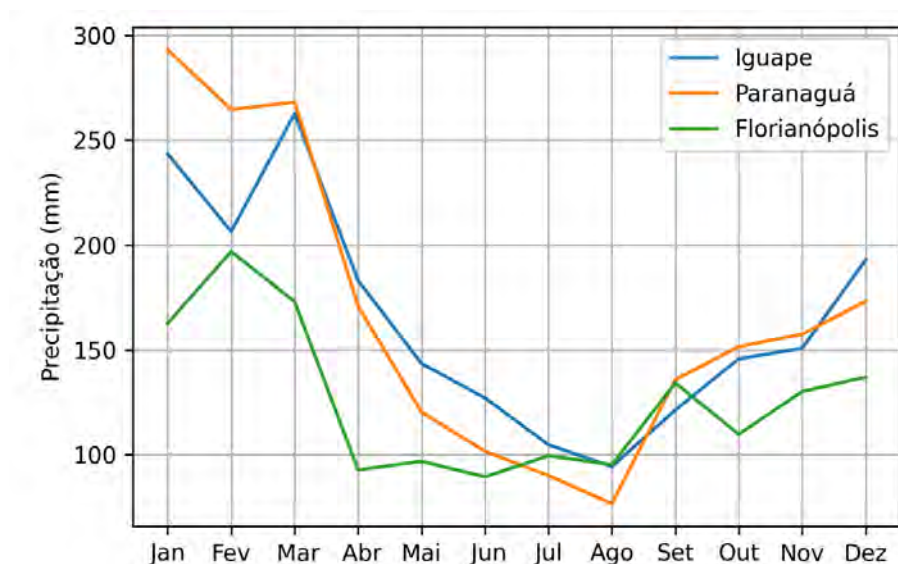


Figura 15: Normais climatológicas de precipitação (mm) obtida nas estações de Iguape; Paranaguá e Florianópolis. Fonte: INMET (1961 a 1990).

Para a análise da variabilidade da precipitação na região de estudo em maior frequência amostral, são apresentados os dados de precipitação acumulada e precipitação horária máxima mensal das estações do INMET de Iguape e Florianópolis, no período de janeiro de 2010 a dezembro de 2019 (Figura 16). A Tabela 4 apresenta a estatística base desses dados. Vale ressaltar que, nos gráficos, os valores máximos são relacionados ao dado bruto, ou seja, a precipitação máxima observada (mm/h) em cada mês, enquanto que, os valores médios representam a precipitação acumulada mensal, média para cada mês.

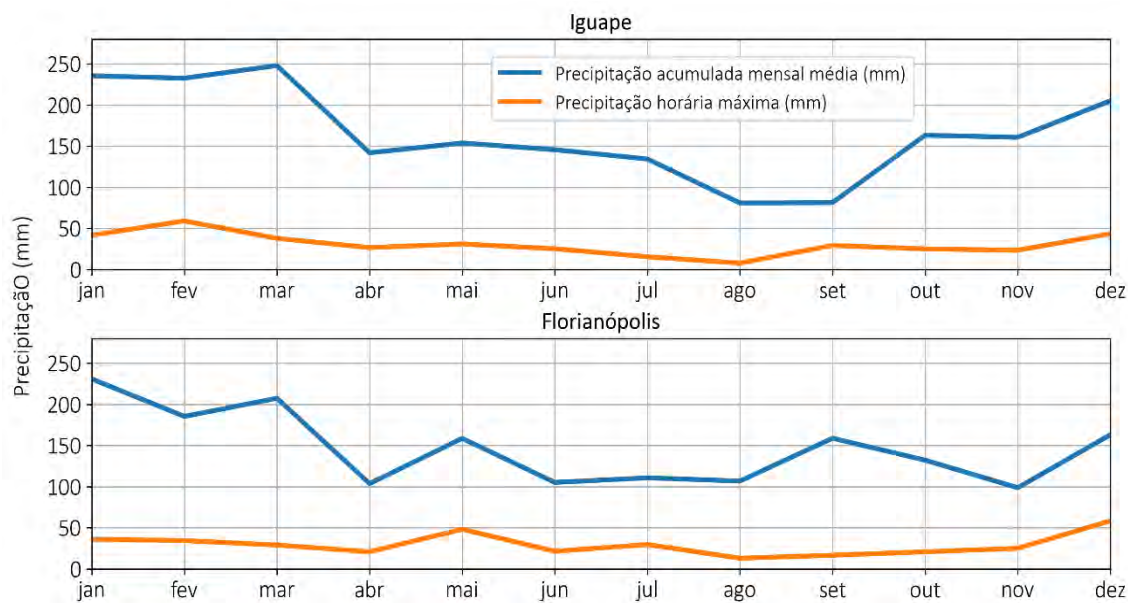


Figura 16: Precipitação acumulada mensal média e precipitação horária máxima (mm) para a estação de Iguape e Florianópolis. Fonte: INMET (2010 a 2019).

Tabela 4: Estatísticas básica dos dados horários de precipitação (mm/h) obtidos nas estações meteorológicas automáticas de Iguape e Florianópolis. Fonte: INMET (2010 a 2019).

| Estações           | Máxima (mm/h) | Média (mm/h) | Mínima (mm/h) | Desvio Padrão (mm/h) |
|--------------------|---------------|--------------|---------------|----------------------|
| Iguape (SP)        | 59,00         | 0,25         | 0,00          | 1,39                 |
| Florianópolis (SC) | 58,40         | 0,20         | 0,00          | 1,21                 |

Observa-se que o máximo médio mensal para Iguape (247,88 mm) e Florianópolis (207,48 mm) ocorreram em março e os valores de precipitação horária máxima em fevereiro (Iguape) e maio (Florianópolis).

A Figura 17 apresenta a série temporal de precipitação da estação de Florianópolis. É possível observar uma sazonalidade bem demarcada, com períodos chuvosos no verão e mais secos no inverno.



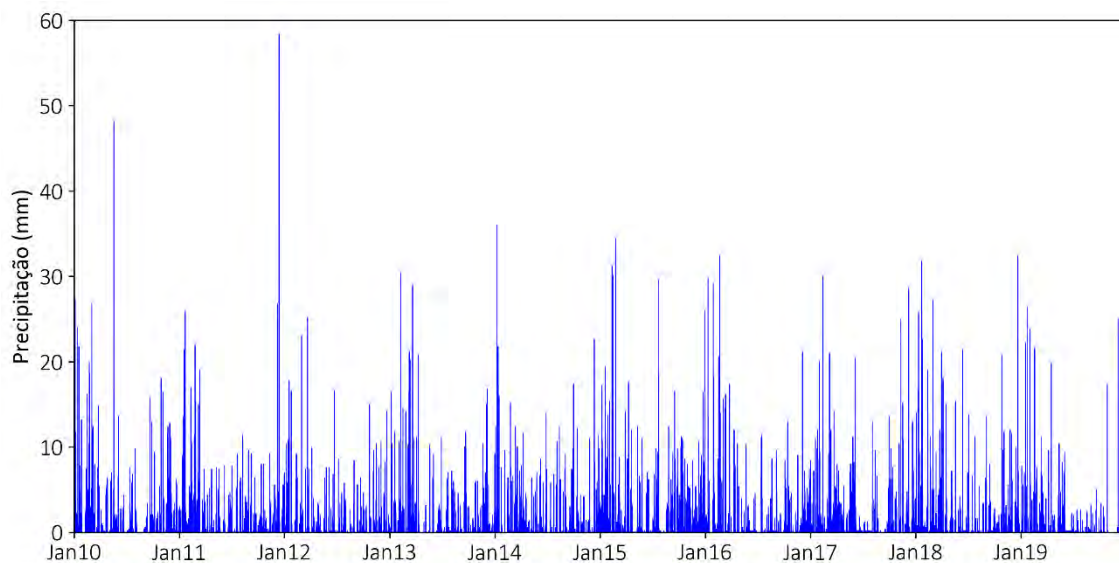


Figura 17: Série temporal de precipitação (mm/h) na estação de Florianópolis. Fonte: INMET (2010 a 2019).

Para avaliar a precipitação na região do Campo de Baúna, foram utilizadas as médias mensais de precipitação elaboradas a partir dos dados obtidos do ponto de grade selecionado do ERA5 (Figura 18).

O padrão sazonal apresentado na região do Campo de Baúna está coerente com o verificado através dos dados do INMET, porém com valores menores por conta da sua localização *offshore*. A máxima precipitação acumulada foi verificada no mês de janeiro (128 mm) e a mínima em agosto (65 mm), com média de 120 mm para o verão e 82 mm para o inverno.



Figura 18: Precipitação acumulada média (mm) obtida dos dados do ERA5 para o ponto selecionado. Fonte: ERA5 (1989 a 2019).

Para a avaliação das variações espaciais de precipitação na região de estudo são apresentadas na Figura 19 as médias sazonais dos dados de precipitação obtidos a partir das reanálises do ERA5.

Assim como demonstrado pelas normais climatológicas e as estações automáticas, nota-se que no Campo de Baúna a precipitação acumulada mensal é maior nos meses de verão (~112 mm) e menor nos meses de inverno (~82 mm). Como pode ser visto nos mapas climatológicos, existe um gradiente na Bacia de Santos de maiores precipitações acumuladas na região litorânea.

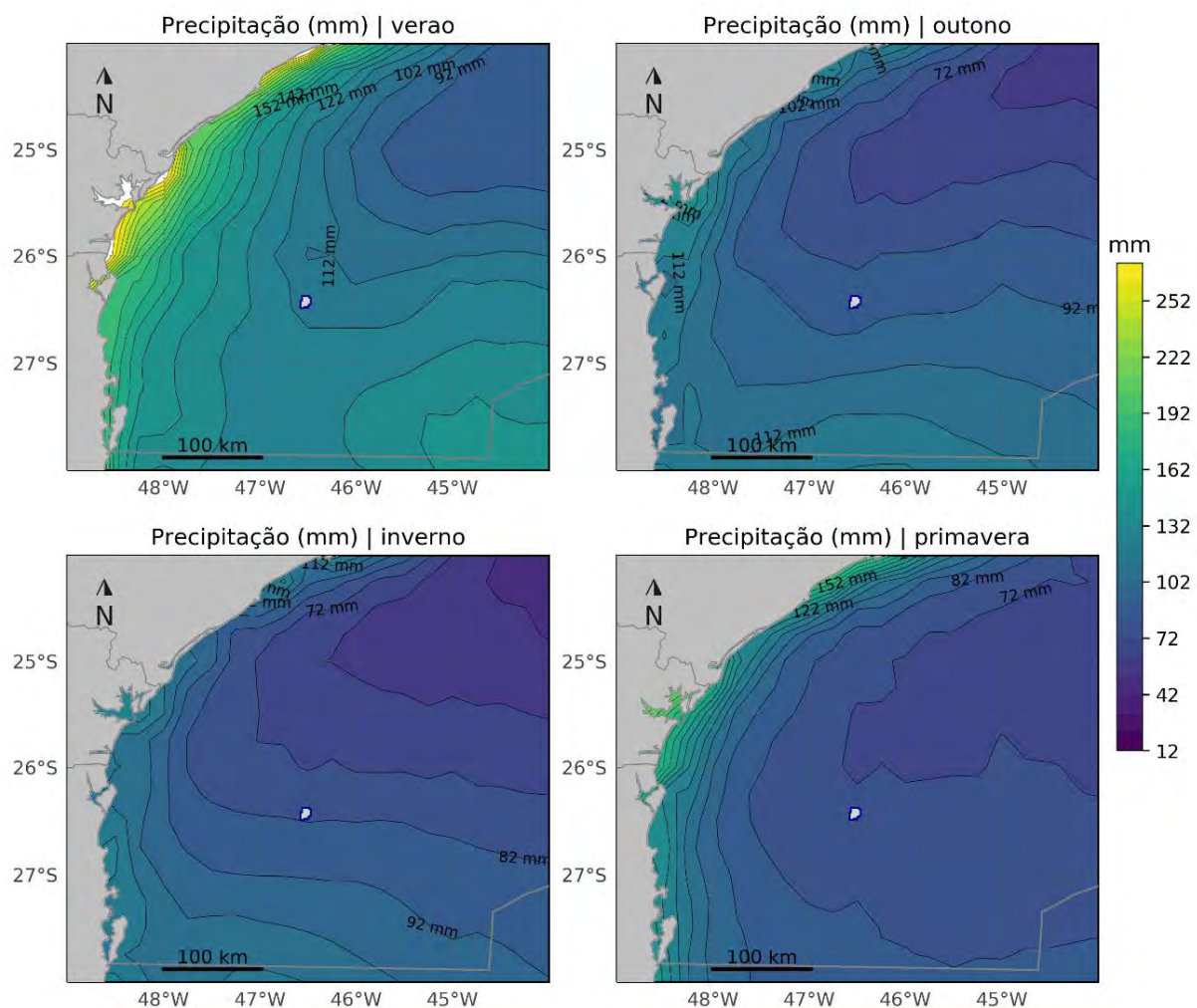


Figura 19: Distribuição da precipitação (mm) na região do Campo de Baúna nas quatro estações do ano. Fonte: ERA5 (1989 a 2019).

### 2.2.3 Evaporação

A evaporação, assim como a precipitação, apresenta menores valores médios no período de outono/inverno e maiores valores médios no período de primavera/verão. Conforme apresenta a Figura 20, as maiores taxas de evaporação ocorrem em novembro e janeiro e as menores entre junho e julho. A estação de Florianópolis apresentou maiores valores durante todo o ano comparada a estação de Paranaguá.

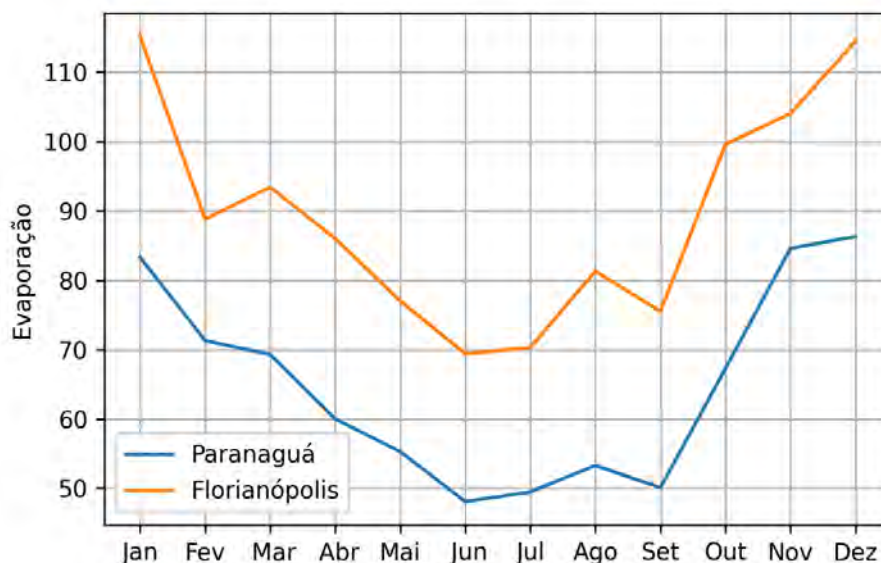


Figura 20: Normais climatológicas de evaporação (mm) obtida nas estações de Paranaguá e Florianópolis.  
 Fonte: INMET (1961 a 1990).

### 2.2.4 Umidade relativa

As normas climatológicas de umidade relativa para as estações meteorológicas do INMET de Iguape, Paranaguá e Florianópolis são apresentadas na Figura 21. A umidade relativa apresenta valores altos (>75%) ao longo de todo o ano. Apesar de não se observar um padrão sazonal evidente entre as estações, no outono e na primavera os valores são mais elevados. A maior umidade relativa média foi verificada na estação de Iguape (~87%) no mês de setembro e a menor na estação de Paranaguá (~78%) nos meses de fevereiro e setembro.

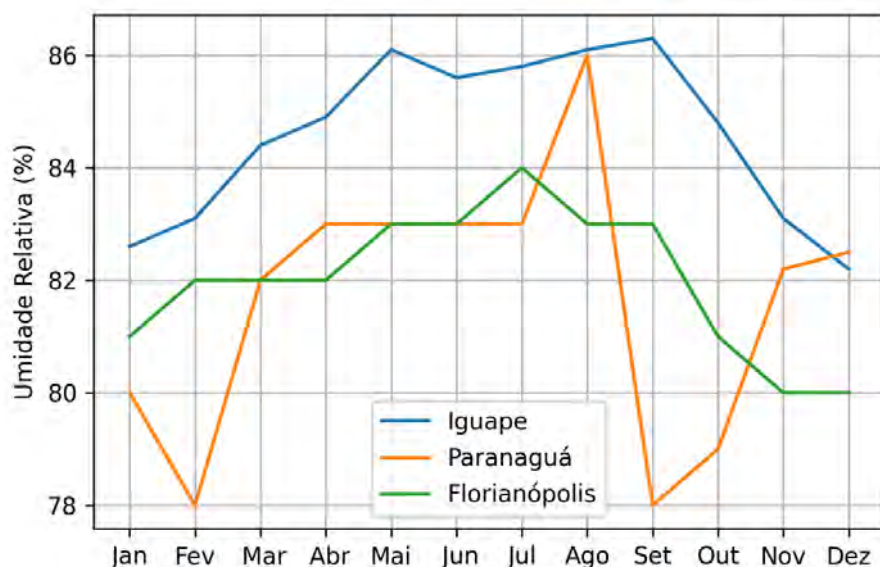


Figura 21: Normais climatológicas de umidade relativa (%) obtida nas estações Iguape, Paranaguá e Florianópolis. Fonte: INMET (1961 a 1990)

Para avaliar as variações recentes da umidade relativa na região de estudo são apresentados, na Figura 22 e na Tabela 5, os dados das estações meteorológicas de Iguape e Florianópolis no período de janeiro de 2010 a dezembro de 2019. Também não é observado um padrão sazonal forte nos dados, porém no verão os valores tendem a apresentar maiores valores mínimos de umidade. As umidades média e máxima são praticamente estacionárias ao longo do ano, com médias oscilando em torno de 80% e máximas de 100%.

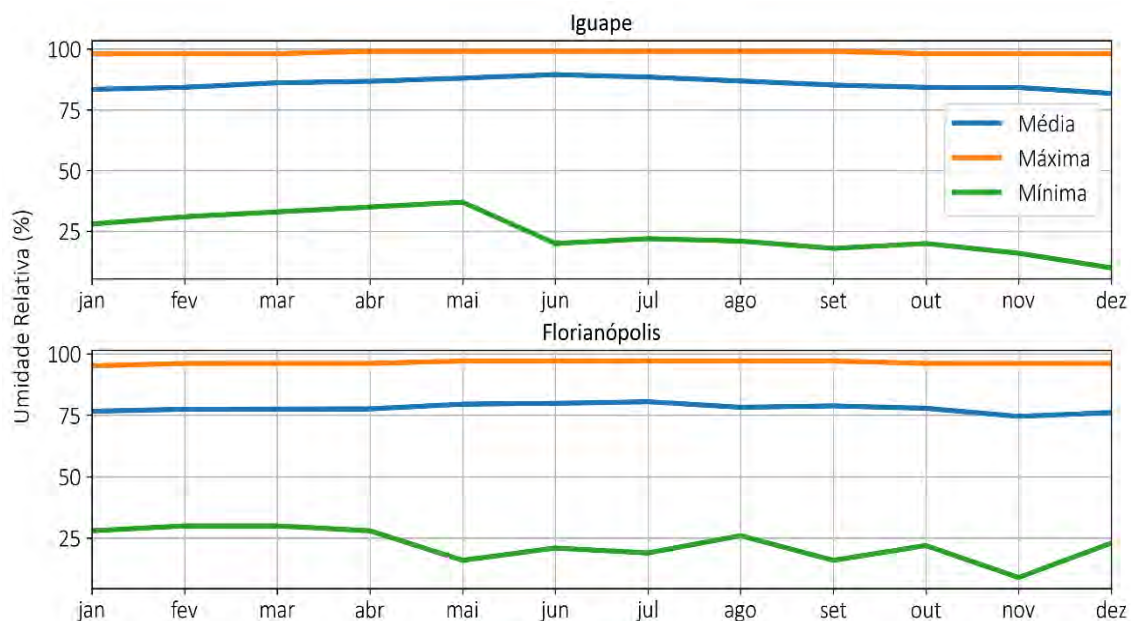


Figura 22: Umidade relativa (%) média, máxima e mínima mensal para a estação de Iguape e Florianópolis  
 Fonte: INMET (2010 a 2019).

Tabela 5: Estatísticas básica dos dados horários de umidade relativa (%) obtidos nas estações meteorológicas automáticas de Iguape e Florianópolis. Fonte: INMET (2010 a 2019).

| Estações           | Máxima (%) | Média (%) | Mínima (%) | Desvio Padrão (%) |
|--------------------|------------|-----------|------------|-------------------|
| Iguape (SP)        | 99,00      | 85,66     | 10,00      | 12,15             |
| Florianópolis (SC) | 97,00      | 77,82     | 9,00       | 12,09             |

As séries temporais de umidade relativa e suas respectivas análises espectrais da estação de Iguape e Florianópolis estão apresentadas na Figura 23 e Figura 24, respectivamente.

É possível notar uma forte variação ao longo do dia, oscilando entre ~30 e ~100%, corroborada pela análise espectral, onde grande parte dessa variabilidade está associada a períodos de 1 dia e de 12 horas. Isto pode ser explicado, também, pela natureza desta variável, visto que o cálculo da umidade relativa leva em conta a temperatura do ar.



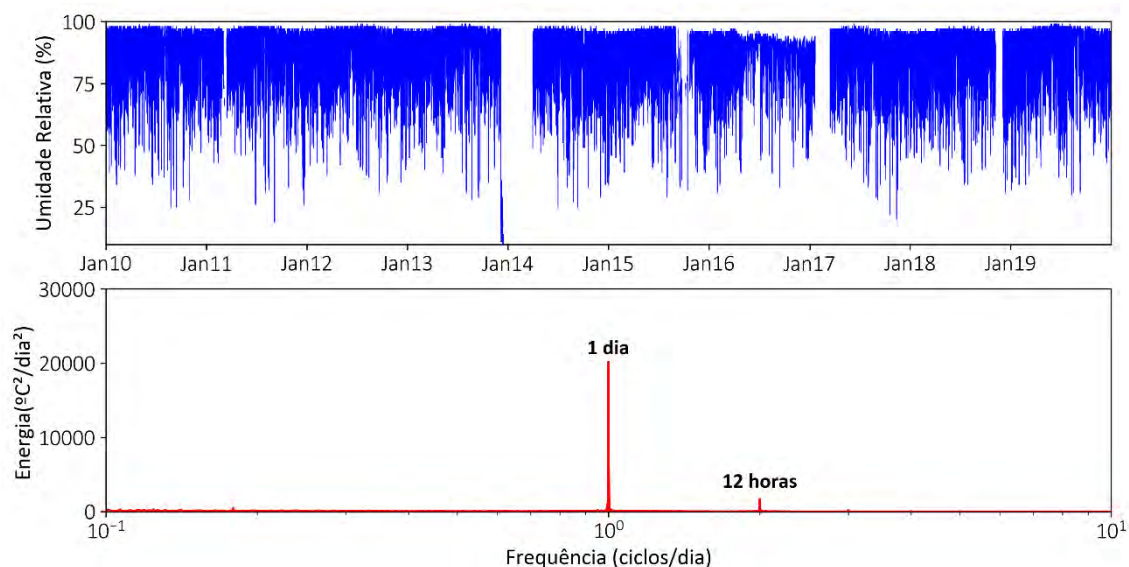


Figura 23 Série temporal de umidade relativa (%) (acima) na estação de Iguape e espectro de energia no domínio da frequência (abaixo). Fonte: INMET (2010 a 2019).

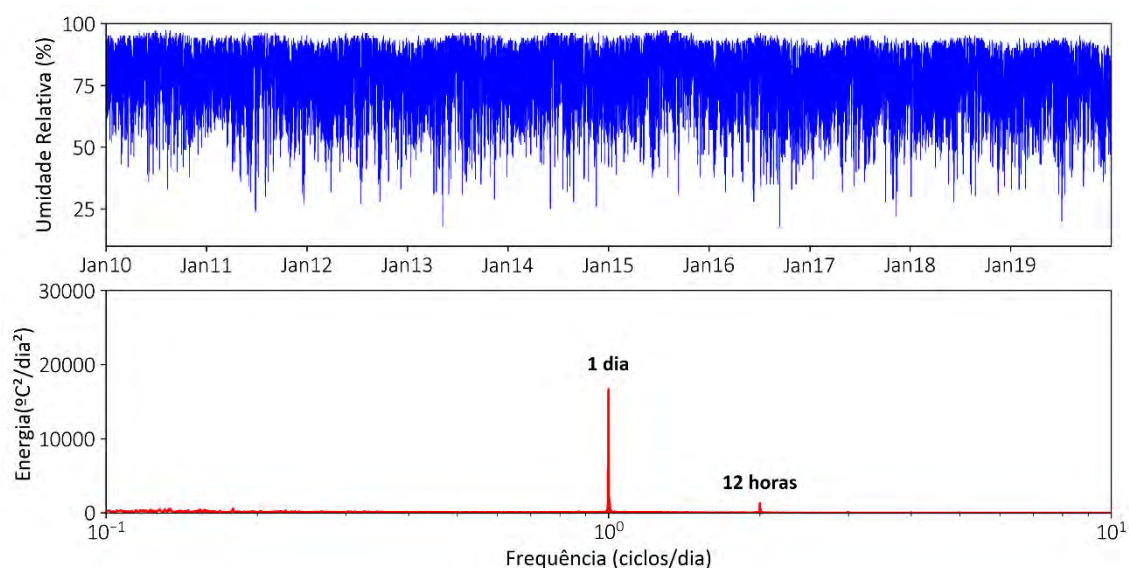


Figura 24:Série temporal de umidade relativa (%) (acima) na estação de Florianópolis e espectro de energia no domínio da frequência (abaixo). Fonte: INMET (2010 a 2019).

Para avaliar a variabilidade sazonal da umidade relativa na região do Campo de Baúna, são apresentadas na Figura 25 as médias mensais de umidade relativa obtidas a partir das reanálises do ERA5 para o ponto selecionado. Nota-se que o comportamento da umidade relativa na região oceânica apresenta um padrão mais definido, porém ainda bastante estável ao longo do ano. De uma maneira geral, os menores valores médios foram observados no outono, com média mínima em maio (~76%) e média máxima no final da primavera e início do verão, com valores máximos entre janeiro e fevereiro (~83%).

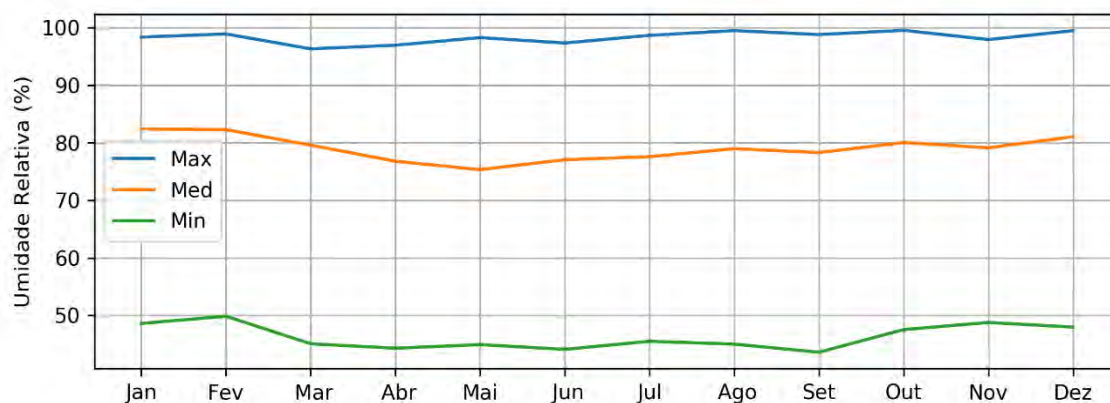


Figura 25: Umidade relativa mensal média (%) para o ponto de grade selecionado. Fonte: ERA5 (1989 a 2019)

Para avaliação das variações espaciais da umidade do ar na região do Campo de Baúna, são apresentadas na Figura 26, as médias sazonais dos dados de umidade relativa do ar, obtidos pelas análises do ERA5 para a região. No Campo de Baúna, as temperaturas mais elevadas no verão são acompanhadas de um pequeno aumento da umidade relativa do ar (~82%) em relação ao inverno (~78%), apesar dos valores máximos, médios e mínimos permanecerem bastante estáveis ao longo do ano (Figura 26). Contudo, é possível notar que na região litorânea ocorre maior variabilidade sazonal deste parâmetro, com maiores valores no inverno e menores no verão, assim como um gradiente latitudinal com maior umidade relativa quanto mais ao norte.



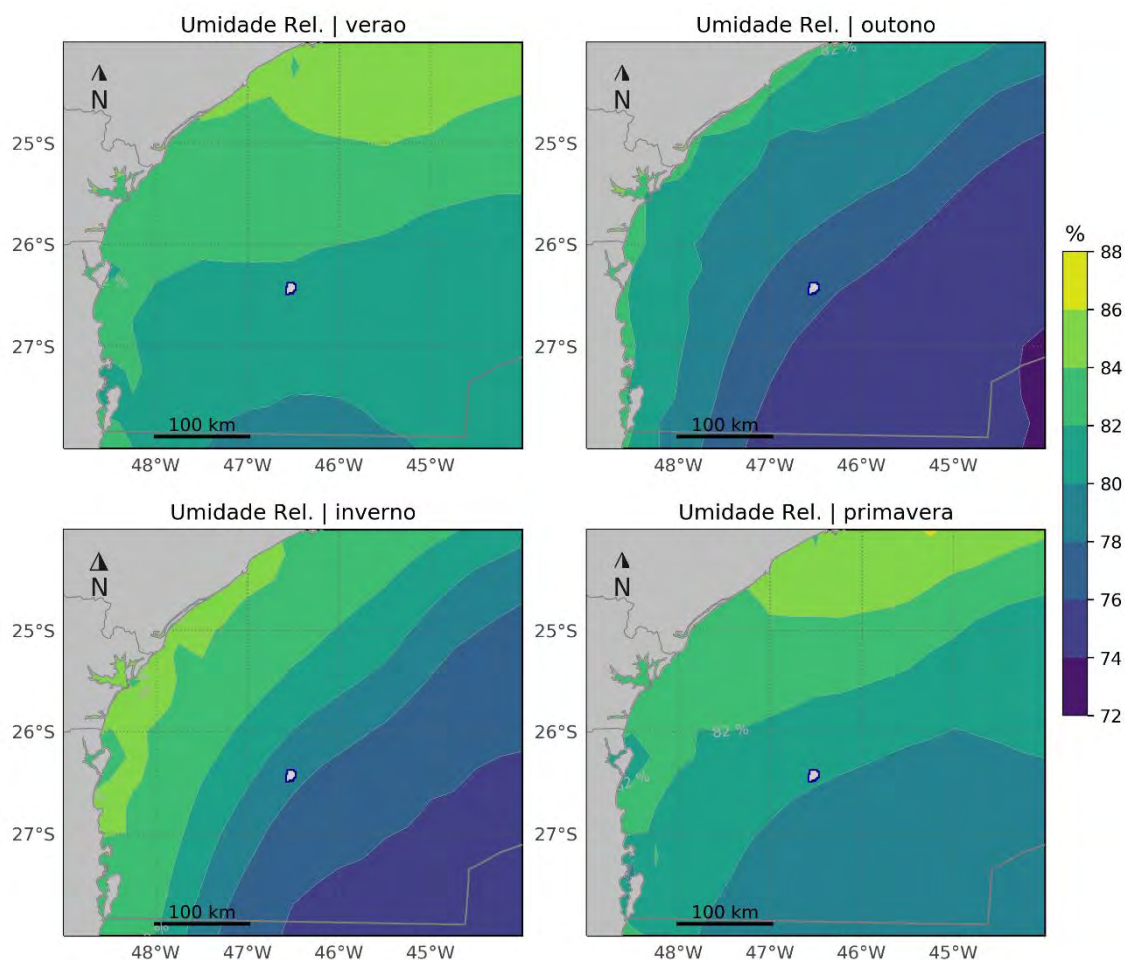


Figura 26: Distribuição da umidade relativa (mm) na região do Campo de Baúna nas quatro estações do ano.  
 Fonte: ERA5 (1989 a 2019).

### 2.2.5 Pressão atmosférica

As normais climatológicas de pressão atmosférica para o período de 1961 a 1990 são apresentadas na Figura 27. Verifica-se que as estações apresentam os mesmos padrões, com valores máximos no período de inverno - pico em julho ( $> 1018$  hPa) - e menores no verão ( $< 1012$  hPa). Esse padrão coincide com a migração característica do ASAS, descrita no item 2.1 e ilustrada esquematicamente na Figura 3, que resulta em maiores valores no período do inverno.

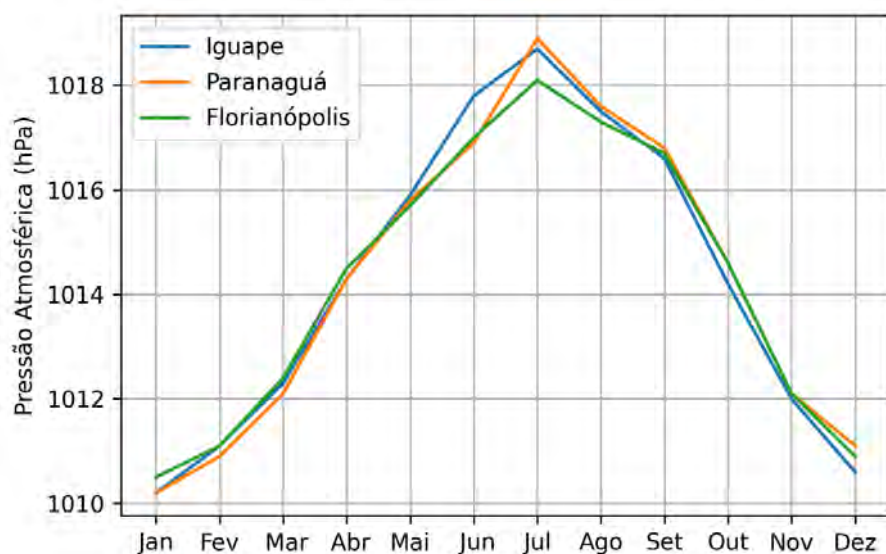


Figura 27: Normais climatológicas de pressão atmosférica (hPa) obtida nas estações de Iguape, Paranaguá e Florianópolis. Fonte: INMET (1961 a 1990)

Para a avaliação da variabilidade recente e em menor período de tempo da região do Campo de Baúna, são apresentados na Figura 28 e na Tabela 6 os dados mínimos, médios e máximos e a estatística básica de pressão atmosférica nas estações de Iguape e Florianópolis, no período de janeiro de 2010 a dezembro de 2019. Observa-se que as curvas mínimas e máximas acompanham a curva média, da mesma forma com o descrito nas normais climatológicas – maior pressão atmosférica no inverno e menor no verão. Ademais, nota-se que durante os meses de junho a outubro, a amplitude de pressão é maior do que nos meses de novembro a abril. Em dezembro é observado um valor médio mínimo de 913 hPa para a estação de Iguape, classificado como um dado espúrio e, portanto, desconsiderado para análise.

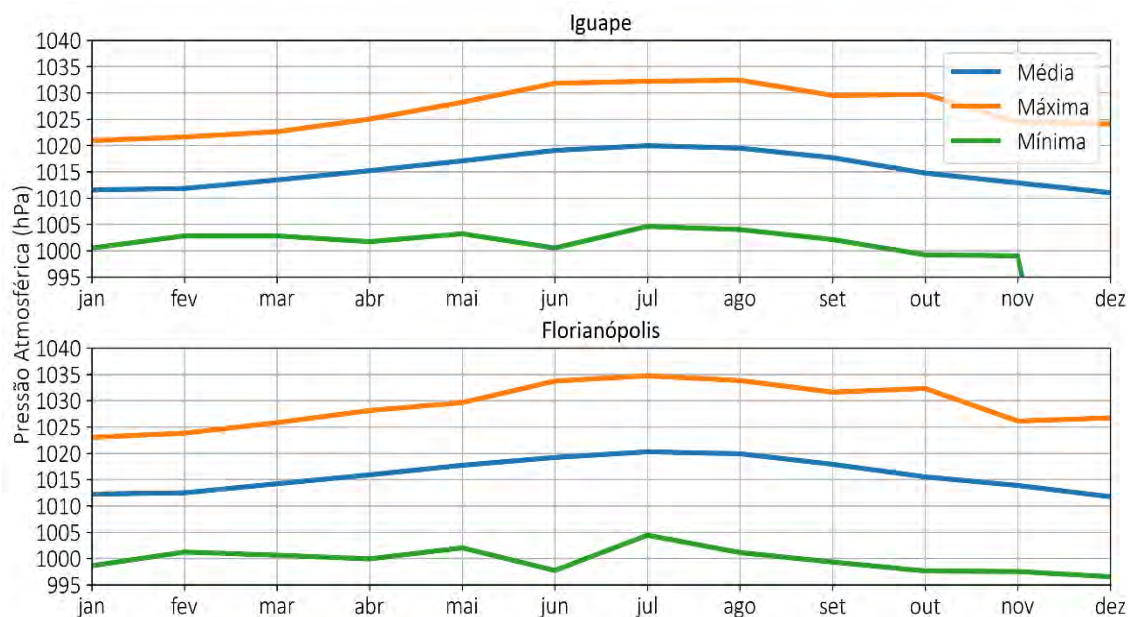


Figura 28: Pressão atmosférica (hPa) média, máxima e mínima mensal para a estação de Iguape e Florianópolis. Fonte: INMET (2010 a 2019).

Tabela 6: Estatísticas básica dos dados horários de pressão atmosférica (hPa) obtidos nas estações meteorológicas automáticas de Iguape e Florianópolis. Fonte: INMET (2010 a 2019).

| Estações           | Máxima (hPa) | Média (hPa) | Mínima (hPa) | Desvio Padrão (hPa) |
|--------------------|--------------|-------------|--------------|---------------------|
| Iguape (SP)        | 1032,40      | 1015,31     | 913,00       | 5,28                |
| Florianópolis (SC) | 1034,70      | 1015,89     | 996,50       | 5,43                |

A Figura 29 e Figura 30 apresentam as séries temporais de pressão atmosférica e seus respectivos espectros de energia para as estações analisadas. Pode ser verificado que, assim como previamente visto, o pico de pressão atmosférica ocorre no inverno. A partir da análise espectral das duas estações, nota-se que a maior energia está associada à frequência de dias (entre aproximadamente 7 e 10 dias), corroborando com o estudo do Projeto de Monitoramento Ambiental (PMA/BM-S-40, subprojeto PMSR) e os dados bibliográficos que descrevem a passagem de sistemas frontais na região nesta frequência. Nota-se também um segundo pico de 12 horas, provavelmente devido ao fenômeno da maré atmosférica, que é forçada pelo ciclo de aquecimento solar e efeitos de gravidade (maior detalhamento nas caracterizações de microescala).

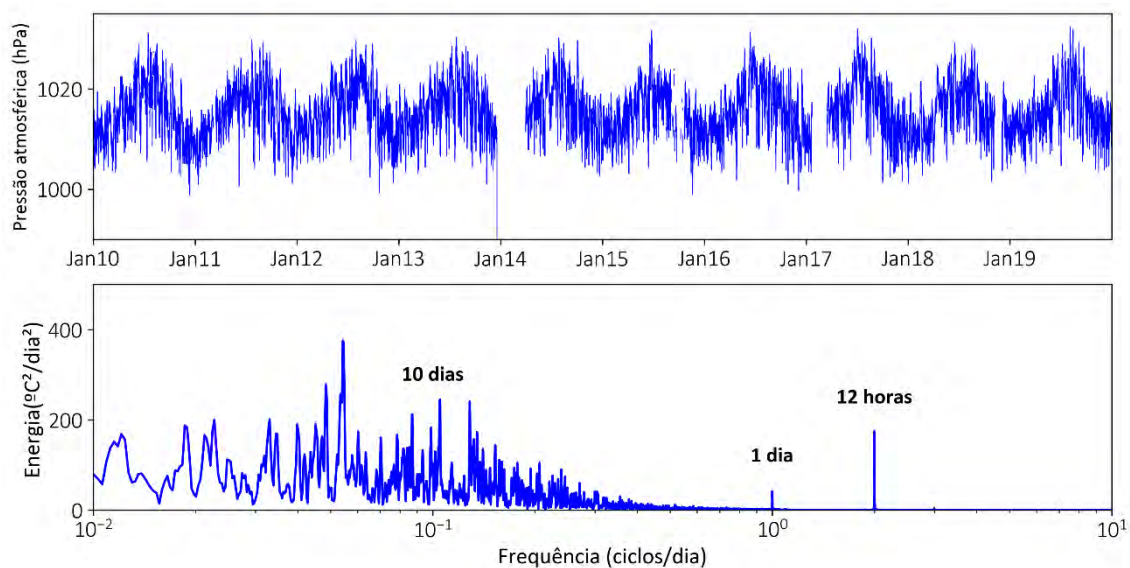


Figura 29: Série temporal de pressão atmosférica (hPa) (acima) na estação de Iguape e espectro de energia no domínio da frequência (abaixo).

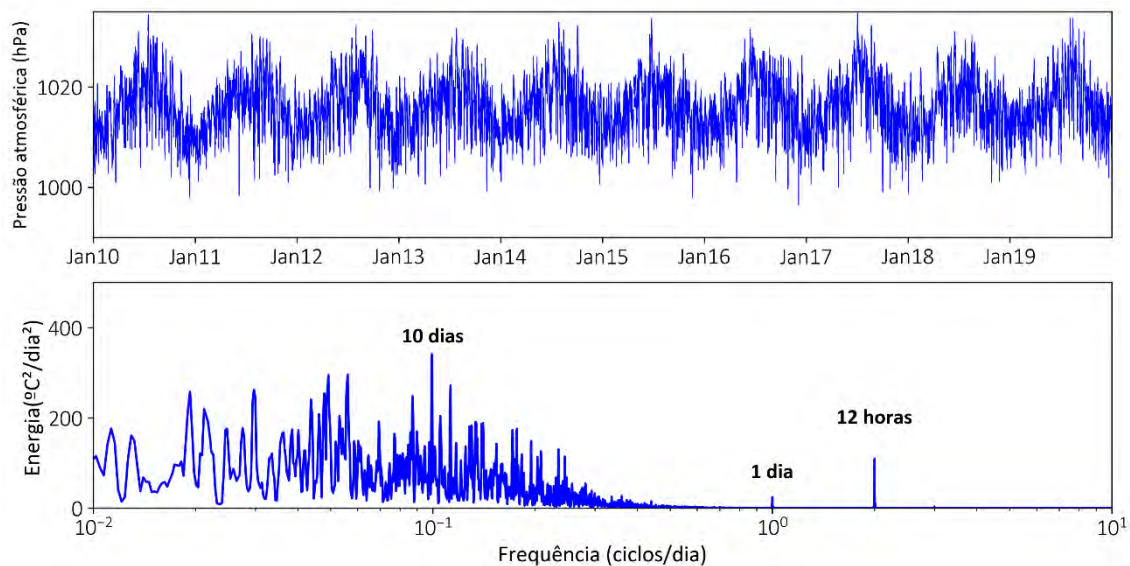


Figura 30: Série temporal de pressão atmosférica (hPa) (acima) na estação de Florianópolis e espectro de energia no domínio da frequência (abaixo).

Para a avaliação das variações sazonais da pressão atmosférica na região do Campo de Baúna foram utilizados dados obtidos das reanálises do ERA5. A médias mensais obtidas para o ponto de grade selecionado são apresentadas na Figura 31. O comportamento da pressão atmosférica média é muito próximo aos das estações do INMET, porém, com valores ligeiramente maiores para a região oceânica.

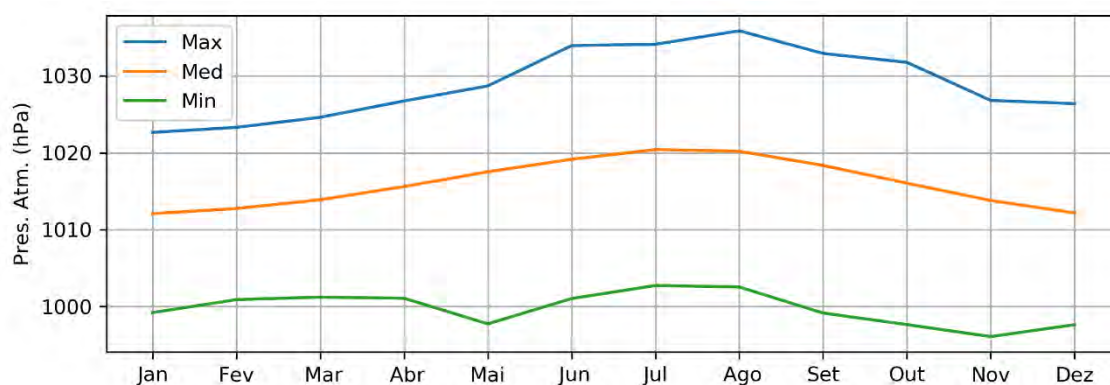


Figura 31: Pressão atmosférica média mensal (hPa) para o ponto de grade selecionado. Fonte: ERA5 (1989 a 2019).

A variabilidade espacial da pressão atmosférica no entorno do Campo de Baúna e seu entorno também segue o padrão retratado pelas normais climatológicas, com maiores valores no inverno e menores no verão. No Campo de Baúna, a pressão atmosférica média oscila entre 1012 hPa no verão a 1020 hPa nos meses de inverno.



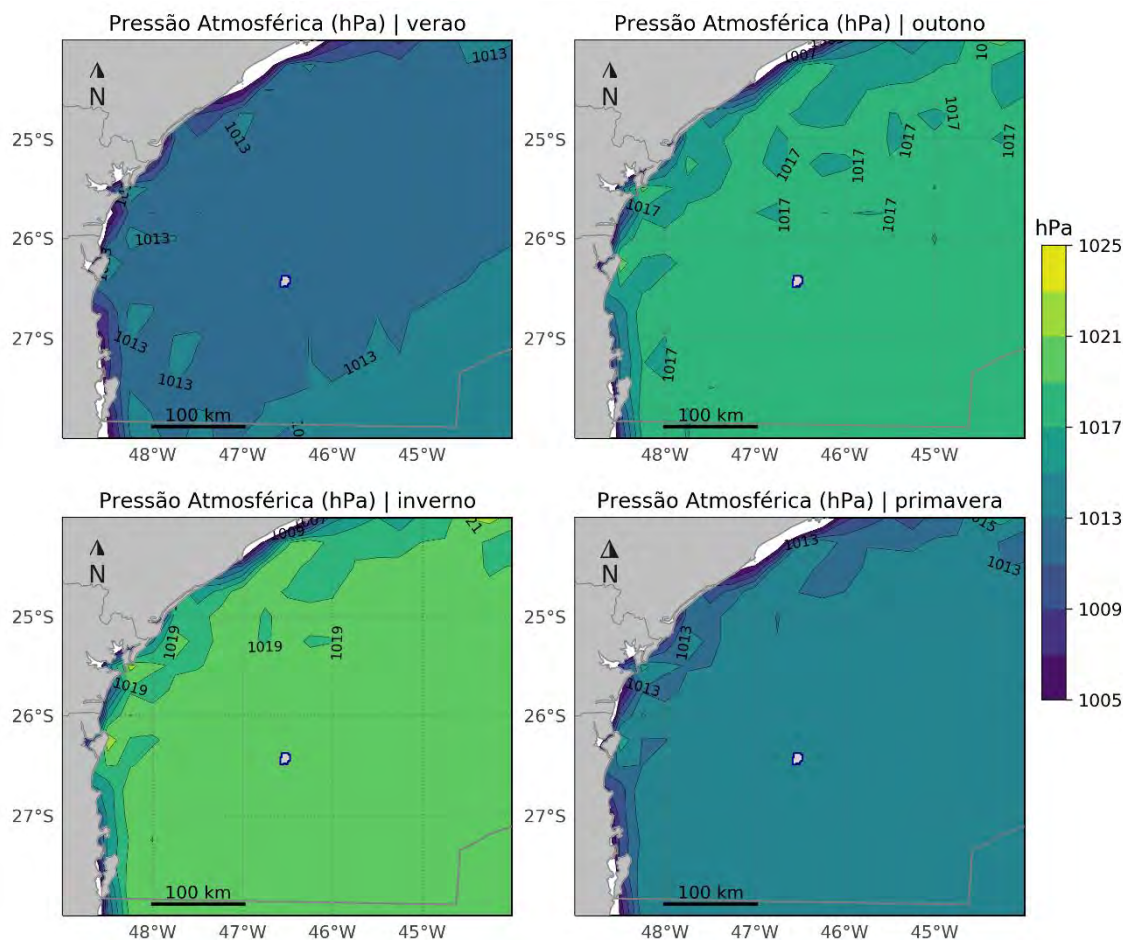


Figura 32: Distribuição da pressão atmosférica (hPa) na região do Campo de Baúna nas quatro estações do ano.  
 Fonte: ERA5 (1989 a 2019).

### 2.2.6 Insolação

A Figura 33 apresenta as normais climatológicas nas três estações do INMET analisadas. Em todas as estações, os menores valores foram observados em setembro, com mínimo de aproximadamente 73 h em Iguape e em Paranaguá e de 129,4 h em Florianópolis. As estações apresentam o mesmo padrão sazonal, sendo que Florianópolis apresentou os maiores valores durante todo o ano, com máximo de 201,1 h em janeiro.

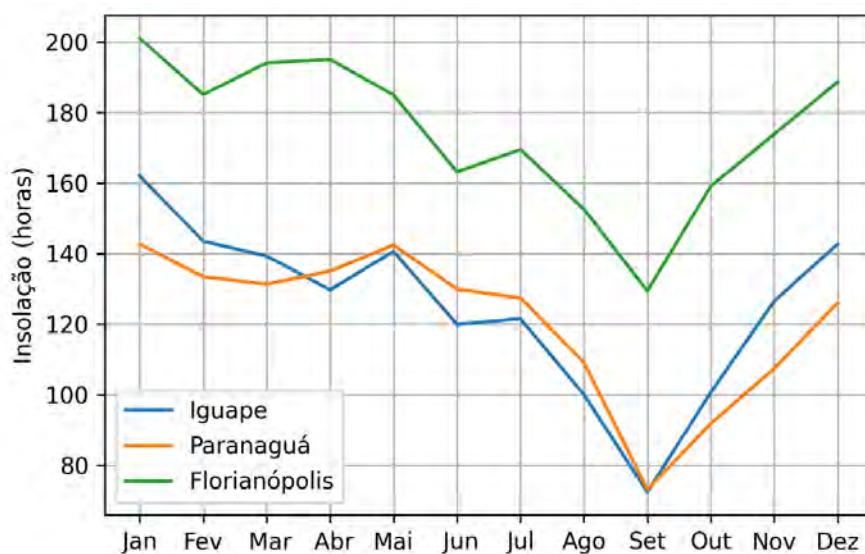


Figura 33: Normais climatológicas de insolação (horas) obtida nas estações de Iguape, Paranaguá e Florianópolis. Fonte: INMET (1961 a 1990).

### 2.2.7 Ventos

A variação climatológica da intensidade dos ventos ao longo da região costeira da área de estudo pode ser inferida através das normais climatológicas do INMET para as estações de Iguape, Paranaguá e Florianópolis, considerando o período compreendido entre 1961 a 1990 (Figura 34). Em média, são verificados ventos mais intensos nos períodos de primavera e verão, seguido pela diminuição das intensidades ao longo do outono até chegar ao seu mínimo no início do inverno, com exceção da estação de Florianópolis que apresenta valores médios mínimos na primavera. Também pode ser observado um gradiente de intensidade média de acordo com a latitude, sendo os menores valores na estação de Florianópolis (máximo de 0,7 no final do verão), valores intermediários na estação de Paranaguá (máximo de 1 m/s na primavera) e maiores intensidades na estação de Iguape (máximo de 2,4 m/s também na primavera).



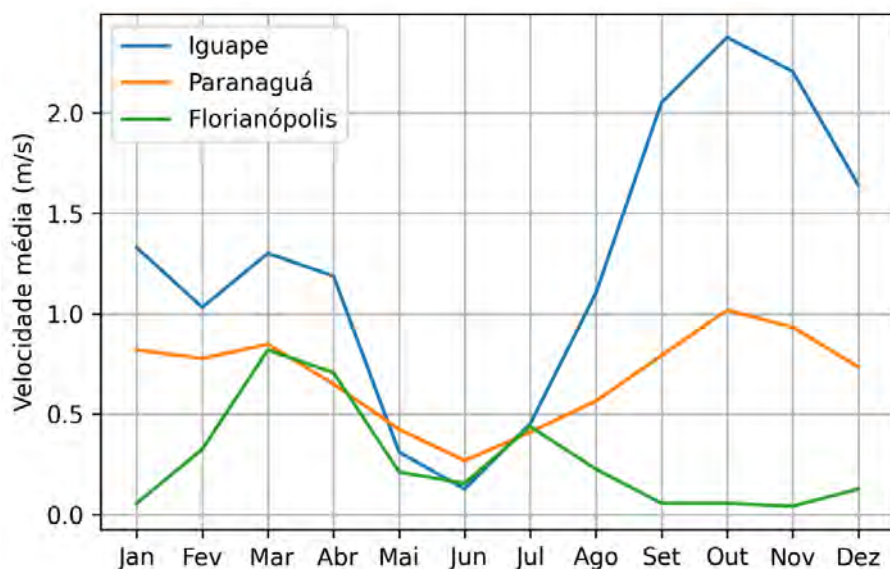


Figura 34: Normais climatológicas de intensidade dos ventos (m/s) obtida nas estações Iguape, Paranaguá e Florianópolis. Fonte: INMET (1961 a 1990).

Apresenta-se, a seguir, os dados das estações automáticas do INMET de Iguape e Florianópolis, possibilitando a análise de séries temporais de dados recentes de intensidade de vento com maior frequência amostral (dados horários). Na Tabela 7 encontra-se a estatística básica dos dados destas séries, e na Figura 35 as intensidades médias, mínimas e máximas do vento mensal, de forma a elucidar a variação na zona costeira da Baía de Santos.

As intensidades médias e mínimas são praticamente estacionárias ao longo do ano e as intensidade máximas não apresentam uma sazonalidade bem marcada.

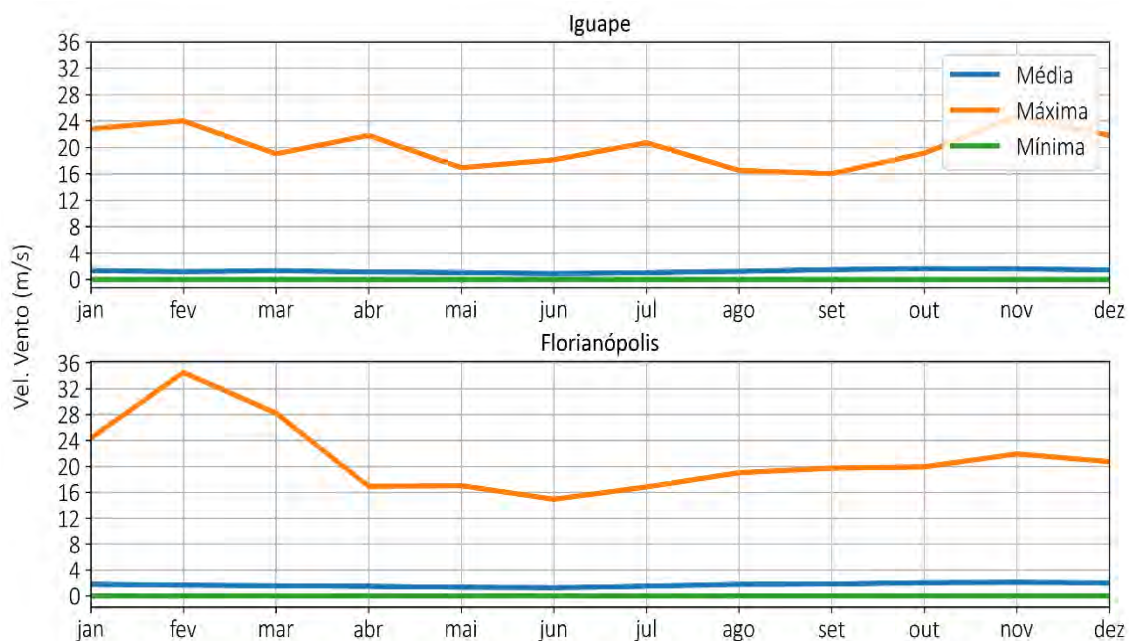


Figura 35: Intensidade do vento (m/s) média, máxima e mínima mensal para a estação Iguape e Florianópolis.  
 Fonte: INMET (2010 a 2019).

Tabela 7: Estatísticas básica dos dados horários de intensidade do vento (m/s) obtidos nas estações meteorológicas automáticas de Iguape e Florianópolis. Fonte: INMET (2010 a 2019).

| Estações           | Máxima (m/s) | Média (m/s) | Mínima (m/s) | Direção predominante (°) | Desvio Padrão (m/s) |
|--------------------|--------------|-------------|--------------|--------------------------|---------------------|
| Iguape (SP)        | 24,70        | 1,25        | 0,00         | 64,55                    | 1,17                |
| Florianópolis (SC) | 34,50        | 1,67        | 0,00         | 20,45                    | 1,53                |

Na Figura 36 e Figura 37 podem ser observadas as séries temporais de intensidade do vento (acima) e suas respectivas análises espectrais (abaixo). Os dados apresentam um pico de energia bem definido com período de 24 horas (1 dia), associado ao fenômeno de brisa terrestre - brisa marinha. Nota-se também um pico com menos energia associado ao período de 12 horas bem definido para a estação de Florianópolis, que pode estar associado ao efeito da maré atmosférica demonstrado nas pressões.

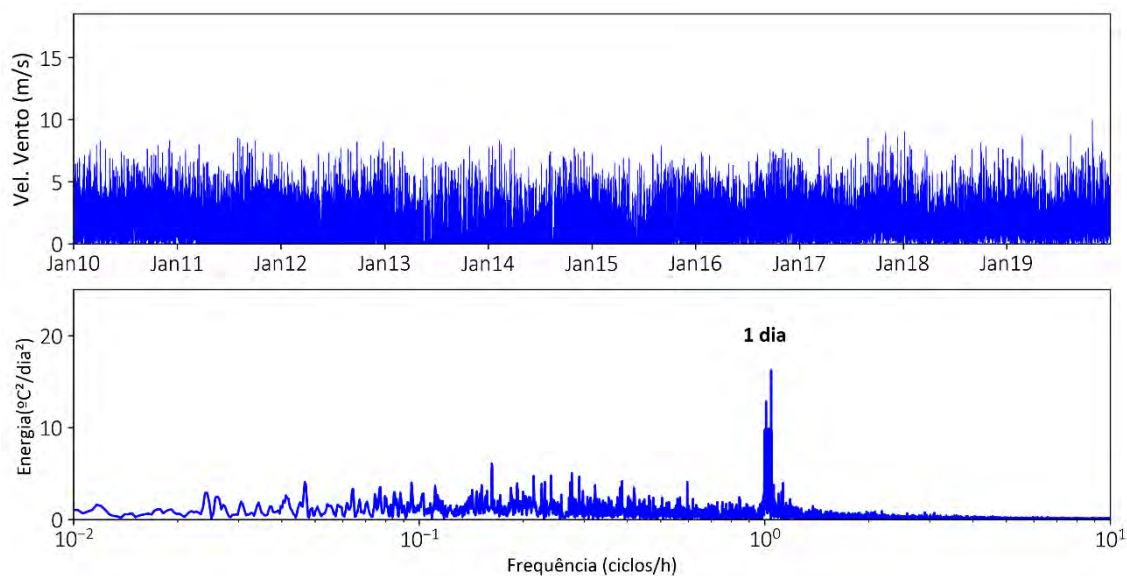


Figura 36: Série temporal de intensidade do vento (m/s) (acima) e espectro no domínio da frequência (abaixo) na estação de Iguape. Fonte: INMET (2010 a 2019).

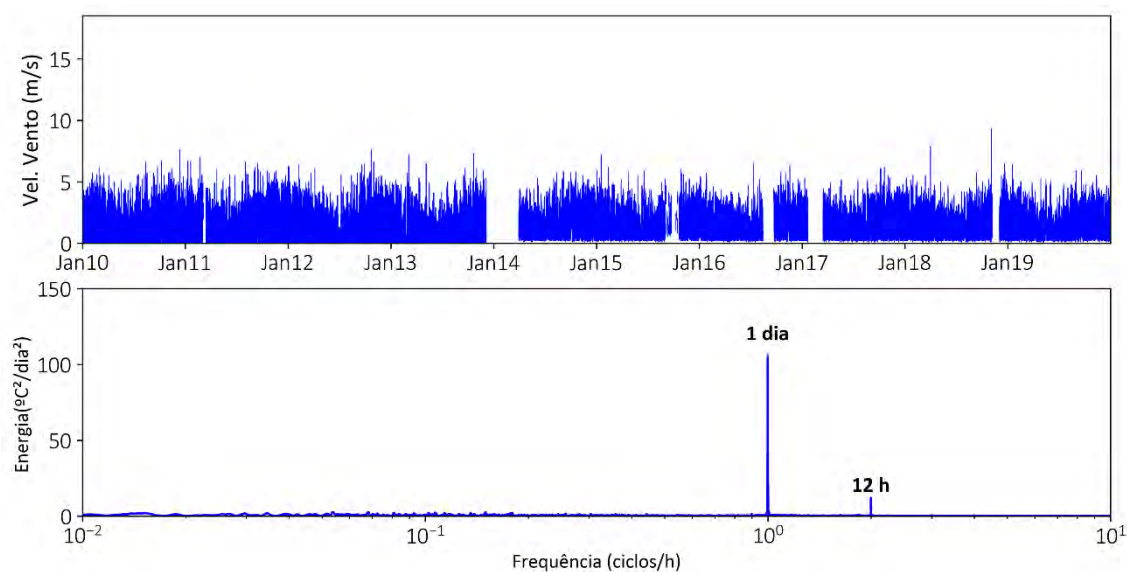


Figura 37: Série temporal de intensidade do vento (m/s) (acima) e espectro no domínio da frequência (abaixo) na estação de Florianópolis. Fonte: INMET (2010 a 2019).

Para avaliar o regime de ventos e sua sazonalidade no Campo de Baúna são apresentadas as rosas dos ventos mensais (Figura 38) e sazonais (Figura 39) para o ponto de grade do ERA5 selecionado.

A análise dos dados de vento demonstra que há o predomínio dos ventos do quadrante NE (NE, N e E) durante todo o ano na região. É possível notar que, em todas as estações, os ventos mais frequentes são de quadrante NE (cerca de 60%), com um aumento relativo dos ventos de quadrante sul (S, SW, SE) no outono e inverno (característico de frente fria) (Figura 40). As maiores intensidades associadas aos ventos NE ocorrem no inverno e na primavera. Estes resultados corroboram com os padrões de circulação atmosférica de larga escala na região (descritos no item 2.1), dominados pela influência do ASAS ao longo de todo o ano e pela passagem de frentes frias com maior frequência nos meses de outono e inverno.

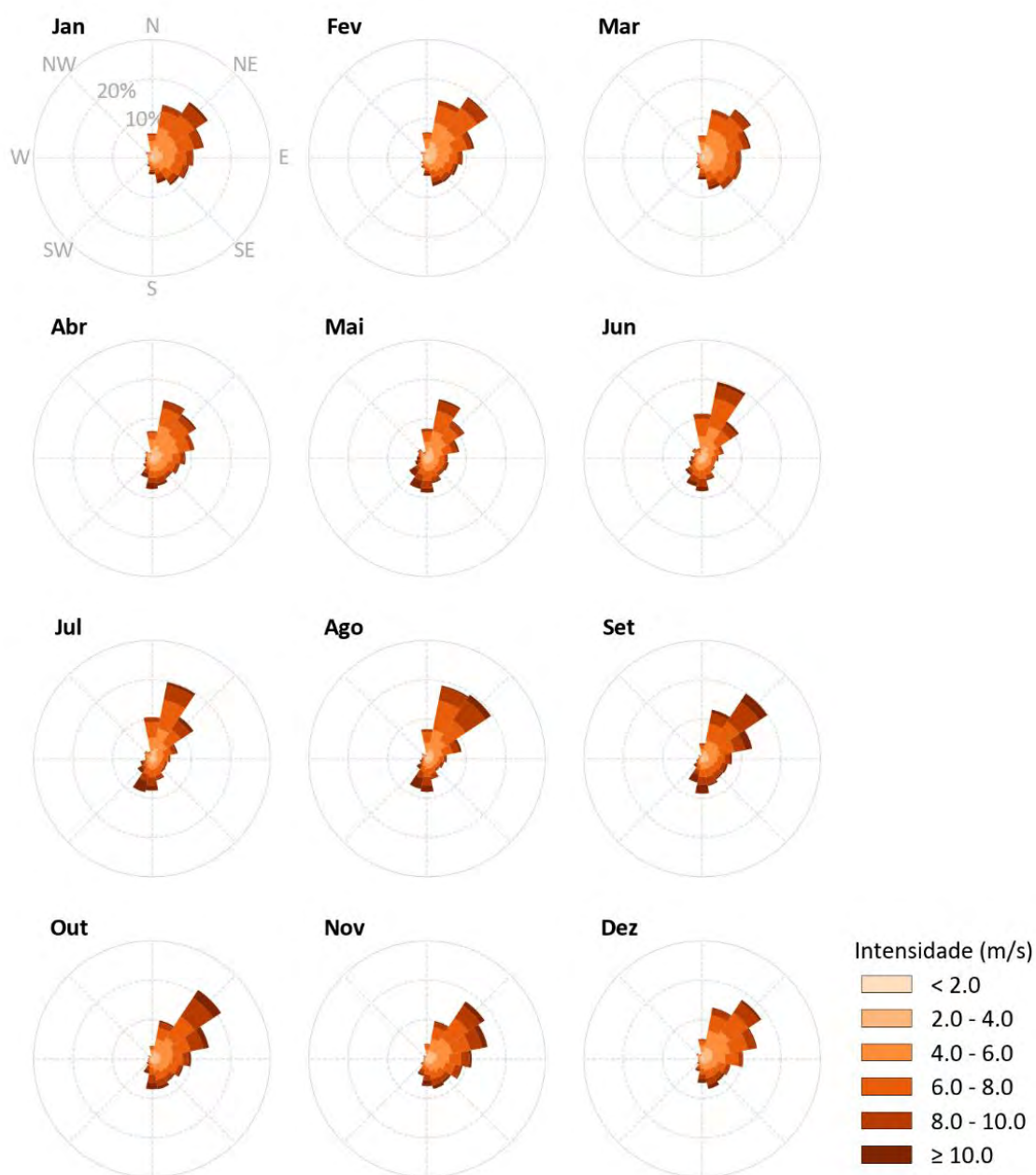


Figura 38: Rosa dos ventos (m/s) para os meses de janeiro a dezembro no Campo de Baúna. Fonte: ERA5 (1989 a 2019).

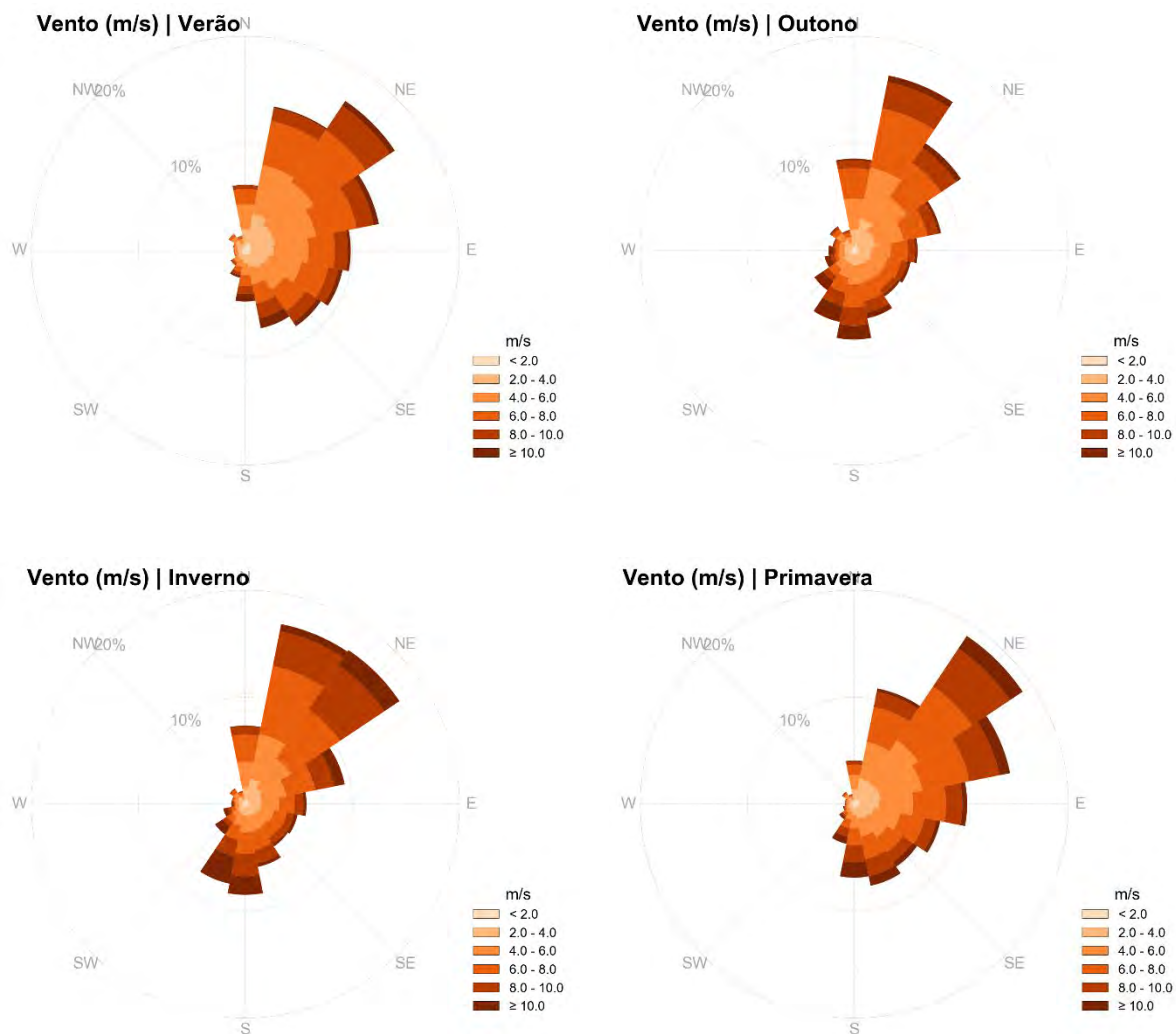


Figura 39: Rosa dos ventos sazonais no Campo de Baúna. Fonte: ERA5 (1989-2019).

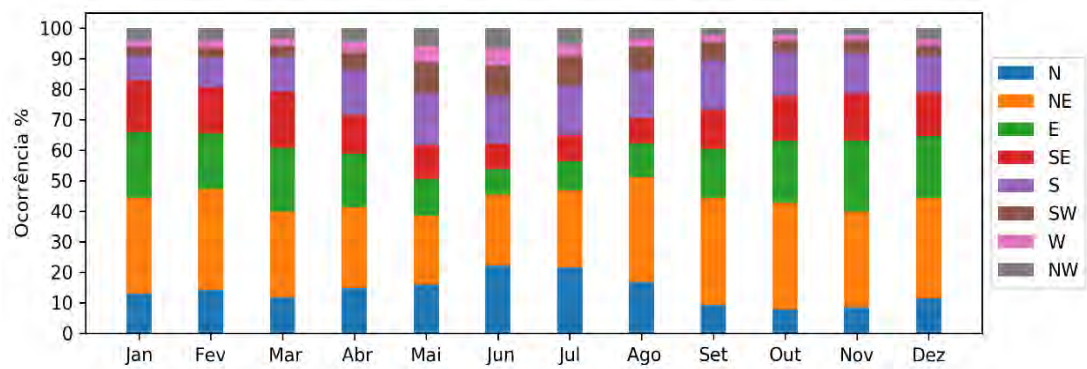


Figura 40: Percentual direcional dos ventos mensais. Os ventos de N, NE e E são típicos de bom tempo, enquanto os ventos de SE, S e SW são característicos de frentes frias. Fonte: ERA5 (1989 a 2019).

A Figura 41 apresenta os campos sazonais de vento na região do Campo de Baúna e seu entorno. Verifica-se que os ventos de NE e E dominam em todas as estações, com menores intensidades médias sendo observadas no outono. Esse regime, entretanto, é perturbado por eventos transientes associados a sistemas frontais, onde predominam os ventos do quadrante S, variando de SE a SW, o qual pode ser observado próximo ao continente nas estações outono e inverno com o enfraquecimento dos ventos de NE/E.



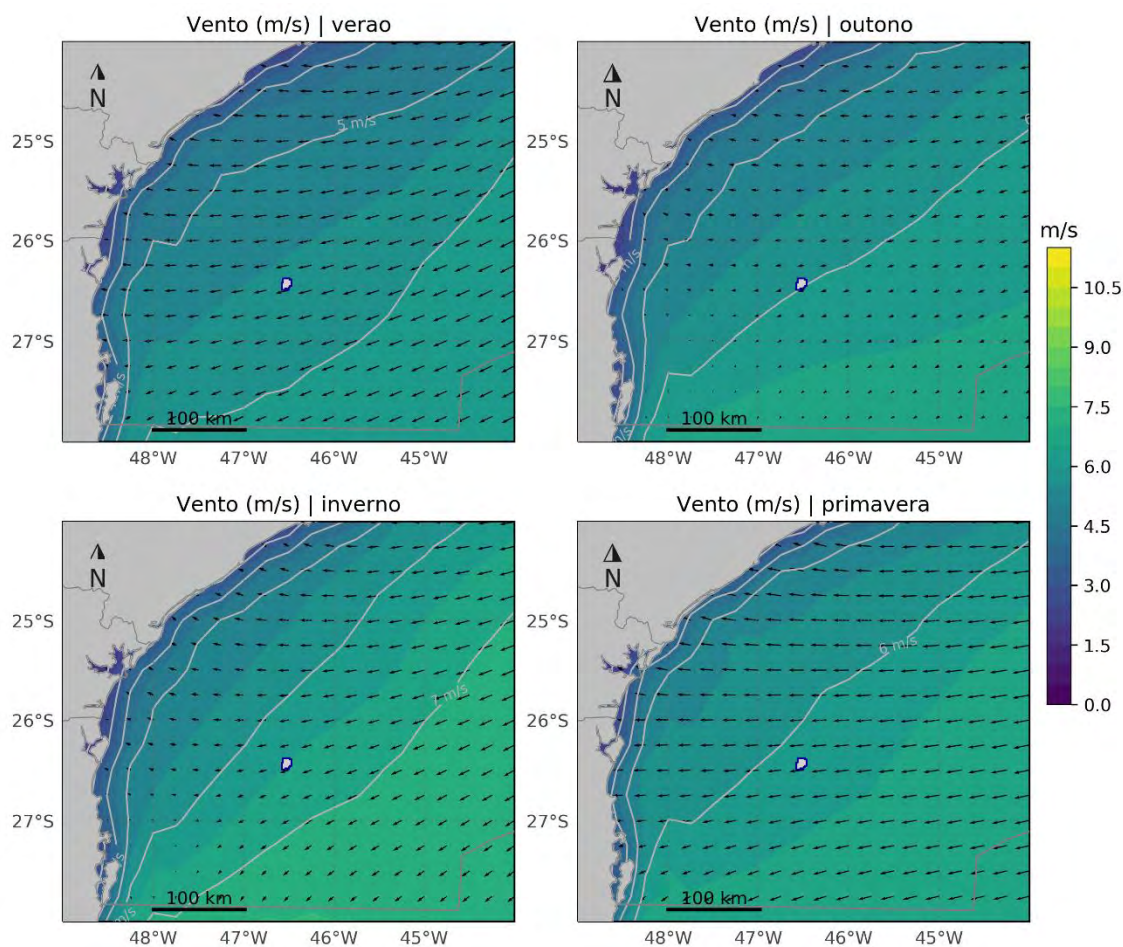


Figura 41: Mapas sazonais de intensidade de ventos na região do Campo de Baúna e seu entorno. Fonte: ERA5 (1969 a 2019).

A seguir são apresentadas as tabelas de ocorrência conjunta de intensidade e direção dos ventos (Tabela 8 a Tabela 12) no Campo de Baúna. As direções representam as seguintes faixas de direção: N ( $337,5^{\circ}$ - $22,5^{\circ}$ ), NE ( $22,5^{\circ}$ - $67,5^{\circ}$ ), E ( $67,5^{\circ}$ - $112,5^{\circ}$ ), SE ( $112,5^{\circ}$ - $157,5^{\circ}$ ), S ( $157,5^{\circ}$ - $202,5^{\circ}$ ), SW ( $202,5^{\circ}$ - $247,5^{\circ}$ ), W ( $247,5^{\circ}$ - $292,5^{\circ}$ ) e NW ( $292,5^{\circ}$ - $337,5^{\circ}$ ).

Assim como verificado através das rosas, há uma predominância de ventos de NE ( $\sim 30\%$ ) e E ( $\sim 16\%$ ), totalizando aproximadamente 46 %. Ventos de S e SW, típicos de atuação de frentes frias, totalizam aproximadamente 27% das ocorrências. Nota-se que que aproximadamente 60% dos ventos têm intensidade média entre 4 e 8 m/s e 2% maiores que 12 m/s.

Os ventos acima de 12 m/s são mais frequentes no outono e no inverno (Tabela 10 e Tabela 11), quando estão associados às direções S e SW, reflexo do maior número de ocorrências de passagens de sistemas frontais nestas estações do ano. Assim como verificado através das rosas, as maiores intensidades (entre 10 e 12 m/s) são mais frequentes no inverno e primavera, quando estão associadas as direções de NE e N.

Tabela 8: Tabela de Ocorrência Conjunta de intensidade e direção do vento no Campo de Baúna. Fonte: ERA5 (1989-2019).

| Direção ->        |    | N     | NE    | E     | SE    | S     | SW   | W    | NW   | Freq (%) |
|-------------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|----------|
| Intensidade (m/s) |    |       |       |       |       |       |      |      |      |          |
| 0                 | 2  | 2013  | 2370  | 2282  | 1962  | 1625  | 1416 | 1292 | 1600 | 5,35     |
| 2                 | 4  | 7269  | 10241 | 8561  | 6600  | 4685  | 3118 | 2291 | 3559 | 17,04    |
| 4                 | 6  | 12427 | 21333 | 13805 | 10159 | 7448  | 3226 | 1751 | 3184 | 26,98    |
| 6                 | 8  | 11617 | 26767 | 12208 | 9423  | 8965  | 2812 | 972  | 1742 | 27,41    |
| 8                 | 10 | 3783  | 15730 | 6050  | 5114  | 7862  | 2301 | 697  | 677  | 15,53    |
| 10                | 12 | 629   | 4032  | 1727  | 1782  | 4724  | 1678 | 531  | 213  | 5,63     |
| > 12              |    | 83    | 742   | 353   | 451   | 1875  | 1573 | 370  | 28   | 2,01     |
| Freq (%)          |    | 13,91 | 29,88 | 16,55 | 13,06 | 13,68 | 5,93 | 2,90 | 4,04 |          |

Tabela 9: Tabela de Ocorrência Conjunta de intensidade e direção do vento no Campo de Baúna para os meses de **verão**. Fonte: ERA5 (1989-2019).

| Direção ->        |    | N    | NE   | E    | SE   | S    | SW  | W   | NW  | Freq (%) |
|-------------------|----|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|----------|
| Intensidade (m/s) |    |      |      |      |      |      |     |     |     |          |
| 0                 | 2  | 642  | 784  | 680  | 599  | 438  | 371 | 394 | 476 | 6,5      |
| 2                 | 4  | 2092 | 3125 | 2732 | 2024 | 1144 | 709 | 534 | 994 | 19,8     |
| 4                 | 6  | 3165 | 6117 | 4546 | 3246 | 1469 | 577 | 357 | 719 | 30,0     |
| 6                 | 8  | 2177 | 6965 | 3655 | 3084 | 1470 | 300 | 132 | 351 | 27       |
| 8                 | 10 | 538  | 3009 | 1587 | 1633 | 1093 | 168 | 38  | 86  | 12,1     |
| 10                | 12 | 64   | 508  | 370  | 563  | 673  | 71  | 14  | 18  | 3,3      |
| > 12              |    | 20   | 116  | 61   | 153  | 261  | 14  | 0   | 2   | 0,9      |
| Freq (%)          |    | 12,9 | 30,7 | 20,3 | 16,8 | 9,7  | 3,2 | 2,1 | 3,9 |          |

Tabela 10: Tabela de Ocorrência Conjunta de intensidade e direção do vento no Campo de Baúna para os meses de **inverno**. Fonte: ERA5 (1989-2019).

| Direção ->        |    | N    | NE   | E    | SE   | S    | SW  | W   | NW  | Freq (%) |
|-------------------|----|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|----------|
| Intensidade (m/s) |    |      |      |      |      |      |     |     |     |          |
| 0                 | 2  | 409  | 470  | 462  | 392  | 308  | 322 | 287 | 359 | 4,3      |
| 2                 | 4  | 1618 | 1982 | 1573 | 1310 | 1185 | 765 | 527 | 764 | 14,2     |
| 4                 | 6  | 3306 | 4450 | 2296 | 1817 | 2022 | 872 | 453 | 746 | 23,3     |
| 6                 | 8  | 3899 | 7243 | 2119 | 1871 | 2582 | 973 | 271 | 459 | 28,3     |
| 8                 | 10 | 1431 | 5565 | 1263 | 1014 | 2565 | 903 | 223 | 162 | 19,1     |
| 10                | 12 | 201  | 1652 | 503  | 293  | 1660 | 716 | 190 | 32  | 7,6      |
| > 12              |    | 16   | 264  | 54   | 69   | 753  | 731 | 68  | 8   | 2,8      |
| Freq (%)          |    | 15,8 | 31,5 | 12   | 9,8  | 16,1 | 7,7 | 2,9 | 3,6 |          |

Tabela 11: Tabela de Ocorrência Conjunta de intensidade e direção do vento no Campo de Baúna para os meses do **outono**. Fonte: ERA5 (1989-2019).

| Direção ->        |    | N    | NE   | E    | SE   | S    | SW   | W   | NW   | Freq (%) |
|-------------------|----|------|------|------|------|------|------|-----|------|----------|
| Intensidade (m/s) |    |      |      |      |      |      |      |     |      |          |
| 0                 | 2  | 512  | 553  | 530  | 478  | 490  | 445  | 360 | 427  | 5,6      |
| 2                 | 4  | 2088 | 2446 | 1822 | 1563 | 1360 | 1070 | 822 | 1145 | 18,1     |
| 4                 | 6  | 3853 | 4895 | 2566 | 2198 | 2286 | 1183 | 664 | 1171 | 27,7     |
| 6                 | 8  | 3985 | 5232 | 2225 | 1798 | 2710 | 1056 | 425 | 699  | 26,7     |
| 8                 | 10 | 1242 | 2440 | 1034 | 858  | 2123 | 894  | 357 | 304  | 13,6     |
| 10                | 12 | 240  | 541  | 237  | 328  | 1187 | 695  | 279 | 123  | 5,3      |
| > 12              |    | 40   | 151  | 118  | 61   | 458  | 634  | 289 | 14   | 2,6      |
| Freq (%)          |    | 17,6 | 24   | 12,6 | 10,7 | 15,6 | 8,8  | 4,7 | 5,7  |          |

Tabela 12: Tabela de Ocorrência Conjunta de intensidade e direção do vento no Campo de Baúna para os meses da **primavera**. Fonte: ERA5 (1989-2019).

| Direção ->        |    | N    | NE   | E    | SE   | S    | SW  | W   | NW  | Freq (%) |
|-------------------|----|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|----------|
| Intensidade (m/s) |    |      |      |      |      |      |     |     |     |          |
| 0                 | 2  | 450  | 563  | 610  | 493  | 389  | 278 | 251 | 338 | 4,9      |
| 2                 | 4  | 1471 | 2688 | 2434 | 1703 | 996  | 574 | 408 | 656 | 15,9     |
| 4                 | 6  | 2103 | 5871 | 4397 | 2898 | 1671 | 594 | 277 | 548 | 26,8     |
| 6                 | 8  | 1556 | 7327 | 4209 | 2670 | 2203 | 483 | 144 | 233 | 27,5     |
| 8                 | 10 | 572  | 4716 | 2166 | 1609 | 2081 | 336 | 79  | 125 | 17       |
| 10                | 12 | 124  | 1331 | 617  | 598  | 1204 | 196 | 48  | 40  | 6        |
| > 12              |    | 7    | 211  | 120  | 168  | 403  | 194 | 13  | 4   | 1,6      |
| Freq (%)          |    | 9,1  | 33,1 | 21,2 | 14,8 | 13   | 3,8 | 1,7 | 2,8 |          |

A estatística básica obtida pelos dados de vento do ERA5 para o período de 1989 a 2019 no Campo de Baúna está apresentada na Tabela 13. O mês de setembro foi o que apresentou, na média, os ventos médios mais intensos (6,82 m/s). A intensidade máxima observada foi de 18,9 m/s no mês de maio.

Tabela 13: Estatística básica do vento no Campo de Baúna. Fonte: ERA5 (1989 a 2019).

| Meses | Direção média | Int. média (m/s) | Desvio padrão | Máxima absoluta (m/s) | Média das máximas (m/s) | Desvio padrão |
|-------|---------------|------------------|---------------|-----------------------|-------------------------|---------------|
| Jan   | NE            | 5,83             | 2,47          | 16,76                 | 12,26                   | 1,2           |
| Fev   | NE            | 5,55             | 2,45          | 16,28                 | 12,1                    | 0,99          |
| Mar   | NE            | 5,56             | 2,41          | 16,11                 | 12,03                   | 0,84          |
| Abr   | NE            | 5,73             | 2,56          | 16,65                 | 12,23                   | 1,1           |
| Mai   | NE            | 6,24             | 2,88          | 18,9                  | 12,73                   | 1,34          |
| Jun   | NE            | 6,11             | 2,64          | 17,18                 | 12,37                   | 1,17          |
| Jul   | NE            | 6,37             | 2,68          | 18,04                 | 12,33                   | 1,13          |
| Ago   | NE            | 6,53             | 2,72          | 16,84                 | 12,4                    | 1,11          |
| Set   | NE            | 6,82             | 2,75          | 16,21                 | 12,19                   | 1,07          |
| Out   | NE            | 6,46             | 2,66          | 16,29                 | 12,12                   | 0,95          |
| Nov   | NE            | 6,29             | 2,6           | 17,39                 | 12,13                   | 0,99          |
| Dez   | NE            | 5,91             | 2,51          | 17,97                 | 12,27                   | 1,22          |

Visando uma análise mais detalhada sobre o comportamento do vento na região do Campo de Baúna, são apresentados gráficos do tipo *stickplots* para o ano de 2012 (Figura 42) e 2013 (Figura 43) no ponto de grade selecionado. Observa-se que o regime de ventos na região é basicamente dominado por ventos de NE e E, característicos do domínio do ASAS. Esse padrão é alterado por passagens de frentes frias, que invertem os ventos para S e SW.

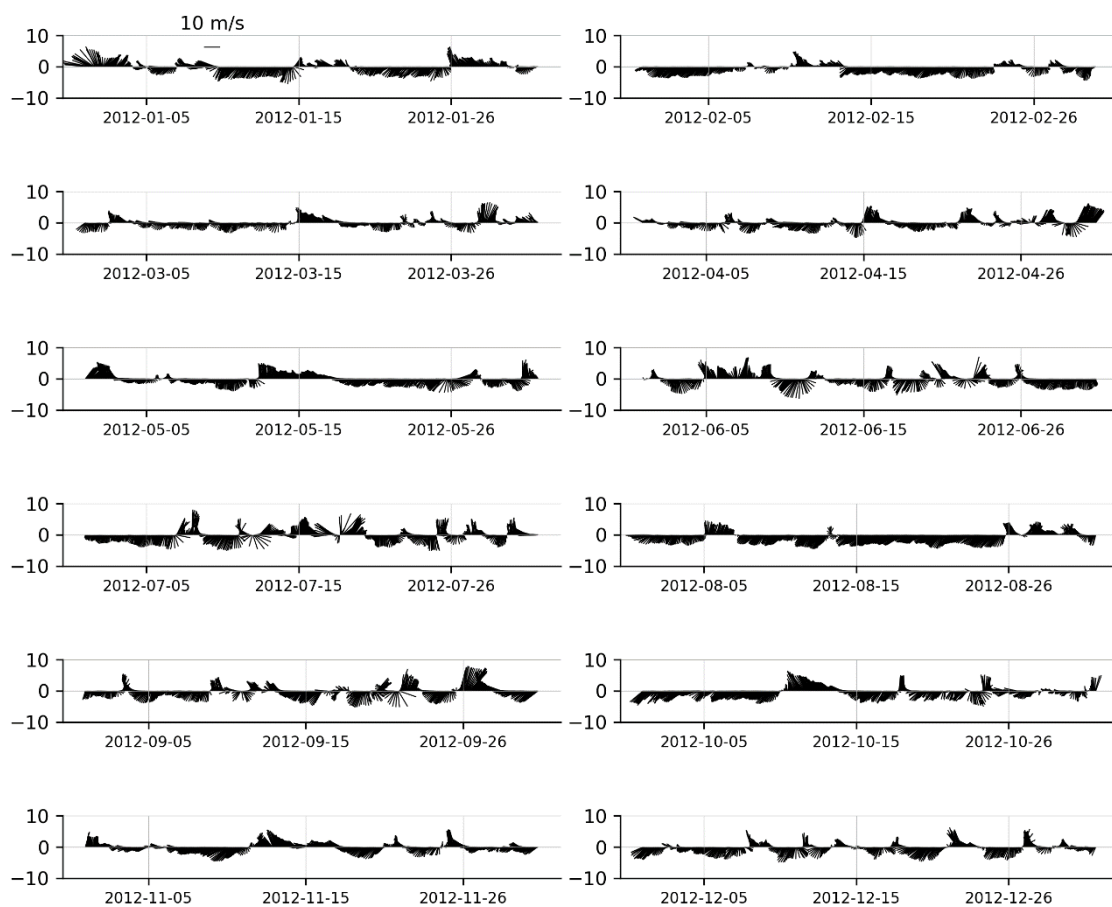


Figura 42: Gráficos do tipo *stickplots* de vento no Campo de Baúna para o ano de 2012. Fonte: ERA5 (1989 a 2019).

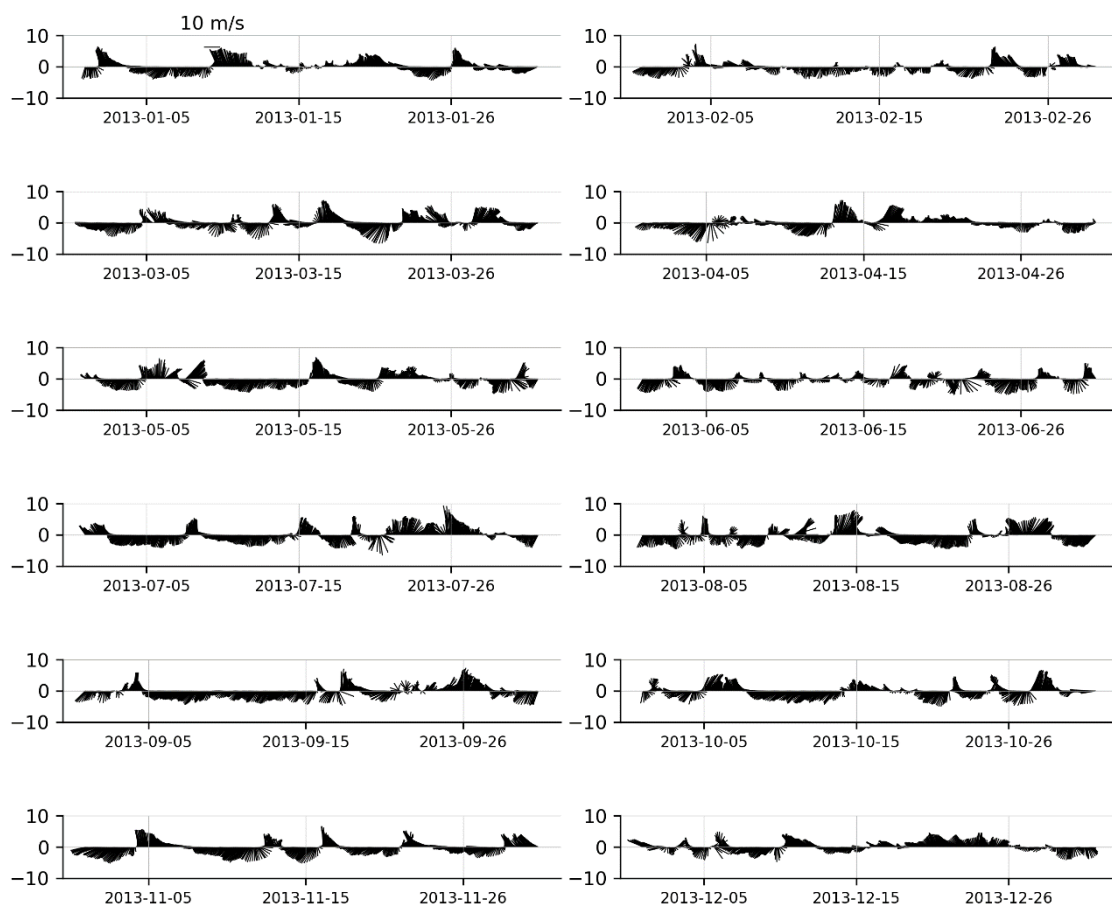


Figura 43: Gráficos do tipo *stickplots* de vento no Campo de Baúna para o ano de 2013. Fonte: ERA5 (1989 a 2019)

A seguir, na Figura 44 e na Figura 45 estão apresentados gráficos com valores climatológicos de intensidade média, mínima, máxima, 1° e 3° quartil de ventos e das rajadas, respectivamente.

A intensidade média do vento no Campo de Baúna é de aproximadamente 5 m/s nos meses de verão e de 7 m/s nos meses de inverno, com máximos entre 15 e 20 m/s. Podem ser observadas rajadas de vento de cerca de 25 m/s ao longo de todo ano.



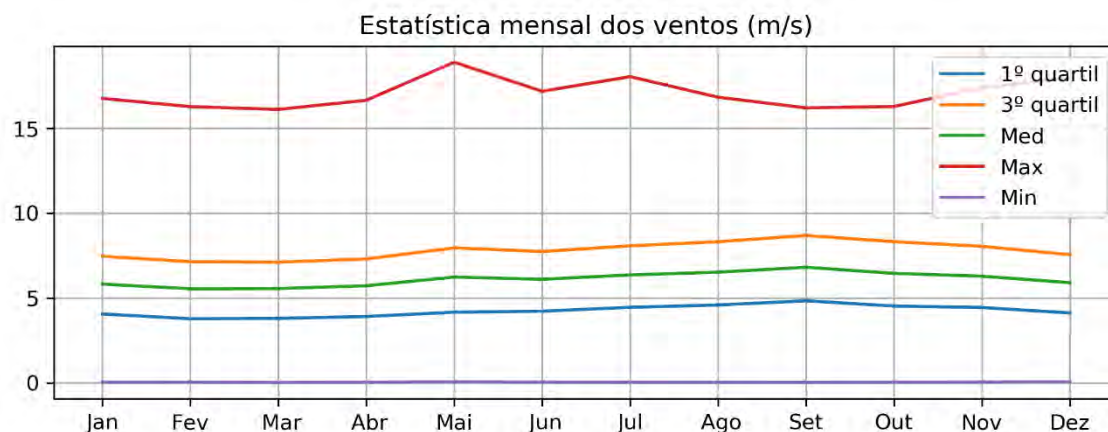


Figura 44: Média, mínima, máxima, primeiro e terceiro quartil de intensidade de ventos no Campo de Baúna.  
 Fonte: ERA5 (1989 a 2019)

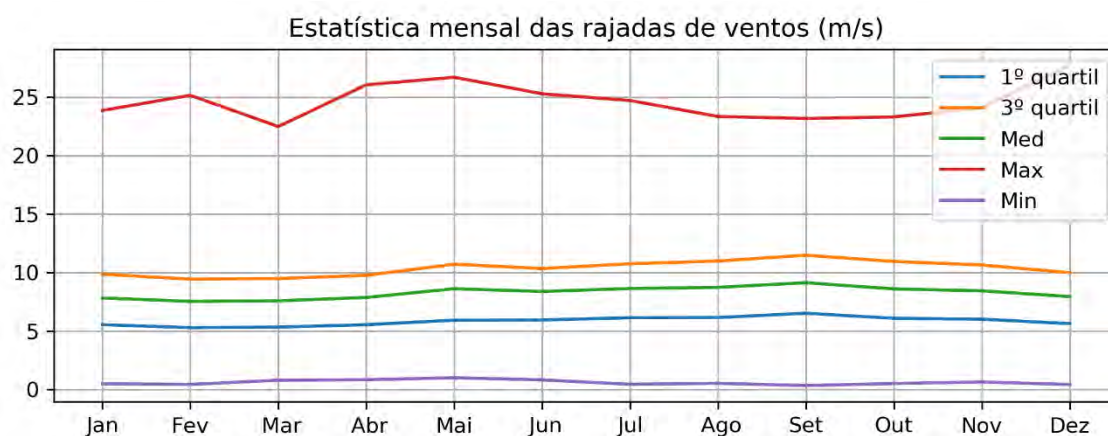


Figura 45: Média, mínima, máxima, primeiro e terceiro quartil de rajadas de vento no Campo de Baúna. Fonte: ERA5 (1989 a 2019)

De forma comparativa, para complementar a caracterização do regime de ventos, foram usados dados coletados *in situ* da boia meteoceanográfica de Santos (PNBOIA), fundeada próxima ao Campo de Baúna, e de sensores a bordo do FPSO Cidade Itajaí (PMA/BM-S-40/PMOP) no Campo de Baúna.

A seguir são apresentadas as rosas dos ventos mensais (Figura 46) e a tabela de ocorrências conjuntas de intensidade e direção dos ventos (Tabela 14) para a boia de Santos (PNBOIA), além de uma tabela com o percentual de ocorrência de direção dos ventos e intensidade média e máxima associada a cada direção observados a bordo do FPSO Cidade Itajaí (Tabela 15).

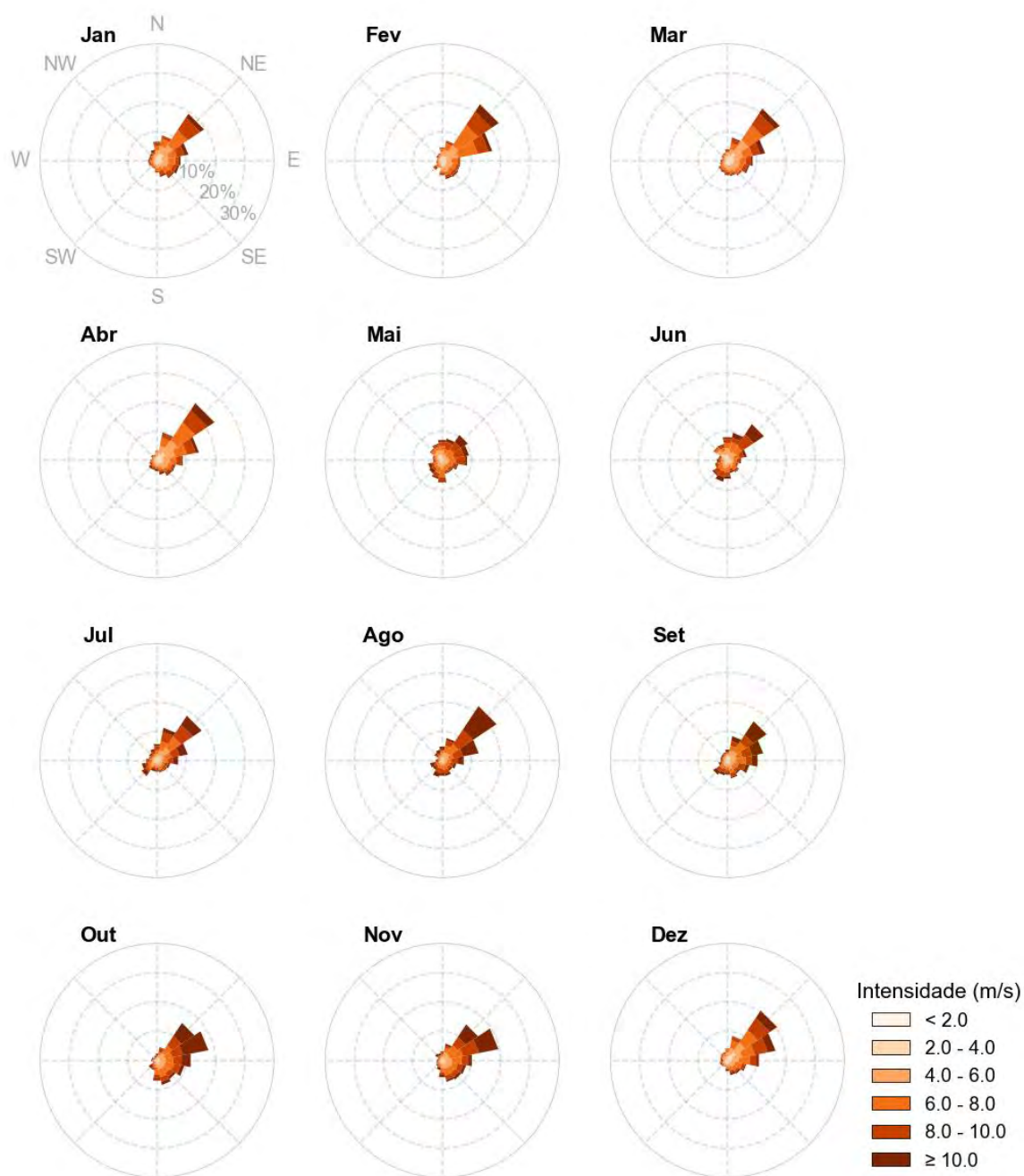


Figura 46: Rosa dos ventos (m/s) para os meses de janeiro a dezembro na Boia de Santos (PNBOIA). PNBOIA BNDO (2011 a 2018).

Tabela 14: Ocorrência conjunta total de intensidade e direção dos ventos na Boia Santos (PNBOIA). Fonte: BNDO (2011 a 2018).

| Direção ->        |    | N    | NE   | E    | SE   | S    | SW   | W   | NW  | Freq (%) |
|-------------------|----|------|------|------|------|------|------|-----|-----|----------|
| Intensidade (m/s) |    |      |      |      |      |      |      |     |     |          |
| 0                 | 2  | 499  | 562  | 432  | 460  | 472  | 728  | 459 | 500 | 6,9      |
| 2                 | 4  | 1150 | 1660 | 1129 | 1083 | 932  | 716  | 533 | 816 | 13,4     |
| 4                 | 6  | 1564 | 3276 | 2217 | 1711 | 1363 | 960  | 697 | 855 | 21,2     |
| 6                 | 8  | 1303 | 4643 | 2817 | 1799 | 1439 | 1049 | 611 | 625 | 24       |
| 8                 | 10 | 873  | 4327 | 2484 | 1279 | 1053 | 800  | 465 | 436 | 19,6     |
| 10                | 12 | 398  | 2740 | 1128 | 502  | 486  | 482  | 226 | 289 | 10,5     |
| > 12              |    | 134  | 1130 | 356  | 156  | 186  | 241  | 162 | 100 | 4,1      |
| Freq (%)          |    | 9,9  | 30,8 | 17,7 | 11,7 | 9,9  | 8,3  | 5,2 | 6   |          |

Tabela 15: Percentual de ocorrência de direção dos ventos e intensidade média e máxima associada a cada direção observados a bordo do FPSO Cidade Itajaí, no Campo de Baúna. Fonte: PMA/BM-S-40, subprojeto PMOP.

|                   | N     | NE    | E     | SE    | S     | SW    | W     | NW    |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Percentual (%)    | 9,5   | 27,8  | 17,5  | 14,9  | 13,5  | 7,7   | 5,2   | 3,9   |
| Intensidade (m/s) |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Média             | 4,778 | 6,292 | 6,192 | 5,358 | 6,17  | 5,574 | 4,724 | 4,926 |
| Máximo            | 17,97 | 15,41 | 25,83 | 13,85 | 13,82 | 22,33 | 24,13 | 14,12 |

Os ventos de NE, associados ao ASAS, são os mais frequentes ao longo de toda a série de dados observados a bordo do FPSO Cidade Itajaí no Campo de Baúna (2015 a 2017) e da boia de Santos (2011 a 2018), com frequências de 27,8% e 30,82%, respectivamente. Em seguida os vêm os ventos de E e SE, sendo 17,5% (E) e 15% (SE) na FPSO Cidade Itajaí e 17,76% (E) e 11,75% (SE) na Boia de Santos. As intensidades médias observadas para todas as direções são em torno de 5 a 6 m/s, sendo os ventos associados ao ASAS aqueles com a maior intensidade média. Os ventos mais intensos observados *in situ* a bordo da FPSO são de E (25,8 m/s), SW (22,3 m/s) e W (24,1 m/s). Os dados observados *in situ* encontram-se dentro da faixa de valores de intensidade e percentual de direção fornecidos pela reanálise do ERA5 e corroboram a interpretação dos principais fenômenos de macro- e mesoescala descritos.

## 2.3. Caracterização dos Fenômenos de Microescala

Puderam ser identificados fenômenos de microescala nos dados das estações automáticas do INMET analisadas, pois estas séries possuem frequência amostral horária. Na análise espectral de todas as variáveis foram observados picos de energia nos períodos de 24 e 12 horas.

Para a variável temperatura, os picos diurnos de energia estão associados principalmente às diferenças na temperatura específica da água do mar e do continente, que induzem o aquecimento diferenciado dessas duas superfícies durante o ciclo diário de insolação. Tal diferença produz um gradiente de pressão na atmosfera próxima à superfície que induz movimentos de ar. Durante o dia, a terra – que possui menor calor específico que a água – se torna mais quente que a água e, portanto, gera movimentos de ar ascendentes, diminuindo a pressão atmosférica sobre o continente (ciclo diurno da pressão atmosférica). A diferença de pressão atmosférica entre o continente e o mar gera ventos que sopram do mar para o continente (brisa marinha). Durante a noite ocorre o inverso, a água do mar, que possui calor específico maior que a terra, preserva mais sua temperatura e se torna mais quente que a terra. Dessa forma o gradiente de pressão atmosférica pode se inverter, gerando a brisa terrestre, que sopra da terra para o mar (ciclo diurno dos ventos). O pico diurno na análise espectral da umidade relativa pode ser explicado pela natureza desta variável, visto que o cálculo da umidade relativa leva em consideração a temperatura do ar.

Além do efeito mais evidente e descrito no parágrafo acima, acerca do ciclo diurno de temperatura do ar e suas implicações nas outras variáveis (vento e umidade relativa), o pico de energia associado ao ciclo semidiurno (12 horas), pode ser explicado pelo efeito da maré atmosférica.

Maré atmosférica é um fenômeno importante nas camadas média e superior da atmosfera e que encontra reflexo também na superfície terrestre. A principal forçante deste fenômeno é o aquecimento solar, seguido de efeitos de gravidade. Segundo Covey *et. al.* (2011), a principal variação observada no campo de pressão atmosférica na superfície, devido à maré atmosférica, é um ciclo semidiurno.

Com o objetivo de detectar a influência da variação diurna no campo de ventos no Campo de Baúna, foram extraídos espectros rotacionais da série de velocidade do vento de duas fontes de dados: dos ventos medidos na boia do PNBOIA (Boia Santos), e da reanálise do ponto de grade do ERA5 (Figura 2), mesmo ponto utilizado nas análises do item 2.2

Pode-se observar na Figura 47 e na Figura 48, os picos de energia associados à frequência de 1 cpd (24 horas) e 2 cpd (12 horas), demonstrando que os ventos na região apresentam significativa variabilidade com período diário. Essa variabilidade, contudo, não está comprovadamente associada ao fenômeno de brisas terrestres-marinhas, mas indicam a importância relativa da frequência diária na variância do campo de ventos na região, observado nos dados medidos (PNBOIA) e representado nos dados de reanálise de vento (ERA5).

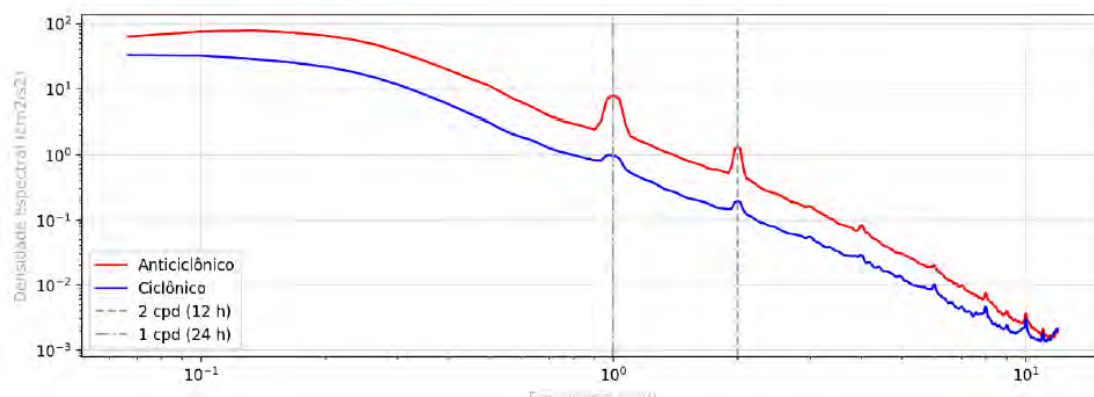


Figura 47: Espectro rotacional extraído da velocidade dos ventos no Campo de Baúna. Fonte: ERA5 (1989 a 2019).

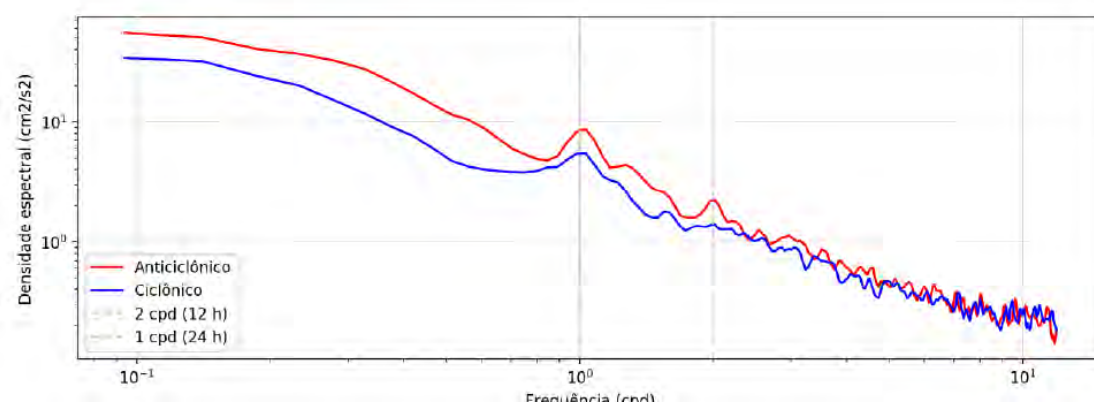


Figura 48: Espectro rotacional extraído da velocidade dos ventos medidos na boia meteorológica de Santos. Fonte: PNBOIA BNDO (2011 a 2018).

## 2.4. Identificação da Sazonalidade

Neste item, as séries de dados dos parâmetros meteorológicos foram analisadas visando à identificação da presença de variações interanuais na área de estudo, em especial no regime de ventos.

Uma análise global e integrada dos resultados apresentados em forma de gráficos e tabelas na análise de mesoescala (item 2.2) evidencia um padrão sazonal, principalmente no regime de ventos, relacionado à variação de posição e intensidade do ASAS, bem como a perturbação causada por passagens de sistemas frontais (explicitada no item 2.1 e 2.2).

As variações sazonais das variáveis estão relacionadas também direta ou indiretamente com a variação da intensidade da radiação solar ao longo do ano, fato que advém da obliquidade do eixo da terra em relação à elíptica (plano da órbita da terra em torno do sol).

Considerando-se que o vento é a variável meteorológica que pode apresentar maiores riscos à atividade *offshore*, a variabilidade intra-anual da mesma foi utilizada como principal orientadora da divisão sazonal para a área de estudo, pois influencia diretamente na modelagem hidrodinâmica e de dispersão de óleo.

Como visto ao longo da análise do 2.2.7 (Ventos), apesar da sazonalidade na região não ser muito marcada, há períodos ambientais que apresentam comportamentos um pouco distintos. Com base nessas frequências, foram definidos dois grandes períodos sazonais para a região: Período 1, entre setembro e fevereiro com ventos predominantes de NE, e o Período 2, entre março e agosto, com mais incidência de ventos de S e SW, apesar da predominância de ventos de NE (Figura 49).



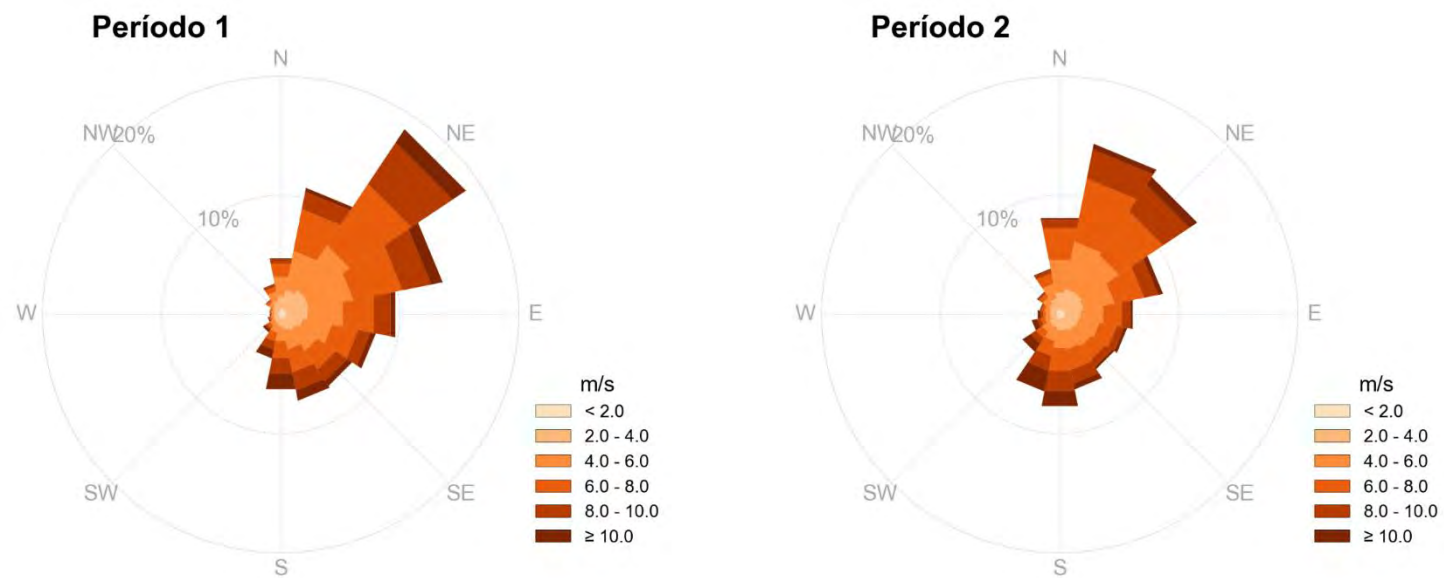


Figura 49: Rosa dos ventos (m/s) para o Período 1 (setembro a fevereiro) e 2 (março a agosto). Fonte: ERA5 (1989 a 2019).

A partir desta demarcação sazonal, apresenta-se a seguir (Tabela 16) um quadro resumindo os valores médios de cada variável durante os dois períodos. Estes valores foram obtidos a partir da análise das normais climatológicas do ERA5 para o ponto de grade mais próximo do Campo de Baúna.

Tabela 16: Valores climatológicos obtidos para cada período selecionado no Campo de Baúna. Fonte: ERA5 (1989 a 2019).

| Variáveis                    | Média climatológica – Período 1 | Média climatológica – Período 2 |
|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Temperatura (°C)             | 23,1                            | 22                              |
| Precipitação (mm)            | 0,12                            | 0,12                            |
| Umidade relativa (%)         | 80,5                            | 77,6                            |
| Pressão Atmosférica (hPa)    | 1014,2                          | 1017,8                          |
| Intensidade dos ventos (m/s) | 3,1                             | 1,7                             |

Em resumo, o período 1 pode ser definido como um período mais quente e úmido, com ventos predominantes de nordeste e intensidades maiores. Em contraste, o período 2 pode ser definido como um período mais frio e seco, e com maior incidência de ventos do quadrante sul, relacionados a frentes frias, que podem ocasionar chuvas.

## 2.5. Identificação de Fenômenos Meteorológicos Extremos

Neste item, buscou-se identificar a ocorrência de eventos meteorológicos extremos na região do Campo de Baúna a partir dos resultados de reanálises do ERA5 para as variáveis de intensidade dos ventos, temperatura do ar, pressão atmosférica e umidade. A definição utilizada para evento extremo é a de evento raro. Desta forma, para esta análise foram considerados eventos extremos aqueles que estão a uma distância da média de mais ou de menos de duas vezes o desvio padrão.

A influência da passagem de frentes frias e de ciclones extratropicais são os fenômenos atmosféricos que causam condições extremas na região do Campo de Baúna, como pôde ser visto na caracterização dos fenômenos de macro e mesoescala (item 2.1 e item 2.2). Esses fenômenos transientes são responsáveis pelas condições mais severas da região, gerando valores extremos de velocidade do vento (com direções associadas SW/W), valores mínimos de pressão atmosférica (associados ao núcleo de baixa pressão de ciclones) e temperatura do ar (associados à evolução da Alta Migratória Polar com massa de ar polar). Conforme descrito, estes fenômenos ocorrem com maior frequência e intensidade no inverno/outono. Ressalta-se que sob a influência do ASAS também podem ser observadas condições de mar severas, com ventos do quadrante NE/E com intensidade de até 26 m/s, principalmente no verão e primavera.

Apresenta-se, a seguir, na Tabela 17 uma síntese dos eventos extremos no Campo de Baúna para as variáveis analisadas. Para cada variável, podem-se observar os limiares positivos e negativos (duas vezes acima e abaixo da média, respectivamente), a frequência de ocorrência de ambos os limiares na série e os meses em que eventos extremos ocorreram mais vezes dentro das séries analisadas.

Tabela 17: Estatísticas de extremos elaboradas para as variáveis meteorológicas no Campo de Baúna. Fonte: ERA5 (1989 a 2019).

| Variável                  | Limiares |          | Frequência de ocorrência (%) |          | Meses críticos |          |
|---------------------------|----------|----------|------------------------------|----------|----------------|----------|
|                           | Superior | Inferior | Superior                     | Inferior | Superior       | Inferior |
| Temperatura (°C)          | 27,52    | 17,56    | 0,57                         | 2,24     | jan/fev        | julho    |
| Precipitação (mm/h)       | 1,13     | -        | 2,74                         | 0        | jan/fev        | -        |
| Umidade Relativa (%)      | 99,94    | 58,13    | 0                            | 4,15     | -              | maio     |
| Pressão Atmosférica (hPa) | 1.026,37 | 1.005,63 | 2,59                         | 1,49     | julho          | dez      |
| Ventos (m/s)              | 11,4     | 0,82     | 3,05                         | 0,86     | maio/set       | mar/jan  |
| Rajadas de ventos (m/s)   | 15,09    | 1,47     | 3,48                         | 0,32     | maio/set       | out/dez  |

De uma forma geral os valores extremos de temperatura atmosférica para os pontos analisados encontram-se em no verão (jan/fev) em virtude da maior incidência de radiação solar neste período. As precipitações também ultrapassaram seu limiar superior no verão (jan/fev), provavelmente em virtude da maior atuação dos sistemas convectivos neste período, conforme descrito no item 2.2.2. Os valores extremos superiores e inferiores de pressão atmosférica encontram-se em julho (inverno) e dezembro (verão), respectivamente, em virtude da oscilação sazonal E-W do ASAS descrita no item 2.1. De uma forma geral os períodos de outono e inverno apresentam os valores extremos superiores de ventos e rajadas, sendo maio o mês mais crítico, seguido de setembro, reflexo da maior ocorrência da passagem de sistemas frontais nestes períodos. Os meses de outubro, dezembro, janeiro e março são caracterizados por períodos de calmaria em relação ao regime de ventos e rajadas, apresentando seus extremos negativos.

### 3. Oceanografia

A caracterização oceanográfica da região de estudo foi feita a partir das seguintes fontes de dados:

- Dados de temperatura e salinidade disponíveis no National Oceanographic Data Center (NODC), nas bases de dados WOA13 (*World Ocean Atlas*) e WOD13 (*World Ocean Data*) – Análise de mesoescala;
- Dados de temperatura e salinidade coletados com CTD no PCA/BM-S-40 – Análise de mesoescala;
- Dados de temperatura da superfície do mar (TSM) obtidos de dados de satélite do produto JPL-MUR (*Jet Propulsion Laboratory – Multi-scale Ultra-High Resolution Sea Surface Temperature*) – Análise de mesoescala.
- Resultados de temperatura, salinidade e correntes do modelo do projeto Mercator – Análise de mesoescala.
- Resultados de uma modelagem hidrodinâmica desenvolvida com o ROMS – Análise de mesoescala.
- Dados de corrente da boia “Santos” do Programa Nacional de Boias (PNBOIA) do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) – Análise de mesoescala.
- Dados de corrente de derivadores do Projeto Azul (dos SANTOS *et. al.*, 2015) – Análise de meso- e submesoescala.
- Dados de onda oriundos de um *hindcast* de 30 anos da reanálise ERA5, do ECMWF (*European Center for Medium Range Weather Forecast*) – Análise de mesoescala.
- Dados de onda e correntes observados a bordo do FPSO Cidade de Itajaí no PMA/BM-S-40 subprojeto PMOP – Análise de mesoescala.
- Dados de onda oriundos de um *hindcast* de 10 anos realizado com o modelo WaveWatch III pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) dentro do plano de cooperação técnica INPE/PROOCEANO.
- Dados de refração de ondas oriundos do modelo SWAN.
- Dados do modelo global de marés TPX08 contendo a fase e a amplitude das principais constituintes de maré – Análise de mesoescala.
- Referências bibliográficas sobre a oceanografia local.

Na Tabela 18 é apresentado um resumo das fontes de dados utilizadas no estudo, e as suas respectivas localizações.

Tabela 18: Localização das fontes de dados utilizadas para a caracterização da oceanografia na área de estudo do Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna), na Bacia de Santos Legenda: T = Temperatura; S = Salinidade; U = componente zonal da corrente; V = componente meridional da corrente.

| Fontes                 | Coordenadas     |               | Parâmetros        | Período   | Intervalo amostral |
|------------------------|-----------------|---------------|-------------------|-----------|--------------------|
|                        | Latitude        | Longitude     |                   |           |                    |
| NODC (WOA13) (pontual) | 26,375°S        | 46,625°W      | T e S             | 1733-2013 | -                  |
| NODC (WOA13) (área)    | 28,5°S-24,5°S   | 49°W-44°W     | T e S             | 1733-2013 | -                  |
| NODC (WOD13) (área)    | 27°S-25,94°S    | 47,05°W-46°W  | T e S             | 1886-2014 | -                  |
| JPL-MUR (pontual)      | 26,5°S          | 46,5°W        |                   | 2005-2020 | 5 dias             |
| JPL-MUR (área)         | 28,5°S-24,5°S   | 49°W-44°W     | T                 | 2005-2020 | 5 dias             |
| Mercator               | 28,5°S-24,5°S   | 49°W-44°W     | T, S, U e V       | 2012-2019 | 1 dia              |
| ROMS (pontual - P1)    | 26,439950°S     | 46,517967°W   | U e V             | 2012-2013 | 6h                 |
| ROMS (pontual- P2)     | 26,384200°S     | 46,565300°W   | U e v             | 2012-2013 | 6h                 |
| BNDO/PNBOIA            | 25,4395°S       | 45,0361       | Vel               | 2011-2012 | 1h                 |
| ERA5                   | 26,5°S          | 46,5°W        | Ondas             | 1989-2019 | 4h                 |
| WaveWatchIII           | 24,5°S          | 42,5°W        | Ondas             | 1979-2011 | 6h                 |
| SWAN                   | 28,5°S – 22,5°S | 49°W – 39,5°W | Refração de ondas | -         | -                  |
| TPX08 (pontual)        | 26,5°S          | 46,5°W        | Maré              | -         | -                  |
| TPX08 (área)           | 28,5°S-24,5°S   | 49°W-44°W     | Maré              | -         | -                  |

### 3.1. Caracterização dos Fenômenos de Macroescala

A circulação oceânica de macroescala na região de estudo é dominada por um complexo sistema de correntes de contorno oeste (CCO) que ocupa pelo menos três quilômetros de coluna de água, transportando massa, calor, nutrientes e sal ao longo da margem continental. Esse sistema é composto pela Corrente do Brasil (CB), em níveis superiores, pela Corrente de Contorno Intermediária (CCI), em níveis intermediários, e pela Corrente de Contorno Profunda (CCP), em níveis profundos (SILVEIRA, 2006).

As CCO são caracterizadas por fluxos intensos, estreitos e bem definidos fluindo ao largo de margens continentais (SILVEIRA *et al.*, 2001), podendo ser caracterizadas como fluxos de retorno do transporte de Sverdrup. Essa intensificação ocorre devido a variação do parâmetro de Coriolis com a latitude (STOMMEL, 1948).

Entre as CCO está a CB, uma corrente que fecha o Giro Subtropical do Atlântico Sul, uma feição com giro anticiclônico que compõe a circulação de grande escala da bacia oceânica do Atlântico Sul nos primeiros 1000 m de profundidade (PETERSON & STRAMMA, 1991). O Giro Subtropical do Atlântico Sul é formado a partir da ação dos ventos do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) sobre o oceano, sendo composta pelas seguintes correntes superficiais : Corrente Sul Equatorial (CSEs) (limite norte); Corrente do Atlântico Sul (limite sul); Corrente de Benguela (limite leste) e a Corrente do Brasil (CB) (limite oeste) (Figura 50).

A CB é originada a partir do ramo sul da CSEs, que se bifurca (BiCSE) ao encontrar a costa leste brasileira, originando duas correntes: uma em direção ao Equador – a Corrente Norte do Brasil (CNB) - e outra em direção às altas latitudes – a Corrente do Brasil. Essa bifurcação ocorre em diferentes latitudes em cada nível de profundidade. Primeiramente, em superfície até aproximadamente 200 metros, a CB flui para sul ocupando a superfície de 10-15°S até os entornos de 20°S, onde recebe um novo aporte da BiCSE em nível intermediário (coincidente com a camada da picnoclina). A partir deste ponto, passa a fluir para sul ocupando praticamente toda a coluna d'água do oceano superior (400-500 m). Em torno de 28°S ocorre a bifurcação conhecida como bifurcação de Santos, resultando em uma extensão da CB até 1200 m, que segue bordejando o continente sul-americano até a região da convergência subtropical (33-38°S), onde conflui com a corrente das Malvinas (Confluência Brasil x Malvinas – CBM) e se separa em dois ramos. O ramo boreal flui para norte alinhado ao meridiano de 53°W, fechando o giro para oeste em torno de 28-30°S e formando uma célula de recirculação anticiclônica quase estacionária (STRAMMA & PETERSON, 1990; PETERSON & STRAMMA, 1991). O outro ramo flui meridionalmente, estendendo-se até 45-46°S, onde retroflete à nordeste originando a Corrente do Atlântico Sul (CAS) (STRAMMA & PETERSON, 1990).



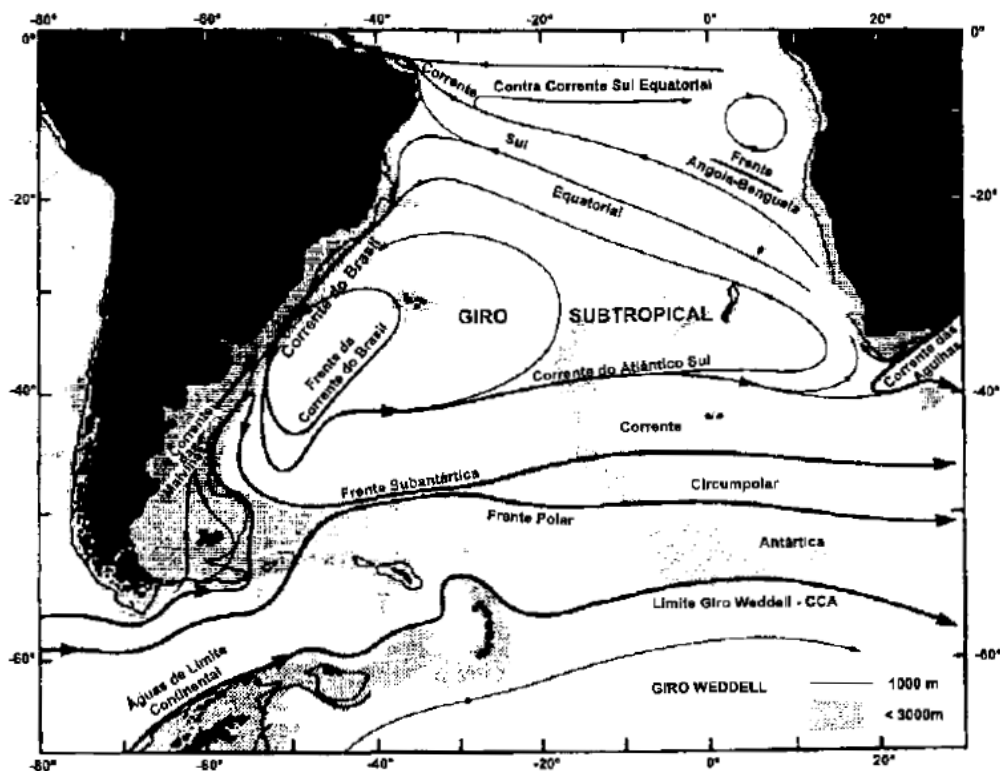


Figura 50: Representação esquemática do giro subtropical do Atlântico Sul. Fonte: Peterson & Stramma (1991).

Entre seu local de origem e os 20°S, a extensão da CB pouco varia, sendo as variações de velocidade controladas pela atuação dos ventos. Nessa região ela transporta apenas a Água Tropical (AT) entre a superfície e 200 m. A partir de 20°S, Água Central do Atlântico Sul (ACAS) passa a fluir com a CB, resultando em uma extensão vertical de até 400-500 metros (SOUTELINO, 2008). Em latitudes ao sul de 28°S, a Água Intermediária Antártica (AIA) também passa a ser transportada pela CB, e sua extensão vertical chega até 1.200 m (BOEBEL *et al.*, 1999; SCHMID *et al.*, 2000) (Figura 51). Conforme escoia para o sul, a CB recebe ainda efetiva contribuição da recirculação a partir de 24°S, o que implica em um aumento meridional de transporte em 5% por 100 km (GORDON & GREENGROVE, 1986).

Espacialmente, a CB está centrada entre as isóbatas de 200 e 1000 m, ocupando a parte mais externa da plataforma continental sudeste brasileira e o talude continental (STRAMMA & ENGLAND, 1999). Ao longo de seu percurso a largura da CB em superfície varia entre 100-120 km, com núcleo localizado a 50 m de profundidade e se estendendo até, em média, 750 metros dentro da Bacia de Santos (BOEBEL *et al.*, 1999). Algumas medições realizadas na região forneceram estimativas de transporte para a CB, como por exemplo em Campos *et al.* (1995) e Evans & Signorini (1985). Campos *et al.* (1995) utilizaram dados hidrográficos com alta resolução horizontal e estimaram o transporte da CB em 7,5 Sv ao nível de 750 db e de 8,8 Sv ao nível de 900 Db. Já Evans & Signorini (1985), utilizando perfiladores PEGASUS, revelaram velocidades da CB na direção sudoeste acima de 0,5 m/s na região de Cabo Frio – RJ.

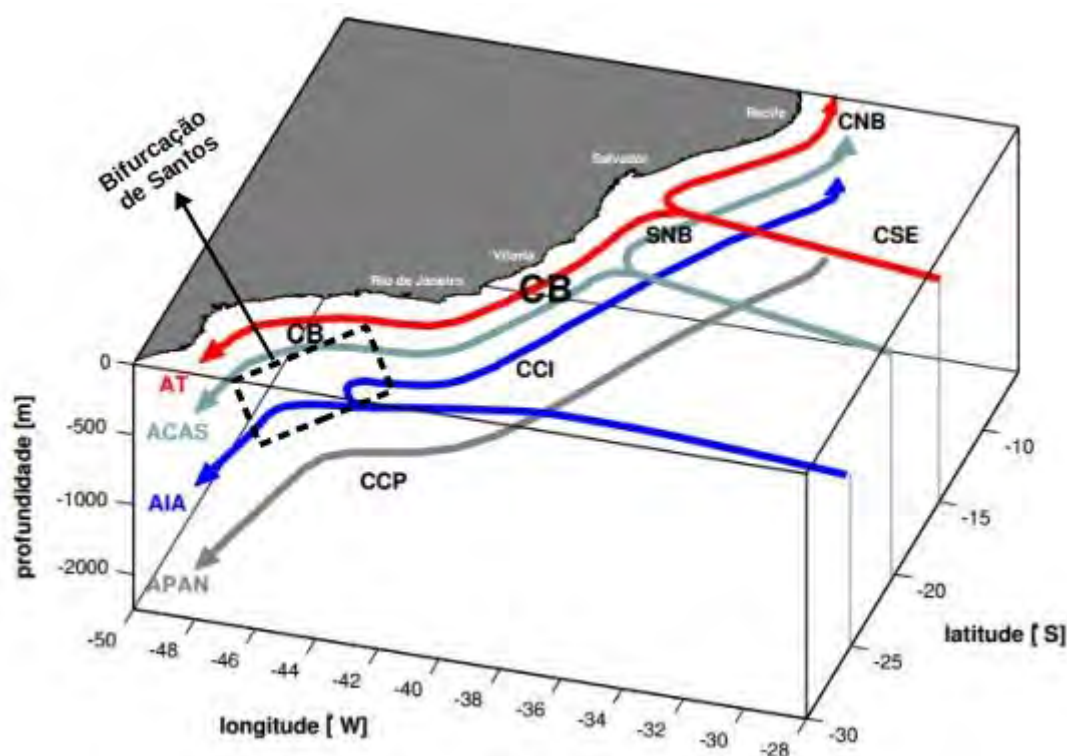


Figura 51: Síntese do escoamento do sistema de correntes de contorno oeste ao longo da margem continental brasileira, de acordo com padrões esquemáticos de Stramma & England (1999). SNB = Subcorrente Norte do Brasil; CNB = Corrente Norte do Brasil; CCI = Corrente de Contorno Intermediária; CSE = Corrente Sul Equatorial; CCP = Corrente de Contorno Profunda; CB = Corrente do Brasil. Fonte: Adaptado de Soutelino (2008).

Na região compreendida entre as latitudes 20°S e 25°S, a CB integra um complexo sistema de CCOs, que fluem em sentidos opostos, denominado sistema CB-CCI. A superfície é formada pela CB fluindo para sul-sudoeste transportando a AT e a ACAS. Em níveis intermediários (entre 500 e 1200 m), ao norte da bifurcação de Santos, se forma uma corrente oposta ao escoamento da CB, com direção para norte-nordeste e responsável pelo transporte da Corrente de Contorno Intermediária (CCI) ao longo da costa sudeste brasileira (STRAMMA & ENGLAND, 1999) (Figura 52). A análise de 170 flutuadores de diversos tipos mostrou que a CCI é formada no eixo da bifurcação da AIA, em torno de 25°S (BOEBEL *et al.*, 1999).

A medida que a CCI escoar em direção ao Equador, é alimentada com água da Bifurcação do ramo sul da Corrente Sul Equatorial (BiSEC) em níveis mais rasos. Em torno de 20°S, no conjunto de montes e bancos submarinos, conhecido como Cadeia Vitória-Trindade, a CCI recebe um *input* da ACAS do ramo picnoclínico da BiSEC, sendo a partir daí renomeada Subcorrente Norte do Brasil (SNB) (BOEBEL *et al.*, 1999). Ao norte de 15°S a SNB se junta a Corrente Norte do Brasil, dando origem a uma corrente com extensão vertical de aproximadamente 1.200 m (SILVEIRA *et al.*, 1994; STRAMMA *et al.*, 1995), escoando em direção ao equador.

Segundo Boebel *et al.* (1999) e Schmidt *et al.* (1995), a CCI apresenta largura de  $30 \pm 5$  km com núcleo localizado entre 800 e 1000 metros de profundidade. A velocidade geostrófica máxima no núcleo resultante em Rocha *et al.* 2014 foi de 0,2 m/s a 800 m. Para a CB, os resultados mostraram

que ao largo do Cabo de São Tomé a CB esteve presente até 350 m de profundidade e exibiu máximas velocidades (em superfície) em torno de 0,5 m/s.

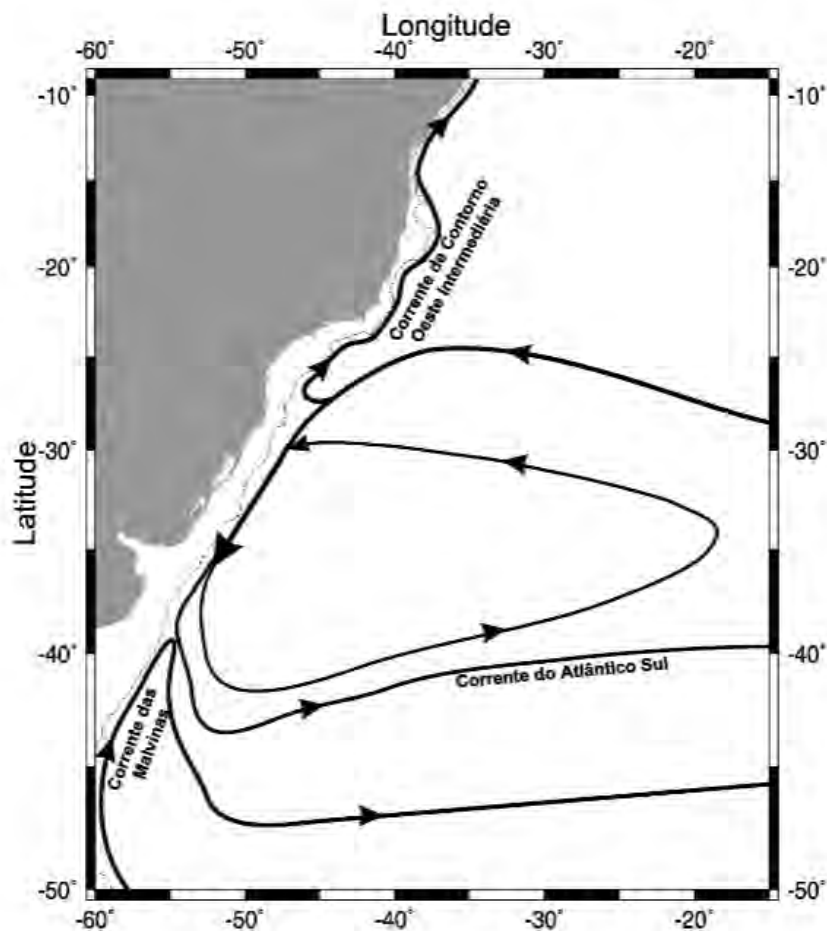


Figura 52: Representação esquemática da circulação no Oceano Atlântico Sudoeste entre 560-1300 m de coluna d'água, mostrando a bifurcação da Água Intermediária Antártica (AIA) em torno de 28°S (Bifurcação de Santos). O ramo sul é incorporado à CB, e o norte dá origem a CCI. A partir dessa região a CB passa a ser uma corrente profunda. Fonte: Silveira (2007).

Fechando o complexo sistema de correntes de contorno oeste, abaixo da CCI, ocupando até 2 quilômetros de coluna d'água e com uma estrutura vertical mais complexa com dois núcleos, encontra-se a Corrente de Contorno Profunda (CCP) fluindo para sul (Stramma & England, 1999) (Figura 53). A CCP transporta a Água Profunda do Atlântico Norte (APAN), e tem sua circulação descrita na literatura como um escoamento organizado para sul ao longo do contorno oeste até a Confluência Brasil x Malvinas (SILVEIRA, 2007). É importante salientar que se considerarmos a CCP, a qual APAN para o sul, como parte da CB, esta adquire uma extensão superior a 2.000 m ao sul de 28°S.

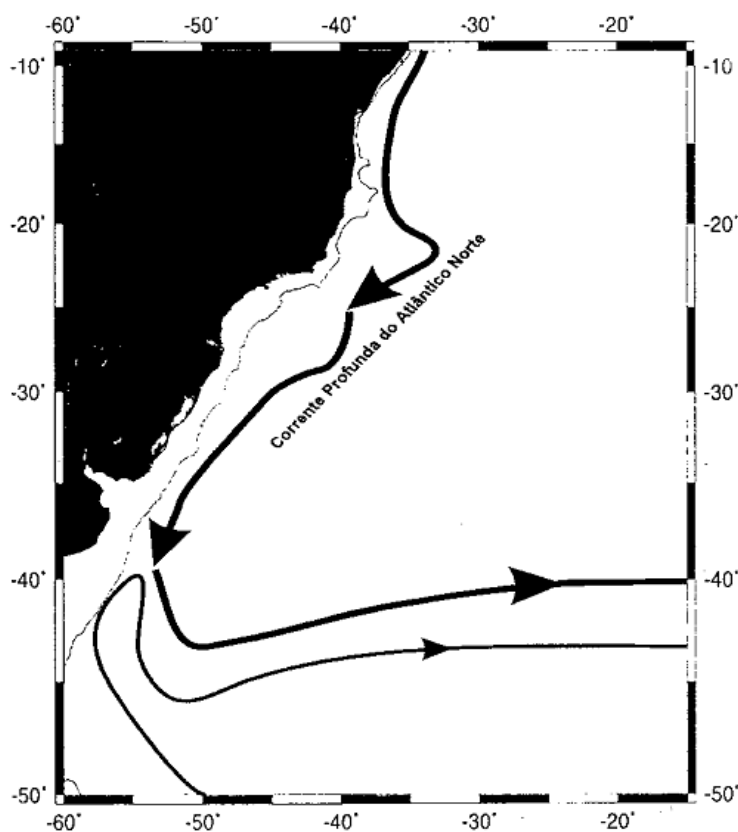


Figura 53: Representação esquemática da circulação no Oceano Atlântico Sudoeste entre 1300-3260 m de coluna d'água. Fonte: Silveira (2007).

### 3.2. Caracterização dos Fenômenos de Meso- e submesoescala

A circulação oceânica na região sudeste brasileira é marcada, principalmente:

- pela intensa atividade de mesoescala associadas ao sistema CB-CCI, caracterizada pela presença recorrente de acentuados meandros, que eventualmente se fecham em vórtices de mesoescala;
- pela ocorrência de ressurgência costeira; e
- pela presença de células de recirculação.

Todos esses fatores resultam na variabilidade do regime de correntes através da alteração do padrão climatológico da direção das correntes e da posição do núcleo da Corrente do Brasil (CB), causando impactos significativos na distribuição tridimensional de nutrientes, produtividade primária, calor, sal e energia.

A atividade de mesoescala se caracteriza por oscilações nas correntes superficiais na escala espacial de aproximadamente 100 km e temporal de dias a várias semanas – o que significa que os meandros

e vórtices de mesoescala apresentam, em média, esse diâmetro de extensão e suas assinaturas no campo de correntes podem durar de alguns dias a algumas semanas.

Ao largo da região sudeste, há uma intensa atividade de mesoescala, com meandros e vórtices sendo observados, principalmente entre Vitória (20°S) e o Cabo de Santa Marta (28°S), com destaque na recorrente formação de meandros e vórtices em Vitória, Cabo de São Tomé (22°S) e Cabo Frio (23°S) (CALADO, 2006; SILVEIRA, 2007) (Figura 54).

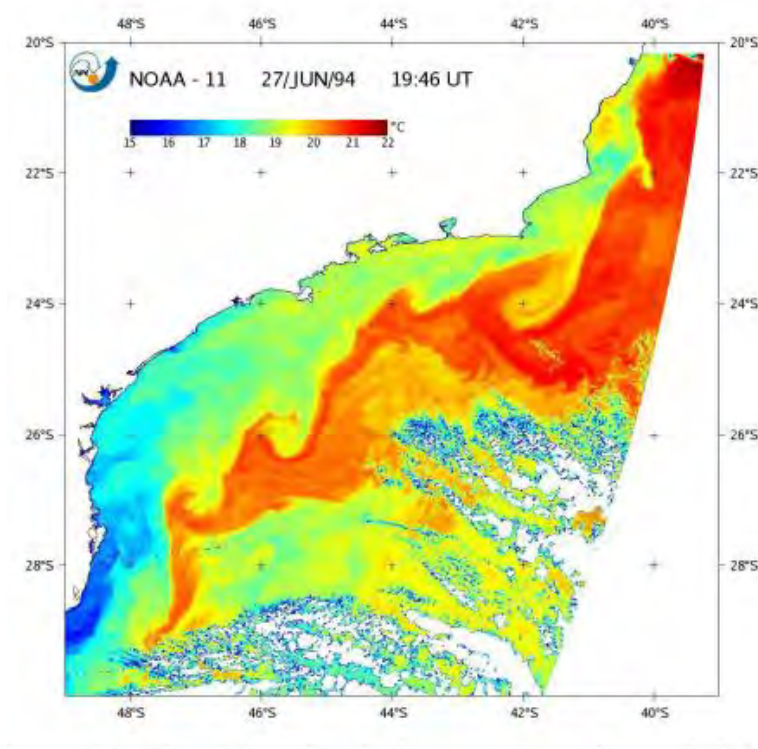


Figura 54: Imagem TSM-AVHRR, de 27 de Junho de 1994, evidenciando a atividade de mesoescala da CB. As cores mais próximas ao azul e verde estão associadas à presença de água mais fria, menos salina, na plataforma, enquanto as cores próximas ao vermelho, marcam a presença de água mais quente, salina e oligotrófica (AT). Fonte: João A. Lorenzzetti (INPE).

Diversos autores mediram esforços para entender o mecanismo pelo qual se dá a intensa atividade de mesoescala associada à CB.

Na década de 70, estudos de oceanografia observacional relataram o desenvolvimento de intensa atividade de mesoescala associada ao crescimento e propagação de meandros e vórtices da CB no Cabo de São Tomé e Cabo Frio. Mascarenhas *et. al.* (1971) foram os primeiros a descrever os meandramentos e vórtices da CB ao largo do sudeste brasileiro. Os autores descreveram estruturas ciclônicas e anticiclônicas na região ao largo de Cabo Frio (VCF), a partir de mapas de topografia dinâmica. Posteriormente, Signorini (1978) discute a circulação entre o Cabo de São Tomé e a Baía de Guanabara e descreve um vórtice anticiclônico de 100 km de raio e cerca de 500 m de extensão vertical encontrado ao norte de Cabo Frio.

Através de modelos conceituais de conservação de vorticidade potencial, Campos *et al.* (1995) indicaram que a formação de vórtices na região de Cabo Frio seria ocasionada pela mudança abrupta da orientação da linha de costa e ao gradiente batimétrico da região. Segundo o autor, ao se deslocar sobre essa região onde a orientação da linha de costa muda para o eixo leste-oeste, a CB sofre um estiramento e, pelo princípio de conservação de vorticidade potencial adquire vorticidade negativa (ciclônica), inflexionando-se de volta em direção à plataforma continental (região mais rasa). Isso conduz a uma contração da coluna d'água e faz com que a corrente adquira vorticidade positiva (anticiclone). Este processo, ou seja, a sucessão de núcleos de vorticidade positiva (anticiclones) e negativa (ciclones), desencadearia uma onda de vorticidade ao longo da Bacia de Santos.

Segundo Calado (2006), a presença dos vórtices de Vitória e do Cabo de São Tomé sugere que essa onda de vorticidade gerada ao longo da costa sudeste brasileira pode ser originada mais ao norte, em 19°S, onde a CB meandraria para contornar o Banco de Abrolhos, passando posteriormente pela cadeia Vitória-Trindade. Este processo poderia favorecer o desencadeamento da formação dos vórtices de Vitória (VV), do Cabo de São Tomé (VCST) e de Cabo Frio (VCF).

Ao sul da bacia, no entanto, ocorre a formação de pares vorticais, tanto de ciclones como de anticiclones, em lados opostos ao eixo da corrente. Essas estruturas são menores em tamanho que as de Cabo Frio, e aparentemente não se desprendem do eixo principal da CB (GARFIELD, 1990; CAMPOS *et al.*, 1995; CAMPOS *et al.*, 1996).

Segundo Biló (2015), apesar da instabilidade barotrópica ser eficiente em drenar energia do escoamento médio, a baroclínica é a principal causa da instabilidade de mesoescala da região da Bacia de Santos, corroborando com o trabalho de Rocha *et al.* (2014). Se o processo de instabilidade baroclínica for capaz de drenar energia potencial disponível (EPD) do fluxo médio, o meandro cresce, se fecha e origina um vórtice (PEDLOSKY, 1978). Sendo assim, a instabilidade baroclínica é o mecanismo primário de transferência de energia do escoamento médio para o turbulento.

Em relação ao transporte de volume, Silveira (2007) aponta que é pequena a quantidade de estimativas de transporte calculado para a CB na região da costa sudeste brasileira. Dentre estas, a maioria é proveniente de cálculos geostróficos. A Tabela 19 e a Tabela 20 apresentam um resumo das estimativas de transporte obtidas ao largo da costa sudeste brasileira entre 20°S e 28°S para a CB e CCI, respectivamente.



Tabela 19: Estimativa de transporte de volume e da velocidade máxima da Corrente do Brasil entre 20°S e 28°S. Os sinais negativos denotam direção para sul-sudoeste. Fonte: Adaptado de Silveira *et. al.* (2000) e Silveira (2007).

| Latitude  | Prof. Referência      | Transporte (Sv) | Referência                    |
|-----------|-----------------------|-----------------|-------------------------------|
| 20°3'S    | 590-630               | -1,6            | Stramma <i>etl al.</i> (1990) |
| 21° S     | 600                   | -9,4            | Schimid <i>et al.</i> (1995)  |
| 21° S     | numérico              | -6,7            | Silveira <i>et al.</i> (2005) |
| 21° S     | numérico              | -7,9            | Silveira <i>et al.</i> (2005) |
| 21° 40' S | 500                   | -4,4            | Evans <i>et al.</i> (1983)    |
| 22° S     | 600                   | -5,2            | Signorini (1978)              |
| 22° S     | medições de correntes | -5,5±2,6        | Lima (1997)                   |
| 22° S     | numérico              | -7,1            | Lima (1997)                   |
| 22° S     | numérico              | -5,1±3,2        | Fragoso (2004)                |
| 23° S     | 600                   | -6              | Signorini (1978)              |
| 23° S     | 550                   | -2,2/2,7        | Miranda & Castro Filho (1979) |
| 23° S     | medições de correntes | -11             | Evans & Signorini (1985)      |
| 23° S     | medições de correntes | -6              | Garfield (1990)               |
| 23° S     | 600/1300              | -10,1/10,9      | Stramma (1989)                |
| 23° S     | medições de correntes | -1,3            | Muller <i>et al.</i> (1998)   |
| 23° 30' S | 600                   | -9,4            | Signorini (1978)              |
| 24° S     | 1300                  | -7,5            | Evans <i>et al.</i> (1983)    |
| 24° S     | 600/1300              | -9,4/-10,1      | Stramma (1989)                |
| 24° S     | 750/900               | -7,3/-8,8       | Campos <i>et al.</i> (1995)   |
| 24° S     | 600/1300              | -9,4/-10,1      | Stramma (1989)                |
| 25° S     | 750                   | -7,3            | Campos <i>et al.</i> (1995)   |
| 28°S      | Medições de correntes | -11,4           | Muller <i>et. al.</i> (1998)  |

Tabela 20: Estimativa de transporte de volume e da velocidade máxima da Corrente de Contorno Intermediária entre 21°S e 24°S. Os sinais negativos denotam direção para sul-sudoeste. Fonte: Adaptado de Silveira (2007).

| Latitude | Prof. Referência | Transporte (Sv) | Referência                    |
|----------|------------------|-----------------|-------------------------------|
| 21°S     | 1500             | 4,0             | Schimid <i>et. al.</i> (2000) |
| 21° S    | 1500             | 4,8             | Böebel <i>et al.</i> (1997)   |
| 21° S    | Numérico         | 3,8             | Silveira <i>et al.</i> (2005) |
| 21° S    | Numérico         | 6,0             | Silveira <i>et al.</i> (2005) |
| 22° S    | Por fundeio      | 5,1±2,8         | Lima. (1997)                  |
| 22° S    | Numérico         | 1,9             | Lima (1997)                   |
| 23° S    | Por fundeio      | 1,3             | Müller <i>et al.</i> (1998)   |
| 23° S    | Flutuadores      | 4,0±2           | Böebel <i>et al.</i> (1999)   |
| 21° S    | 1500             | 4,8             | Böebel <i>et al.</i> (1997)   |
| 21° S    | Numérico         | 3,8             | Silveira <i>et al.</i> (2005) |
| 21° S    | Numérico         | 6,0             | Silveira <i>et al.</i> (2005) |
| 22° S    | Por fundeio      | 5,1±2,8         | Lima. (1997)                  |
| 22° S    | Numérico         | 1,9             | Lima (1997)                   |
| 23° S    | Por fundeio      | 1,3             | Müller <i>et al.</i> (1998)   |
| 23° S    | Flutuadores      | 4,0±2           | Böebel <i>et al.</i> (1999)   |
| 24°S     | 1500             | 2,9             | Böebel <i>et al.</i> (1997)   |

A existência de células de recirculação associadas às correntes de contorno oeste poderia explicar as variações do transporte de volume ao longo de seu percurso (MATTOS, 2006).

Figuras esquemáticas de topografia dinâmica, como o elaborado por Vianna & Menezes (2005), demonstram a ocorrência de uma subdivisão do Giro Subtropical do Atlântico Sul em duas células de circulação, centradas em aproximadamente 23°S e 30°S, apresentando movimento anticiclônico (Figura 55).

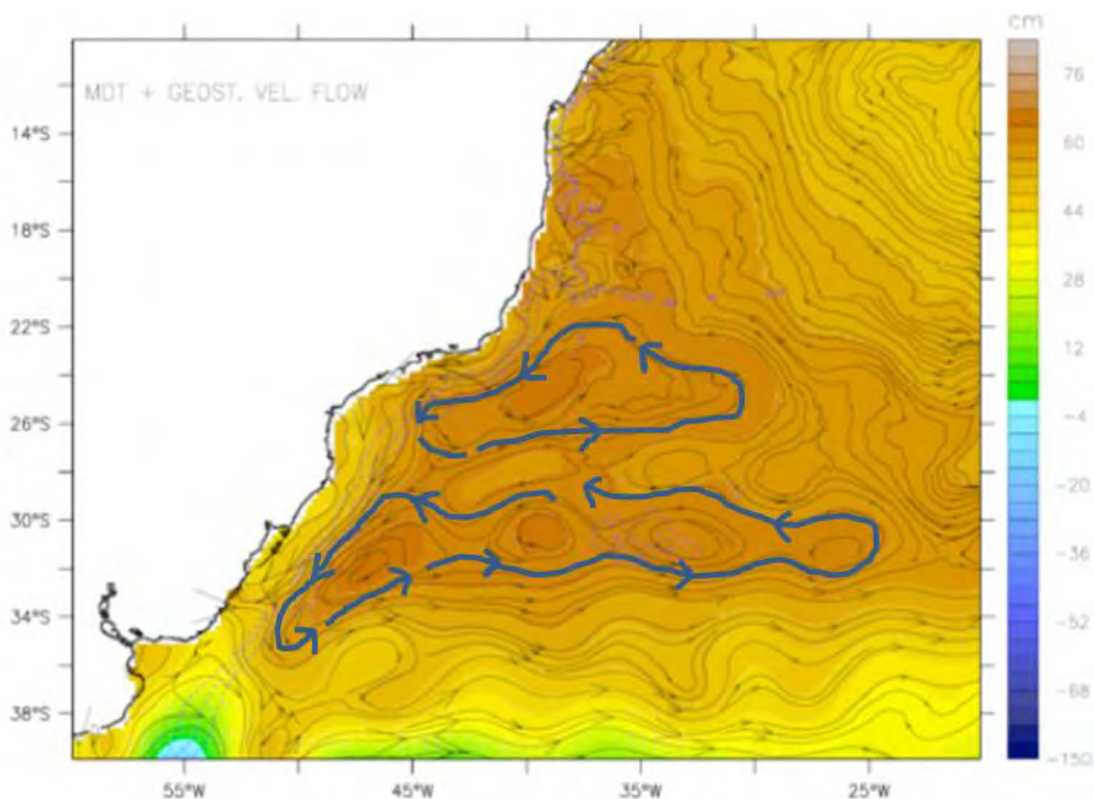


Figura 55: Figura esquemática de topografia dinâmica na região sudoeste do Atlântico Sul evidenciando a ocorrência de um giro subtropical subdividido em duas células de recirculação. Fonte: Adaptado de Vianna & Menezes (2005).

Mattos (2006) destaca que, próximo a 27°S, parte do escoamento da CB se separa do contorno oeste, caracterizando a Contracorrente Subtropical do Atlântico Sul (CCST-AS), com o ramo sul da célula de recirculação localizado mais ao norte. Uma representação do sistema de recirculação pelo autor a partir de dados hidrográficos pode ser observado na Figura 56.



Figura 56: Representação esquemática da recirculação observada por Mattos (2006) Fonte: Mattos (2006).

A ocorrência de eventos de ressurgência é outra característica marcante a ser destacada na área de estudo. Esse fenômeno, resultado de um equilíbrio dinâmico entre o oceano e a atmosfera, ocorre na região costeira, principalmente em Cabo Frio e Arraial do Cabo – RJ.

No caso de Cabo Frio e Arraial do Cabo, a ressurgência costeira é o resultado de uma combinação entre a mudança da orientação da linha de costa (de norte-sul para leste-oeste) e a persistência de ventos de quadrante nordeste, gerados pelo Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que acarretam no afastamento das águas costeiras através da dinâmica de Ekman. Esse mecanismo, promove o afloramento da ACAS, uma massa d'água mais fria e rica em nutrientes, em superfície, acarretando impactos significativos na produtividade primária e no clima local.

Em um estudo sobre a variabilidade interanual da ressurgência, Calil Elias (2009) verificou que o fenômeno na região apresentou uma resposta efetiva à persistência do vento local e em maior escala. Entretanto, o autor concluiu que o vento não foi capaz de explicar toda a variabilidade encontrada, sugerindo uma possível influência de outras forças no fenômeno.

Paralelamente, o transporte das correntes superficiais em direção ao mar aberto, através da Dinâmica de Ekman, resulta em um abaixamento do nível do mar junto a costa, gerando uma força de gradiente de pressão em direção a costa. Ao entrar em equilíbrio com a força de Coriolis, resulta em uma corrente geostrófica paralela à costa na mesma direção do vento, fluindo com sentido S-SW.

Durante a passagem de frentes frias, caracterizada por ventos médios de S-SW, o equilíbrio dinâmico entre o oceano e a atmosfera se dá no sentido inverso e a corrente resultante é no sentido do vento, fluindo paralela à costa com sentido N-NE.

A maior frequência de passagem de frentes frias no período do inverno resulta em uma corrente residual sobre a plataforma – a Corrente Costeira do Brasil, ou CCB. A CCB flui na direção nordeste, transportando a Água Subantártica de Plataforma (ASTP), uma água mais fria e rica em nutrientes, até a latitude de 24°S (MENDONÇA *et. al.*, 2016; 2018; SOUZA & ROBINSON, 2004).

Na Figura 57 é apresentada uma representação esquemática dos principais fenômenos de mesoescala descritos para a região de estudo, associados ao Sistema Corrente do Brasil. Denomina-se como Sistema Corrente do Brasil, o sistema formado pelas feições oceanográficas geradas pela própria CB e seus meandros e vórtices e, pela subjacente Corrente de Contorno Intermediária (GODOI, 2005).

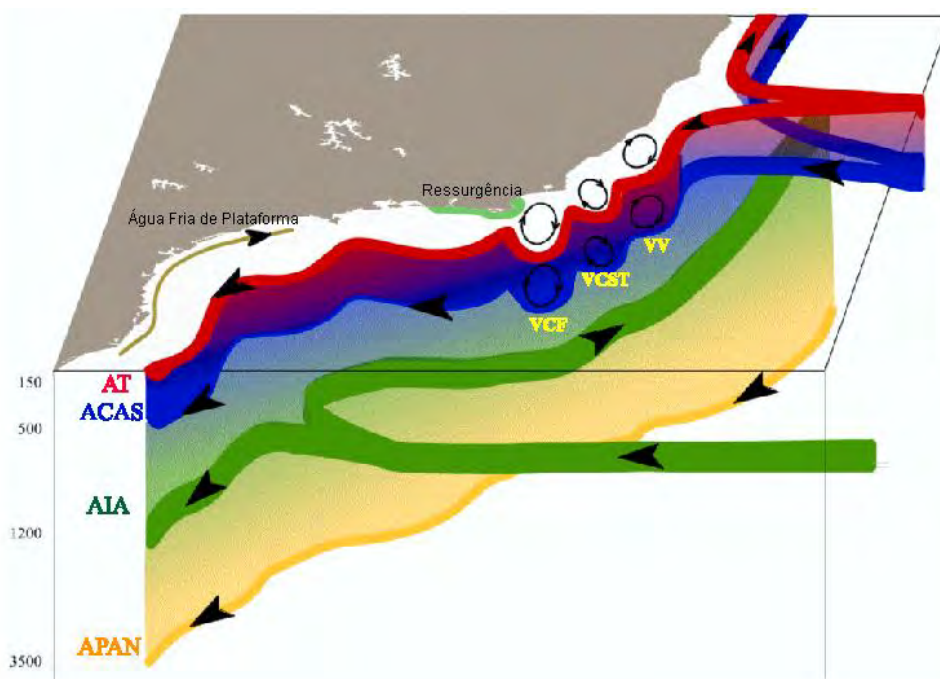


Figura 57: Representação esquemática do Sistema Corrente do Brasil e dos principais fenômenos associados a esse Sistema na região sudeste do Brasil. Fonte: Godoi (2005).

Adentrando na sub-mesoescala, destacam-se na região as oscilações quase inerciais (OQI), ondas transientes com frequências próximas à da frequência inercial que representam um modo dominante de variabilidade de alta frequência no oceano (ALFORD *et. al.* 2016 *apud* FREITAS *et. al.* 2019). As OQI impactam o campo de velocidade horizontal superficial e subsuperficial (até aproximadamente 150 m) gerando giros anticiclônicos. Esse fenômeno possui uma significativa importância em aumentar a mistura vertical e alterar a trajetória horizontal de objetos ou poluentes à deriva.

A frequência das OQI varia em latitude, sendo função da frequência inercial ( $f$ ), podendo haver pequenos desvios devido a interações com a vorticidade relativa do campo de corrente local - por exemplo a Corrente do Brasil. O principal mecanismo gerador das OQI são as oscilações no campo de vento – por exemplo a mudança abrupta nas direções e intensidades do vento durante a passagem de uma frente fria. Segundo Freitas *et. al.* (2019) nas latitudes em torno de 30°S pode haver ressonância com o fenômeno de brisa terrestre-marinha, que apresenta frequência de 1 cpd (24 horas), e consequente intensificação na intensidade das OQI. Observações diretas indicam também que as OQI apresentam maior intensidade nas regiões de quebra de plataforma.

Para exemplificar o fenômeno, apresenta-se na Figura 58 a trajetória de um derivador do tipo SVP que descreve giros anticiclônicos associados à OQI próximo à região de estudo – o Campo de Baúna.

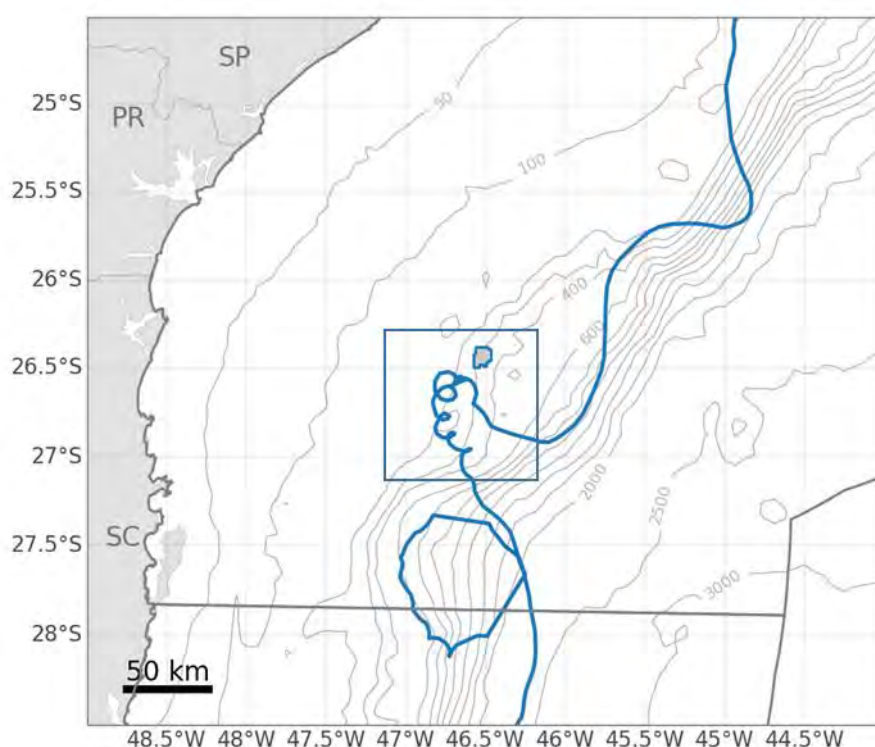


Figura 58: Trajetória de derivador do tipo SVP apresentando giros anticiclônicos associados à oscilações quase inerciais próximo ao Campo de Baúna (trajetória em destaque no polígono azul escuro). Fonte: Projeto Azul (dos Santos *et. al.*, 2015) Datum: SIRGAS2000.

O bloco BM-S-40 e o entorno do Campo de Baúna, estão localizados na borda oeste do núcleo da CB, sujeitos a ocorrência de meandramentos e vórtices ciclônicos e anticiclônicos. Uma compilação de trajetórias de derivadores do tipo SVP (dos SANTOS *et. al.*, 2015) evidenciam a intensa atividade de mesoescala na região (Figura 59). Nota-se que os derivadores apresentam um fluxo resultante para SW associado ao transporte superficial climatológico da CB, com orientação paralela às isóbatas. Porém, junto a esse transporte resultante para SW, é possível observar meandramentos e até giros ciclônicos completos, indicando a presença de vórtices. Uma possível região de formação de vórtices ciclônicos pode ser observada no embaiamento das isóbatas na latitude de 27,5°S (em frente à Florianópolis), com giros ciclônicos (sentido horário) completos de aproximadamente 50-



100 km de diâmetro nas trajetórias c) e d). Nas trajetórias d), e) e i) nota-se meandramentos ciclônicos na bacia, e nas trajetórias f), g), h) e i), na região do Campo de Baúna. Já nas trajetórias c) e e) são observados meandramentos anticiclônicos no entorno do campo. Em todas as trajetórias também verifica-se giros menores (cerca de 10 km), provavelmente associados à OQI.

Outro comportamento importante que pode ser observado na Figura 59 – trajetórias **a)** e **b)** – é o transporte dos derivadores para o interior da plataforma. O derivador em **a)** apresenta uma inflexão em sua trajetória logo após passar pelo Campo de Baúna, adentrando a plataforma continental logo em seguida, e seguindo para norte em pulsos da Corrente Costeira Brasileira (CCB) que, como visto anteriormente, é gerada pela passagem sucessiva de frentes frias no período de inverno. A trajetória em **b)** apresenta o mesmo padrão, porém saindo da CB e entrando na plataforma continental antes de cruzar a latitude do Campo de Baúna, e exibindo o mesmo transporte para norte após atingir a plataforma intermediária.

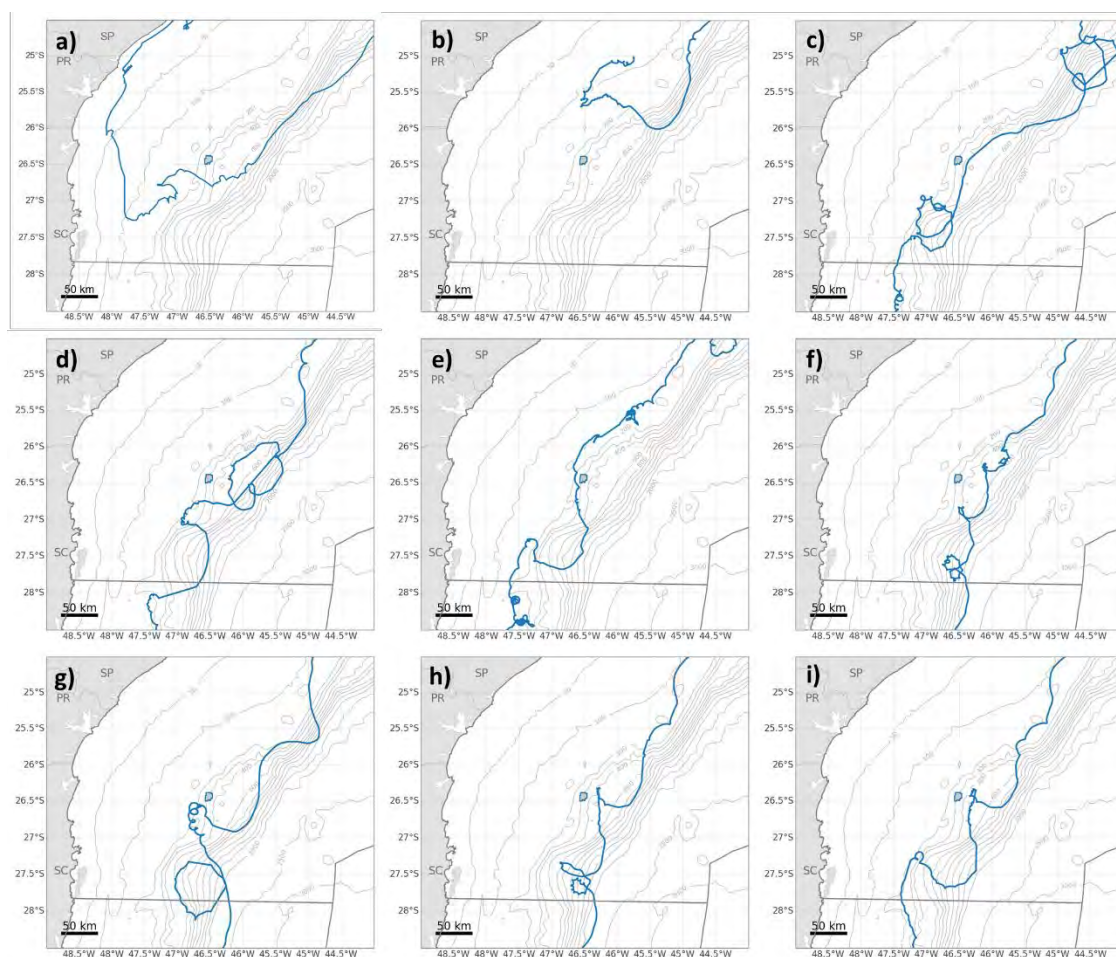


Figura 59: Trajetórias de 9 derivadores do tipo SVP na região do entorno do Campo de Baúna. Fonte: PROJETO AZUL (dos Santos *et. al.*, 2015) Datum: SIRGAS2000.



### 3.2.1 Temperatura, salinidade e densidade

Para avaliar a variação vertical de temperatura, salinidade e densidade na região do bloco BM-S-40 e o entorno do Campo de Baúna, foram utilizados os dados da climatologia sazonal WOA13 (World Ocean Atlas, 2013) do *National Oceanographic Data Center* (NODC) e os resultados obtidos nas 9 estações de CTD amostradas no Campo de Baúna em 2021 no âmbito do PCA/BM-S-40.

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. Essa análise objetiva utilizar dados irregularmente espaçados, gerando uma grade global com resolução espacial de  $1/4^\circ$ . Esses 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 1773e 2013. Os dados da climatologia do WOA13 podem ser obtidos através da sua página na internet ([http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA13/pr\\_woa13.html](http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA13/pr_woa13.html)). Maiores informações sobre as bases climatológicas do WOA13 podem ser obtidas em Locarnini *et. al.* (2013) e Zweng *et. al.* (2013).

Os dados utilizados foram extraídos de um ponto de grade localizado próximo ao Campo de Baúna ( $46^\circ 37,5'W/26^\circ 22,5'S$ ), com profundidade local de aproximadamente 200 metros conforme apresentado na Figura 62.

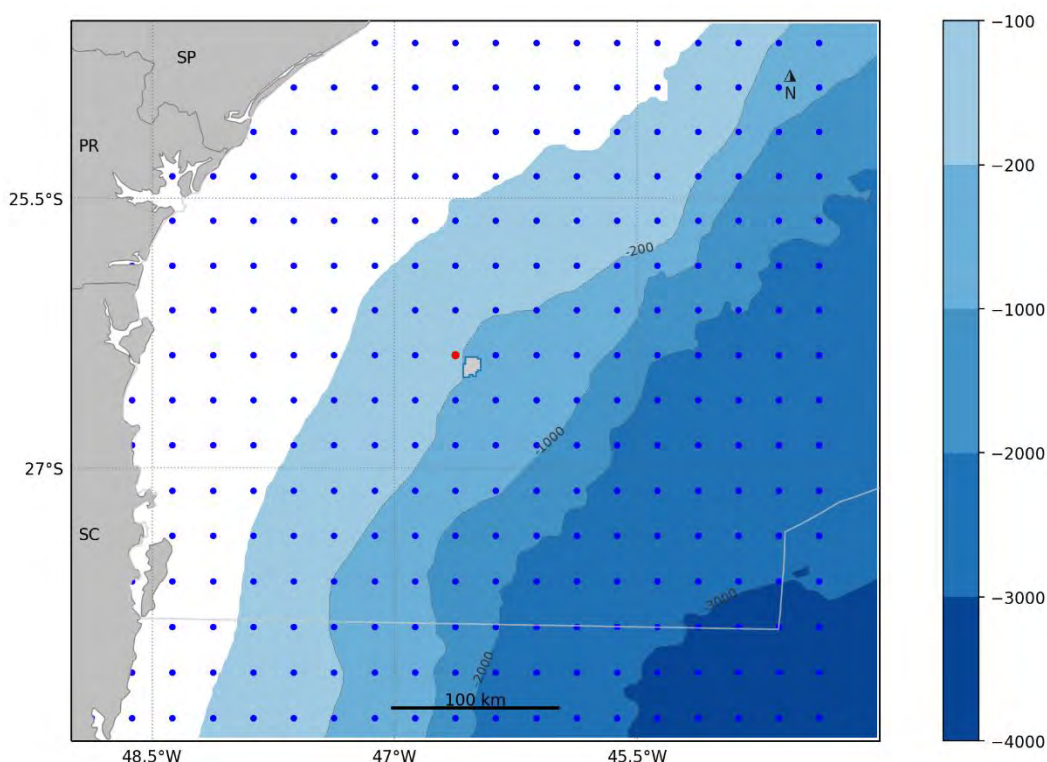


Figura 60: Mapa com a localização dos pontos de grade do WOA13 (em azul) e o ponto de grade selecionado (em vermelho) para a caracterização de temperatura, salinidade e densidade da região oceânica próxima ao Campo de Baúna. Datum: SIRGAS2000.

Os perfis de temperatura, salinidade e densidade para as quatro estações do ano estão apresentados na Figura 62 e as variações de cada estação na Tabela 21.

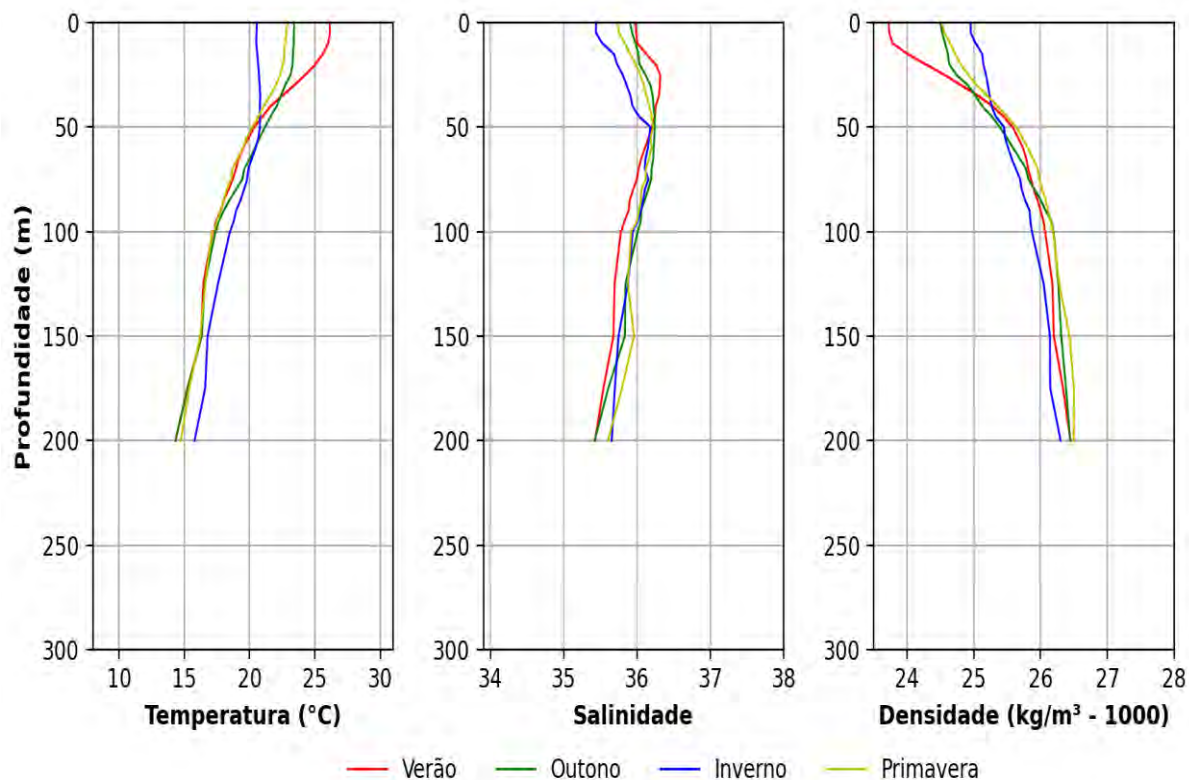


Figura 61: Perfis de temperatura e salinidade para as quatro estações do ano para o ponto de grade selecionado. Período de dados: 1773-2013. Fonte dos dados: WOA13.

Tabela 21: Variação sazonal de temperatura, salinidade e densidade climatológicas para o ponto de grade selecionado. Período de dados: 1773-2013. Fonte dos dados: WOA13.

| Temperatura (°C)  |         |         |         |           |
|-------------------|---------|---------|---------|-----------|
| Profundidade (m)  | Verão   | Outono  | Inverno | Primavera |
| 0                 | 26,13   | 23,41   | 20,55   | 22,90     |
| 50                | 20,36   | 21,18   | 20,79   | 20,22     |
| 100               | 17,18   | 17,38   | 18,49   | 17,13     |
| 200               | 14,32   | 14,32   | 15,78   | 14,72     |
| Salinidade        |         |         |         |           |
| Profundidade (m)  | Verão   | Outono  | Inverno | Primavera |
| 0                 | 35,97   | 35,90   | 35,44   | 35,73     |
| 50                | 36,20   | 36,24   | 36,18   | 36,22     |
| 100               | 35,78   | 36,01   | 35,94   | 35,92     |
| 200               | 35,43   | 35,42   | 35,65   | 35,60     |
| Densidade (kg/m³) |         |         |         |           |
| Profundidade (m)  | Verão   | Outono  | Inverno | Primavera |
| 0                 | 1023,73 | 1024,50 | 1024,95 | 1024,52   |
| 50                | 1025,58 | 1025,39 | 1025,45 | 1025,63   |
| 100               | 1026,07 | 1026,20 | 1025,87 | 1026,19   |
| 200               | 1026,45 | 1026,44 | 1026,30 | 1026,50   |

Na Figura 62 encontram-se os perfis de temperatura, salinidade e densidade coletados no PCA/BM-S-40 (2021), realizado no meses de fevereiro a março de 2021.

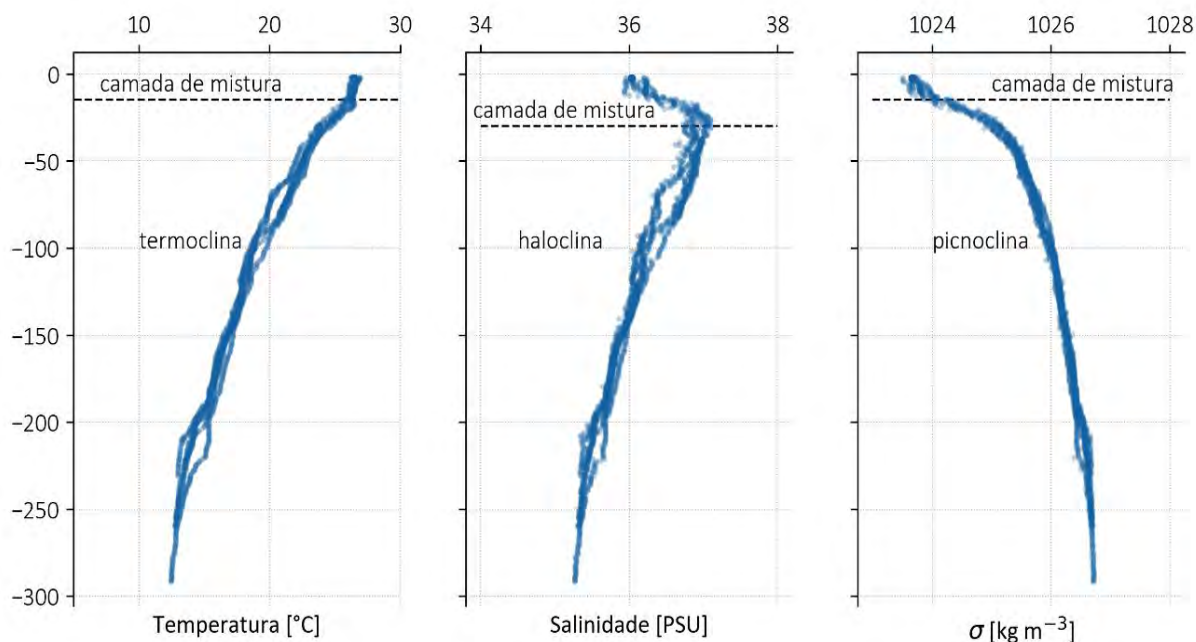


Figura 62: Perfis de temperatura, salinidade e densidade nas 9 estações amostradas no Campo de Baúna.  
 Fonte: PCA/BM-S-40 (2021).

Ao analisar os perfis climatológicos apresentados (Figura 61) nota-se uma marcada sazonalidade nas variáveis analisadas, concentrada nos primeiros 50 m da coluna d'água. O período de verão apresenta águas mais quentes e salinas, e o de inverno, águas mais frias e menos salinas. Como esperado, nas estações de transição (período de outono e primavera) os valores de temperatura são intermediários. Os perfis de densidade apresentam padrão inverso ao da temperatura, pois as variações de temperatura são maiores que as de salinidade no oceano. A camada de mistura na região é pouco espessa, tendo menos de 50 m em média desde a superfície até a base.

As amostragens apresentadas na Figura 62 corroboram a caracterização climatológica para o período de verão, com temperaturas superficiais acima de 25°C e salinidade próxima a 36. A termocline e a picnoclina foram identificadas em aproximadamente 15 m de profundidade, enquanto a haloclina a cerca de 40 m, todos abaixo de 50 m (PCA/BM-S-40, 2021).

Para a análise da variação espacial e sazonal dessas variáveis na região da Bacia de Santos, são apresentadas as seções horizontais de temperatura, salinidade e densidade, em superfície, 50, 100, 200, 500, 1000 e 2000 m, para as quatro estações do ano (Figura 63 a Figura 83).

Sazonalmente, a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) em toda a bacia apresenta maiores valores no verão e menores no inverno, enquanto que, especialmente, essa diferença é verificada entre a região costeira e *offshore*, com menores valores próximos à costa.

Em superfície até ~100 m, a Corrente do Brasil (CB) transporta águas quentes e salinas da Água Tropical (AT) da porção norte para sul da Bacia de Santos na quebra da plataforma continental, o que resulta nas maiores temperaturas em todas as estações do ano. Conforme observado nas seções horizontais (Figura 63), os campos de temperatura superficiais climatológicos variam entre 26,77°C e 24,40°C com média de 25,83°C no verão e no inverno os valores se encontram entre

22,81°C e 17,02°C com média de 21,03°C. A amplitude entre os valores médios de inverno e verão é de ~4,8 °C. Essas variações estão associadas à variabilidade no fluxo de radiação ao longo do ano e a advecção (regime médio de correntes);

Na sequência da AT, entre 200 e 500 metros é possível notar a presença da Água Central do Atlântico Sul (ACAS), que flui com a CB. Em profundidades de 500 a 1200 metros, conforme apresentado no item 3.1 (Caracterização de macroescala), a região passa a ser influenciada pela Corrente de Contorno Intermediária (CCI), em que o campo de temperatura e salinidade observado nas seções horizontais está associado à Água Intermediária Antártica (AIA). Já os campos de temperatura e salinidade a 2000 metros estão associados à Água Profunda do Atlântico Norte (APAN).

As seções horizontais de salinidade demonstram uma variabilidade sazonal mais sutil comparadas à temperatura, com valores de entre 36,93 (máxima de verão) e 32,75 (mínimo de inverno) (Figura 70 a Figura 76). No entanto, é possível observar no inverno e na primavera a presença da CCB em direção ao norte, menos salinas, vindas de sul na plataforma continental. Os maiores valores de salinidade encontram-se na região da Corrente do Brasil, e os menores na região costeira, associados à influência da massa d'água Água Costeira (AC), que apresenta menor salinidade pela influência do aporte fluvial, formando um gradiente de salinidade bem definido transversal a costa.

Conforme mencionado, em profundidade, o campo de salinidade está associada ao escoamento da CCI (entre 500 e 1.200 m) e posteriormente à CCP (2000 m.).

Os mapas de densidade (Figura 77 a Figura 83), em geral, seguem o comportamento inverso ao da temperatura.

A região do Campo de Baúna, por estar situada próximo da borda da CB, também apresenta o sinal de variabilidade da corrente e da AT na TSM, com o Campo sempre próximo de uma transição para áreas de maior temperatura e salinidade. No período de inverno, fica evidente o sinal da subida das correntes de plataforma em direção ao norte (Corrente Costeira do Brasil – CCB), com águas mais frias e menos salinas, vindas do sul, presentes na plataforma continental.

A CCB é um importante fenômeno sazonal que ocorre sobre a plataforma continental e consiste na penetração de uma pluma de água fria vinda do sul que flui na direção nordeste, transportando a Água Subantártica de Plataforma, conforme apresentado no item 3.1.



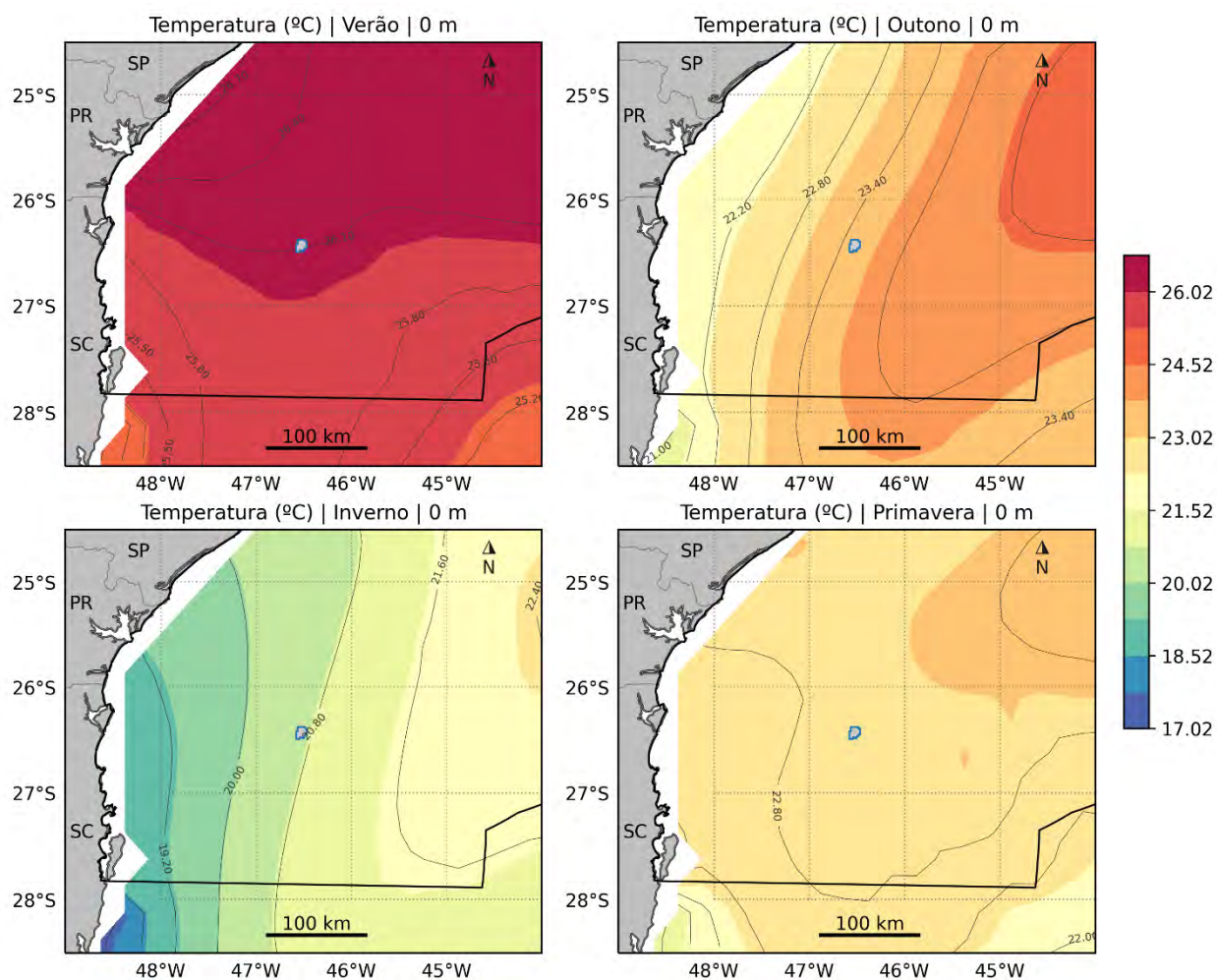


Figura 63: Seção horizontal de temperatura (°C) na Bacia de Santos em superfície para os períodos de verão, outono, inverno e primavera gerada a partir de dados do NODC. Fonte de dados: WOA13 (1773-2013).



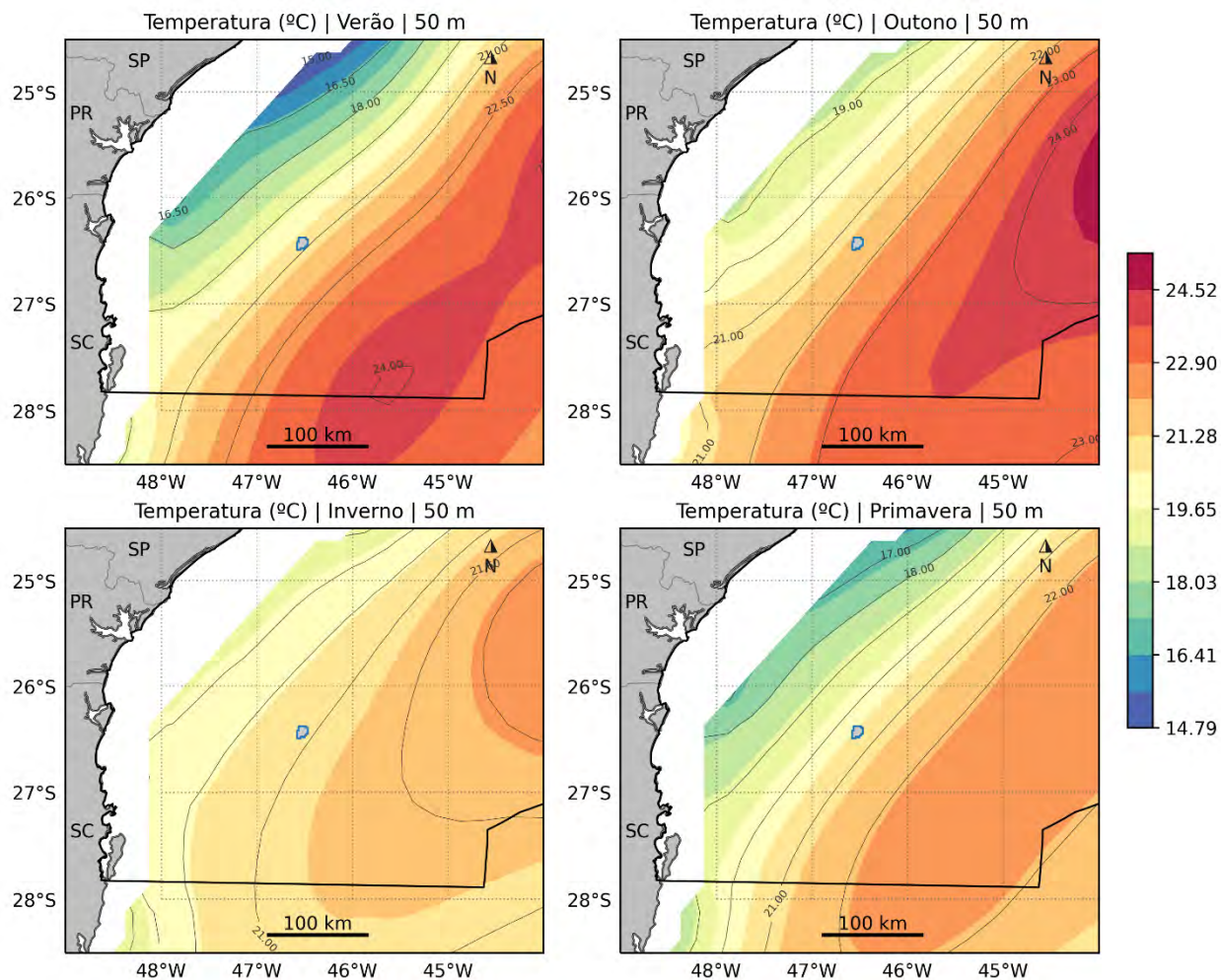


Figura 64: Seção horizontal de temperatura (°C) na Bacia de Santos em 50 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera gerada a partir de dados do NODC. Fonte de dados: WOA13 (1773-2013).

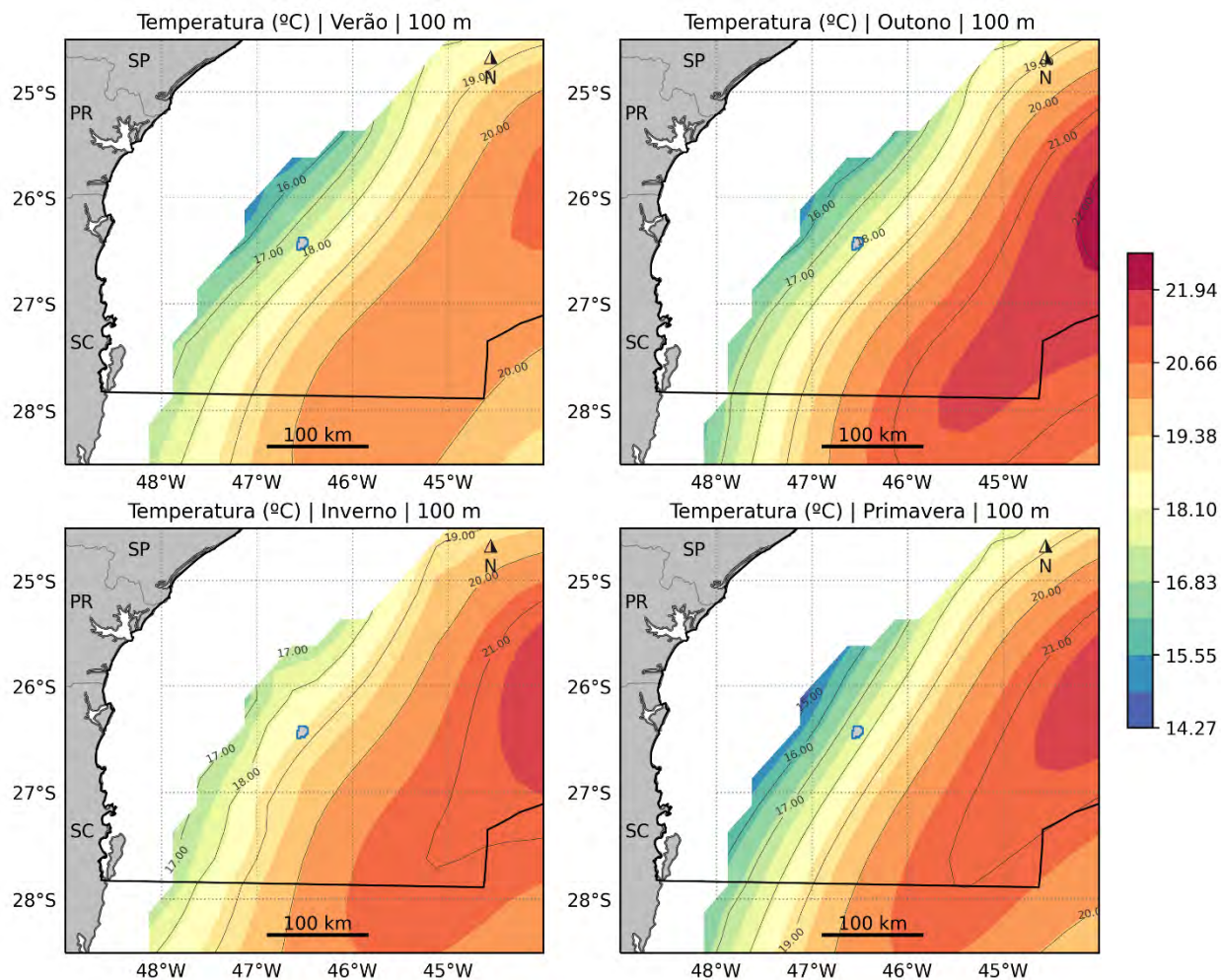


Figura 65: Seção horizontal de temperatura (°C) na Bacia de Santos em 100 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera gerada a partir de dados do NODC. Fonte de dados: WOA13 (1773-2013).

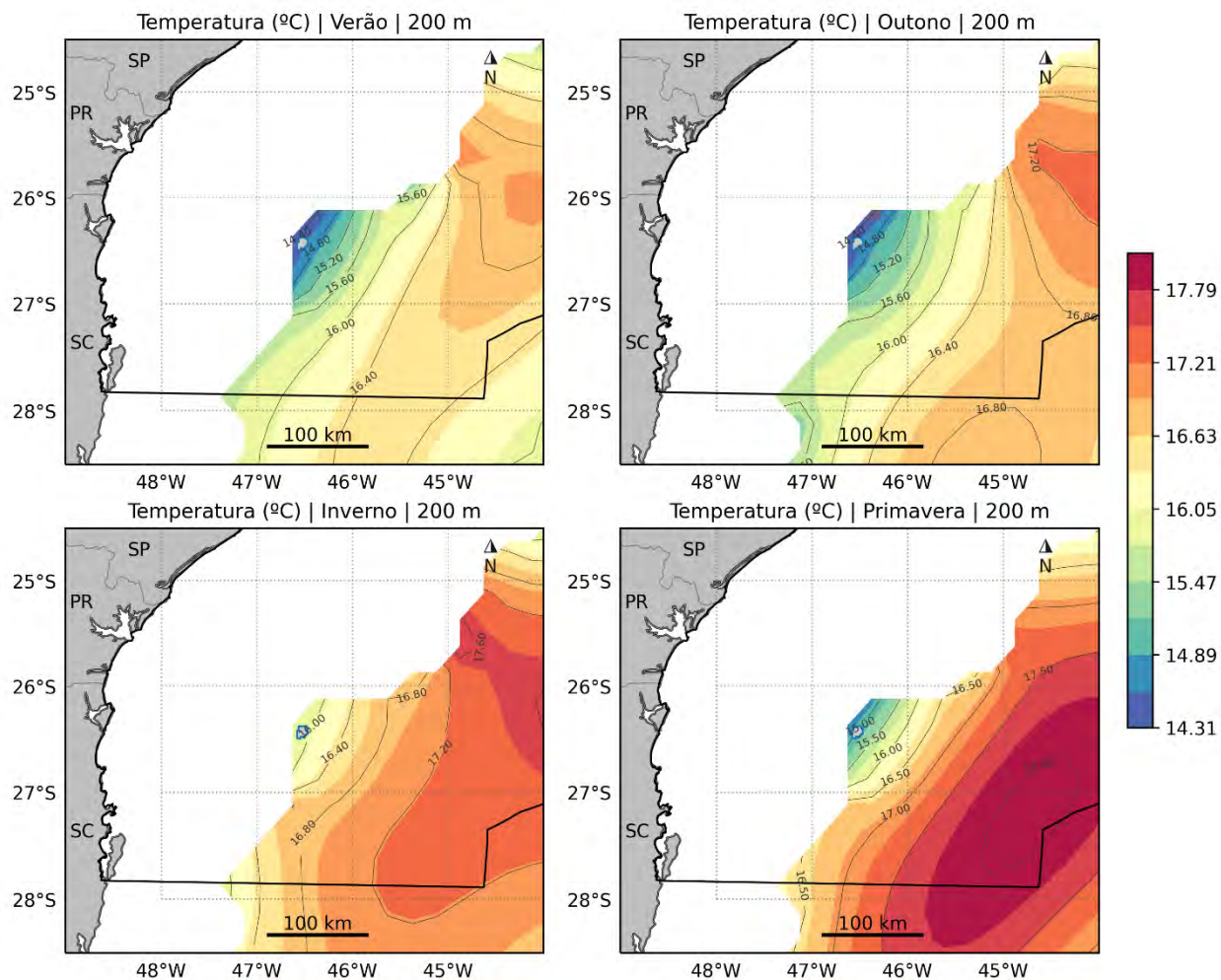


Figura 66: Seção horizontal de temperatura (°C) na Bacia de Santos em 200 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera gerada a partir de dados do NODC. Fonte de dados: WOA13 (1773-2013).



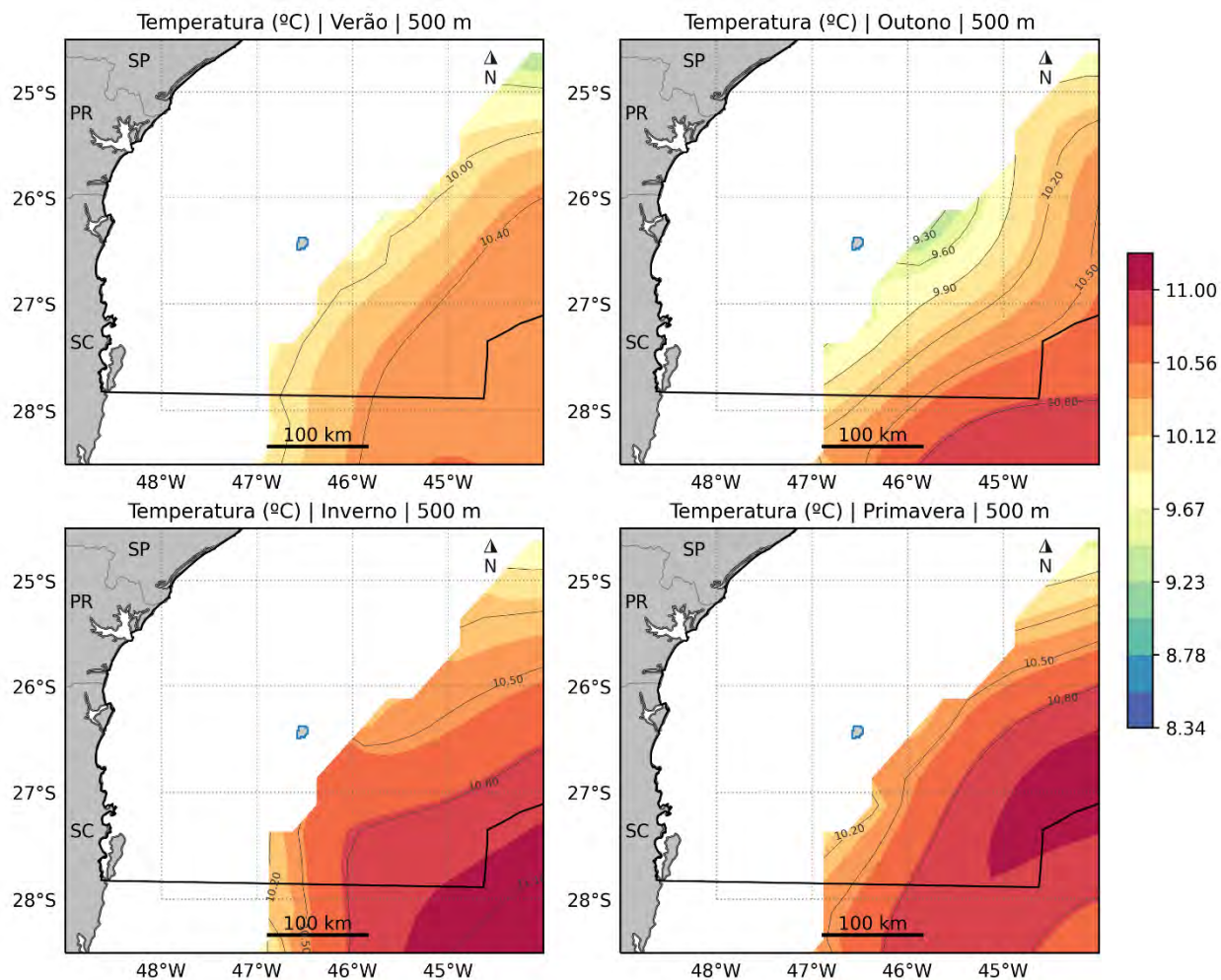


Figura 67: Seção horizontal de temperatura (°C) na Bacia de Santos em 500 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera gerada a partir de dados do NODC. Fonte de dados: WOA13 (1773-2013).

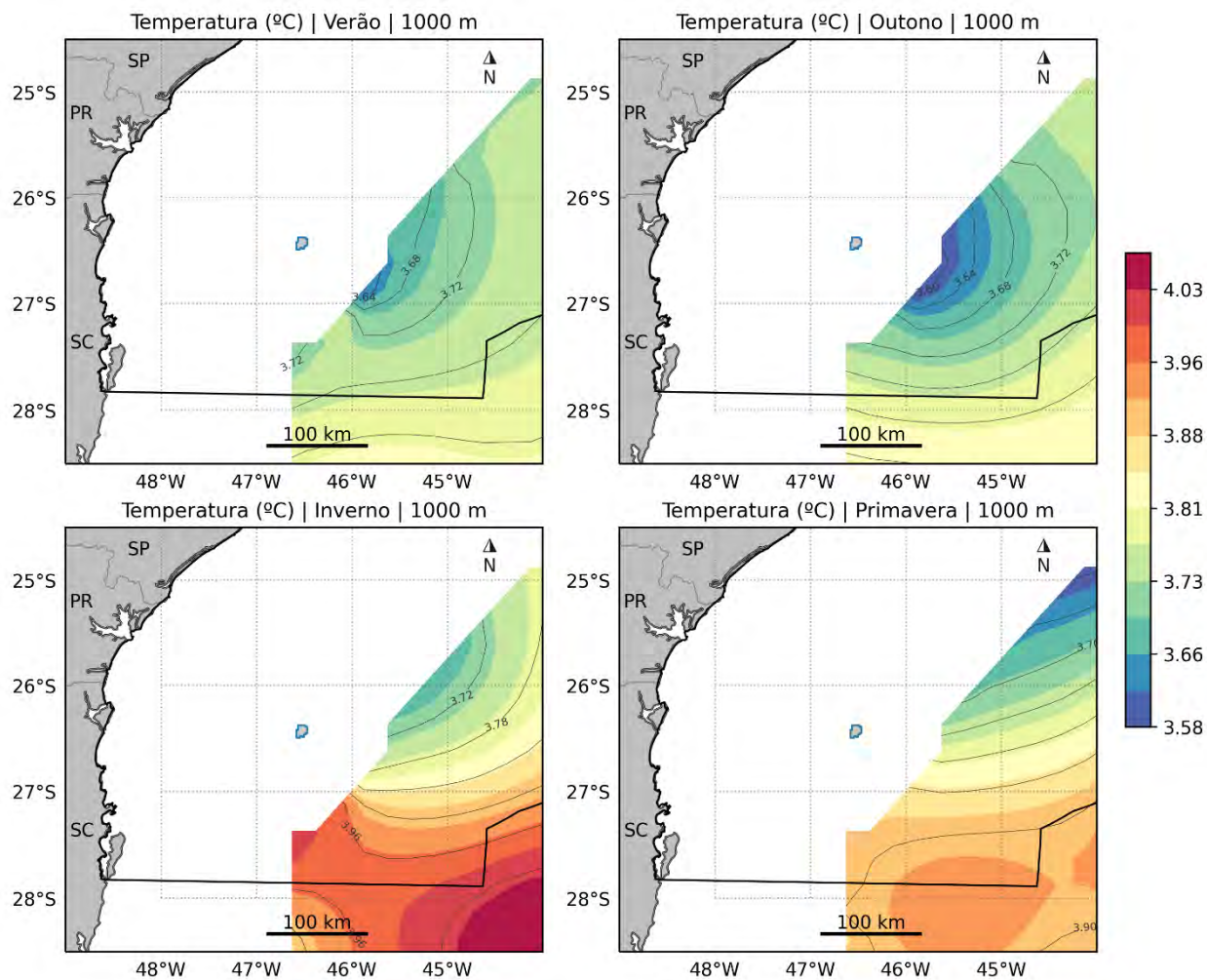


Figura 68: Seção horizontal de temperatura (°C) na Bacia de Santos em 1000 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera gerada a partir de dados do NODC. Fonte de dados: WOA13 (1773-2013).

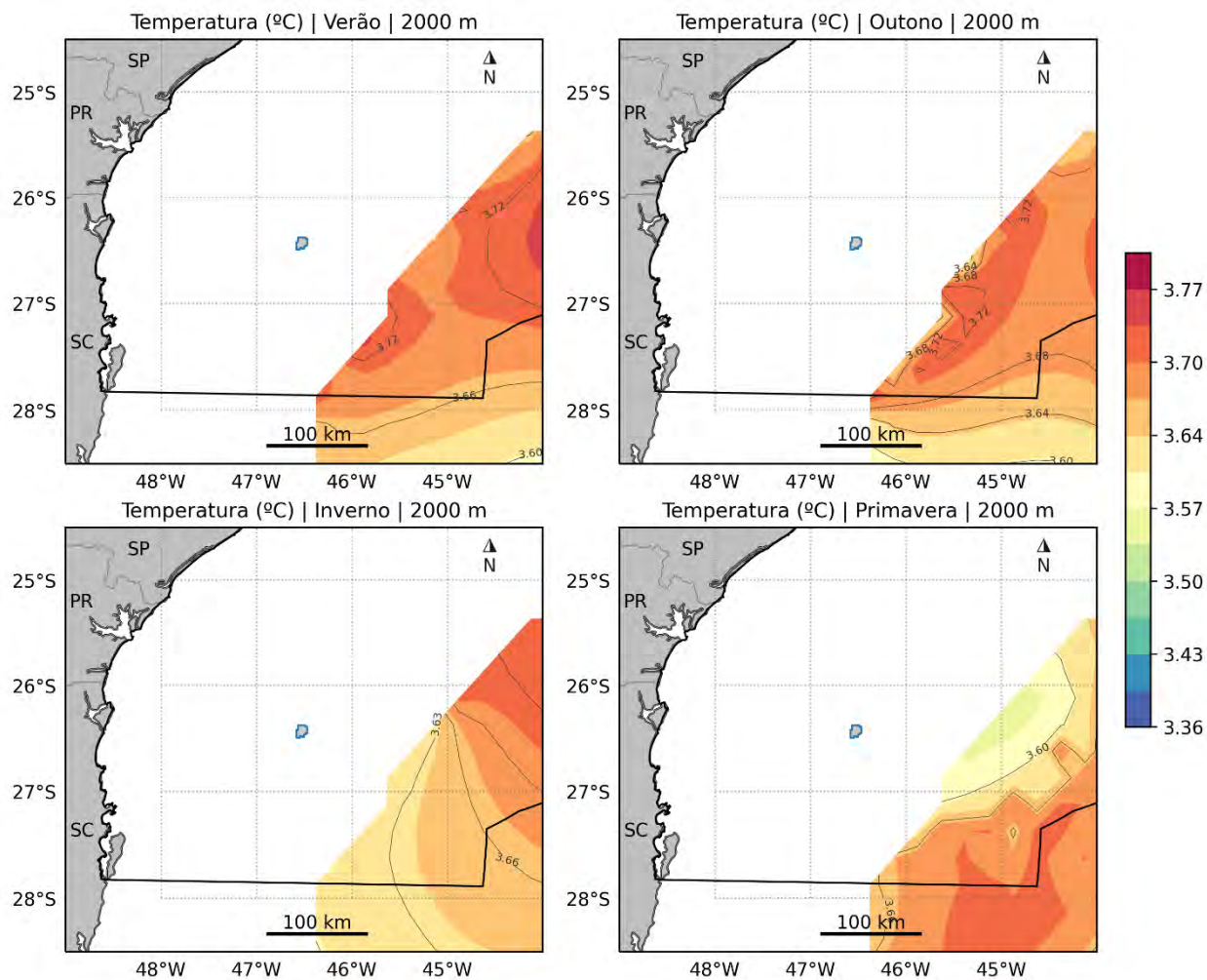


Figura 69: Seção horizontal de temperatura (°C) na Bacia de Santos em 2000 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera gerada a partir de dados do NODC. Fonte de dados: WOA13 (1773-2013).



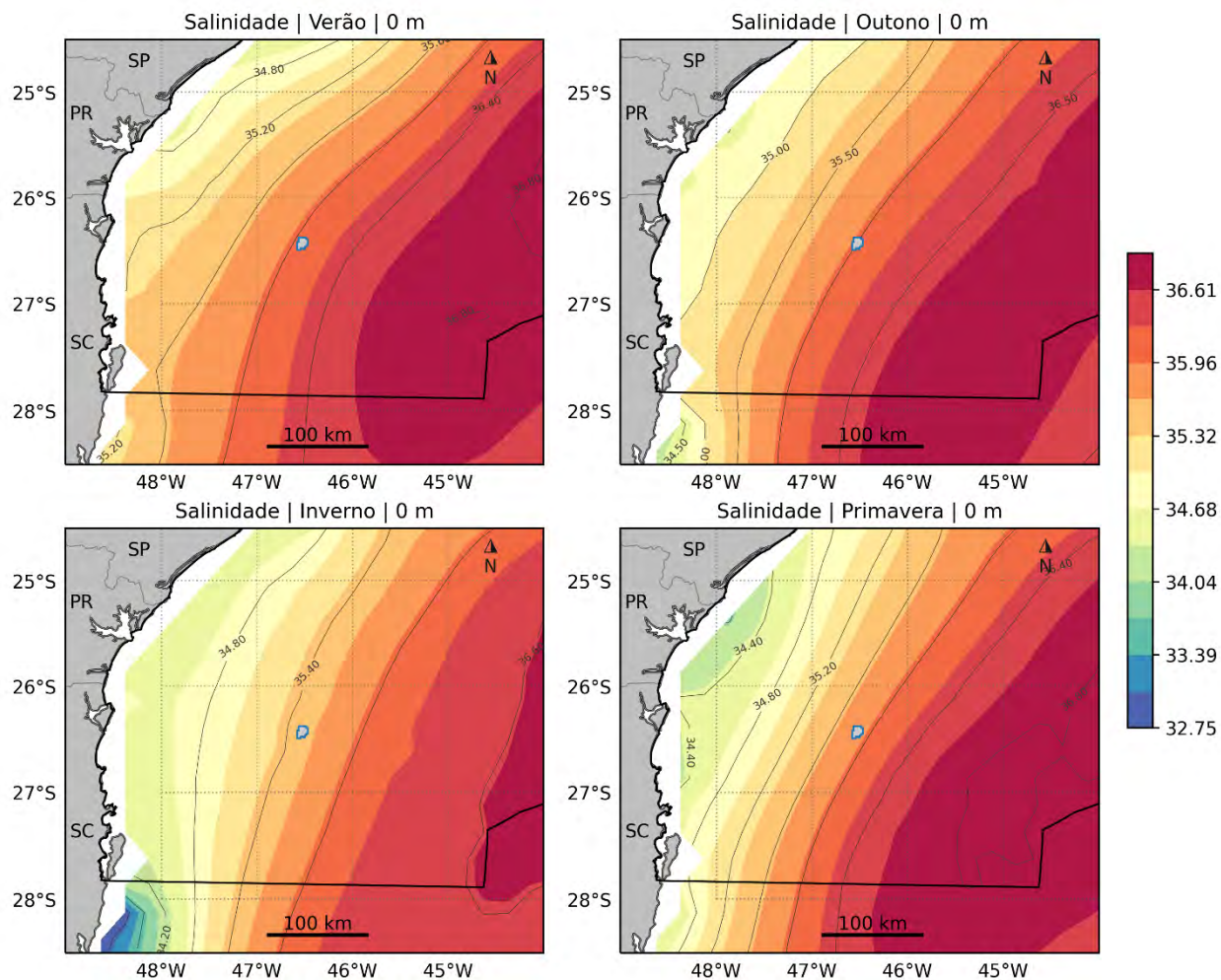


Figura 70: Seção horizontal de salinidade na Bacia de Santos em superfície para os períodos de verão, outono, inverno e primavera gerada a partir de dados do NODC. Fonte de dados: WOA13 (1773-2013).

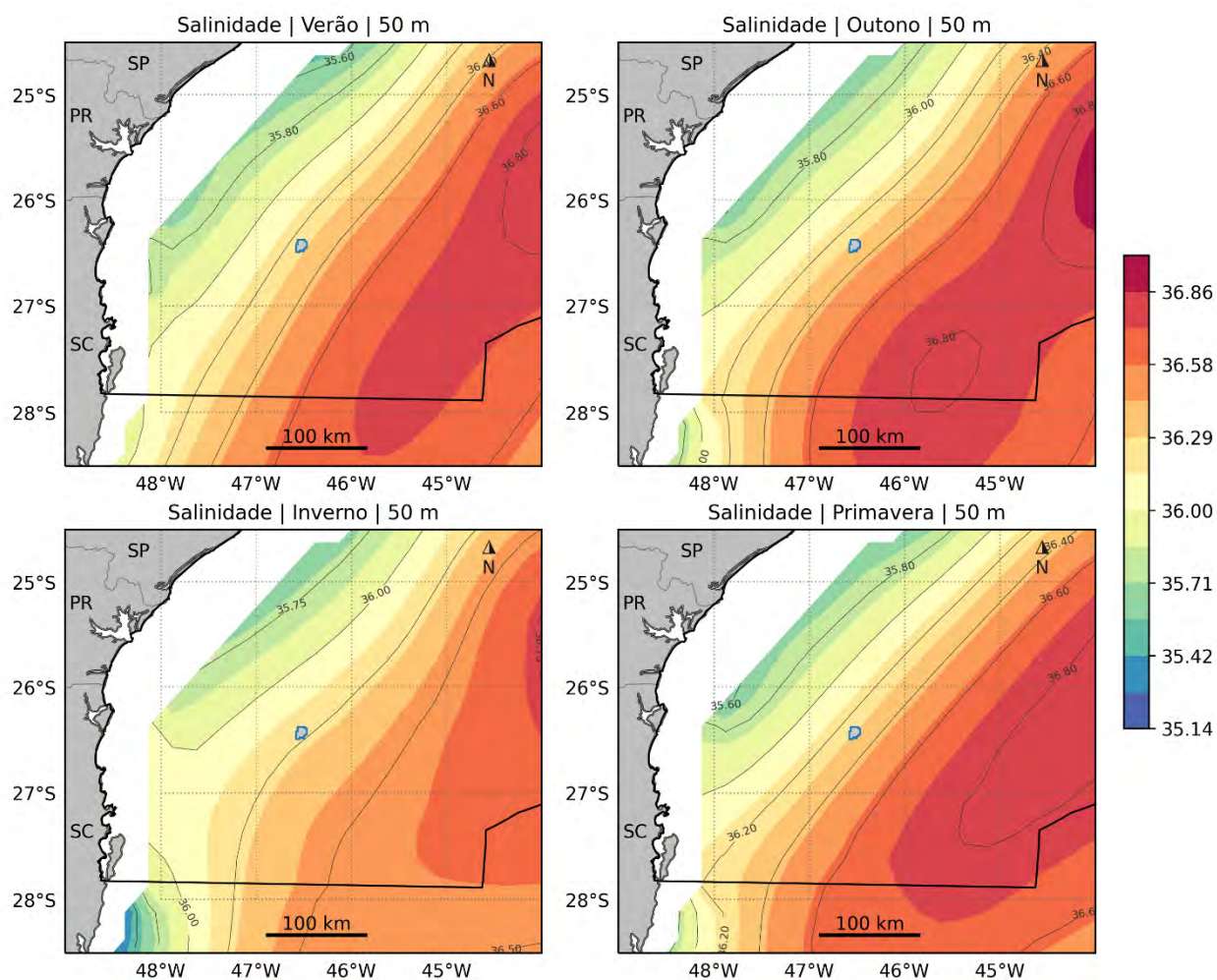


Figura 71: Seção horizontal de salinidade na Bacia de Santos em 50 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera gerada a partir de dados do NODC. Fonte de dados: WOA13 (1773-2013).

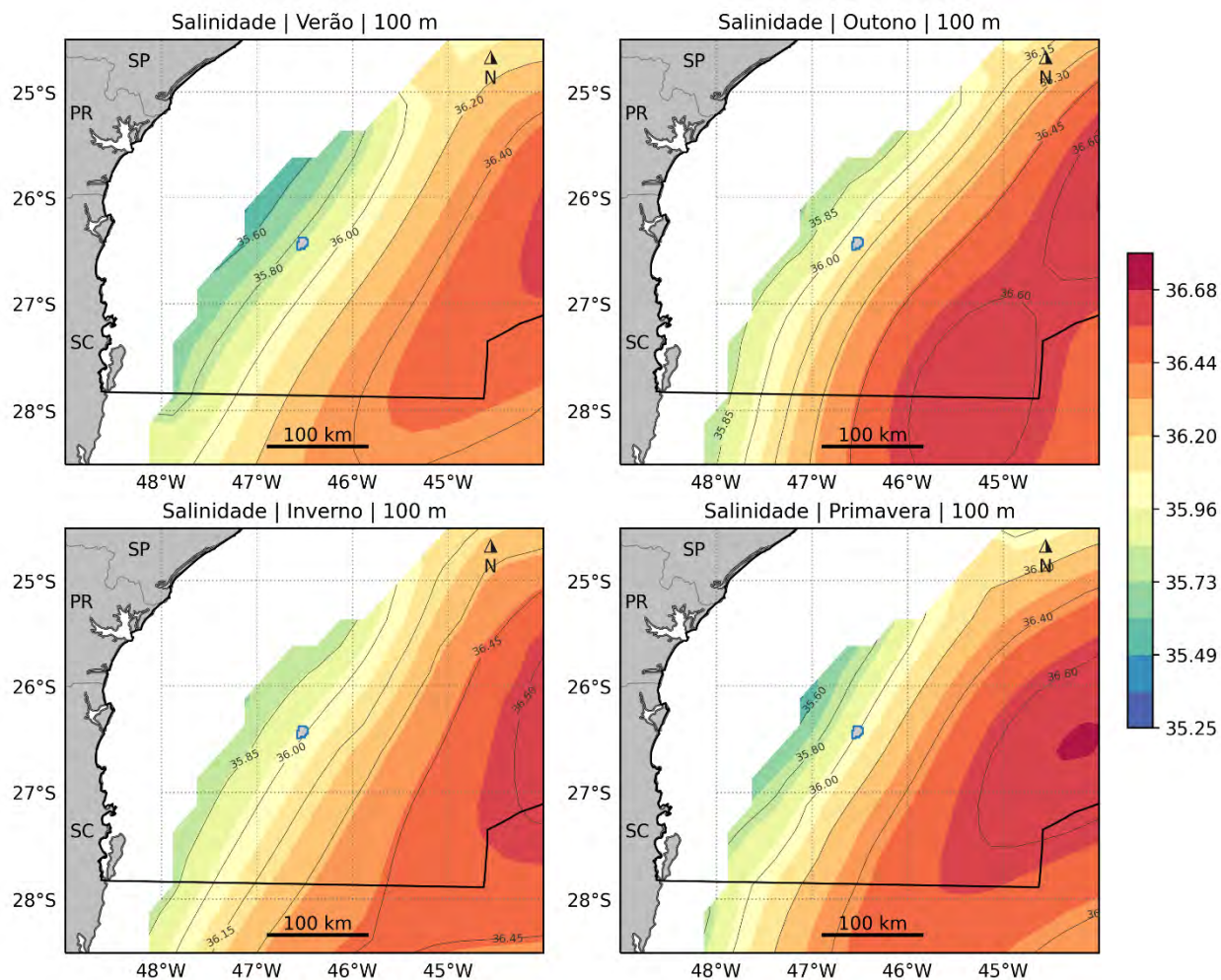


Figura 72: Seção horizontal de salinidade na Bacia de Santos em 100 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera gerada a partir de dados do NODC. Fonte de dados: WOA13 (1773-2013).



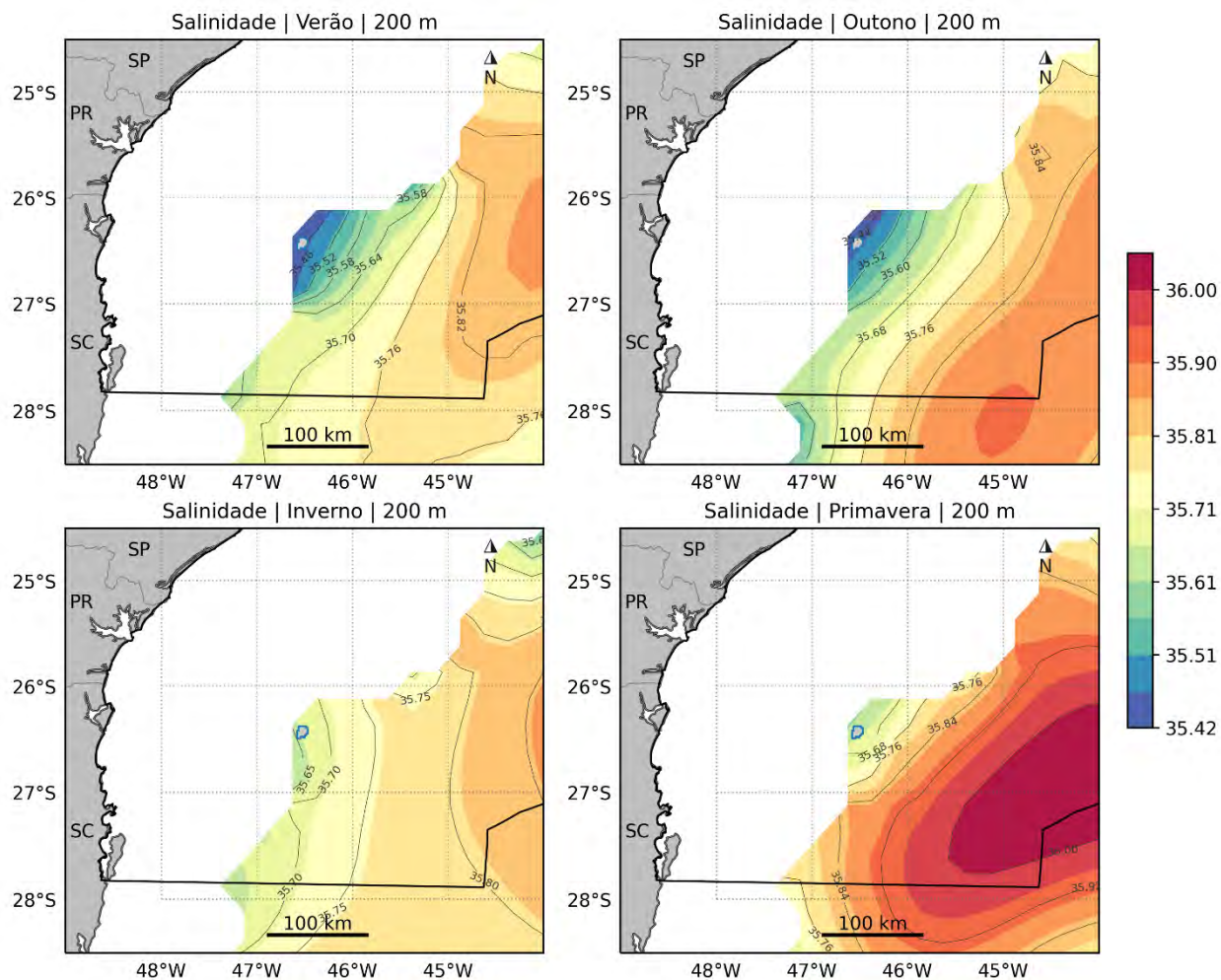


Figura 73: Seção horizontal de salinidade na Bacia de Santos em 200 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera gerada a partir de dados do NODC. Fonte de dados: WOA13 (1773-2013).

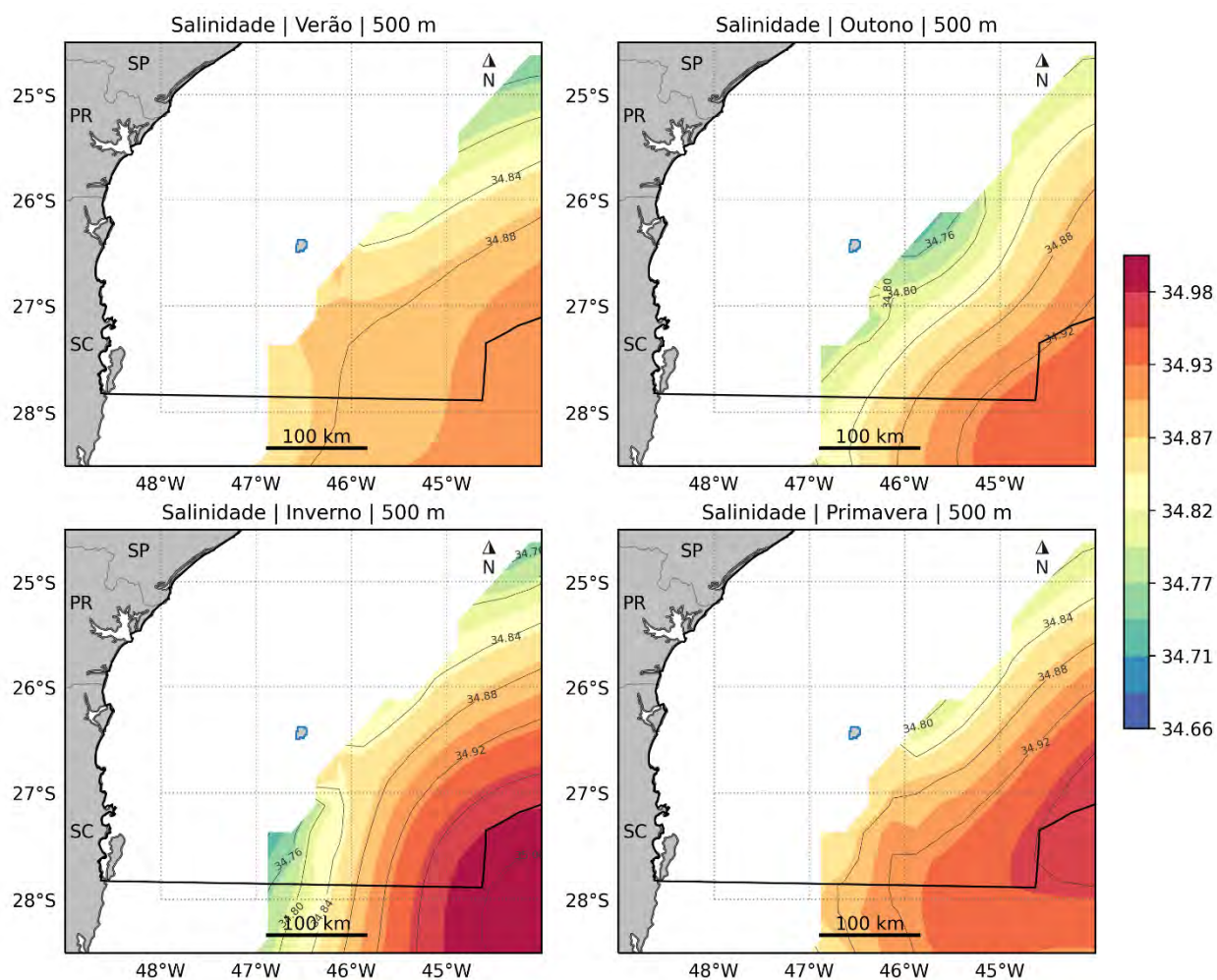


Figura 74: Seção horizontal de salinidade na Bacia de Santos em 500 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera gerada a partir de dados do NODC. Fonte de dados: WOA13 (1773-2013).

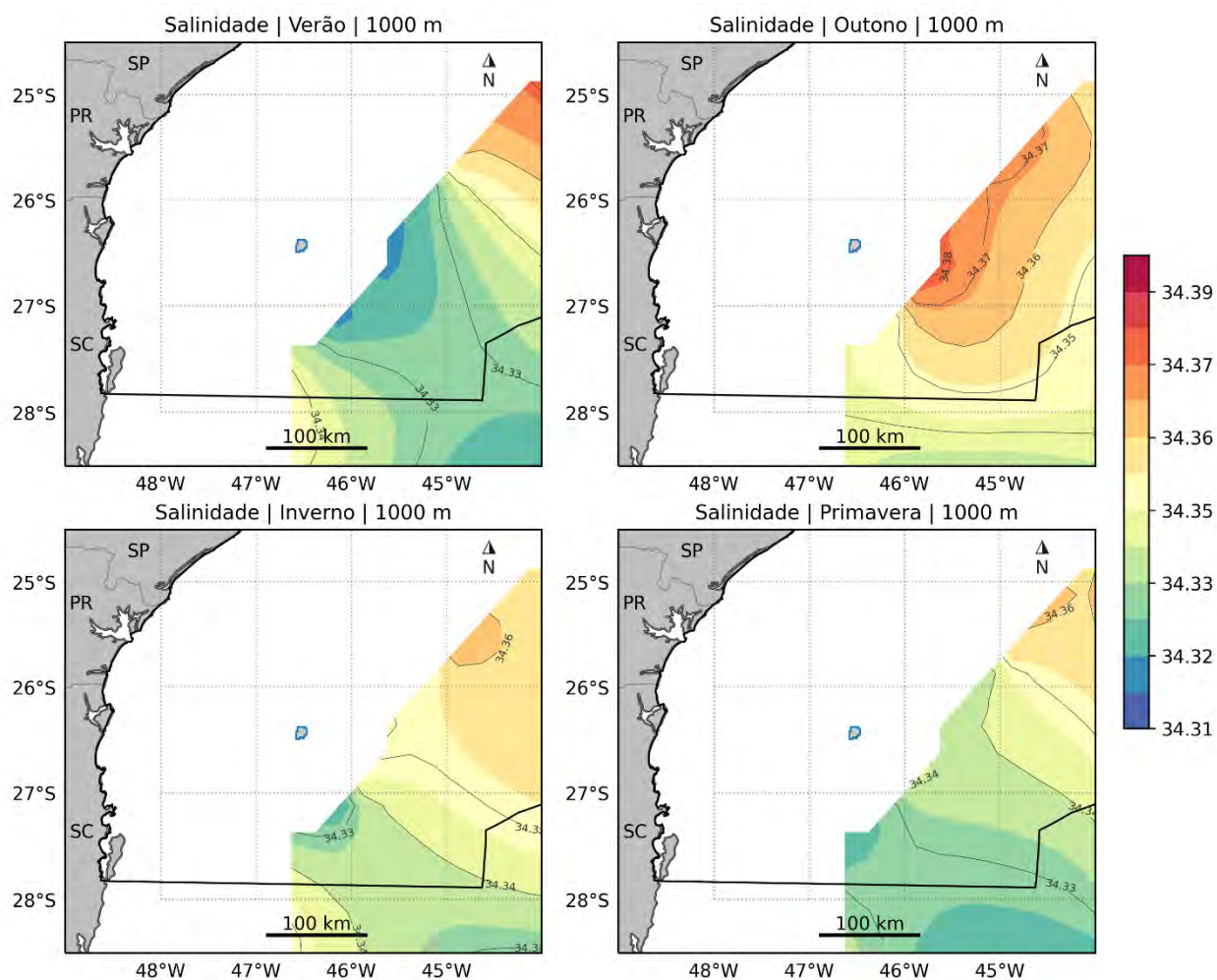


Figura 75: Seção horizontal de salinidade na Bacia de Santos em 1000 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera gerada a partir de dados do NODC. Fonte de dados: WOA13 (1773-2013).



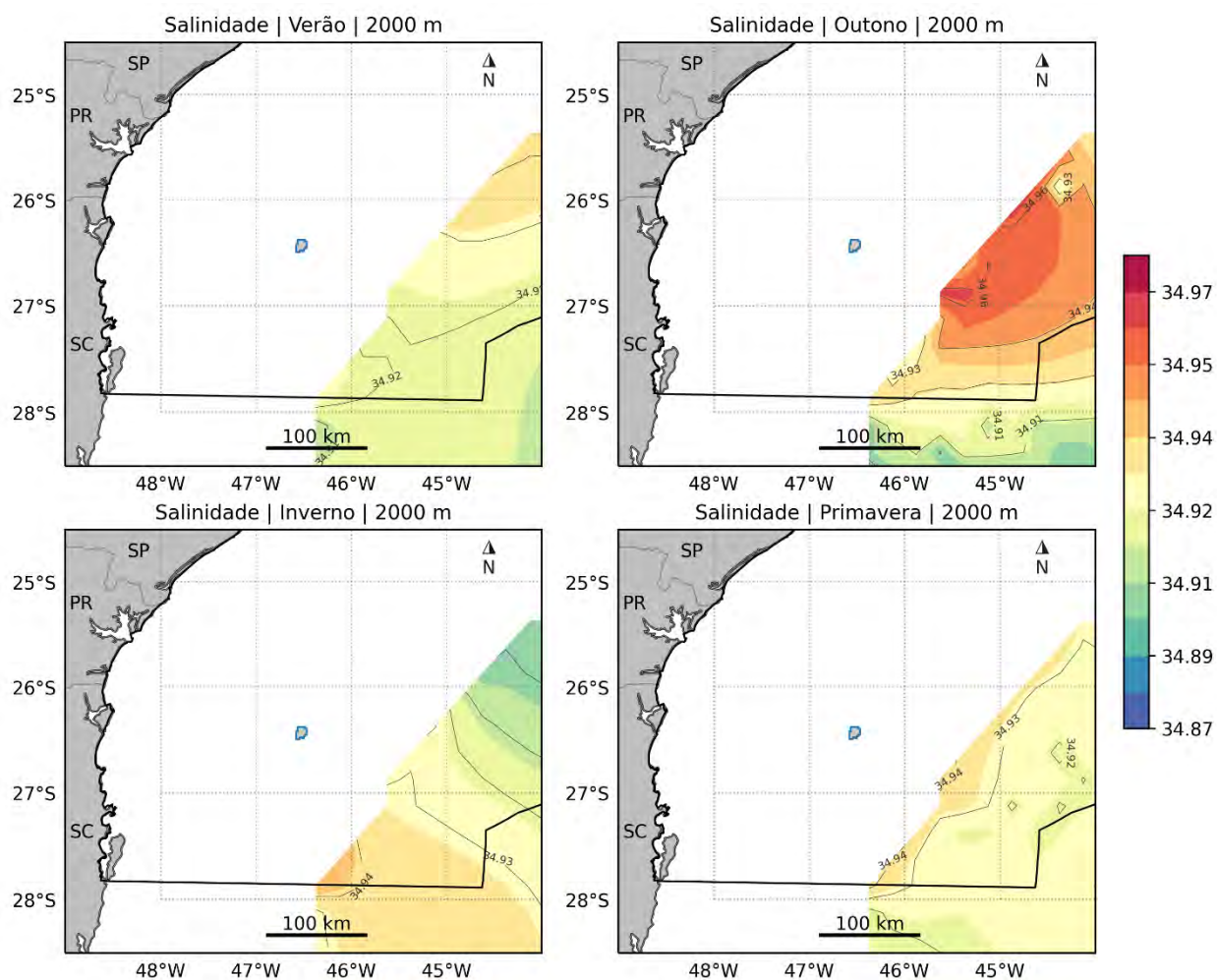


Figura 76: Seção horizontal de salinidade na Bacia de Santos em 2000 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera gerada a partir de dados do NODC. Fonte de dados: WOA13 (1773-2013).

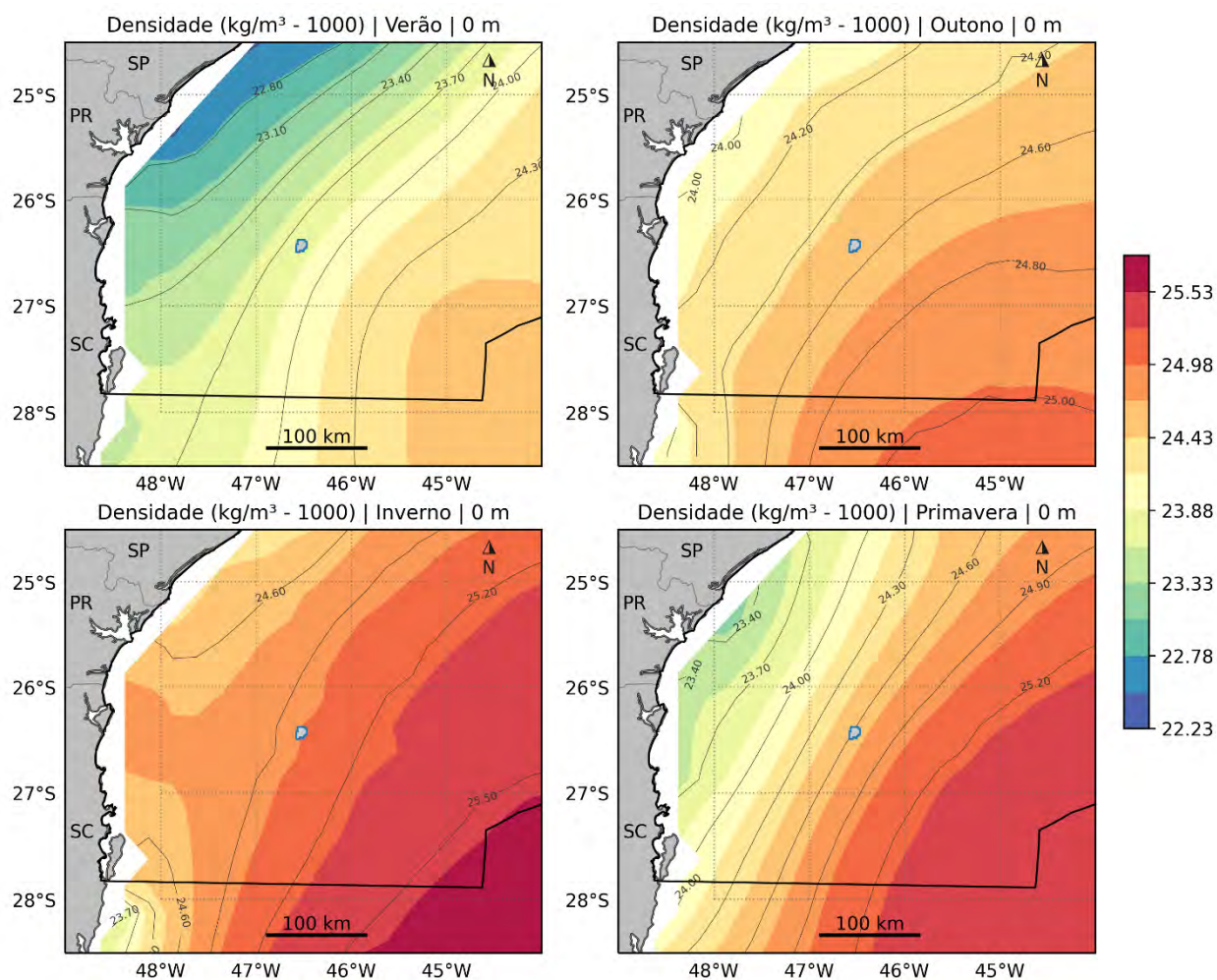


Figura 77: Seção horizontal de densidade na Bacia de Santos em superfície para os períodos de verão, outono, inverno e primavera gerada a partir de dados do NODC. Fonte de dados: WOA13 (1773-2013).

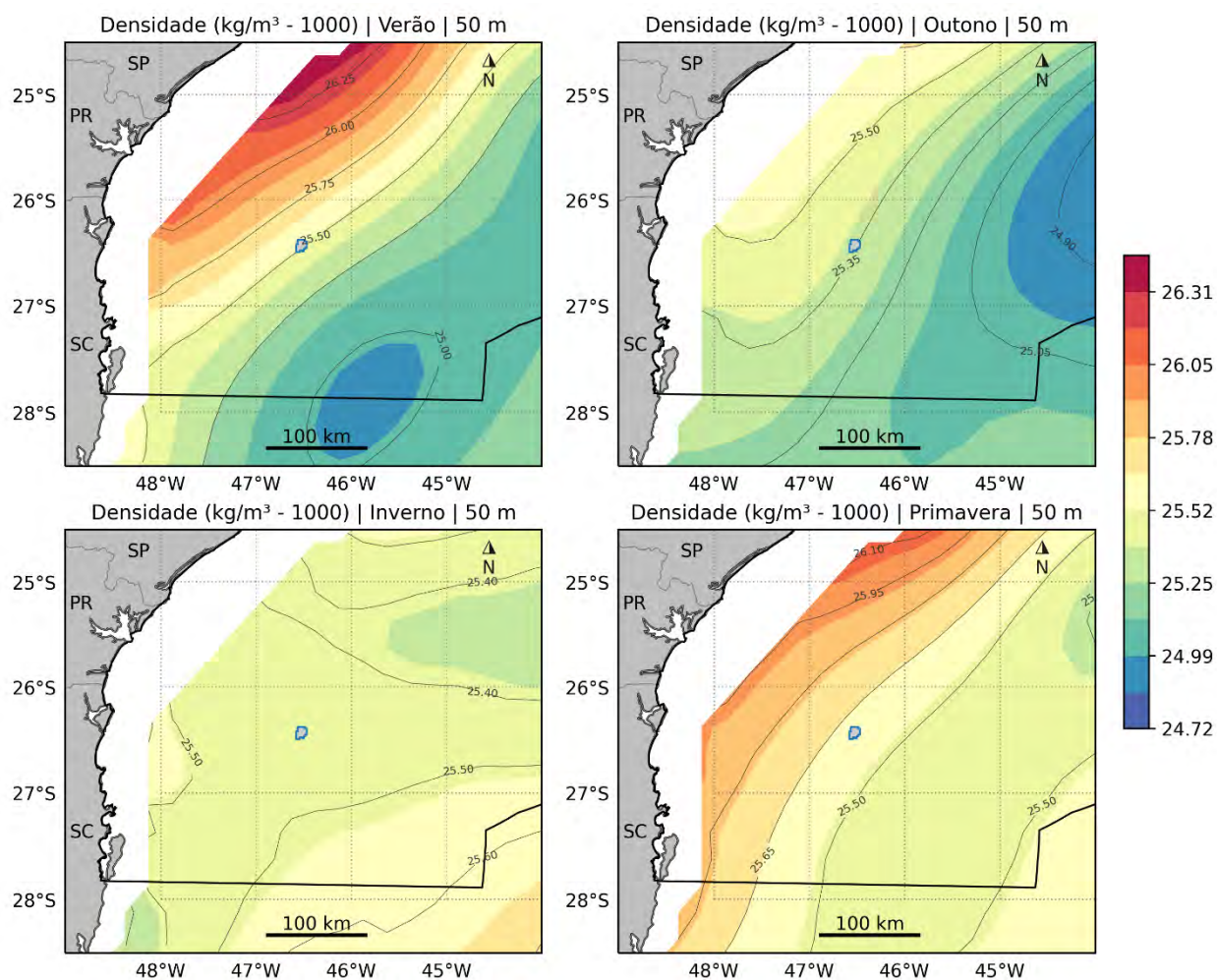


Figura 78: Seção horizontal de densidade na Bacia de Santos em 50 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera gerada a partir de dados do NODC. Fonte de dados: WOA13 (1773-2013).



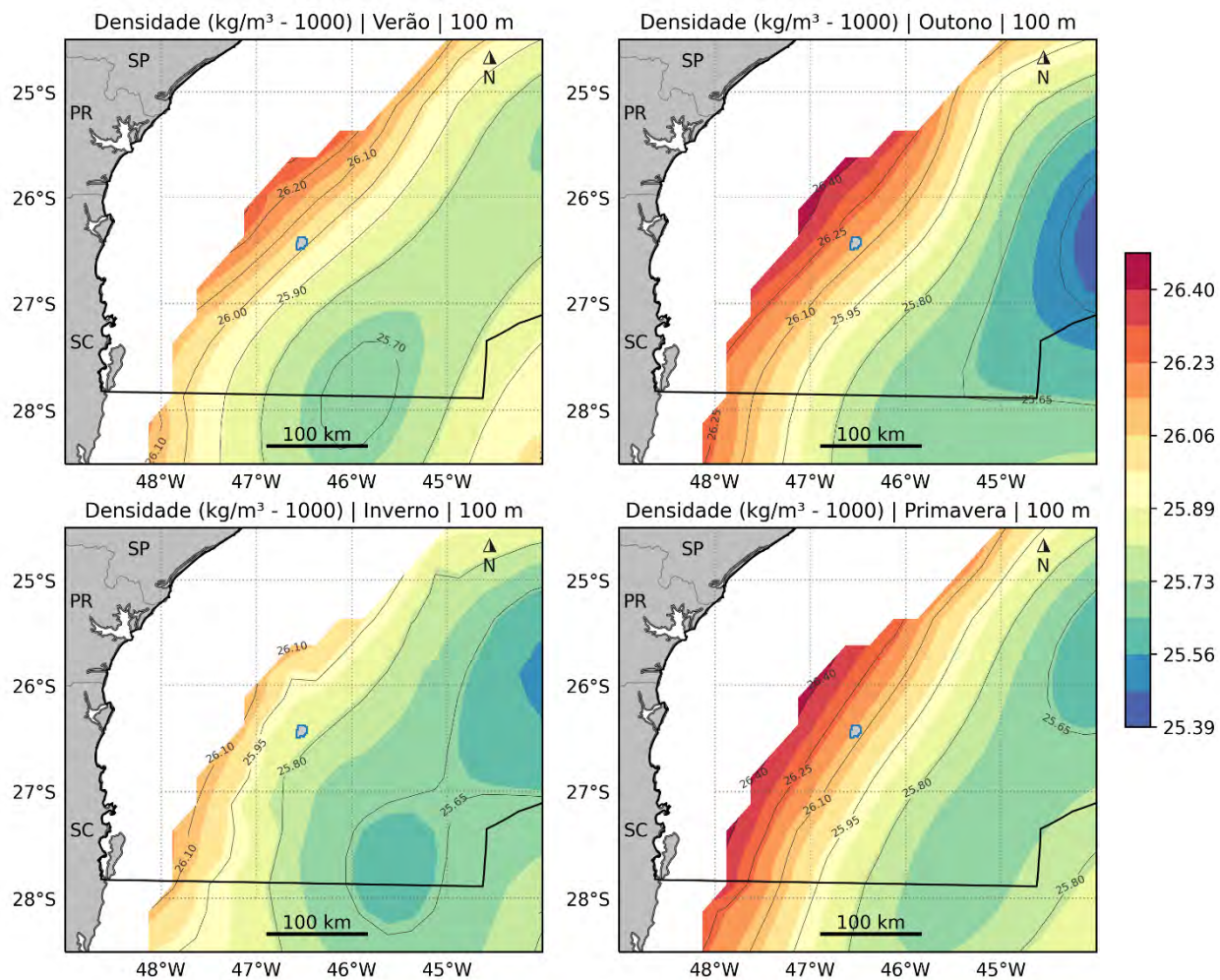


Figura 79: Seção horizontal de densidade na Bacia de Santos em 100 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera gerada a partir de dados do NODC. Fonte de dados: WOA13 (1773-2013).

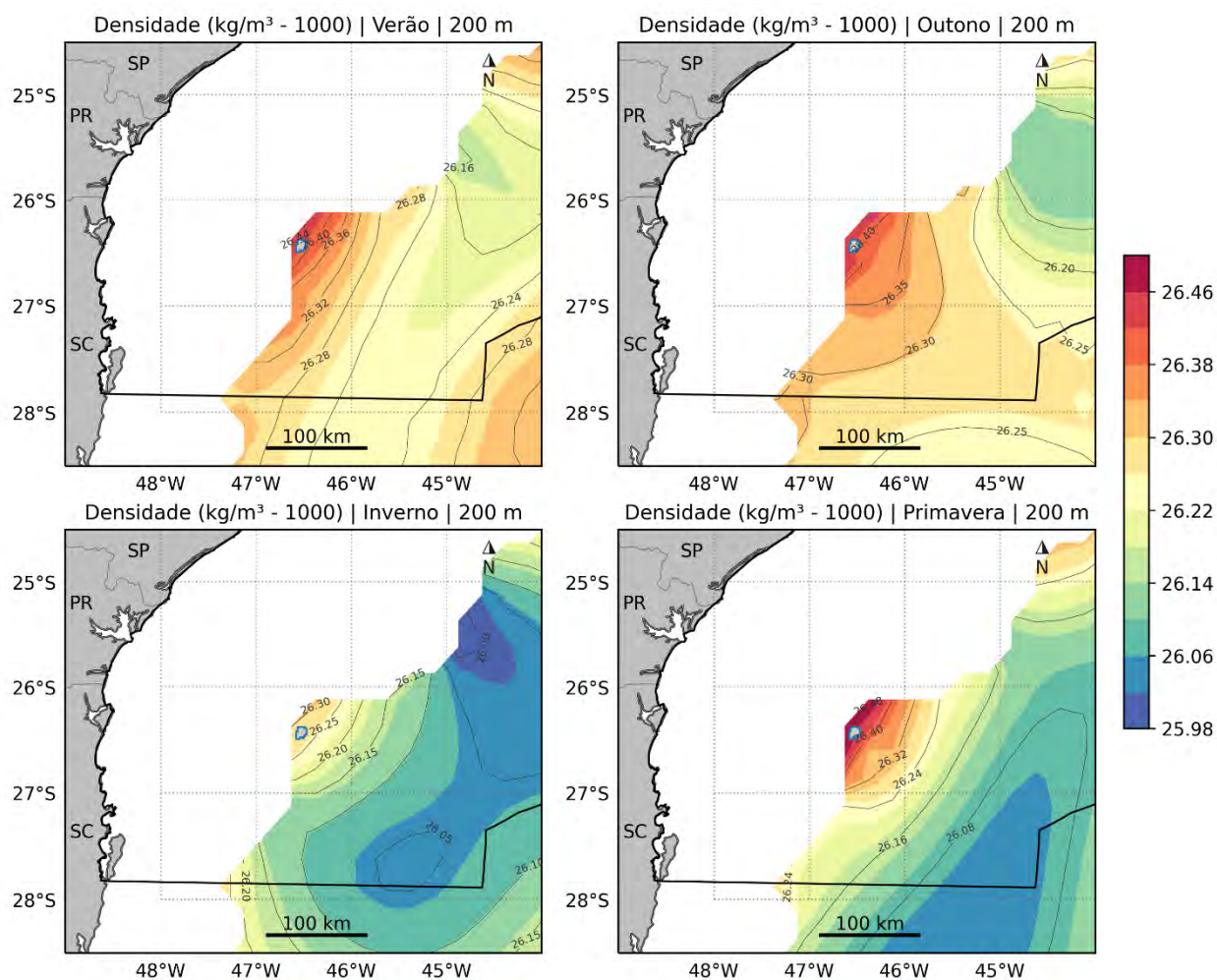


Figura 80: Seção horizontal de densidade na Bacia de Santos em 200 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera gerada a partir de dados do NODC. Fonte de dados: WOA13 (1773-2013).

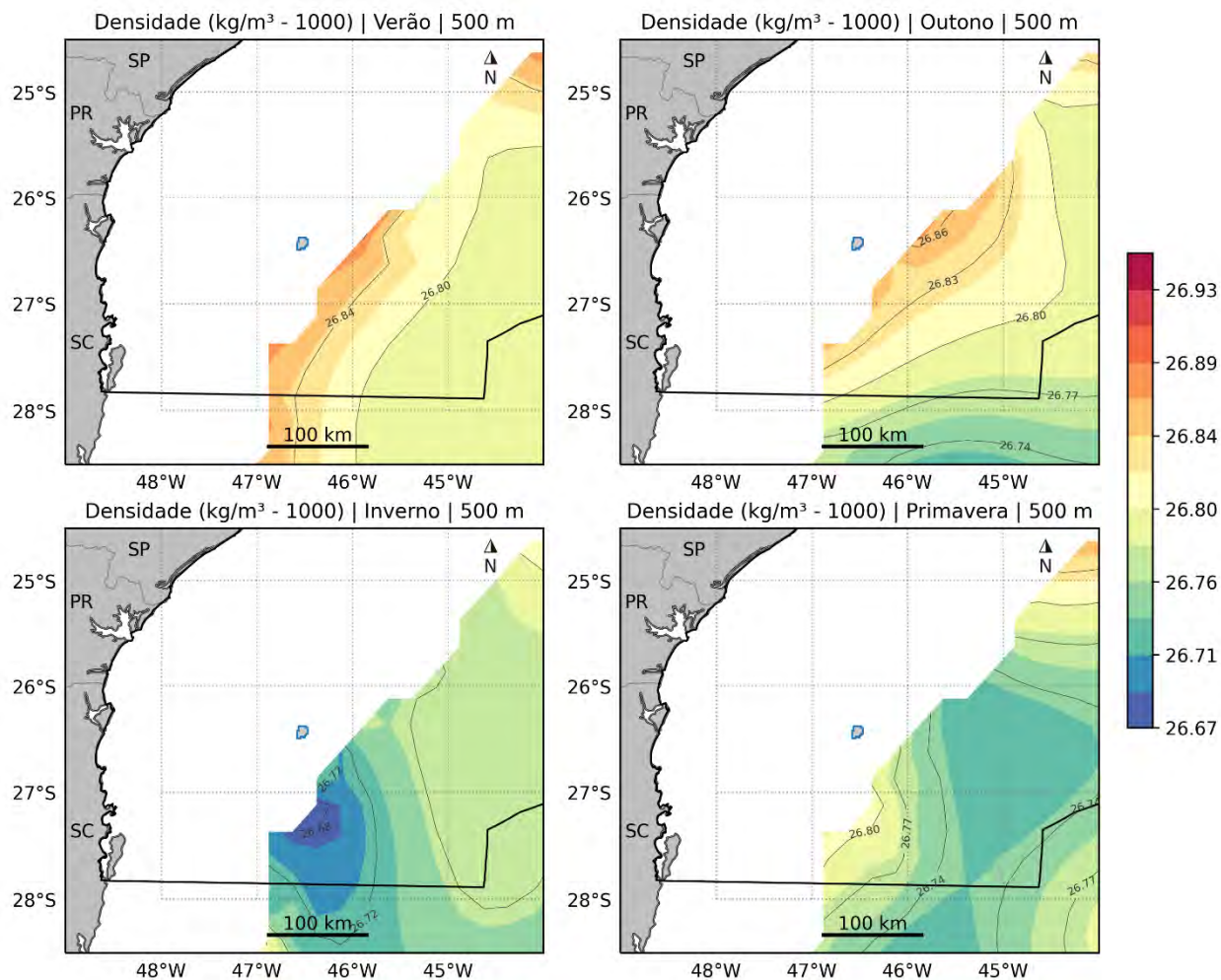


Figura 81: Seção horizontal de densidade na Bacia de Santos em 500 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera gerada a partir de dados do NODC. Fonte de dados: WOA13 (1773-2013).



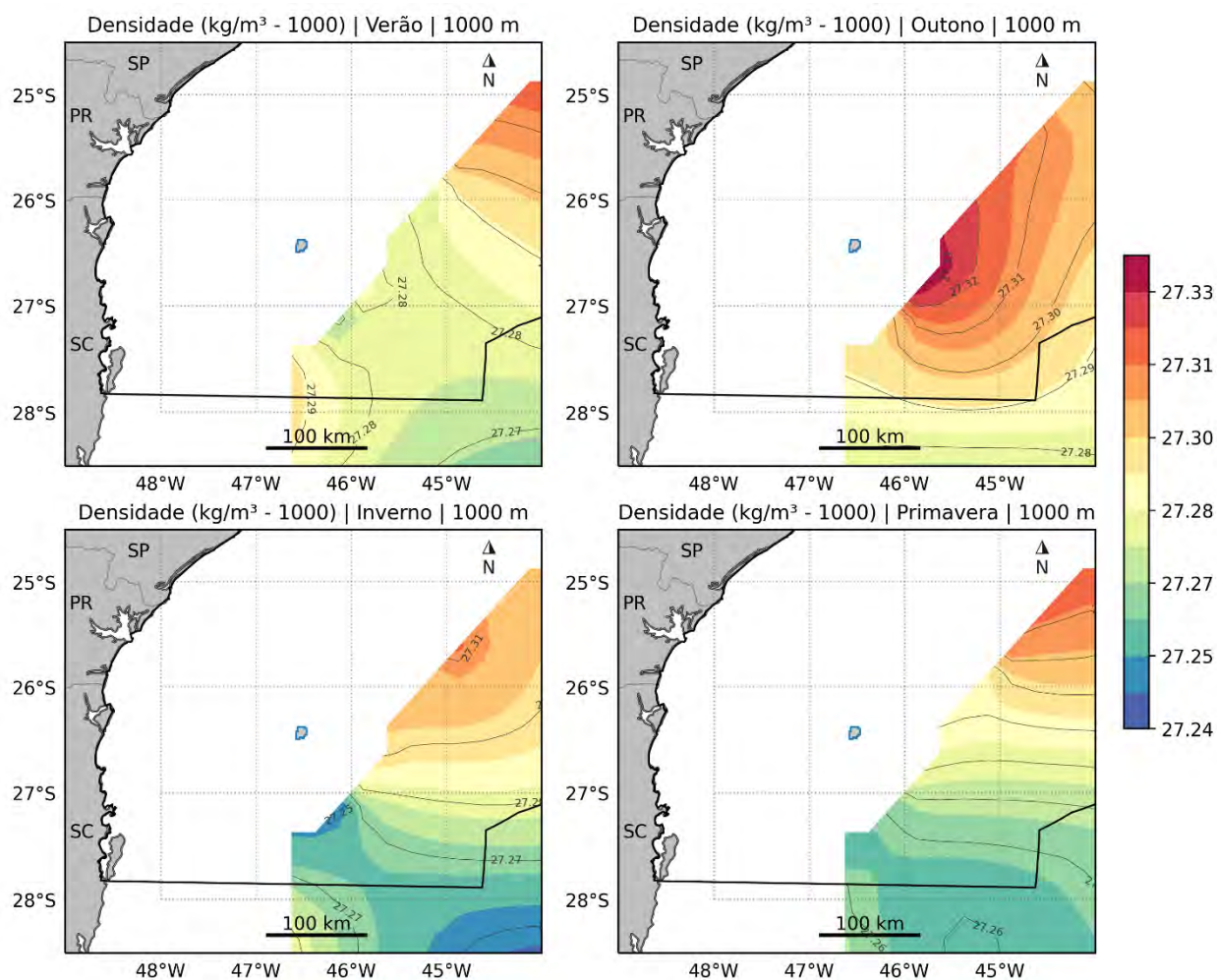


Figura 82: Seção horizontal de densidade na Bacia de Santos em 1000 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera gerada a partir de dados do NODC. Fonte de dados: WOA13 (1773-2013).

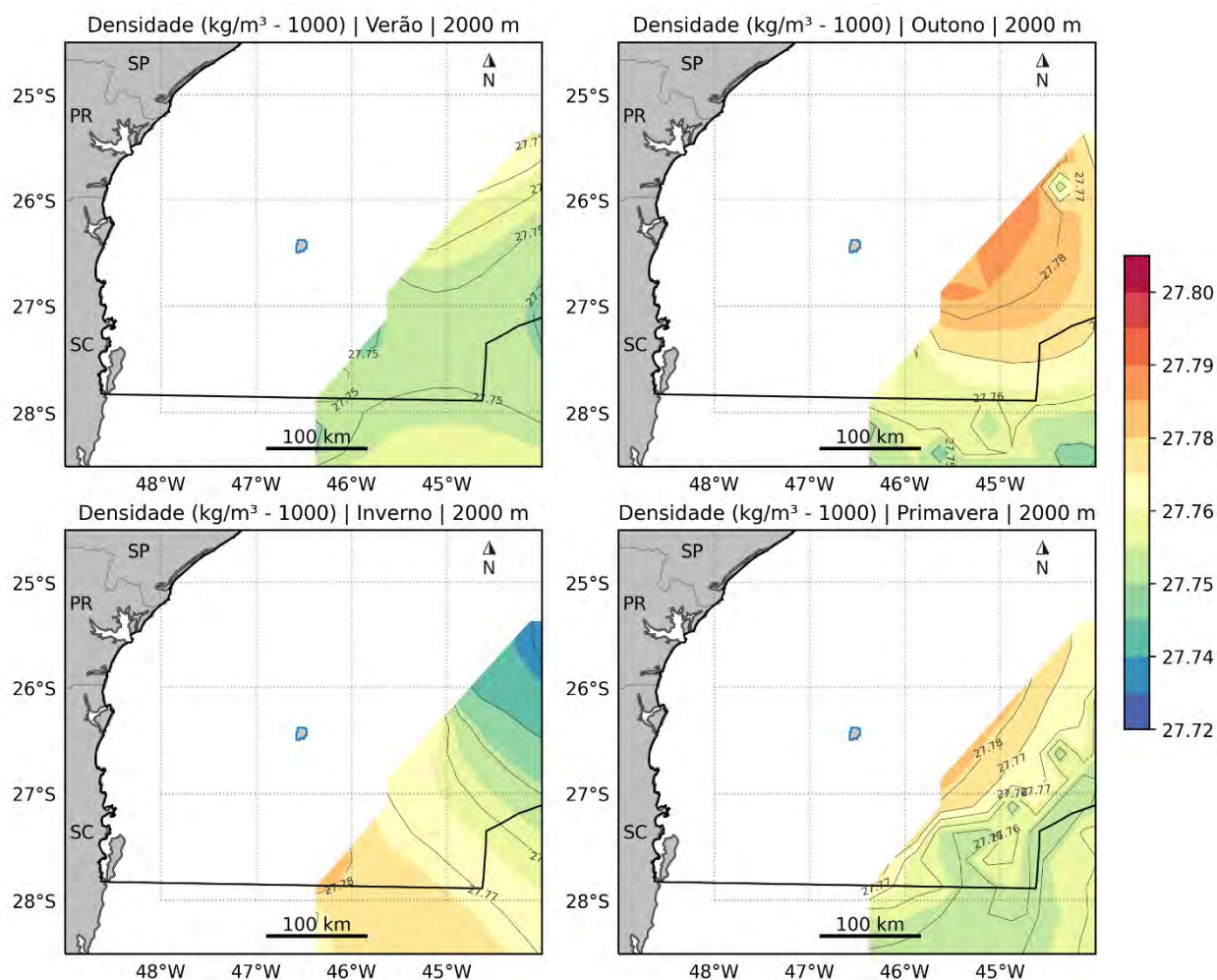


Figura 83: Seção horizontal de densidade na Bacia de Santos em 2000 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera gerada a partir de dados do NODC. Fonte de dados: WOA13 (1773-2013).

A seguir, da Figura 84 a Figura 110 são apresentados mapas horizontais com dados de temperatura, salinidade e densidades obtidos dos resultados do Mercator. O Mercator disponibiliza diariamente os resultados da análise global do estado dos oceanos, com resolução de 1/12°. O sistema de previsão utiliza o modelo 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 modelo assimila dados de correntes, elevação da superfície e TSM obtidos de satélites, além de dados de temperatura e salinidade obtidos *in situ*.

Observa-se que os principais contornos termohalinos associados às feições da região estão presentes em superfície. Destacam-se as estações de verão e inverno como as mais quentes e mais frias, respectivamente. No inverno é possível observar ao sul a subida das correntes de plataforma em direção ao norte (CCB), com águas mais frias.

Assim como pontuado anteriormente, por estar situada próxima a borda da CB, o bloco BM-S-40 encontra-se em uma faixa de transição entre temperaturas mais altas e mais baixas.

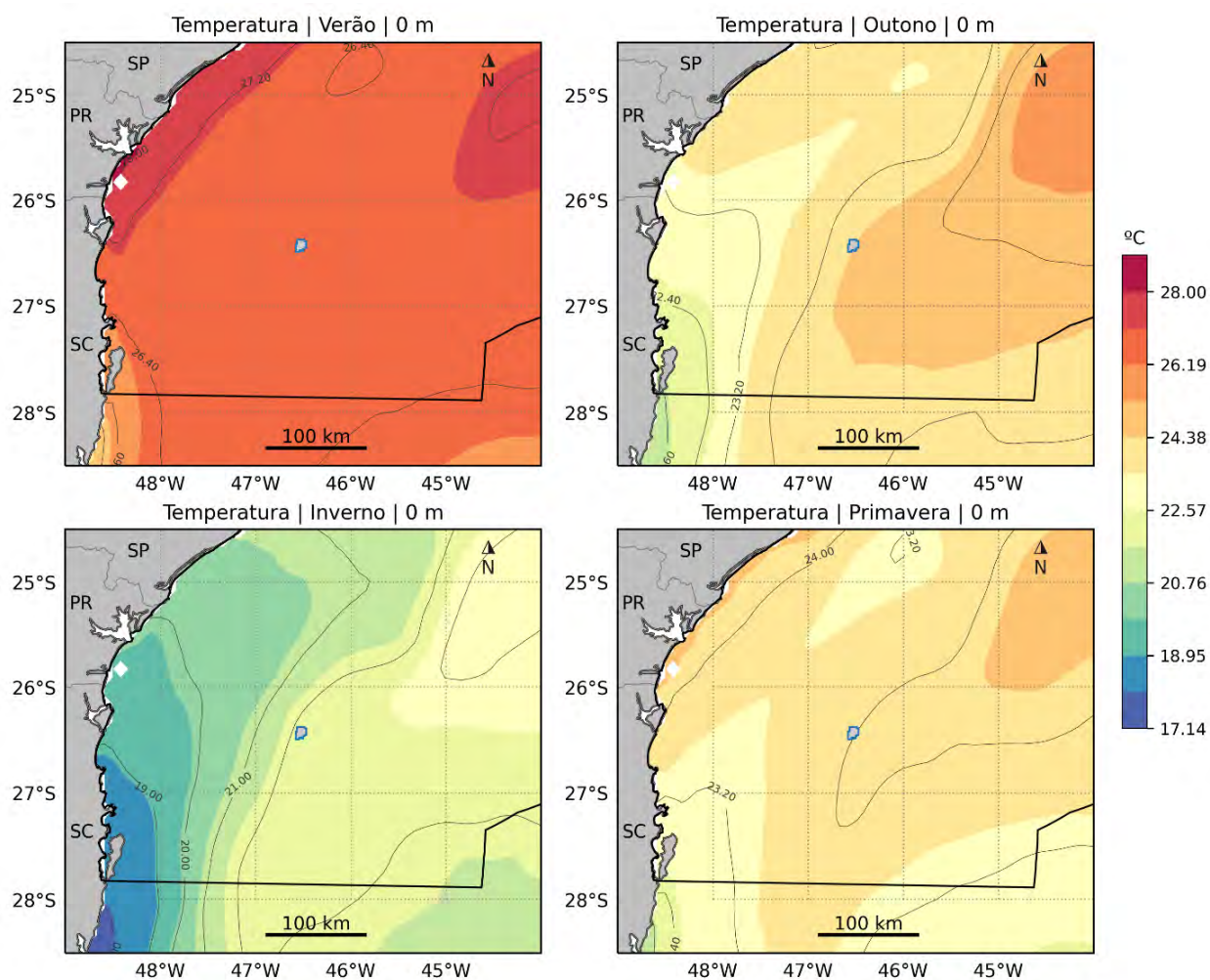


Figura 84: Seção horizontal de temperatura na Bacia de Santos em superfície para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Fonte de dados: Mercator (2012 a 2019).



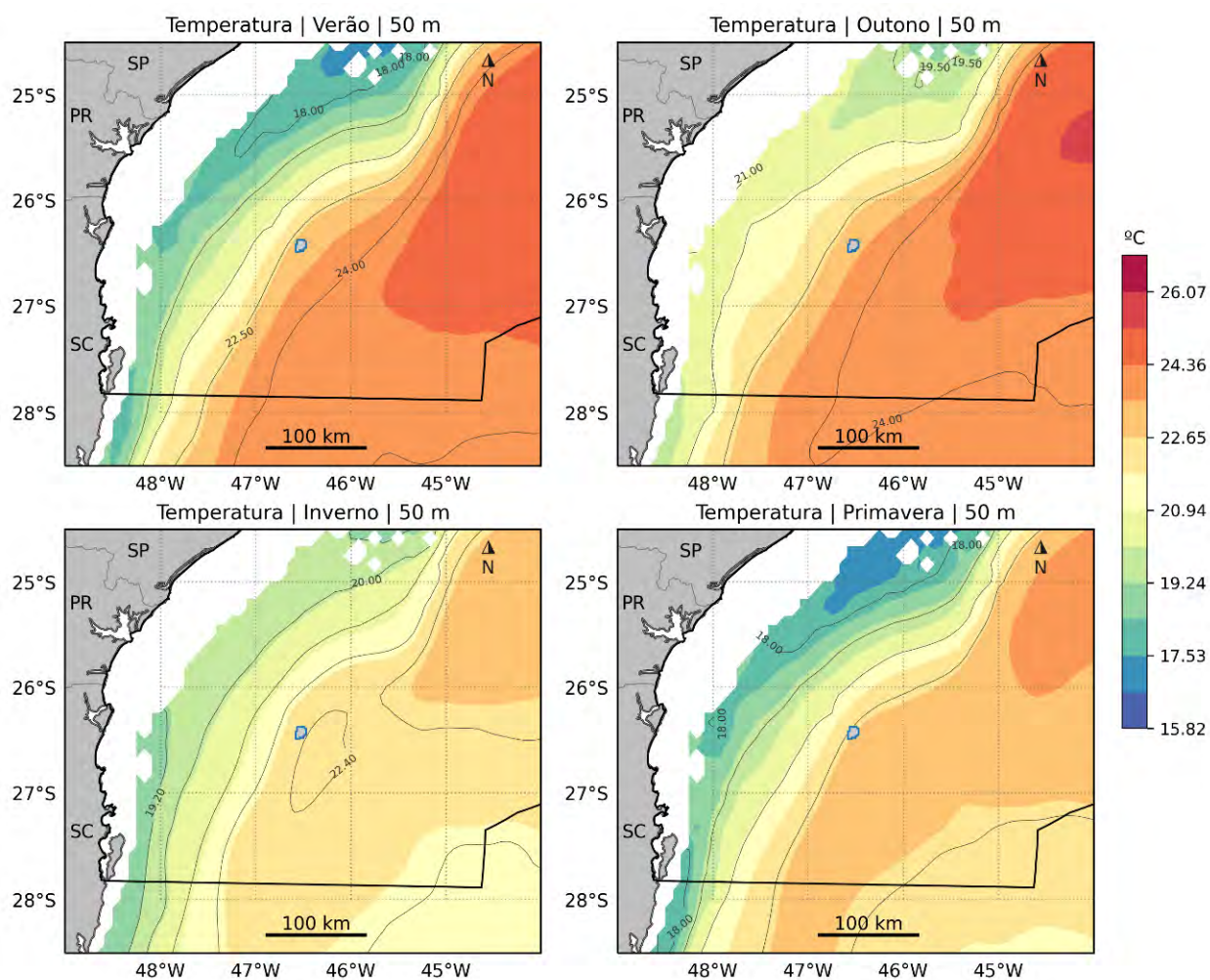


Figura 85: Seção horizontal de temperatura na Bacia de Santos em 50 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Fonte de dados: Mercator (2012 a 2019).

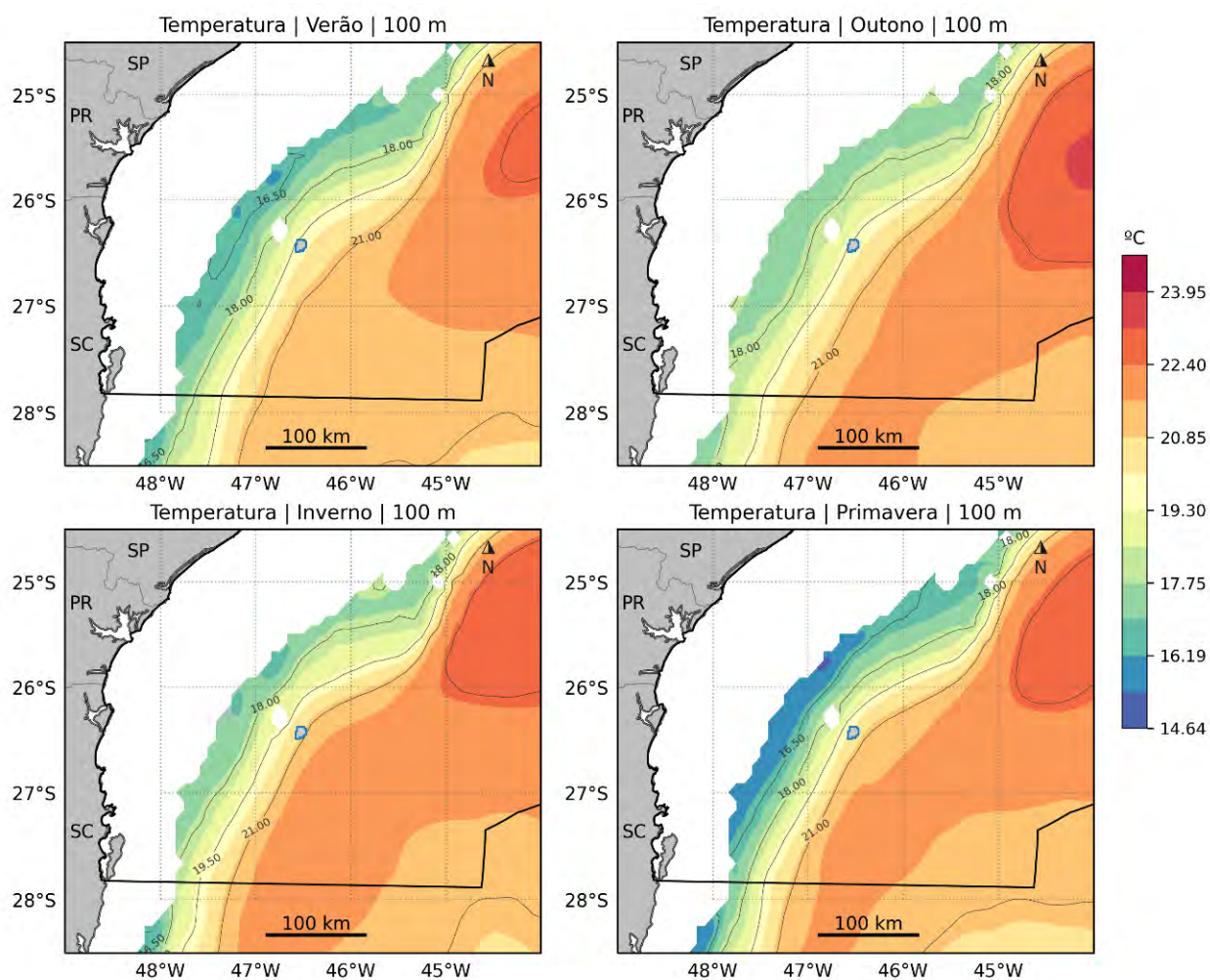


Figura 86: Seção horizontal de temperatura na Bacia de Santos em 100 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Fonte de dados: Mercator (2012 a 2019).

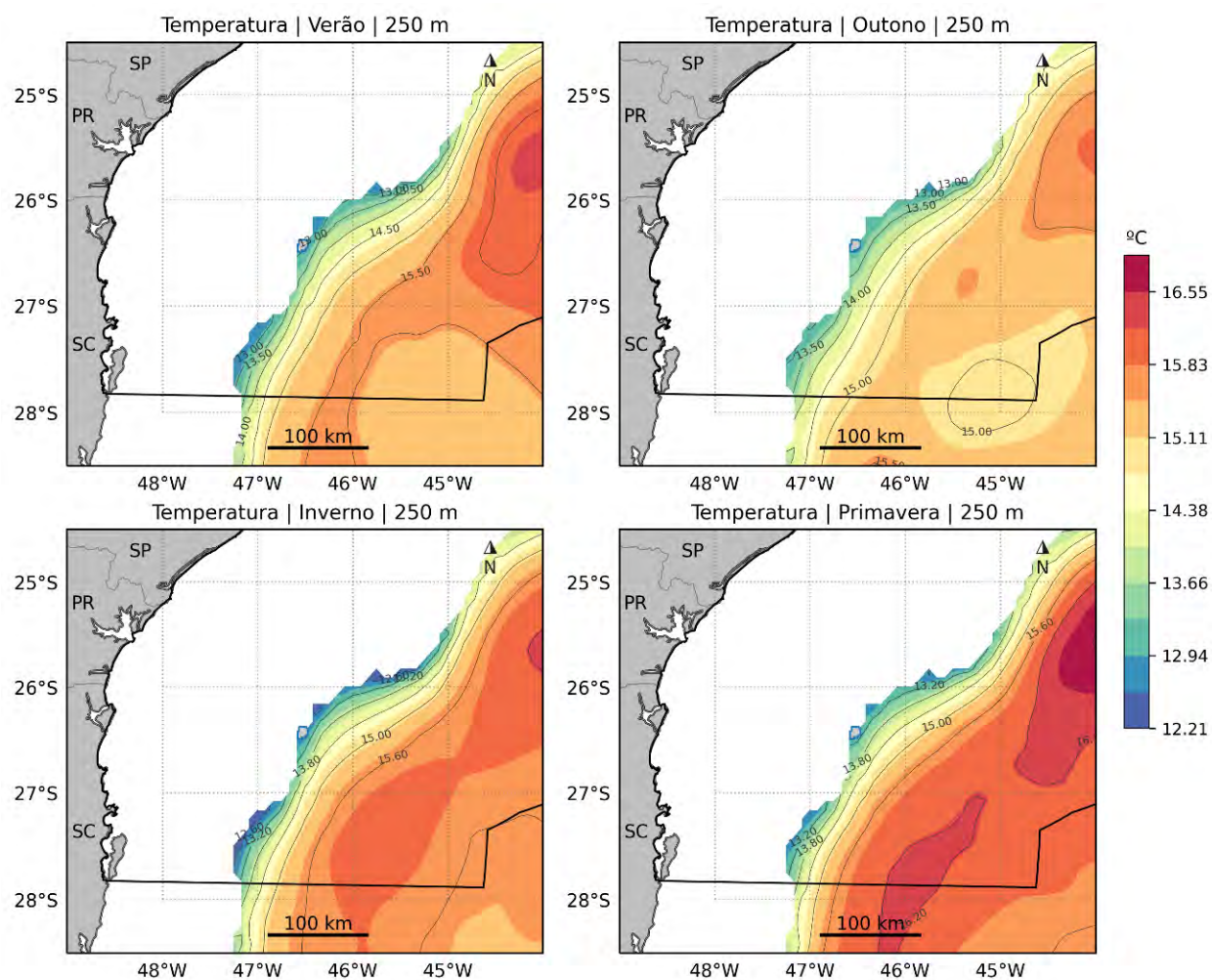


Figura 87: Seção horizontal de temperatura na Bacia de Santos em 250 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Fonte de dados: Mercator (2012 a 2019).



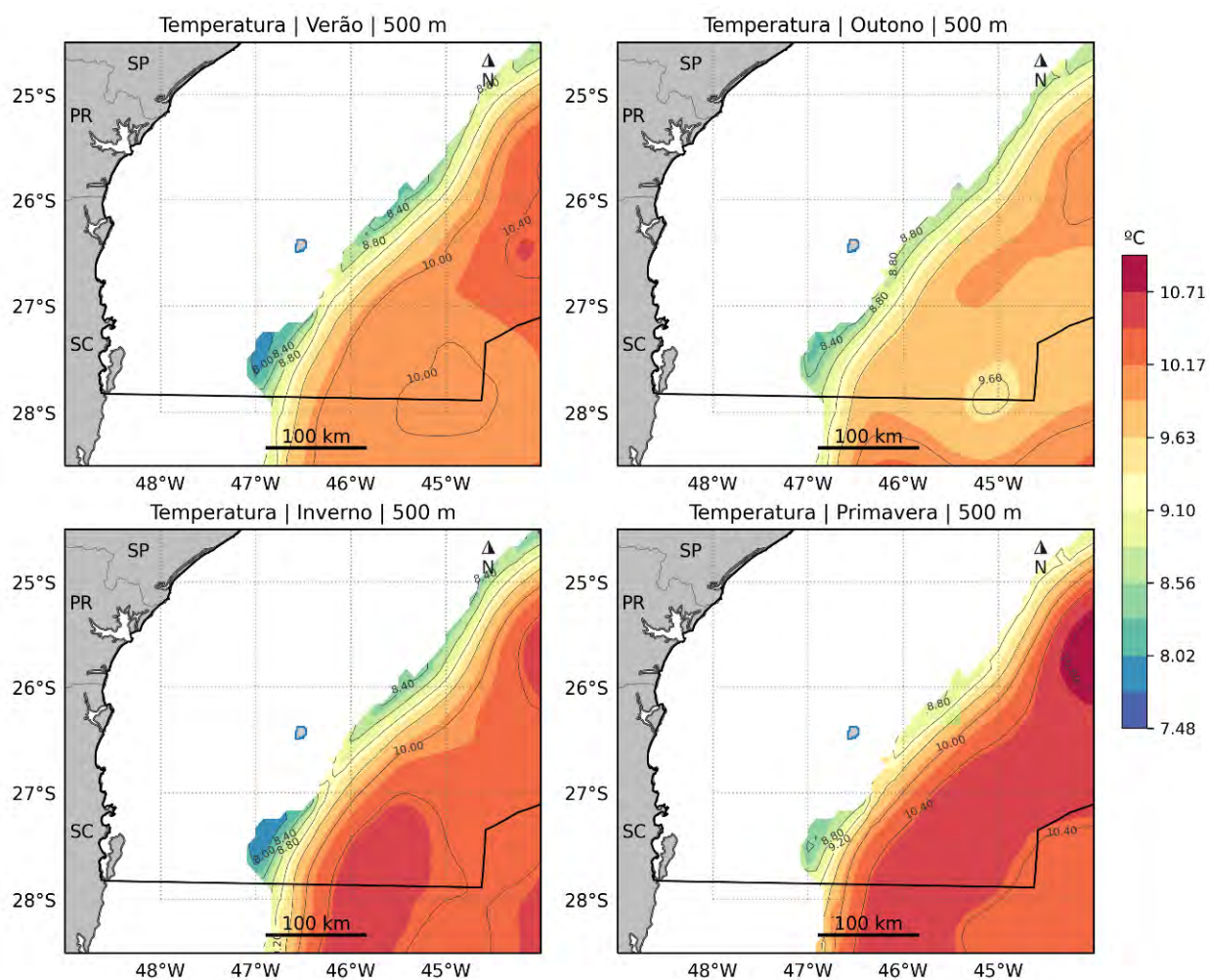


Figura 88: Seção horizontal de temperatura na Bacia de Santos em 500 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Fonte de dados: Mercator (2012 a 2019).

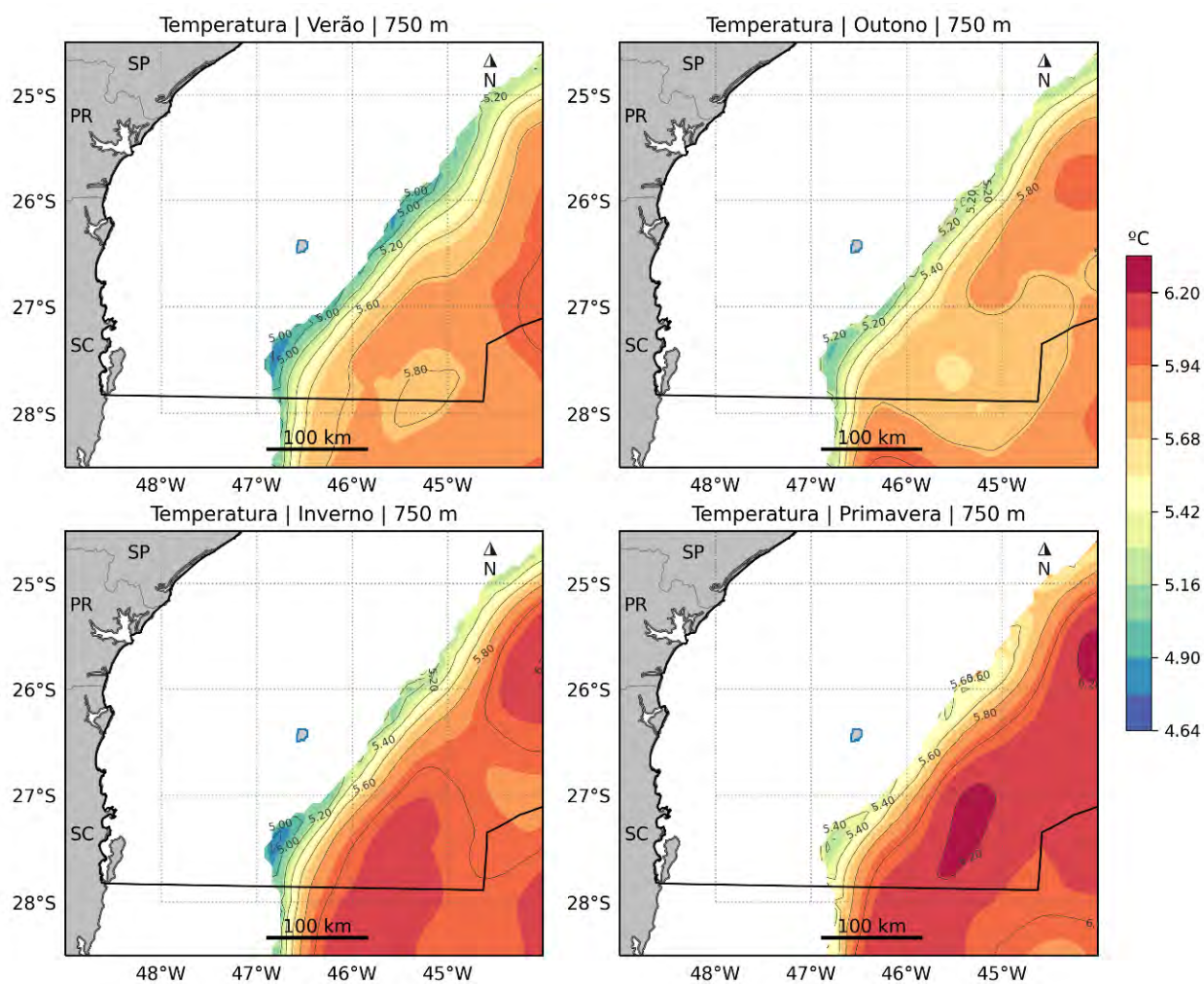


Figura 89: Seção horizontal de temperatura na Bacia de Santos em 750 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Fonte de dados: Mercator (2012 a 2019).

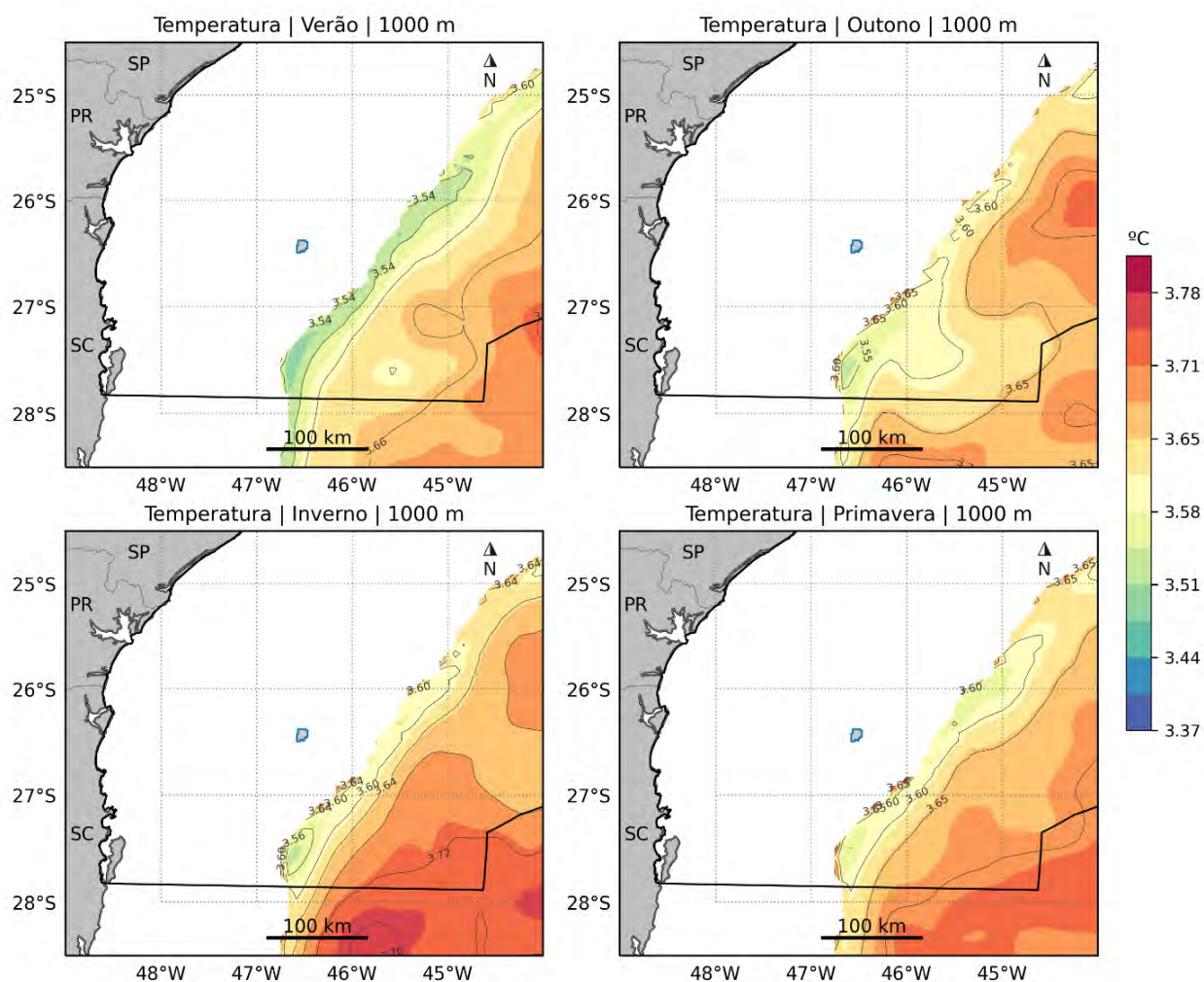


Figura 90: Seção horizontal de temperatura na Bacia de Santos em 1000 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Fonte de dados: Mercator (2012 a 2019).



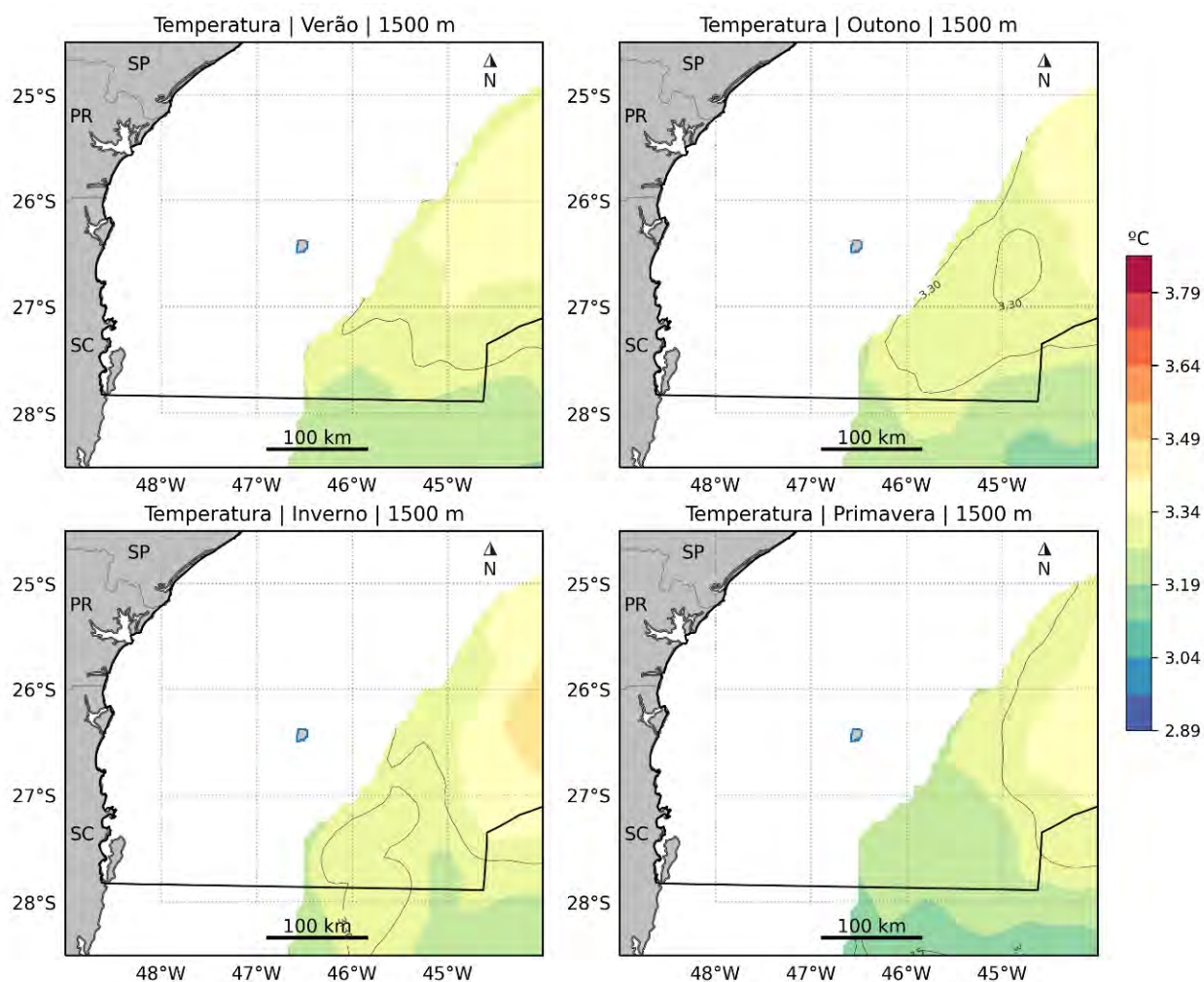


Figura 91: Seção horizontal de temperatura na Bacia de Santos em 1500 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Fonte de dados: Mercator (2012 a 2019).

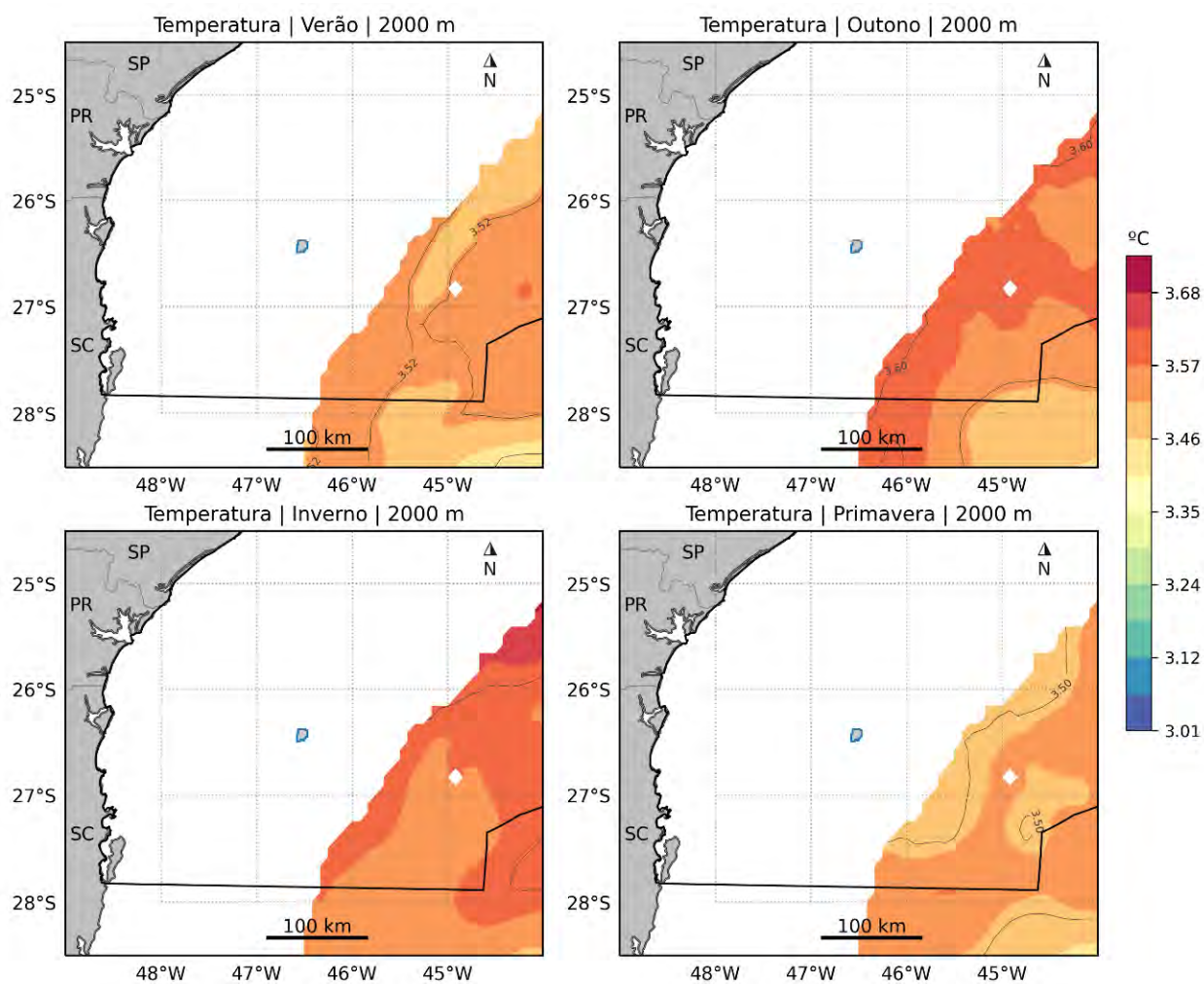


Figura 92: Seção horizontal de temperatura na Bacia de Santos em 2000 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Fonte de dados: Mercator (2012 a 2019).



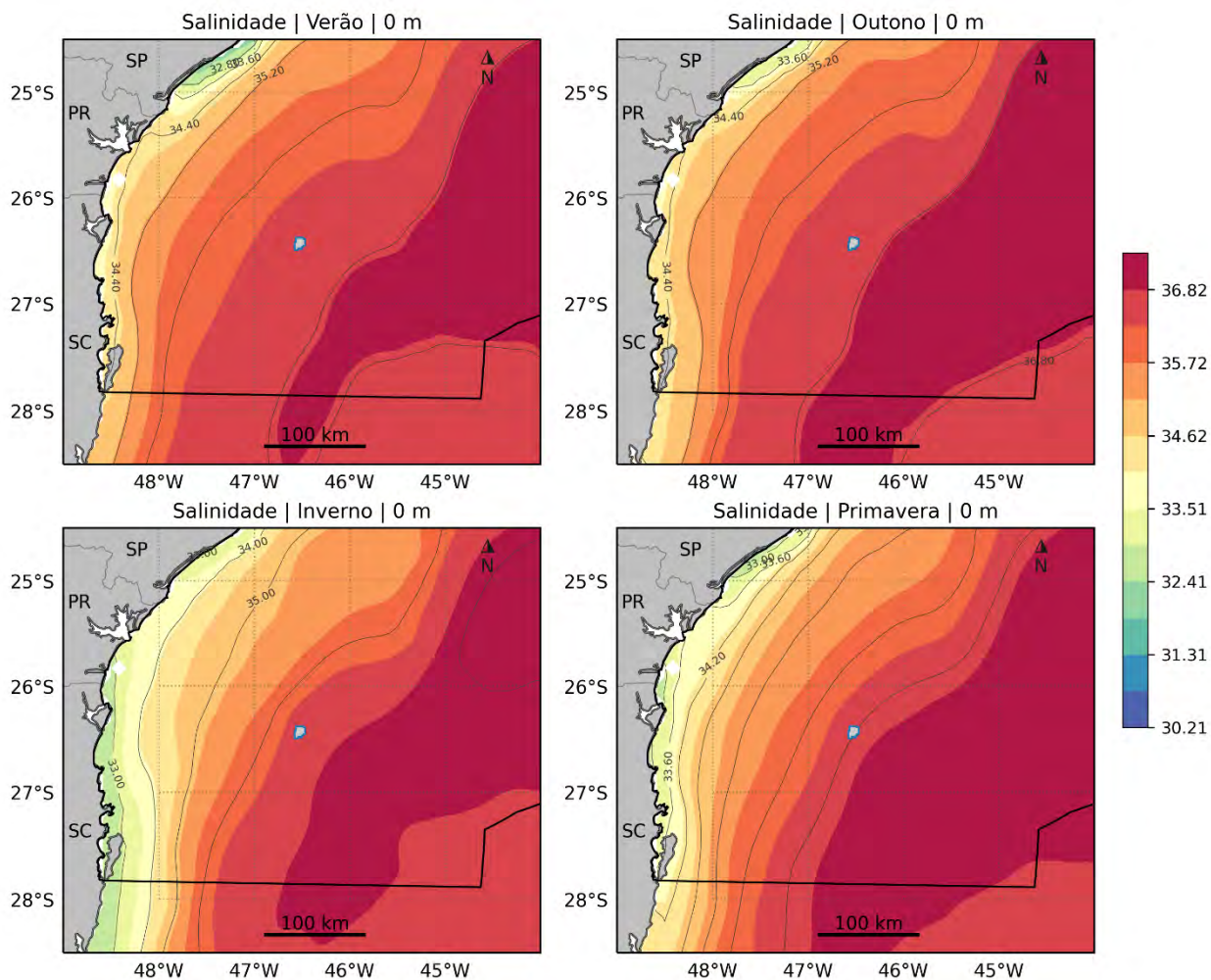


Figura 93: Seção horizontal de salinidade na Bacia de Santos em superfície para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Fonte de dados: Mercator (2012 a 2019).

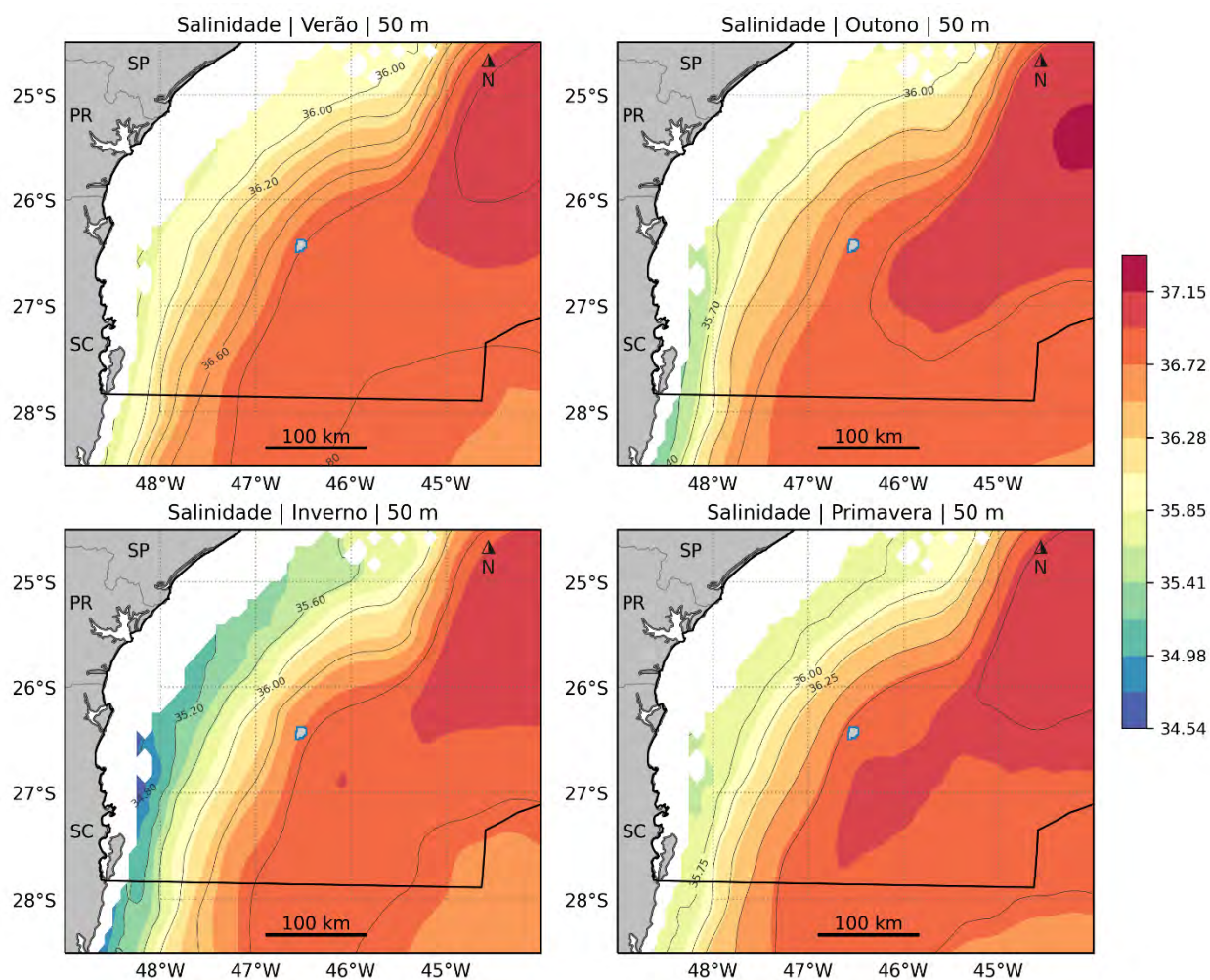


Figura 94: Seção horizontal de salinidade na Bacia de Santos em 50 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Fonte de dados: Mercator (2012 a 2019).

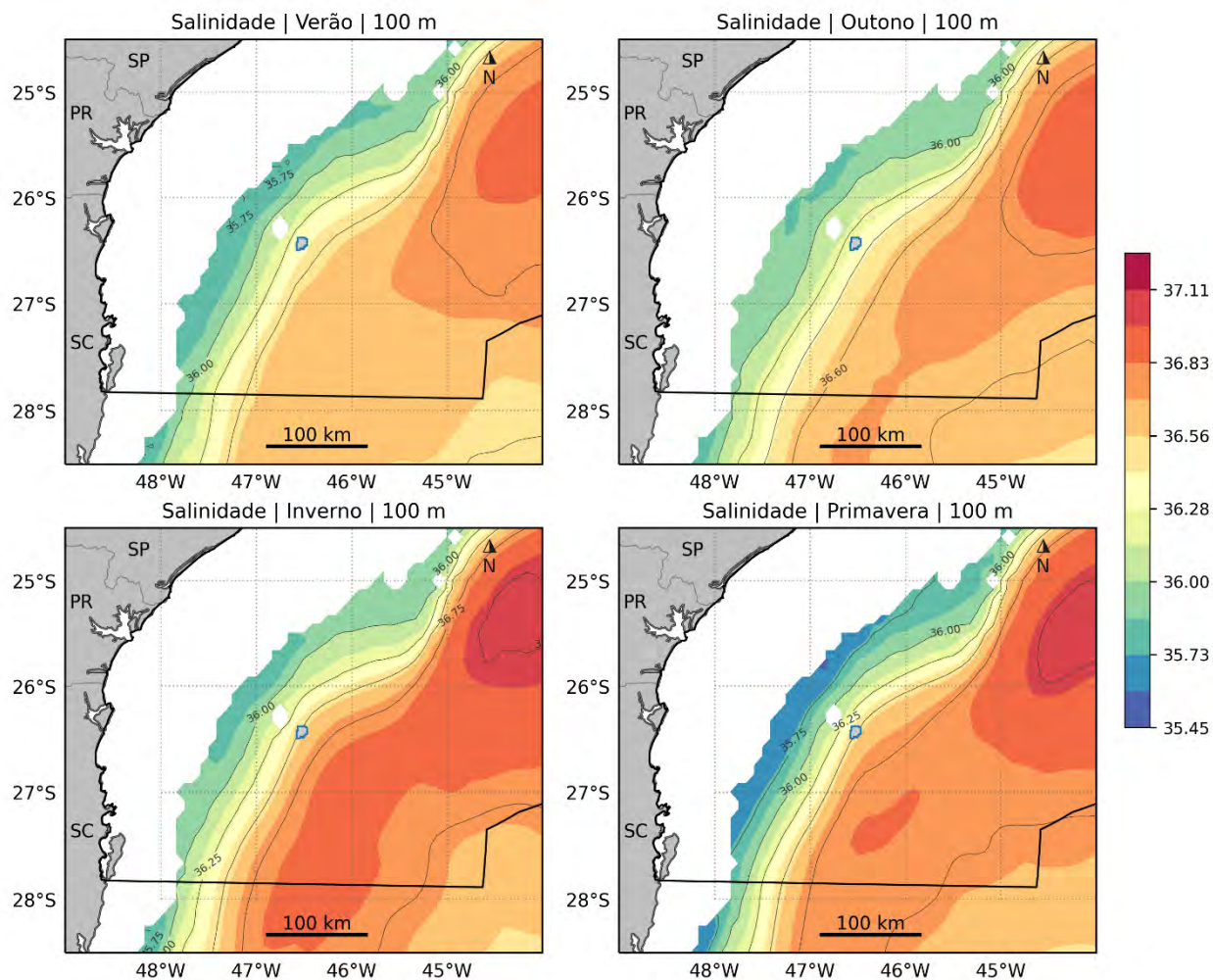


Figura 95: Seção horizontal de salinidade na Bacia de Santos em 100 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Fonte de dados: Mercator (2012 a 2019).



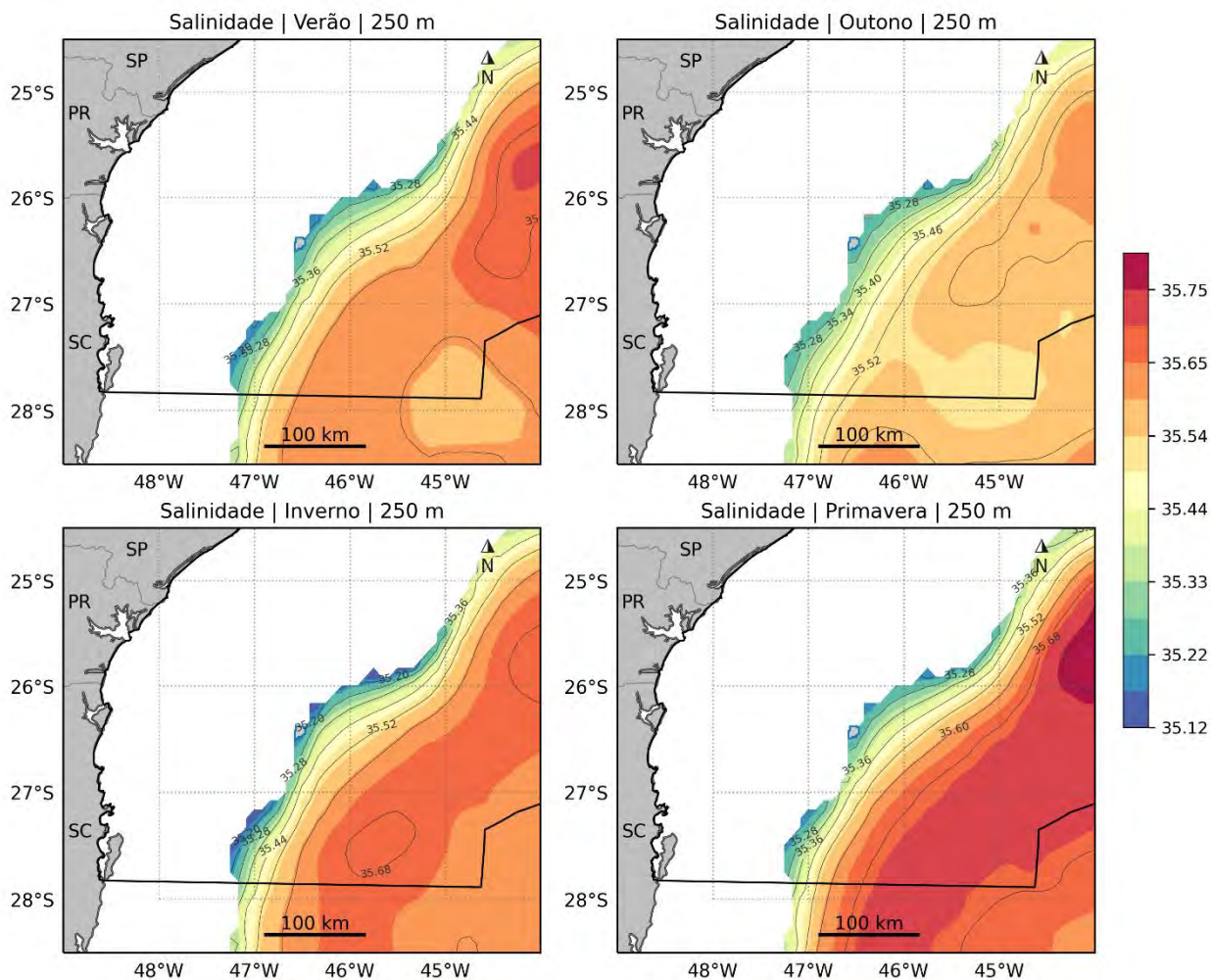


Figura 96: Seção horizontal de salinidade na Bacia de Santos em 250 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Fonte de dados: Mercator (2012 a 2019).

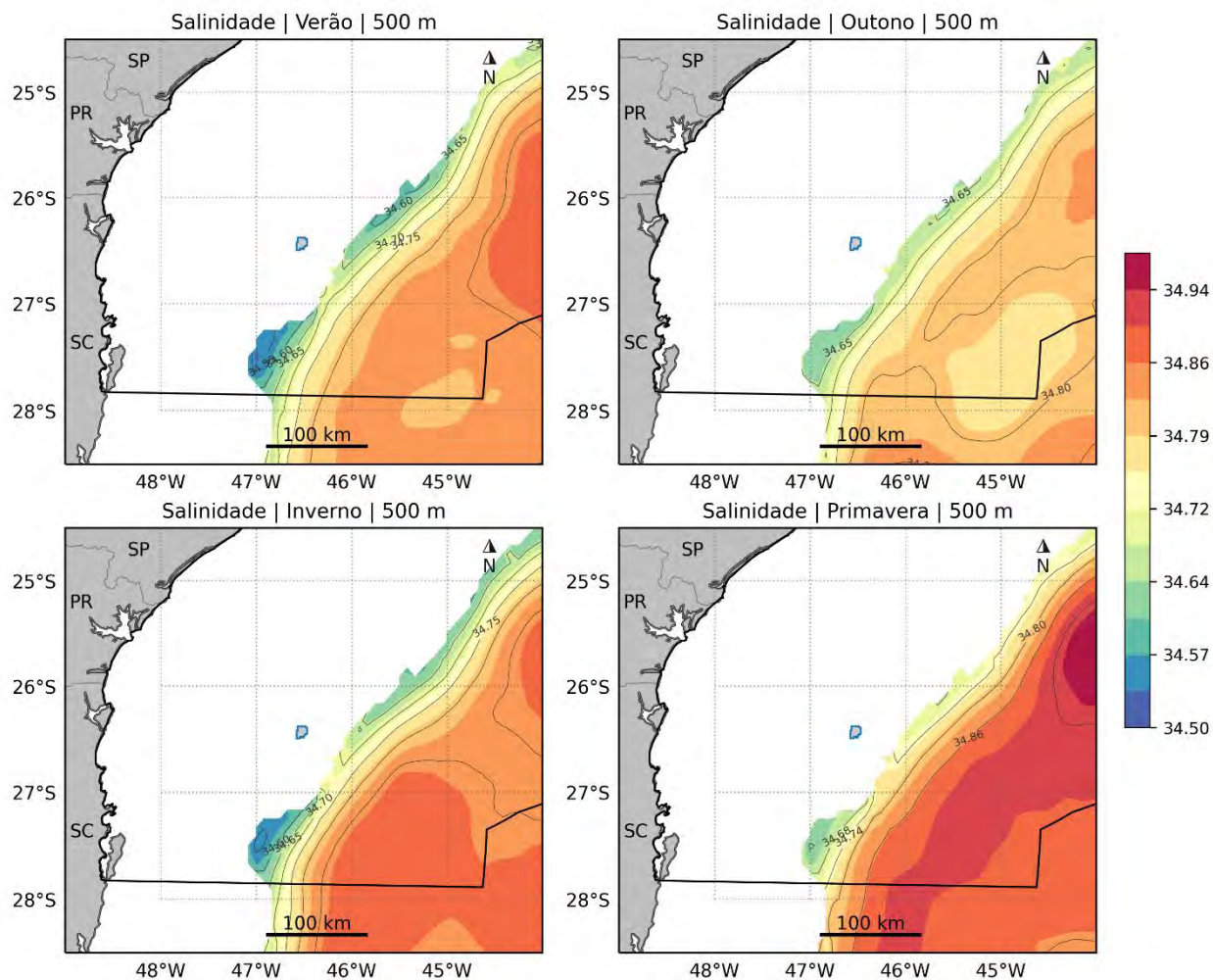


Figura 97: Seção horizontal de salinidade na Bacia de Santos em 500 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Fonte de dados: Mercator (2012 a 2019).



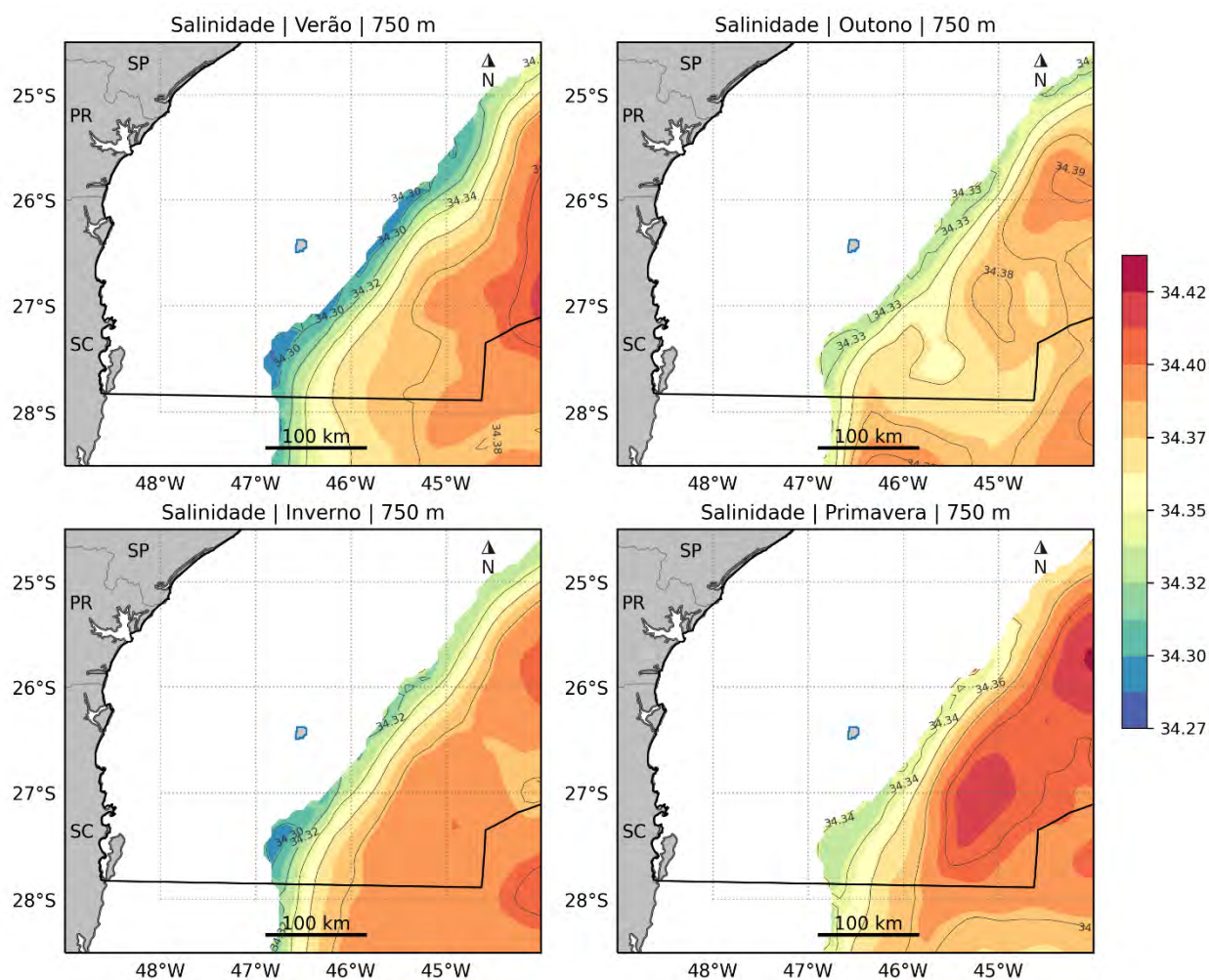


Figura 98: Seção horizontal de salinidade na Bacia de Santos em 750 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Fonte de dados: Mercator (2012 a 2019).

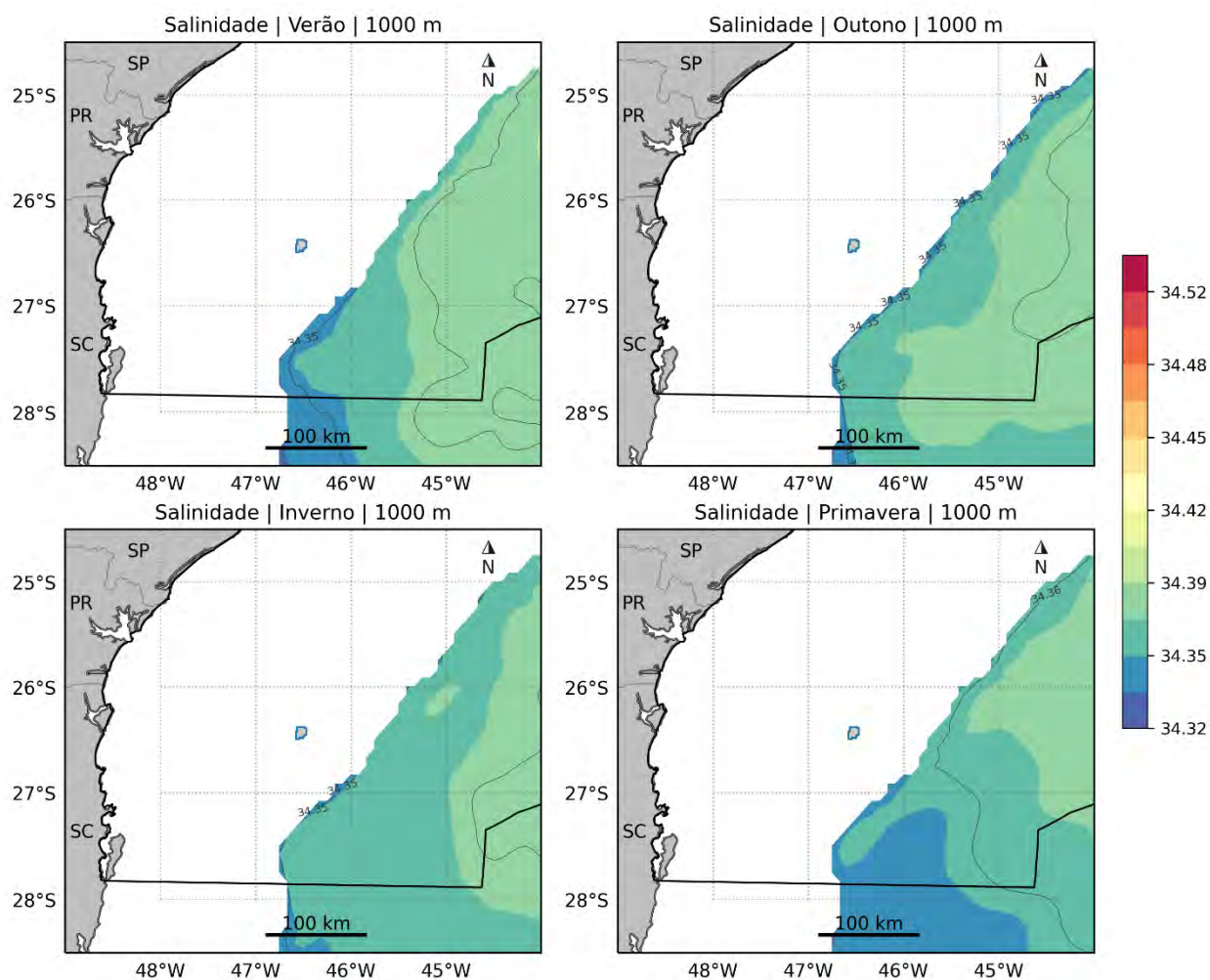


Figura 99: Seção horizontal de salinidade na Bacia de Santos em 1000 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Fonte de dados: Mercator (2012 a 2019).

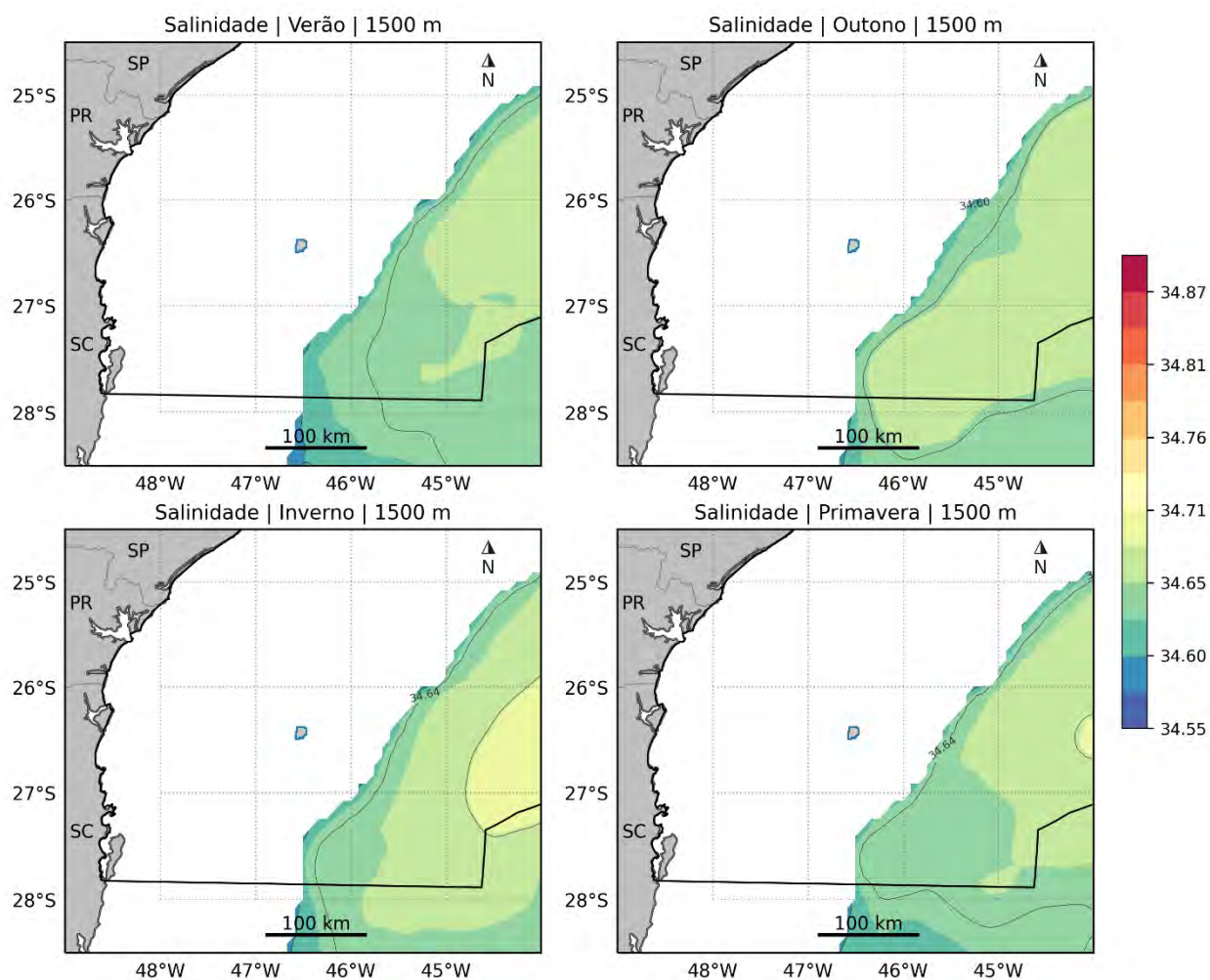


Figura 100: Seção horizontal de salinidade na Bacia de Santos em 1500 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Fonte de dados: Mercator (2012 a 2019).



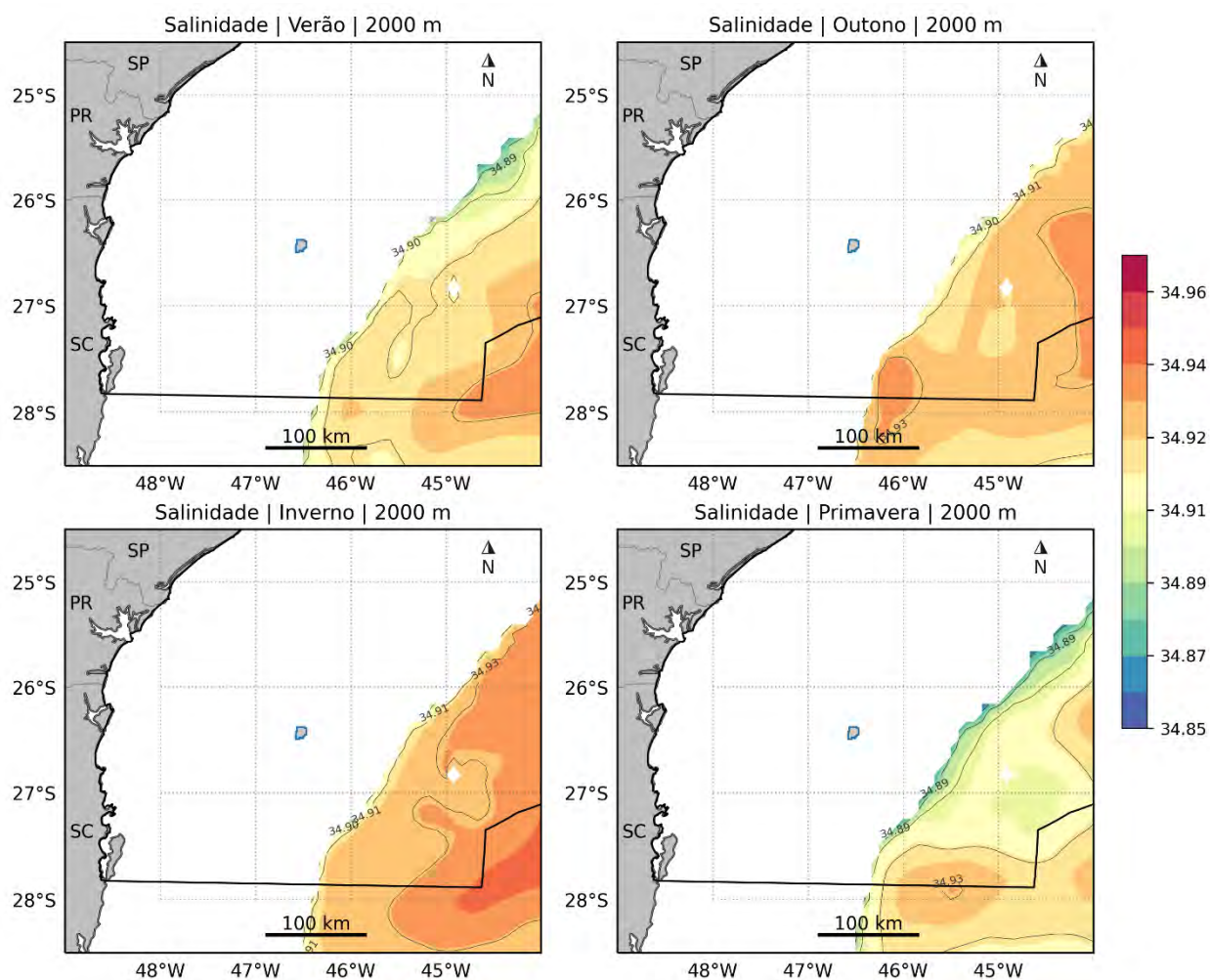


Figura 101: Seção horizontal de salinidade na Bacia de Santos em 2000 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Fonte de dados: Mercator (2012 a 2019).

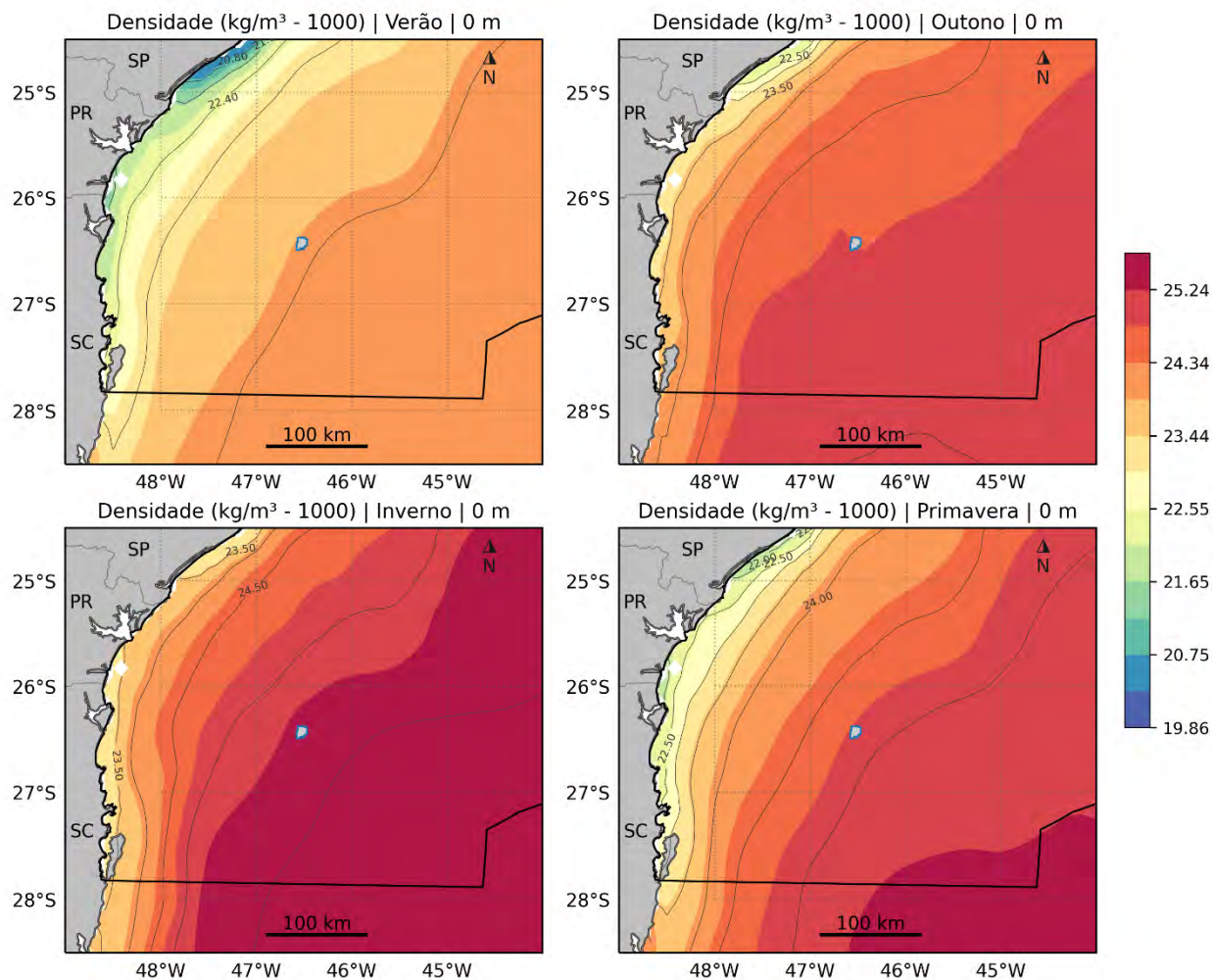


Figura 102: Seção horizontal de densidade na Bacia de Santos em superfície para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Fonte de dados: Mercator (2012 a 2019).



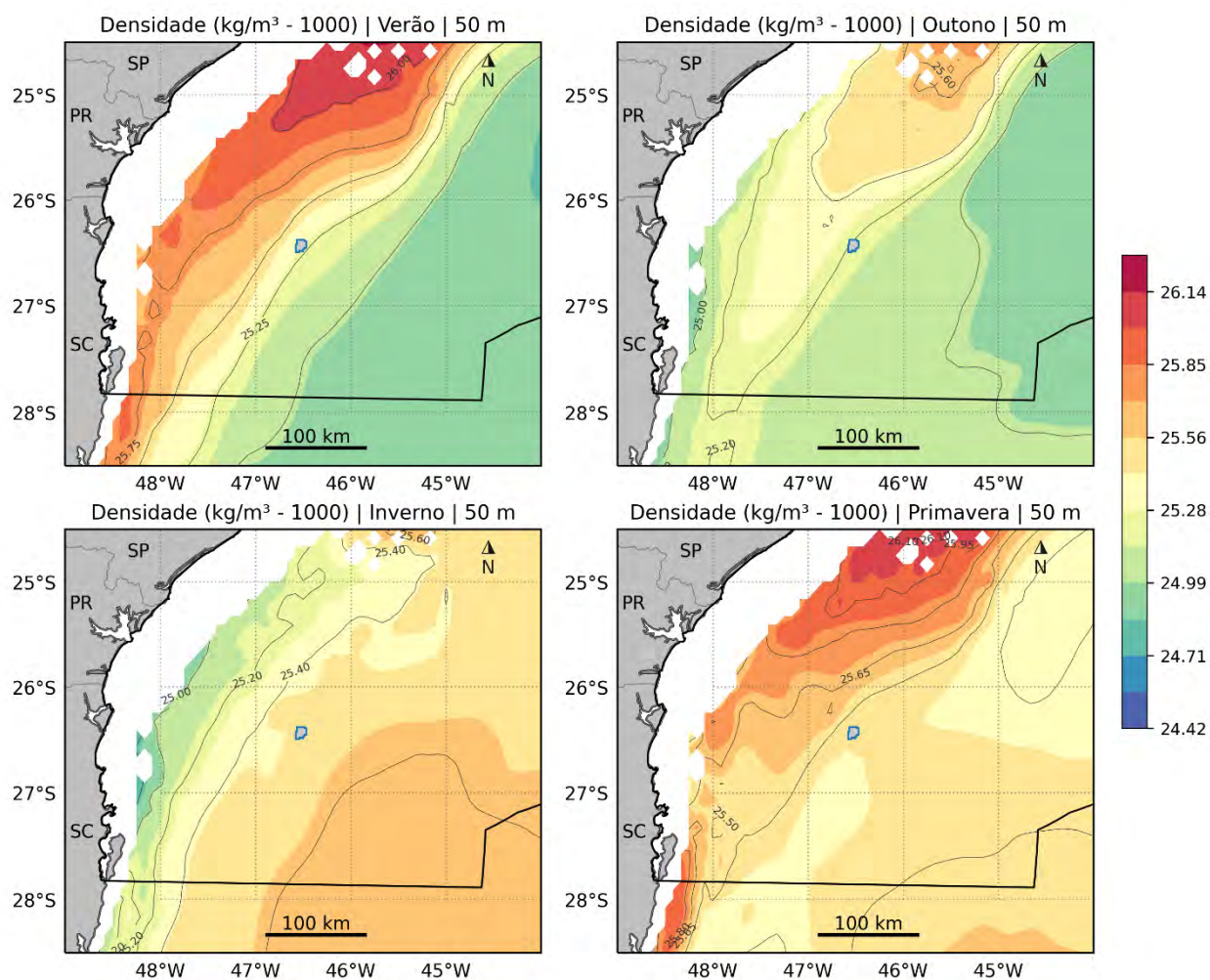


Figura 103: Seção horizontal de densidade na Bacia de Santos em 50 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Fonte de dados: Mercator (2012 a 2019).

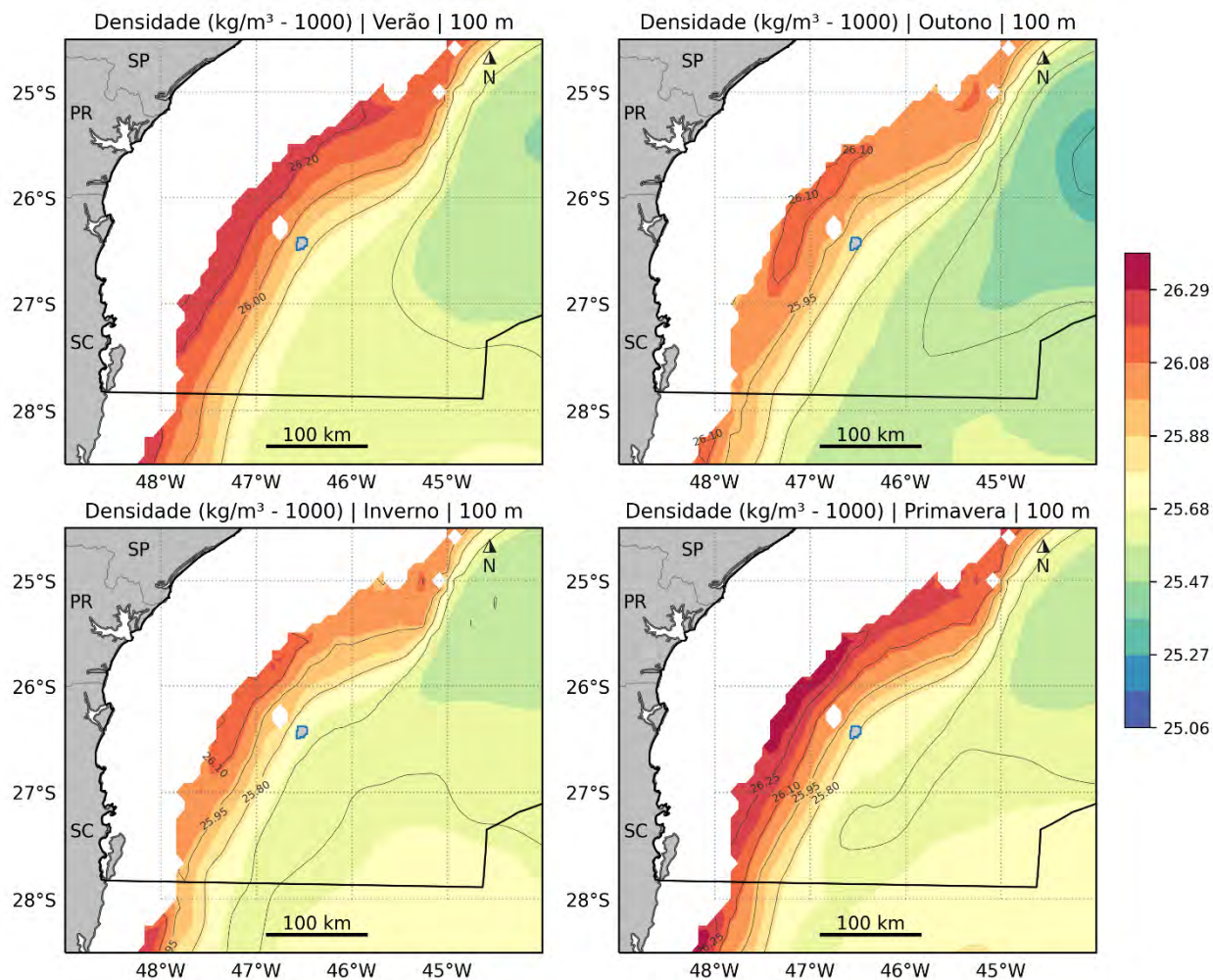


Figura 104: Seção horizontal de densidade na Bacia de Santos em 100 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Fonte de dados: Mercator (2012 a 2019).

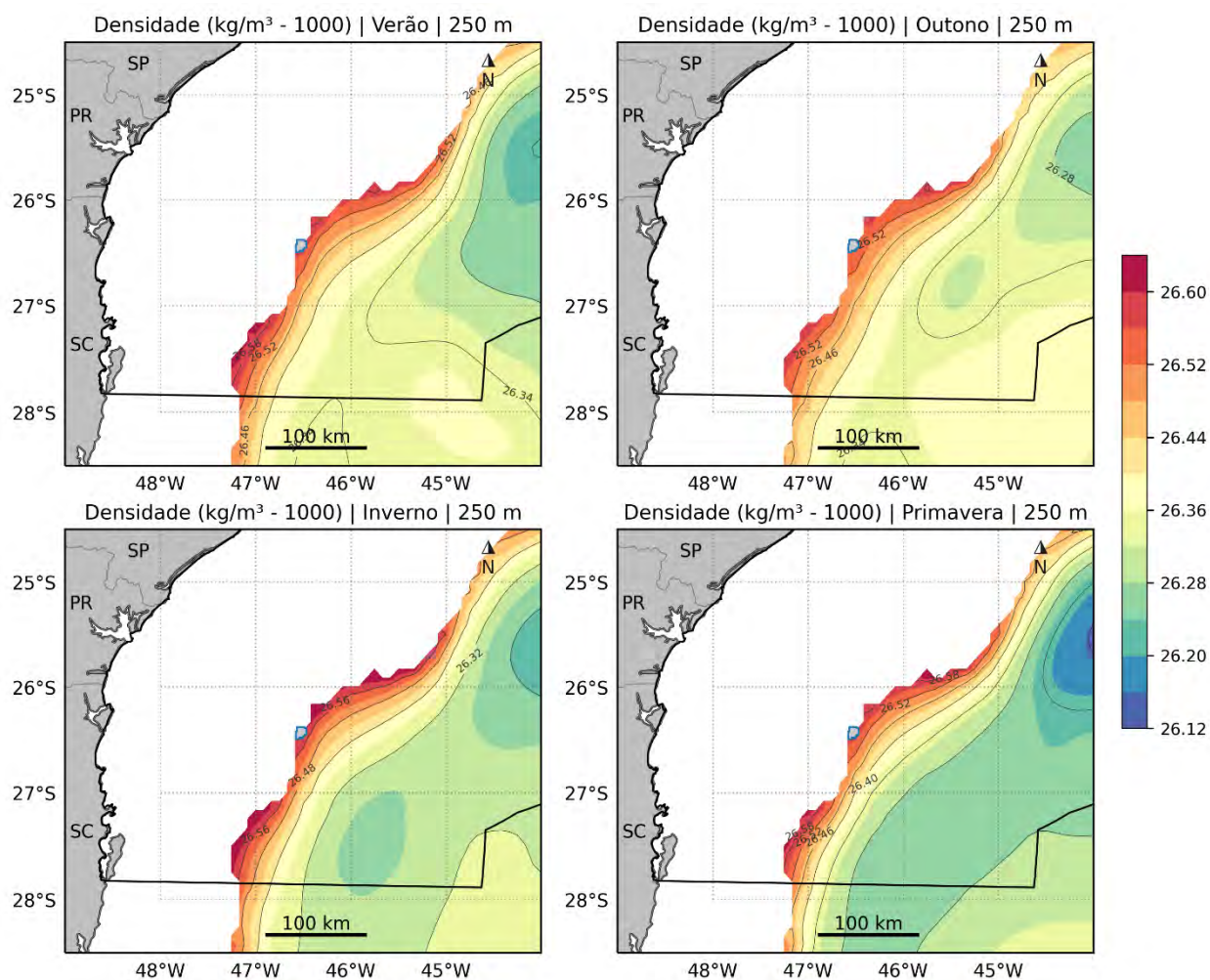


Figura 105: Seção horizontal de densidade na Bacia de Santos em 250 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Fonte de dados: Mercator (2012 a 2019).



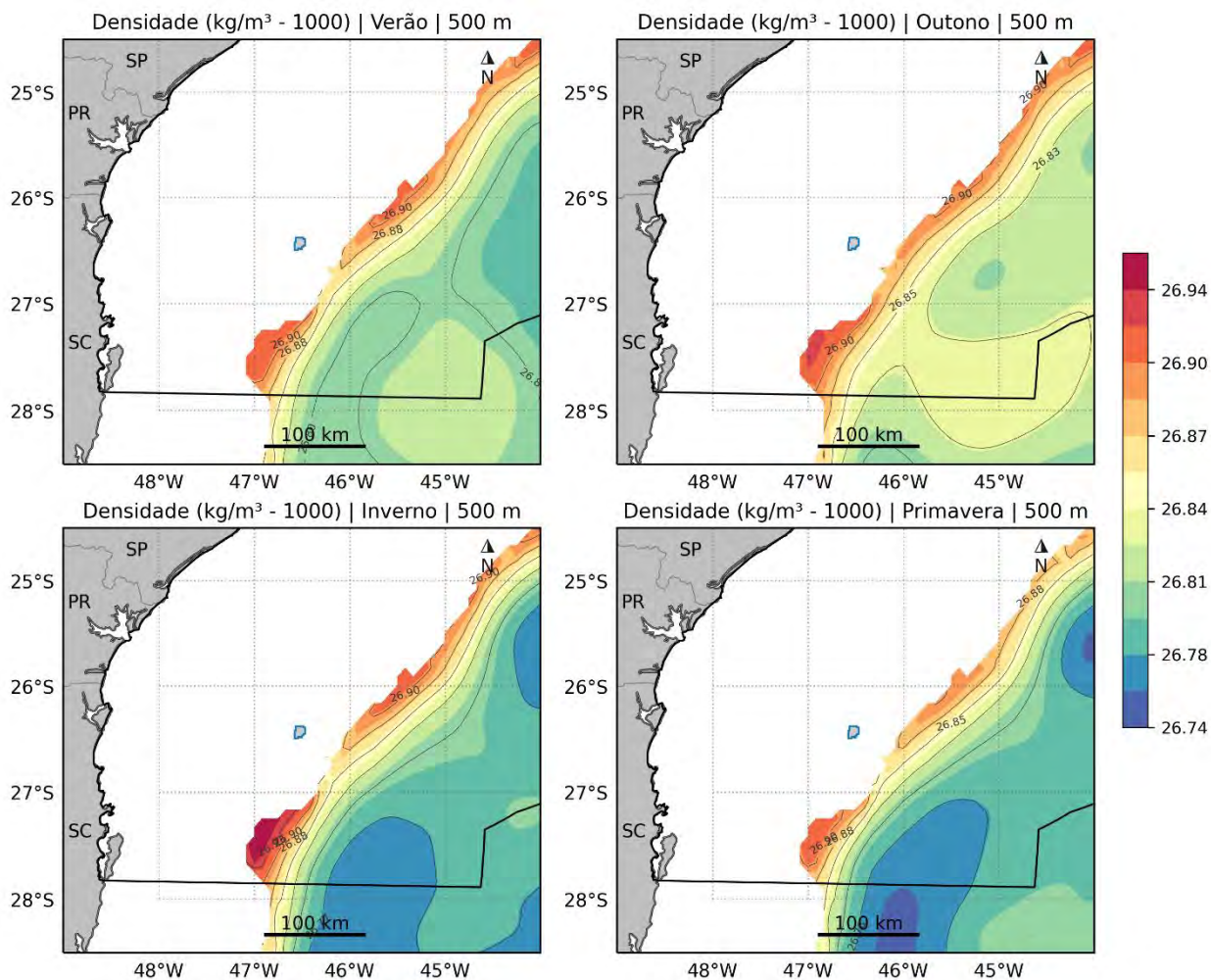


Figura 106: Seção horizontal de densidade na Bacia de Santos em 500 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Fonte de dados: Mercator (2012 a 2019).

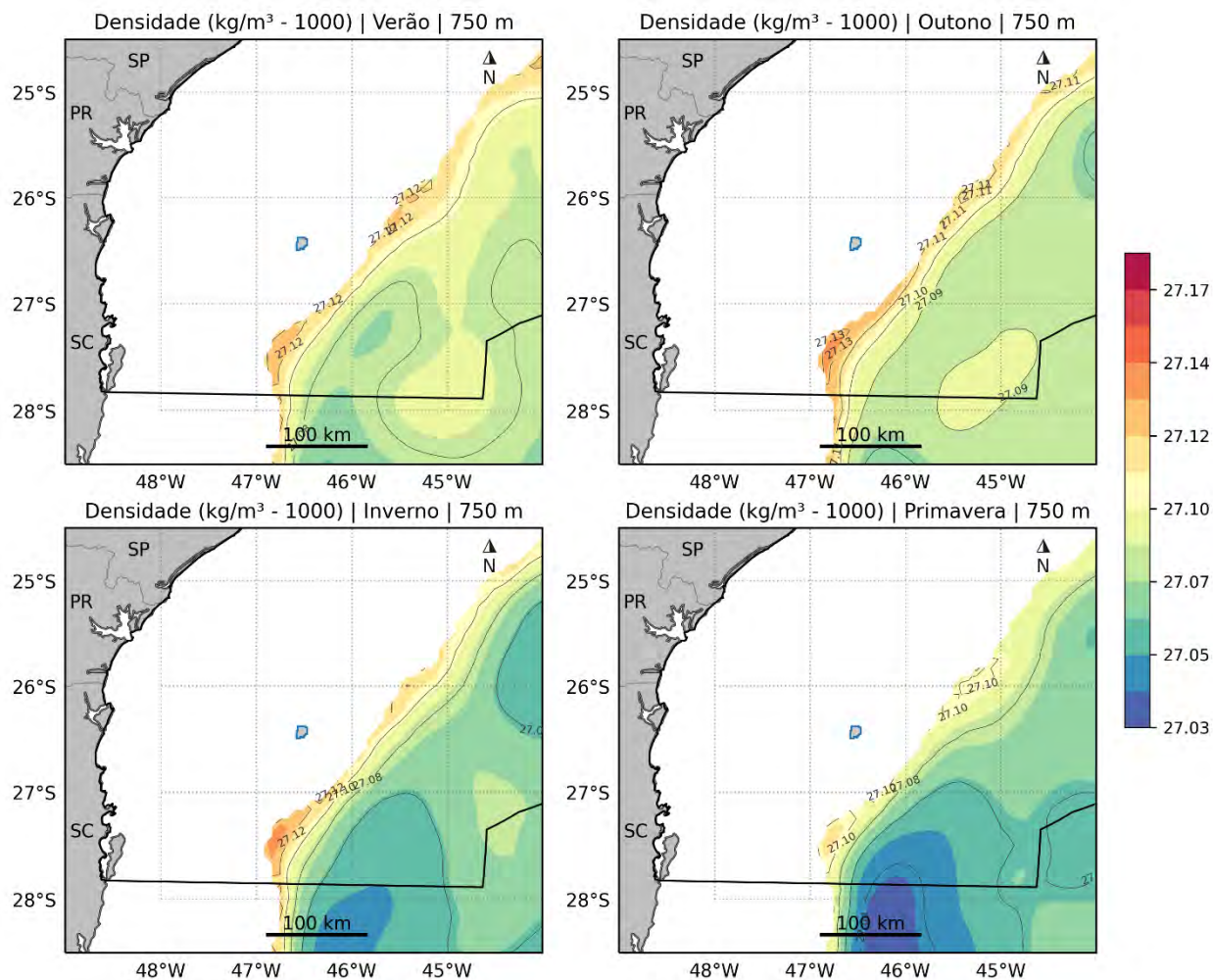


Figura 107: Seção horizontal de densidade na Bacia de Santos em 750 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Fonte de dados: Mercator (2012 a 2019).



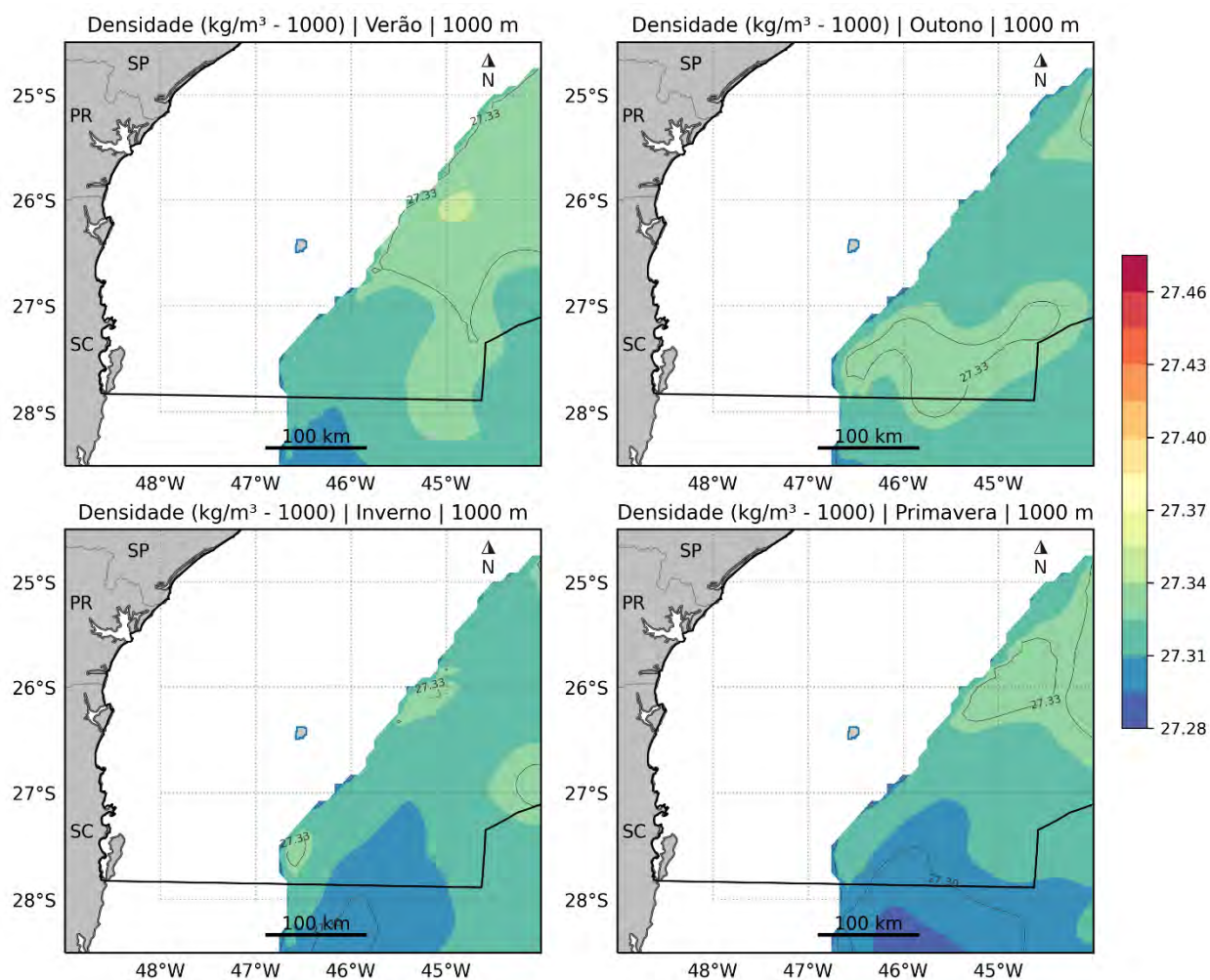


Figura 108: Seção horizontal de densidade na Bacia de Santos em 1000 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Fonte de dados: Mercator (2012 a 2019).

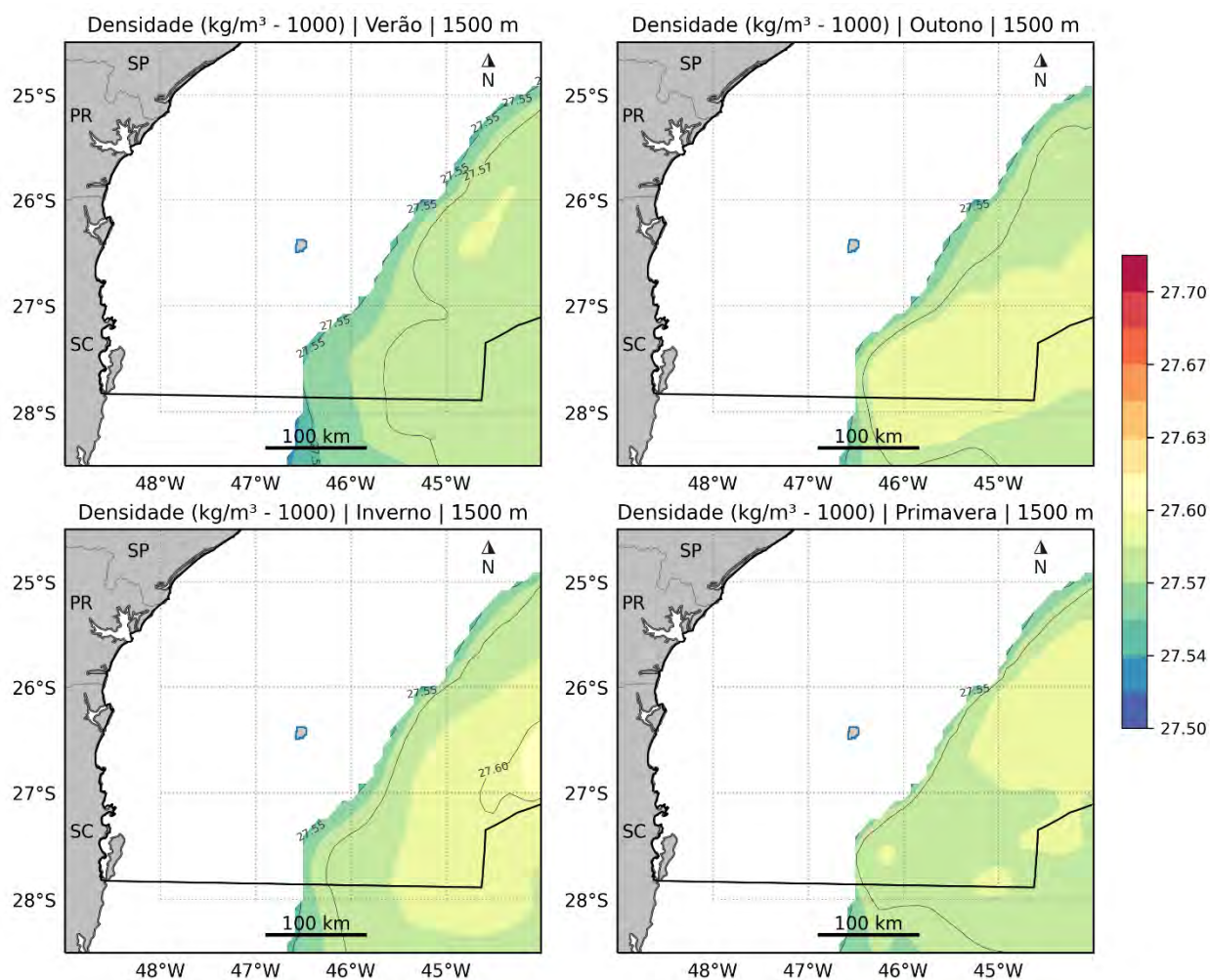


Figura 109: Seção horizontal de densidade na Bacia de Santos em 1500 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Fonte de dados: Mercator (2012 a 2019).

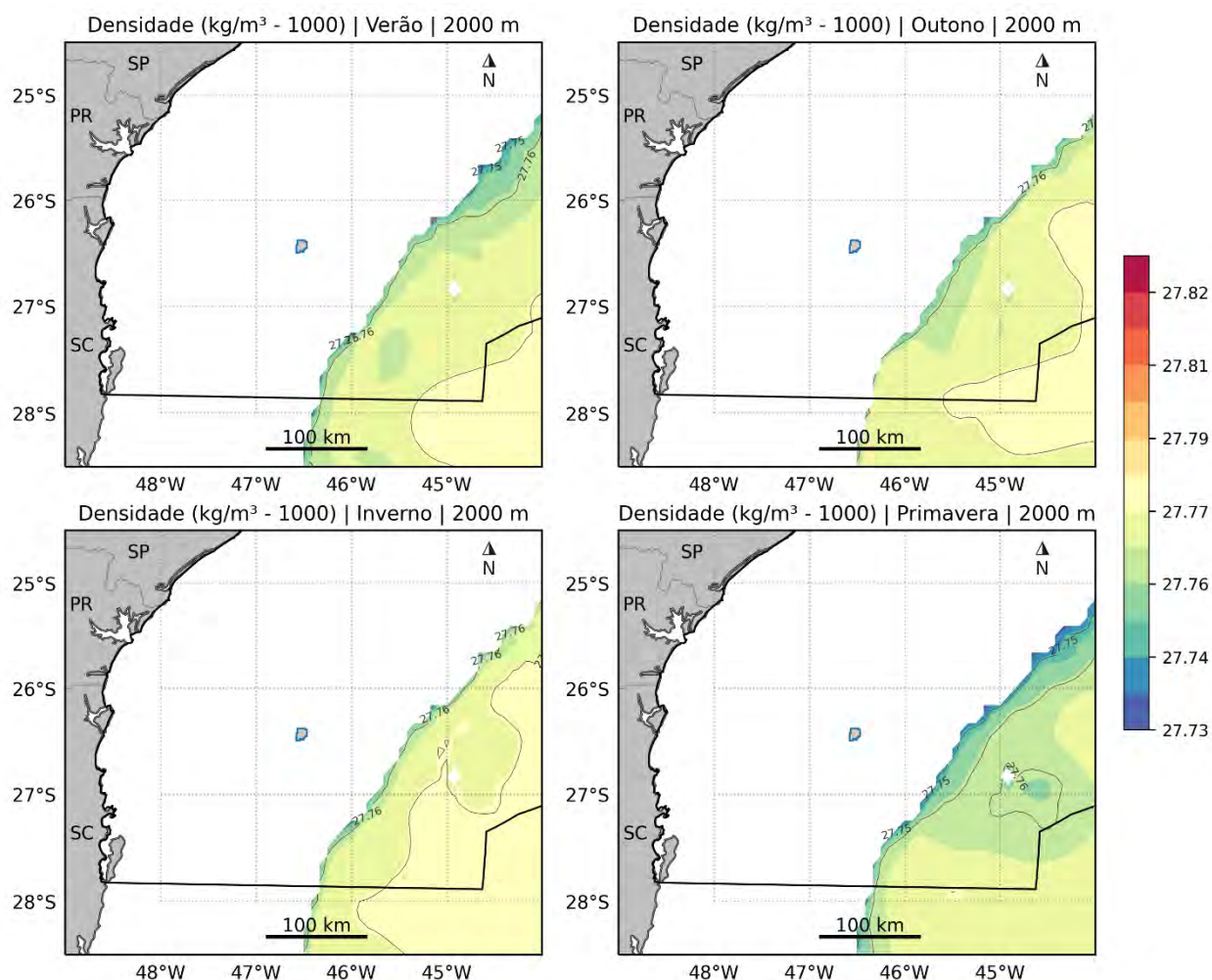


Figura 110: Seção horizontal de densidade na Bacia de Santos em 2000 m de profundidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Fonte de dados: Mercator (2012 a 2019).

A seguir, da Figura 111 a Figura 113 são apresentadas as seções verticais de temperatura, salinidade e densidade potencial obtidas do WOA13 para os períodos de verão, outono, inverno e primavera, para uma radial na latitude de  $\sim 26,5^{\circ}\text{S}$ .

Em superfície, encontra-se uma região de alta temperatura e salinidade, associada à Água Tropical (AT). Da superfície até o assoalho marinho, a temperatura varia de  $26,1^{\circ}\text{C}$  a  $2,8^{\circ}\text{C}$  e a salinidade 36,83 a 34,32. Entre as profundidades de 800 e 1200 metros, nota-se um núcleo de água menos salina, indicando a presença da massa d'água AIA.

A estratificação da coluna d'água nos primeiros 50 metros é mais intensa durante o verão e outono, entretanto, não são observadas variações sazonais expressivas.

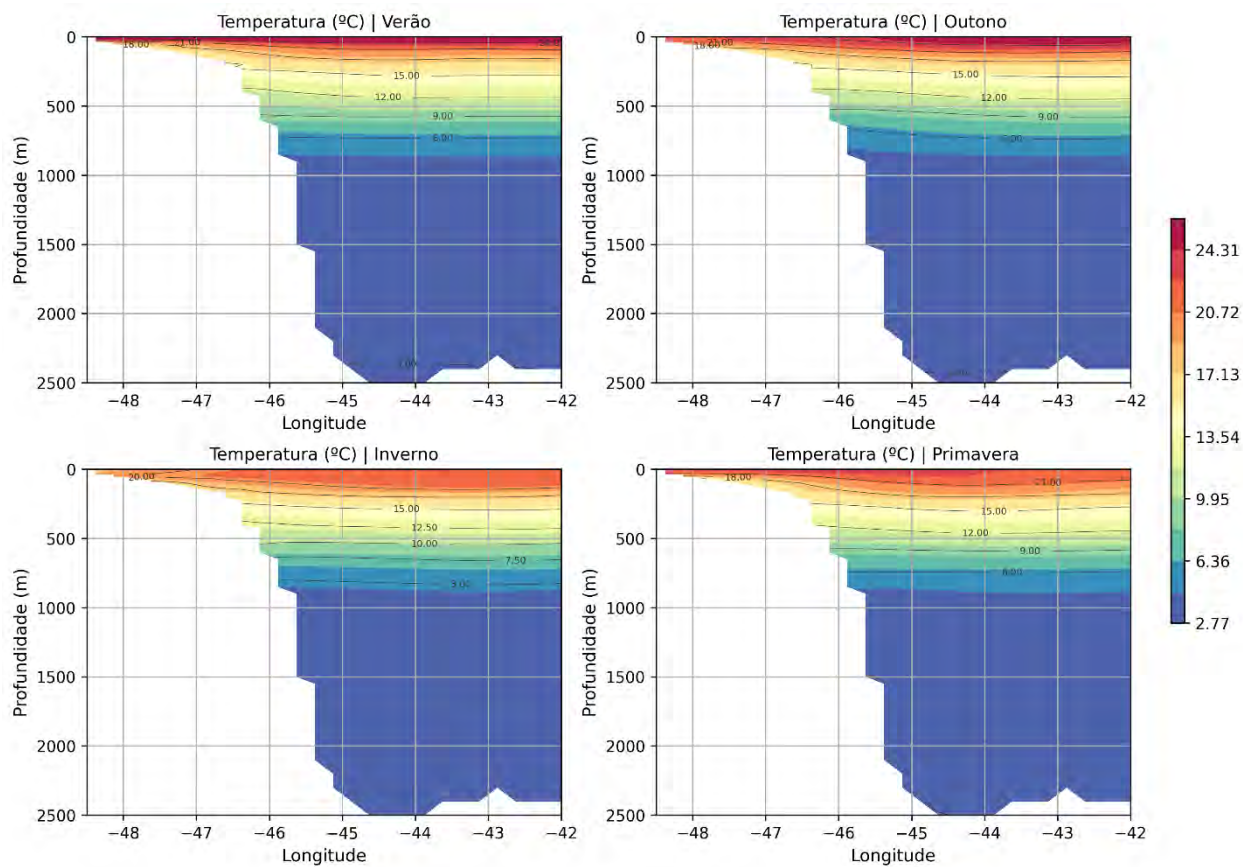


Figura 111: Seção verticais de temperatura na Bacia de Santos para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Latitude: 26,5°S. Fonte dos dados: WOA (1773-2013).



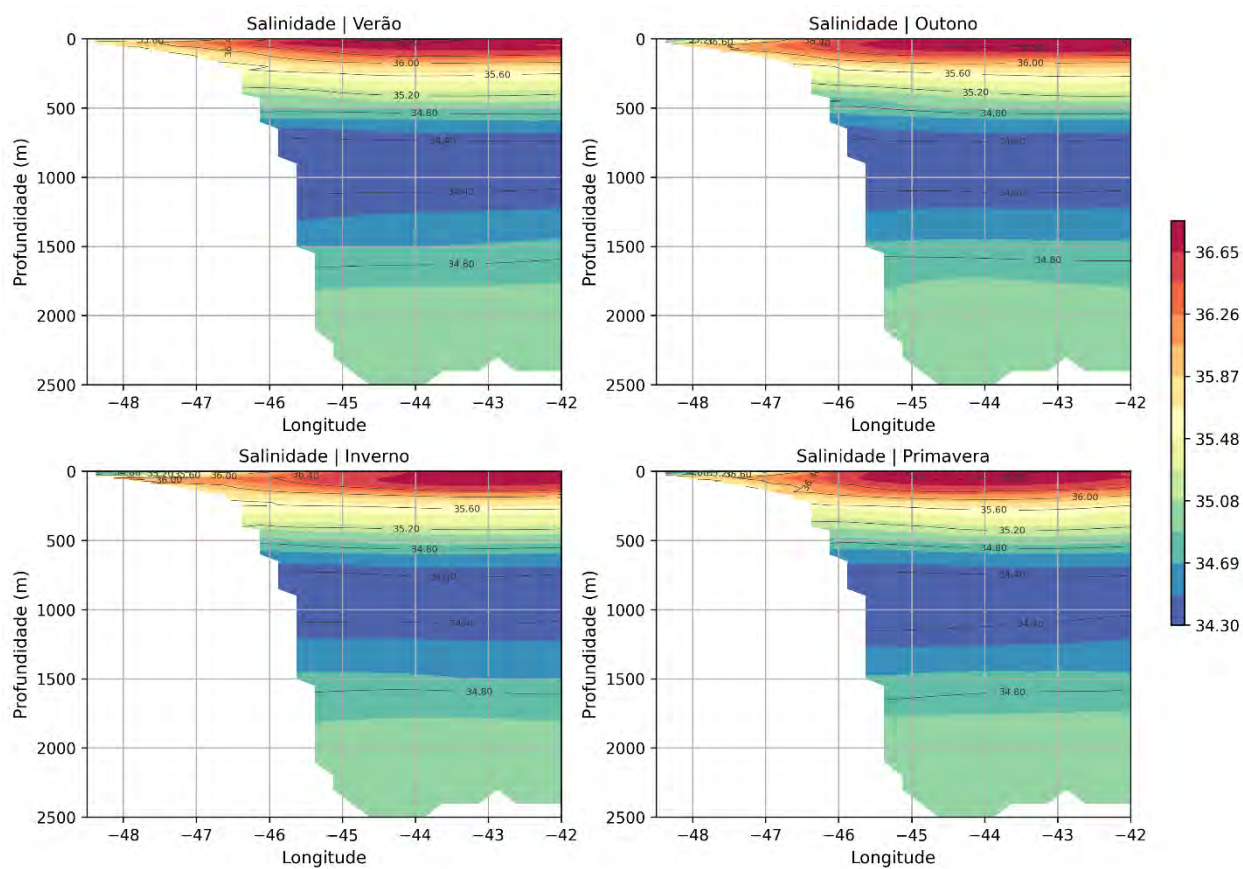


Figura 112: Seção verticais de salinidade na Bacia de Santos para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Latitude: 26,5°S. Fonte dos dados: WOA (1773-2013).

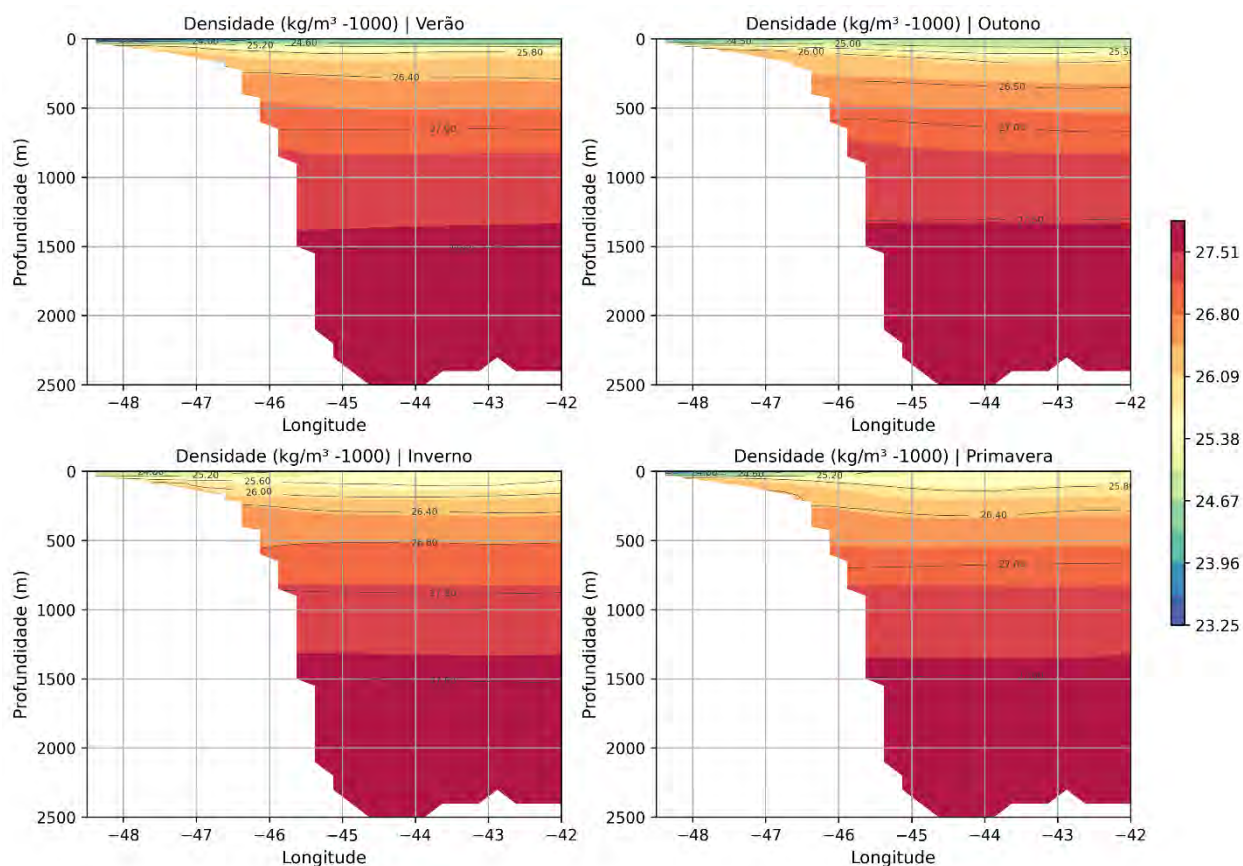


Figura 113: Seção verticais de densidade na Bacia de Santos para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Latitude: 26,5°S. Fonte dos dados: WOA (1773-2013).

Para o estudo da variabilidade sazonal da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) foram utilizados dados de satélite 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 (~1km), 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>).

A grande vantagem da utilização do sensoriamento remoto para a obtenção de dados de temperatura é que devido à elevada sensibilidade dos sensores que estão em operação, pequenas variações em áreas extensas podem ser capturadas, principalmente quando comparados a resultados obtidos a bordo de navios (SOUZA *et. al.*, 2005).

Os mapas de TSM (Figura 114) apresentam resultados similares aos demais mapas de temperatura apresentados em superfície, ou seja, maiores valores no verão e menores no inverno. Conforme mencionado anteriormente, a região do Campo de Baúna está situada próximo da borda da Corrente do Brasil, sendo esse sinal também verificado na TSM, com o campo sempre próximo de uma transição para as áreas de maior temperatura.

No período de inverno, fica evidente o sinal da subida das correntes de plataforma em direção ao norte, com águas mais frias, vindas do sul, presentes na plataforma continental.

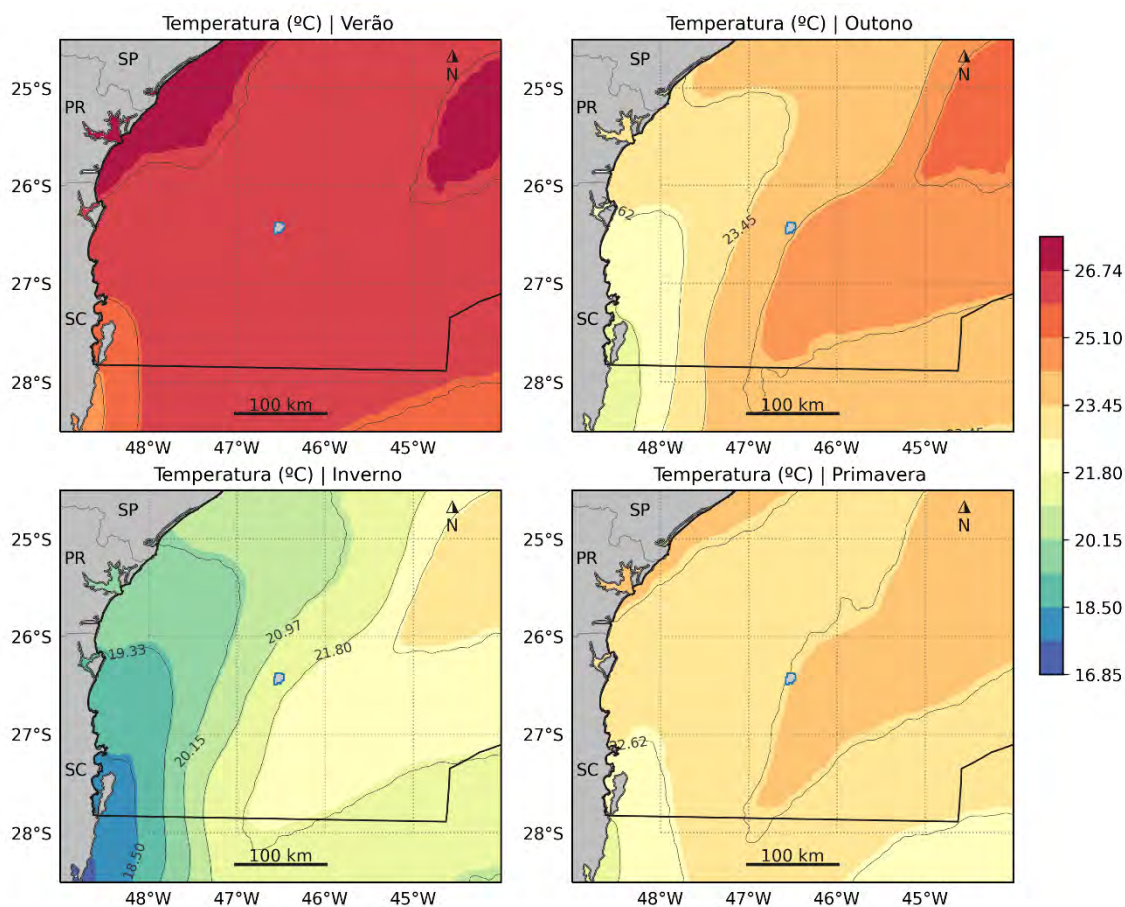


Figura 114: Temperatura da superfície do mar na Bacia de Santos para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Fonte: JPL-MUR (2005 a 2020).

A série temporal extraída para o ponto 46,5°W/-26,5°S demonstram pouca variabilidade interanual, fortemente modulada pelo sinal sazonal (Figura 115). Na Figura 116 são apresentados os valores mínimos, médios e máximos mensais da TSM no bloco BM-S-40. Nota-se uma clara sazonalidade, com maiores valores no período do verão e outono, e menores no inverno e primavera. Para o ponto analisado, não é possível observar tendência de aumento ou diminuição da temperatura da superfície do mar no período analisado.

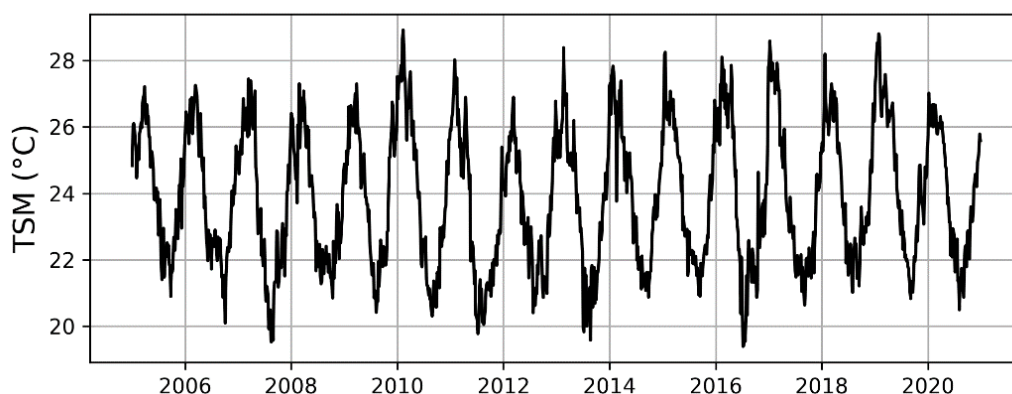


Figura 115: Série temporal de TSM. Fonte: JPL-MUR (2005 a 2020).

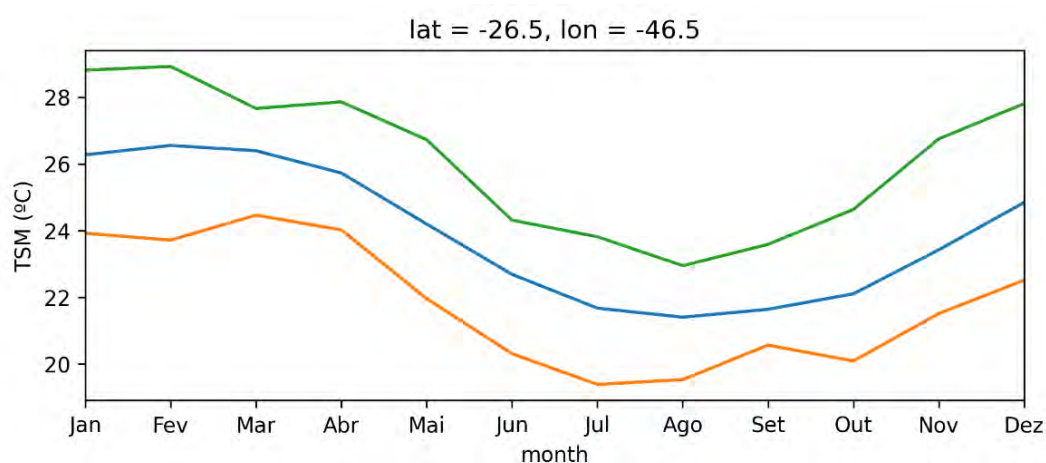


Figura 116: Valores médios (linha azul), máximos (linha verde) e mínimos (linha laranja) da TSM no Bloco BM-S-40. Fonte: JPL-MUR (2005 a 2020).

### 3.2.2 Massas d'água

As massas d'água são corpos de água com história comum de formação, definidos por suas características de temperatura e salinidade, que, por sua vez, definem sua densidade. Esta última determina a posição que estes corpos irão ocupar na coluna d'água (MIRANDA, 1991).

Segundo Castro & Miranda (1998), espera-se encontrar as seguintes massas d'água na região da Bacia de Santos:

- Água Tropical (AT) – formada pela mistura de camadas mais superficiais do oceano, apresenta temperaturas maiores que 18°C e salinidades maiores que 36. A AT faz parte do padrão de



circulação de superfície do Giro Subtropical do Atlântico Sul, encontrando-se na porção superior da CB;

- Água de Mistura (AM) – apresenta salinidade variando entre 34 e 36, e temperatura acima de 18°C. Massa d'água proveniente da mistura entre AT e AC;
- Água Central do Atlântico Sul (ACAS) – apresenta uma temperatura mínima de 6°C e máxima de 18°C, a salinidade oscila entre 34,5 e 36. Massa d'água situada em camada entre a Água Tropical (AT) e a Água Intermediária Antártica (AIA), é formada na Convergência Subtropical. A ACAS entra como parte do Giro Subtropical, circula com as Correntes do Atlântico Sul e Benguela, e atinge a costa da América do Sul, ao largo do sudeste brasileiro, transportada pela Corrente Sul Equatorial (SILVEIRA, 2007).
- Água Intermediária Antártica (AIA) – apresenta valores de temperatura entre 2,75°C e 5°C e salinidade entre 34,1 e 34,5. É proveniente da Convergência Antártica direcionando-se ao Atlântico Norte. Apresenta um mínimo de salinidade entre 700 e 1.100 m de profundidade. A maior parte da AIA flui para leste na Confluência Brasil-Malvinas (~38°S) como parte da circulação intermediária associada ao Giro Subtropical. Esta água fluiria anticlonicamente, e parte se uniria novamente ao contorno oeste, ao sul de Cabo Frio (SILVEIRA, 2007).
- Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) – A APAN é caracterizada por temperaturas entre 3,31°C - 2,04°C e salinidades entre 34,59 – 34,87, ocupando níveis entre 1.300 m e 3.600 m, ao largo do sudeste brasileiro. Formada no Mar do Labrador, é a água que caracteriza o máximo secundário local de salinidade. A APAN se apresenta transportada em um escoamento organizado que flui para o sul ao longo do contorno oeste até cerca de 32°S (SILVEIRA, 2007).

Na Figura 117 são apresentados mapas do Oceano Atlântico mostrando em quais profundidades (Figura 117-a) são encontrados os valores mínimos de salinidade (Figura 117-b) que indicam a presença da Água Intermediária Antártica. Na Figura 118 é apresentada uma seção vertical de salidade variando com a latitude e a profundidade. Esta seção é indicada por um traço contínuo na Figura 117-a.

É possível notar, para a latitude da região de estudo, a presença da AIA e da APAN, além das águas mais superficiais com maiores valores de salinidade, como a AT.

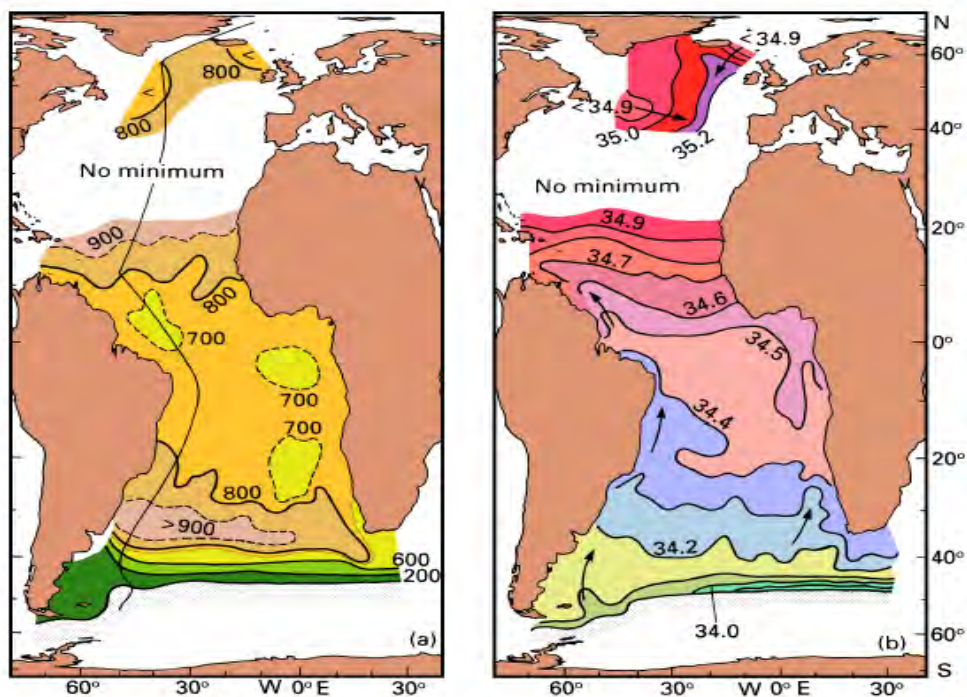


Figura 117: Mapa dos valores mínimos de salinidade provocados pela Água Intermediária Antártica (a) na profundidade mínima (os tons de verde representam áreas onde o mínimo de salinidade é encontrado em áreas mais rasas, e em bege, áreas mais profundas); (b) salinidade na profundidade da mínima (a escala de cores apresenta valores crescentes do verde para o vermelho). Fonte: Tomczak & Godfrey, 1994.

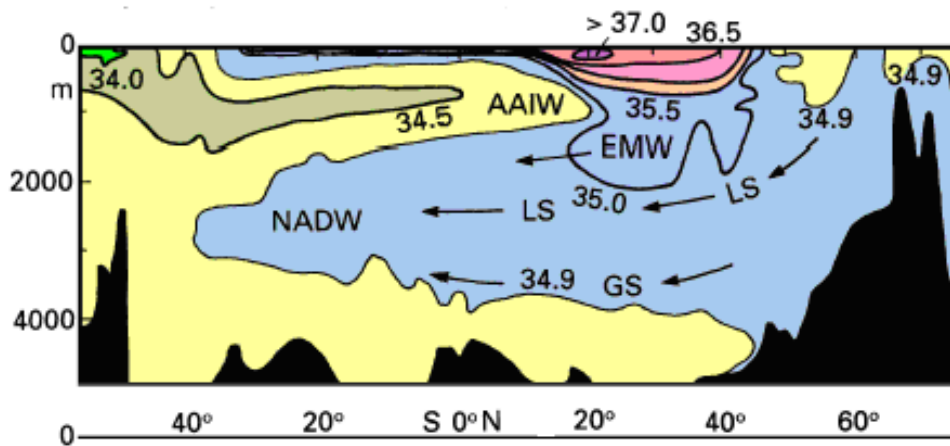


Figura 118: Seção vertical de salinidade através da bacia oeste do Oceano Atlântico. AIA – Água Intermediária Antártica (AAIW), APAN – Água Profunda do Atlântico Norte (NADW), Mar do Labrador (LS), Mar da Groelândia (GS), AME – Água Mediterrânea Eurafricana (EMW). Fonte: Tomczak & Godfrey, 1994.

A avaliação das massas d'água presentes na região de interesse é feita a partir da análise de dados primários disponíveis no bando de dados WOD13 e dados secundários, disponíveis no banco de dados WOA13, ambos do NODC.

A partir dos dados primários, coletados entre os anos de 1886 e 2014 e disponíveis no banco de dados WOD13, foi realizada uma análise das massas d'água presentes no bloco BM-S-40 e no seu entorno, a partir da confecção de um diagrama TS.

A base de dados conhecida como WOD13 (*World Ocean Database 2013*) corresponde aos dados históricos armazenados no NODC, coletados por diversas campanhas e equipamentos por todo o globo. Uma descrição completa sobre esta base de dados pode ser encontrada em Johnson *et. al.* (2013). A Figura 119 indica a localização dos dados do WOD13 utilizados.

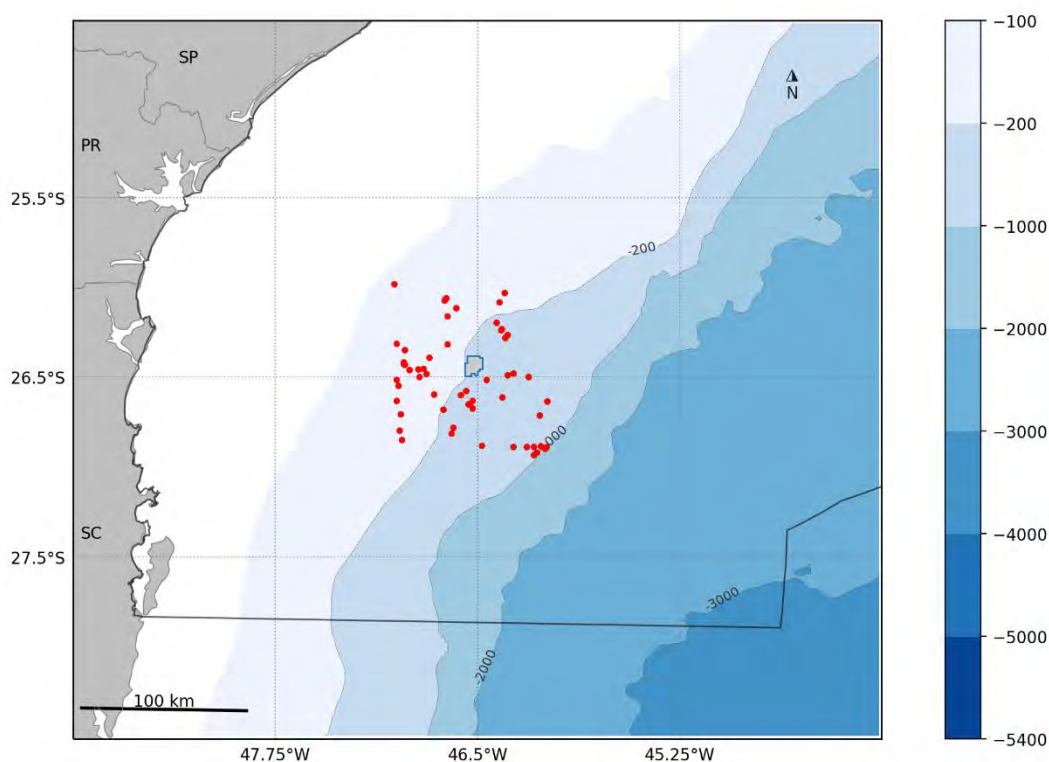


Figura 119: Localização dos dados do WOD utilizados para caracterização das massas d'água na Bacia de Santos. Período de dados: 1931 – 2014. Fonte dos dados: WOD13.

Na Figura 120 é apresentado o diagrama TS espalhado elaborado com os dados do NODC, para a área selecionada. O diagrama TS encontra-se plotado sobre um gabarito de massas d'água elaborado com dados para a região sudeste brasileira (SILVA *et. al.*, 1982) e as cores são referentes às profundidades dos dados. A Tabela 22 apresenta os índices termohalinos utilizados na elaboração do diagrama TS. Os dados obtidos foram tratados e observações com valores inferiores ou superiores a três vezes o desvio padrão para cada profundidade foram descartadas.

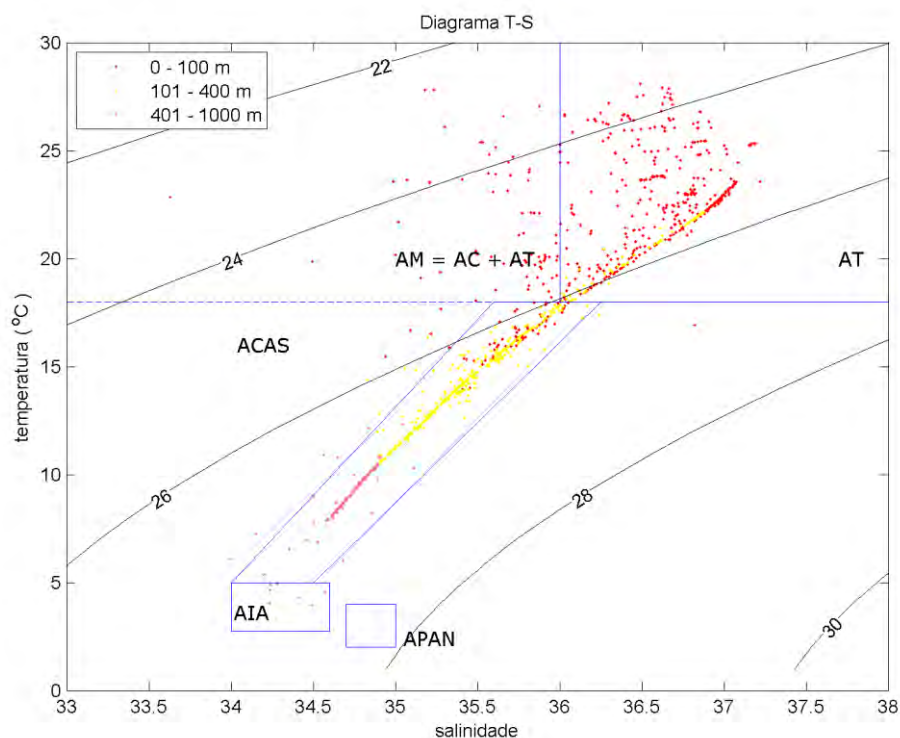


Figura 120: Diagrama TS espalhado para a área selecionada, elaborado com os dados do NODC. A linha em azul representa o gabarito elaborado por Silva *et. al.* (1982). Período de dados: 1931 – 2014. Fonte dos dados: WOD13.

Tabela 22: Índices termohalinos utilizados no Diagrama TS. Fonte: Silva *et. al.* (1982).

| Massas d'água | Temperatura [°C] | Salinidade [PSU] |
|---------------|------------------|------------------|
| AT            | >18,00           | > 36,00          |
| AM            | >18,00           | 32,50 - 36,00    |
| ACAS          | 5,00 - 18,00     | 34,00 – 36,25    |
| AIA           | 2,75 - 5,00      | 34,00 – 34,60    |
| APAN          | 2,00 – 4,00      | 34,70 – 35,00    |

A Figura 121 apresenta o diagrama TS espalhado resultante das amostragens de CTD realizadas em 9 estações distribuídas no campo de Baúna no PCA (2021), utilizando o gabarito proposto por Silva *et. al.* (1982).



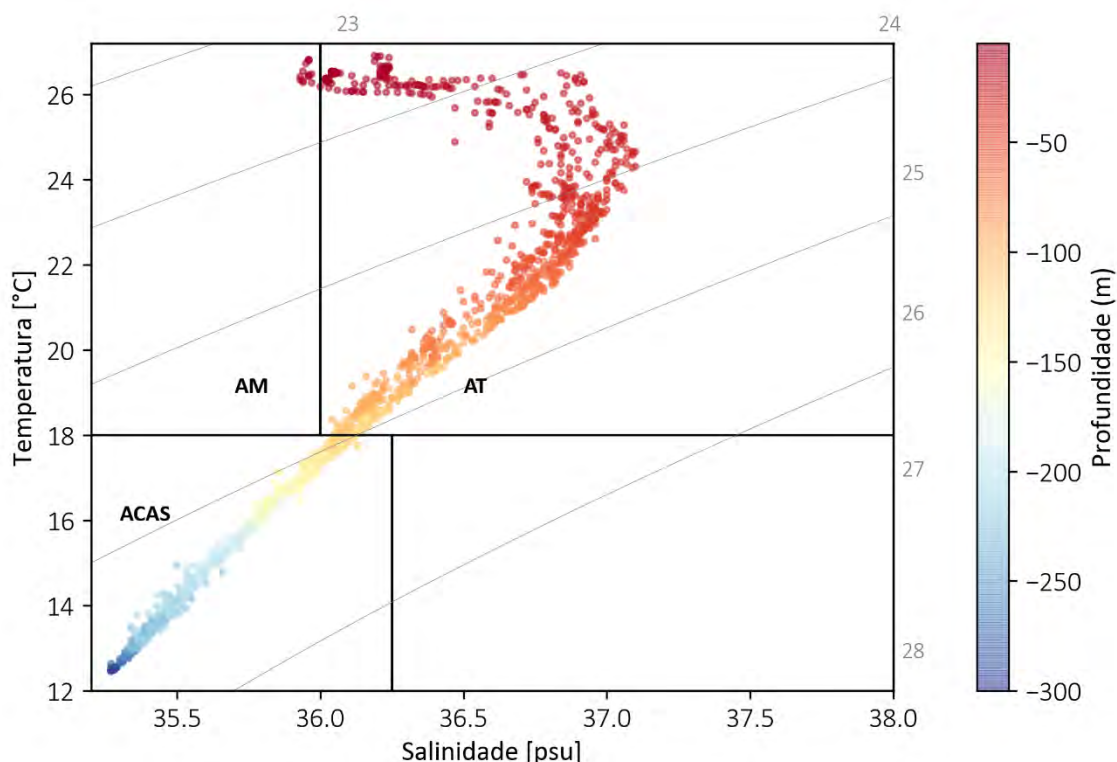


Figura 121: Diagrama TS espalhado das 9 estações amostradas no Bloco BM-S-40 segundo o gabarito proposto por Silva *et. al.* (1982). Fonte: PCA/BM-S-40 (2021).

Nos dois diagramas nota-se a presença das seguintes massas d'água: Água Tropical (AT); Água de Mistura (AM) e a Água Central do Atlântico Sul (ACAS). Devido a profundidade local na área do Campo de Baúna, não é esperada a presença da Água Intermediária Antártica (AIA), entretanto a área coberta pelos dados do WOD13 extrapola a área do Campo, e esta massa d'água pode ser observada em regiões de maiores profundidades. Por este motivo, a AIA está presente no diagrama da Figura 120 e não está no diagrama da Figura 121. Entre as massas d'água mais representativas estão a AT, podendo variar da superfície e 400 m (raramente), e a ACAS na faixa da piconclina, que varia de profundidade conforme a faixa da camada de mistura.

Para a análise da variabilidade sazonal das massas d'água foram elaboradas seções verticais da densidade da água do mar para as quatro estações do ano (Figura 122). Essa análise foi realizada a partir dos dados climatológicos do WOA13, do NODC. As massas d'água foram inferidas a partir dos seus respectivos limites de densidade.

Assim como apresentado, nota-se que a CB transporta basicamente a AT e a ACAS. Posicionada entre aproximadamente 500 m e 1500 m de profundidade a AIA é transportada pela CCI.

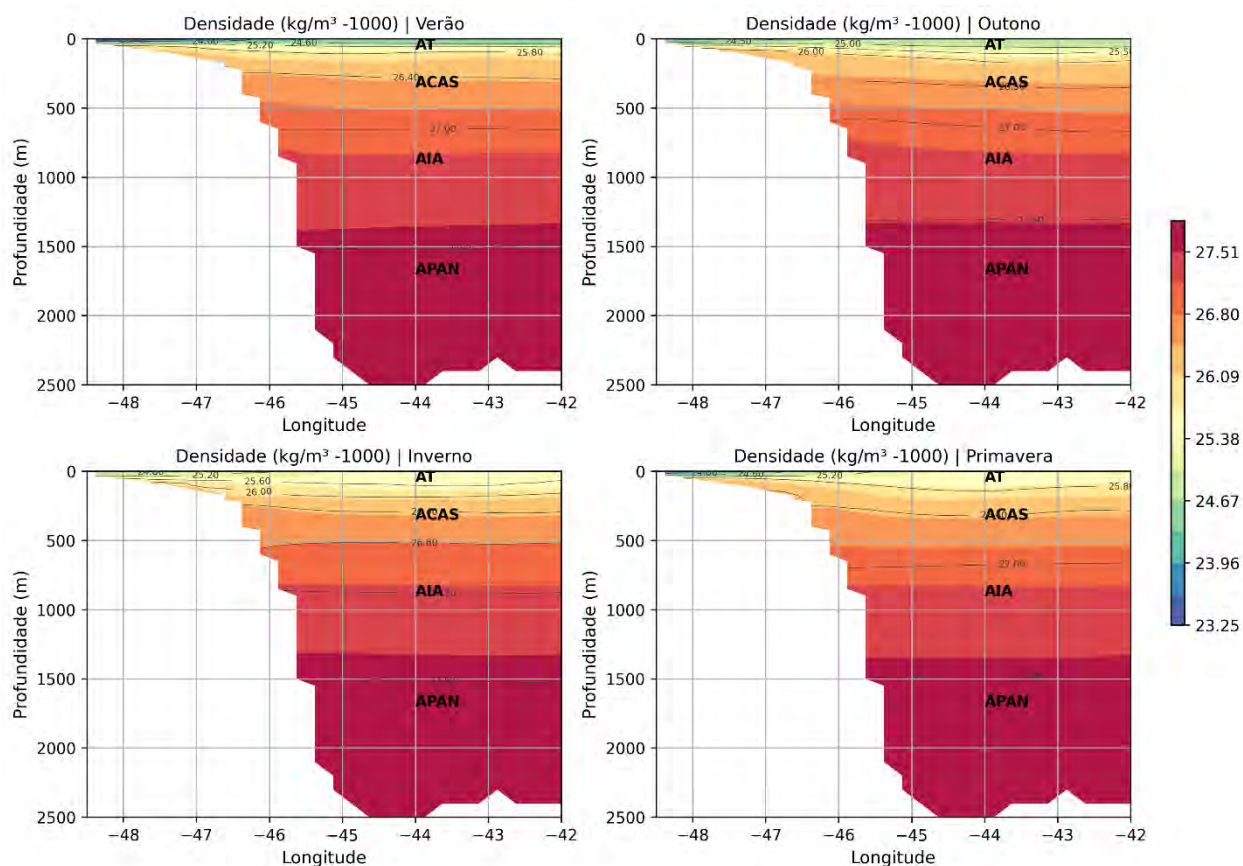


Figura 122: Seções verticais de densidade na Bacia de Santos para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Latitude: 26,5°S. Fonte: WOA13 (1773-2013).

### 3.2.3 Regime de correntes

Para exemplificar os campos médios de circulação na região da Bacia de Santos e no entorno do Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna) foram utilizados os resultados de modelo do projeto Mercator. Da Figura 123 a Figura 132 são apresentados os campos médios sazonais elaborados para as profundidades de 0, 50, 100, 250, 500, 750, 1000, 1500, 2000 e 2500. A escala de intensidade de correntes foi ajustada para cada profundidade para facilitar a comparação.

Esses campos mostram a complexidade do padrão de escoamento da CB na região, com destaque para o Campo de Baúna. Pode-se observar a CB fluindo para SW ao longo de todo ano nas adjacências da região de estudo, da superfície até 250 metros (Figura 123 a Figura 126). Além do fluxo médio da CB, é possível observar nos campos médios de circulação superficial em toda a Bacia de Santos, os sinais associados às feições de mesoescala discutidos no item 3.2. Quando sob o domínio do ASAS e dos ventos de NE, as correntes da plataforma seguem na direção SW, o que ocorre durante a primavera e o verão devido à maior prevalência desse sistema. A passagem de sistemas frontais com ventos de SW e S associados, provoca uma inversão do fluxo, restrito à plataforma, dando origem à Corrente Costeira do Brasil (CCB). Devido à maior frequência desses sistemas no outono e no inverno, esse sinal pode ser verificado nos campos médios de circulação,

que apresentam correntes médias para NE sobre a plataforma continental (exemplificado na Figura 59).

Abaixo da camada superficial, entre 500 e 2.000 metros de profundidade, nota-se a presença de instabilidades baroclínicas associadas ao cisalhamento CB/CCI na Bacia e proximidades do Campo (para mais detalhes da instabilidade baroclínica na Bacia de Santos, consultar Rocha *et. al.*, 2014 e Biló, 2015). Nos campos médios de 2.000 e 2.500 m de profundidade (Figura 131 e Figura 132) observa-se a presença da Corrente de Contorno Profunda (CCP) a uma grande distância do Campo onde ocorrem as maiores profundidades, visto que a região possui uma plataforma continental bastante larga e um talude pouco inclinado.

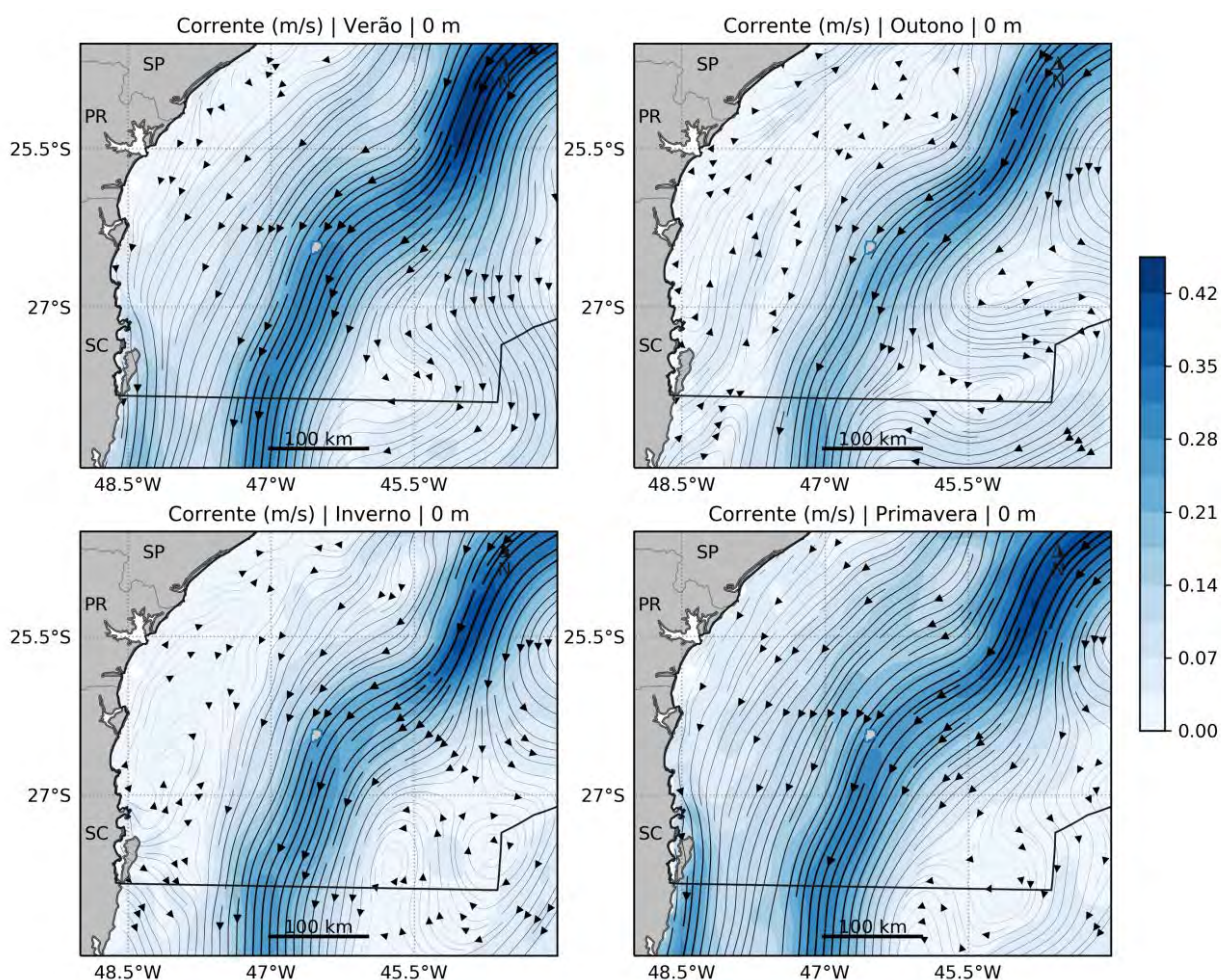


Figura 123: Campos médios sazonais de correntes em superfície no entorno do Campo de Baúna para o período entre 2012 e 2019. Fonte dos dados: Mercator. Datum: SIRGAS2000.



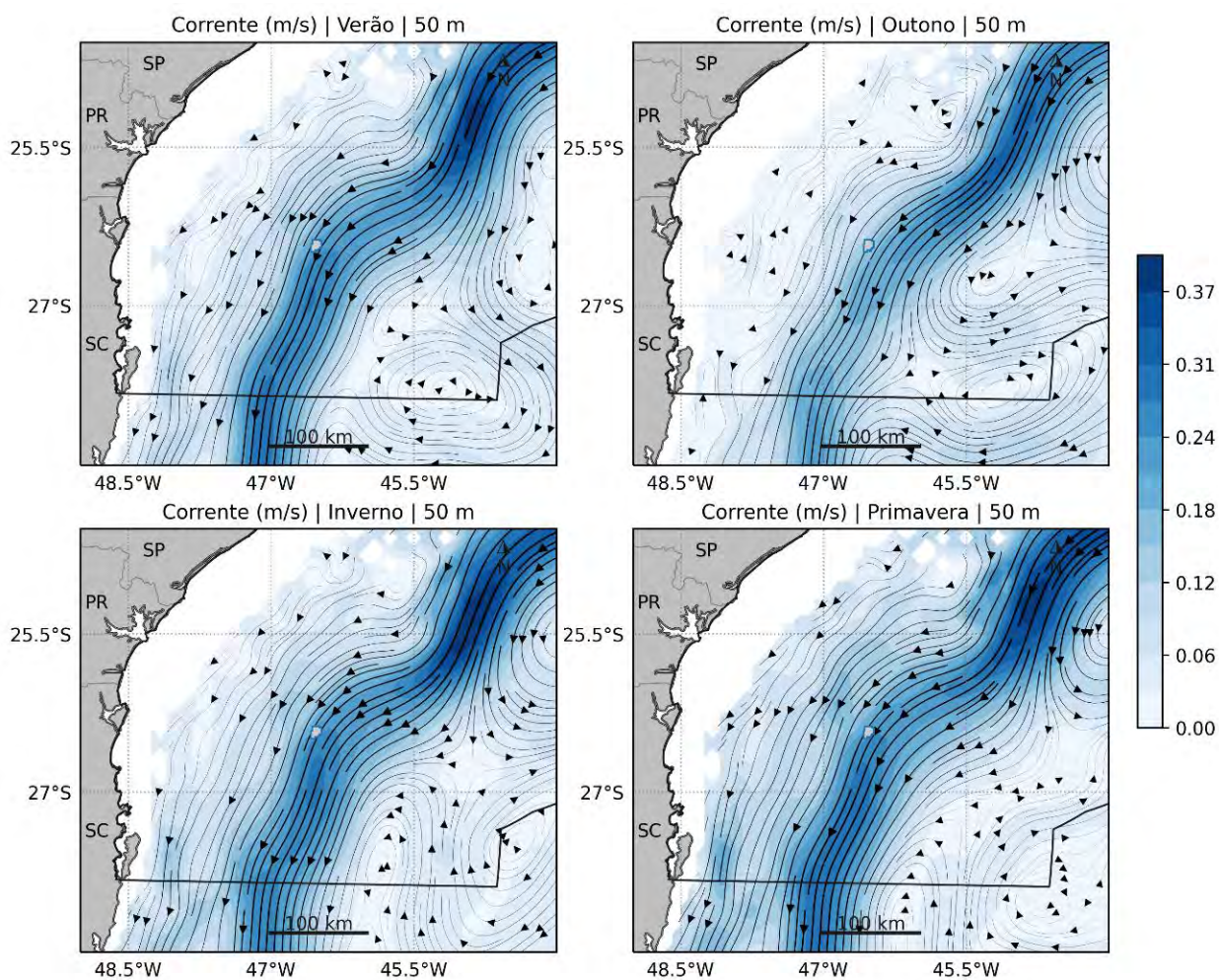


Figura 124: Campos médios de correntes em 50 m de profundidade no entorno do Campo de Baúna para o período entre 2012 e 2019. Fonte dos dados: Mercator. Datum: SIRGAS2000.



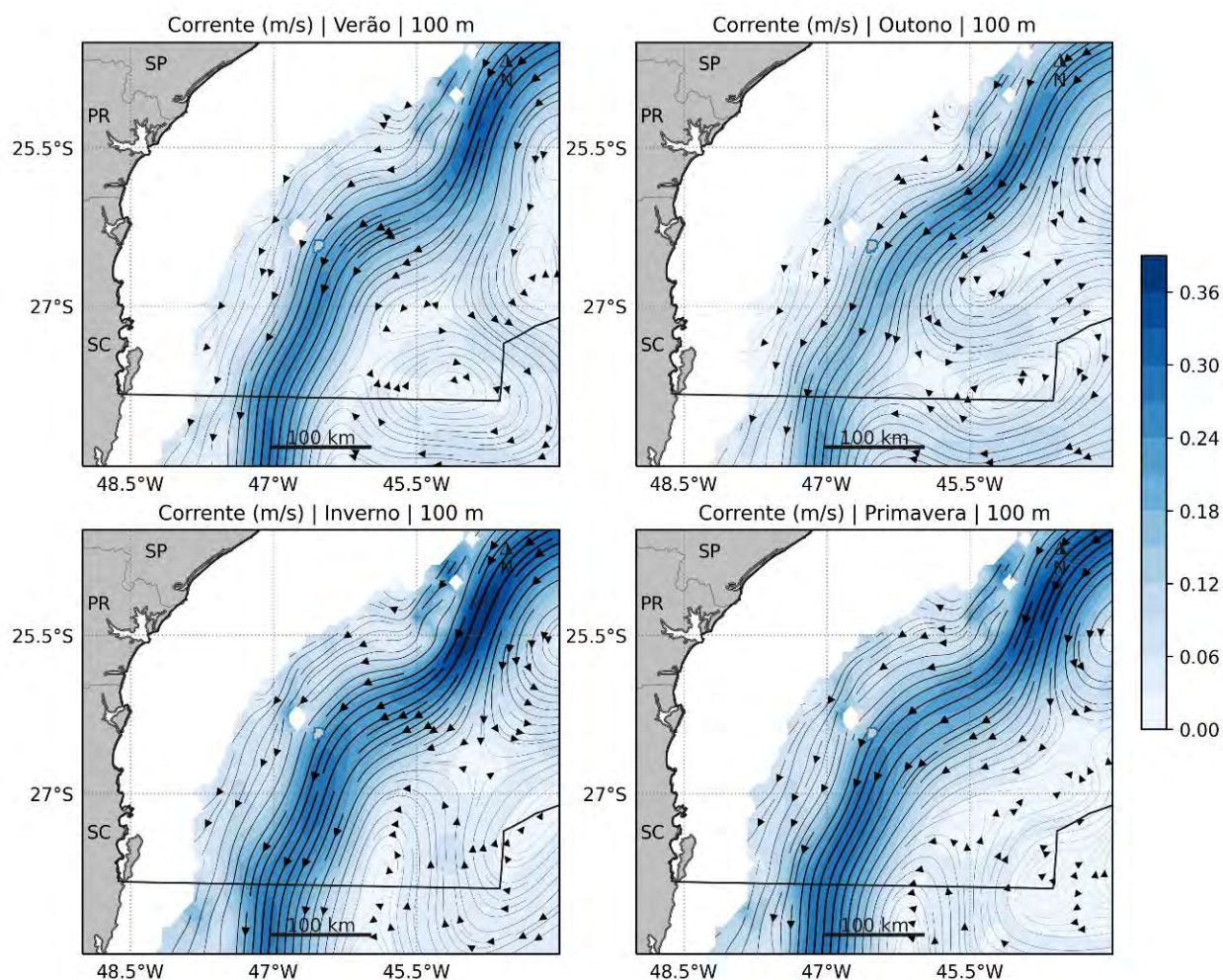


Figura 125: Campos médios de correntes em 100 m de profundidade no entorno do Campo de Baúna para o período entre 2012 e 2019. Fonte dos dados: Mercator. Datum: SIRGAS2000.

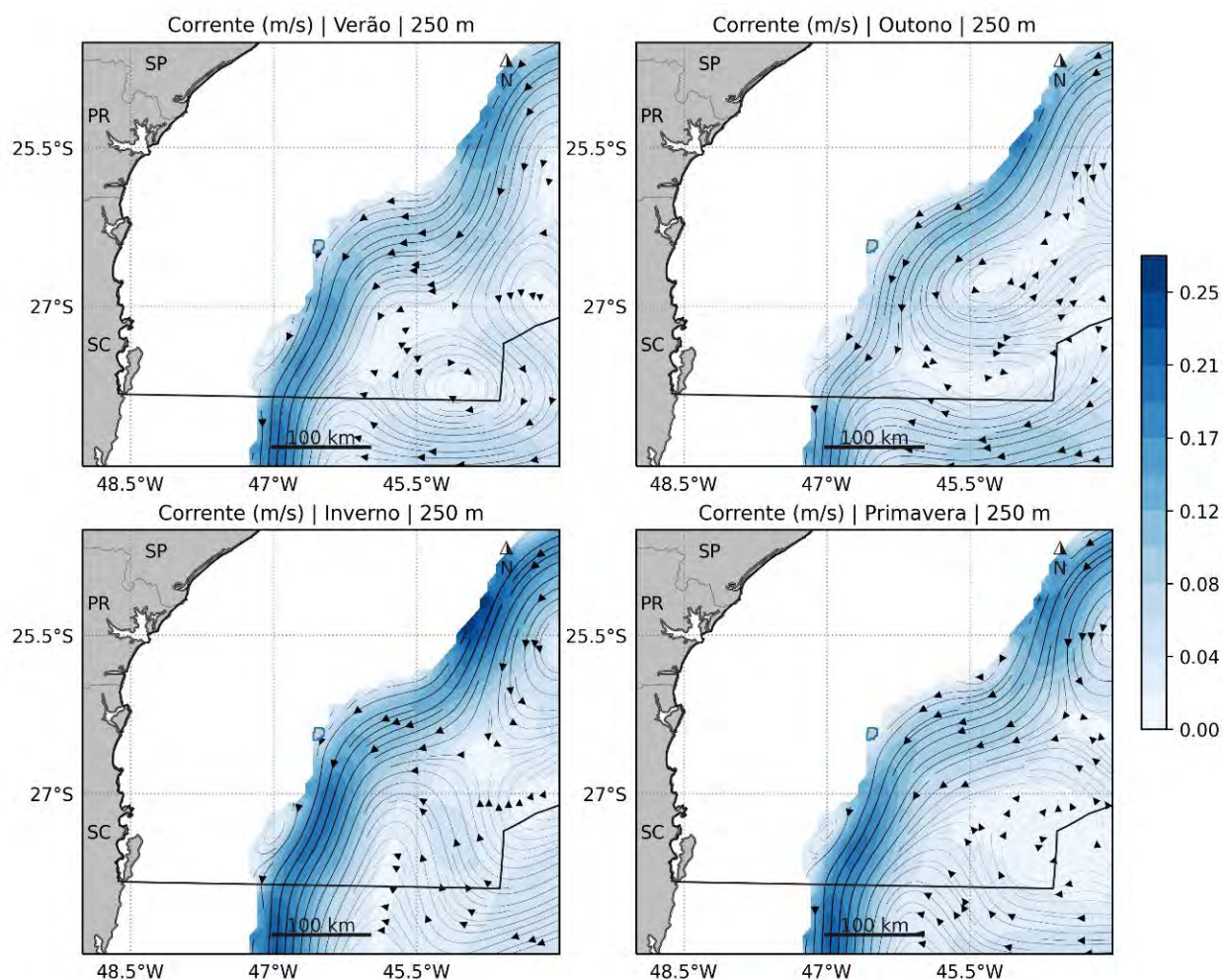


Figura 126: Campos médios de correntes em 250 m de profundidade no entorno do Campo de Baúna para o período entre 2012 e 2019. Fonte dos dados: Mercator. Datum: SIRGAS2000.



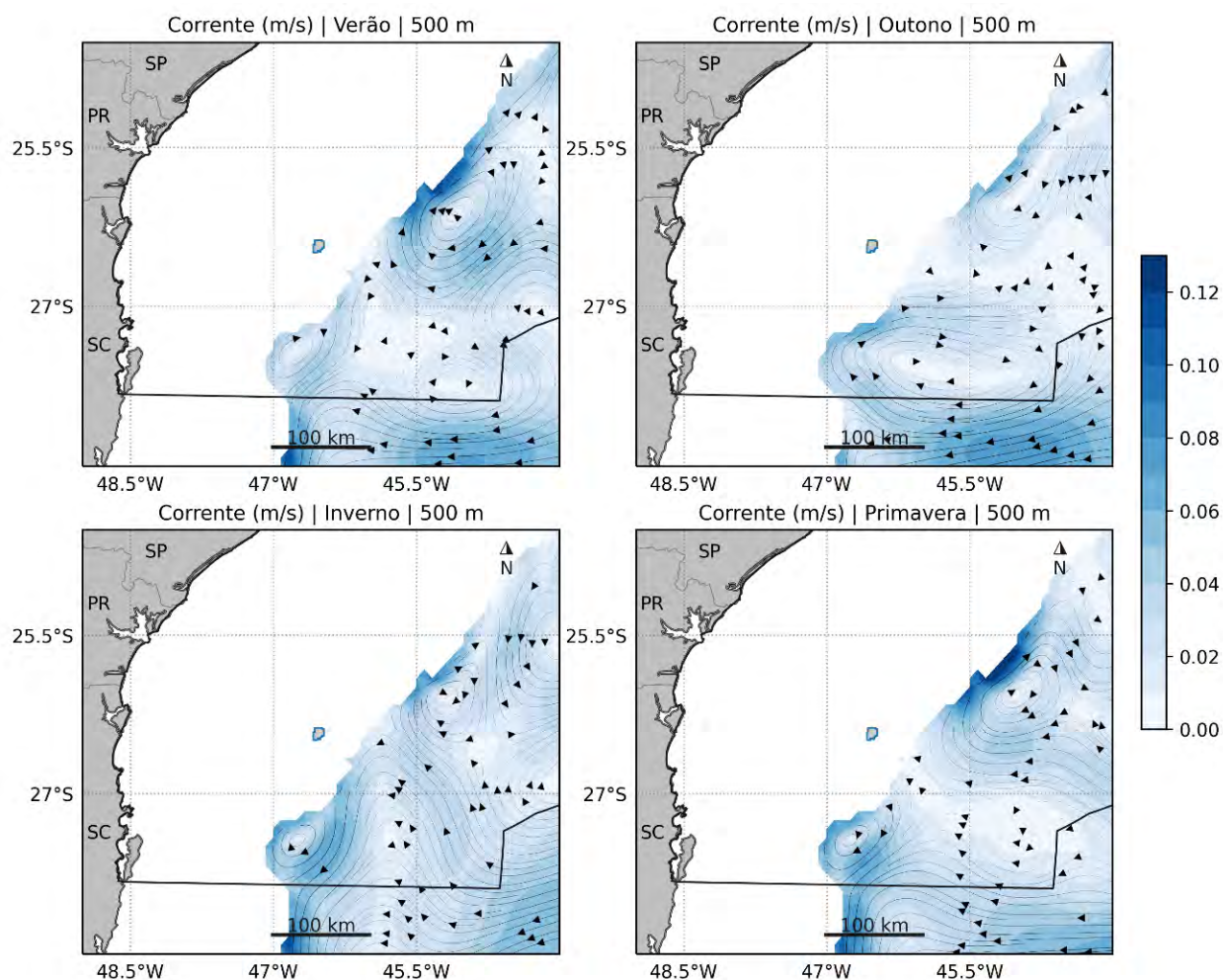


Figura 127: Campos médios de correntes em 500 m de profundidade no entorno do Campo de Baúna para o período entre 2012 e 2019. Fonte dos dados: Mercator. Datum: SIRGAS2000.

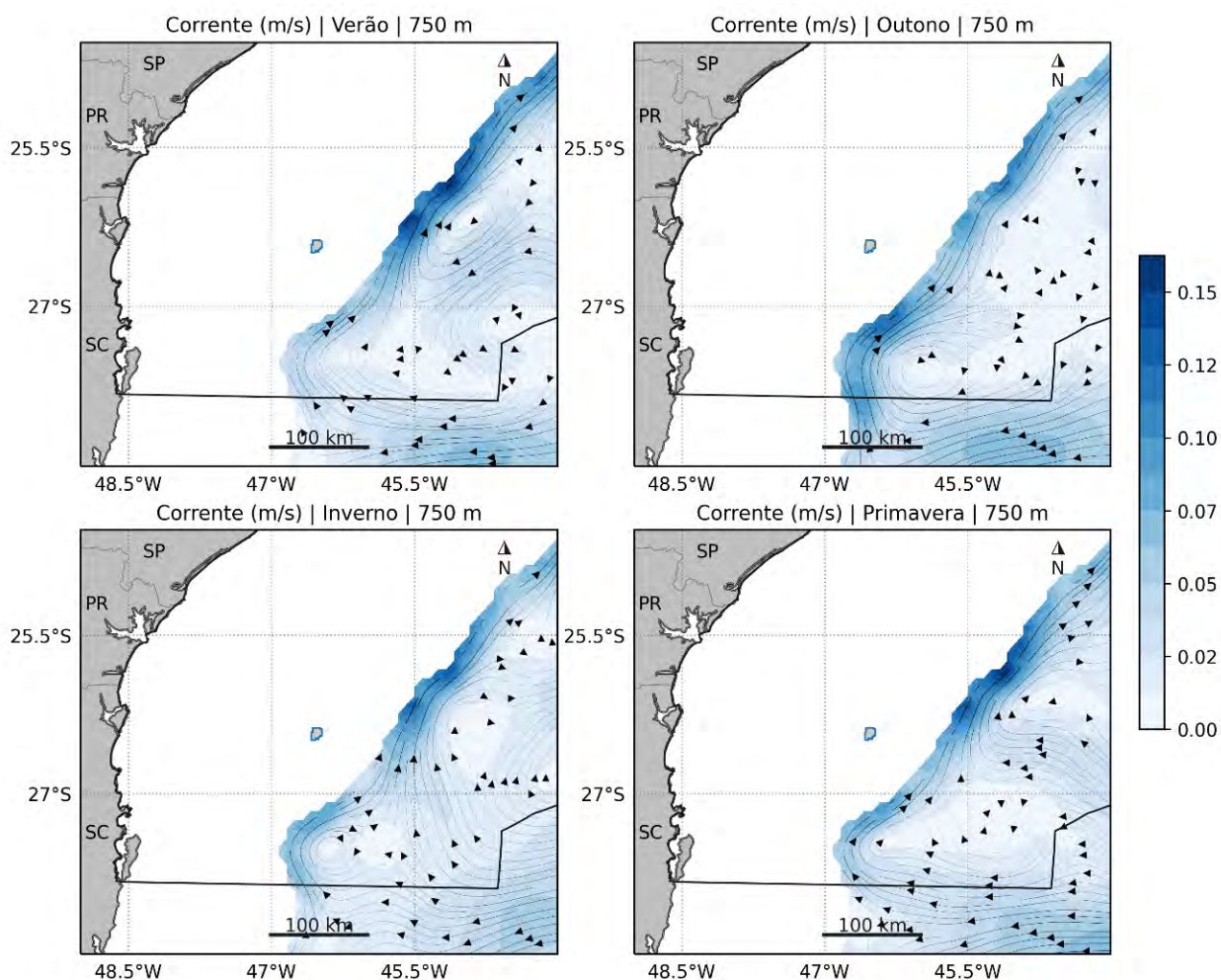


Figura 128: Campos médios de correntes em 750 m de profundidade no entorno do Campo de Baúna para o período entre 2012 e 2019. Fonte dos dados: Mercator. Datum: SIRGAS2000.



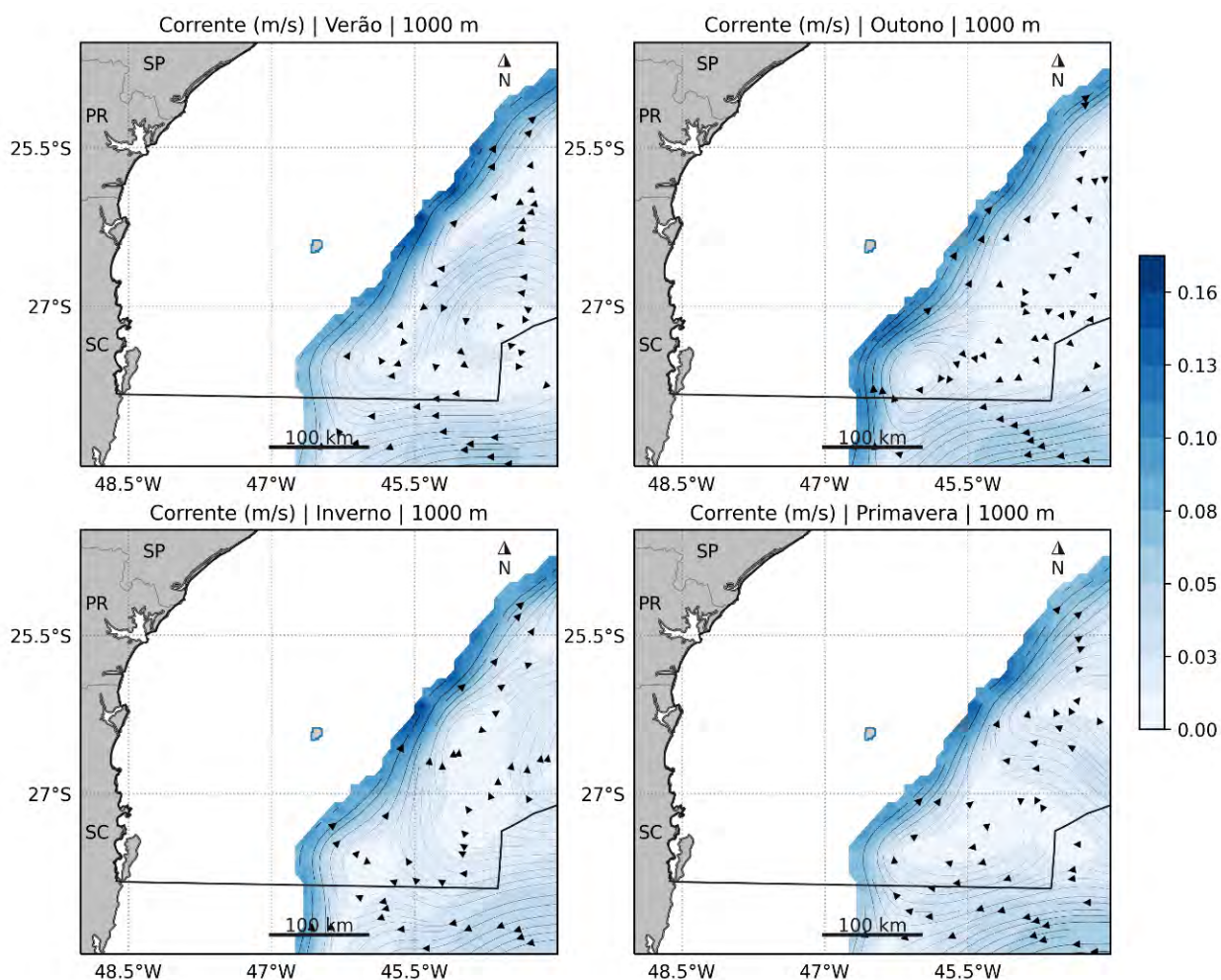


Figura 129: Campos médios de correntes em 1000 m de profundidade no entorno do Campo de Baúna para o período entre 2012 e 2019. Fonte dos dados: Mercator. Datum: SIRGAS2000.

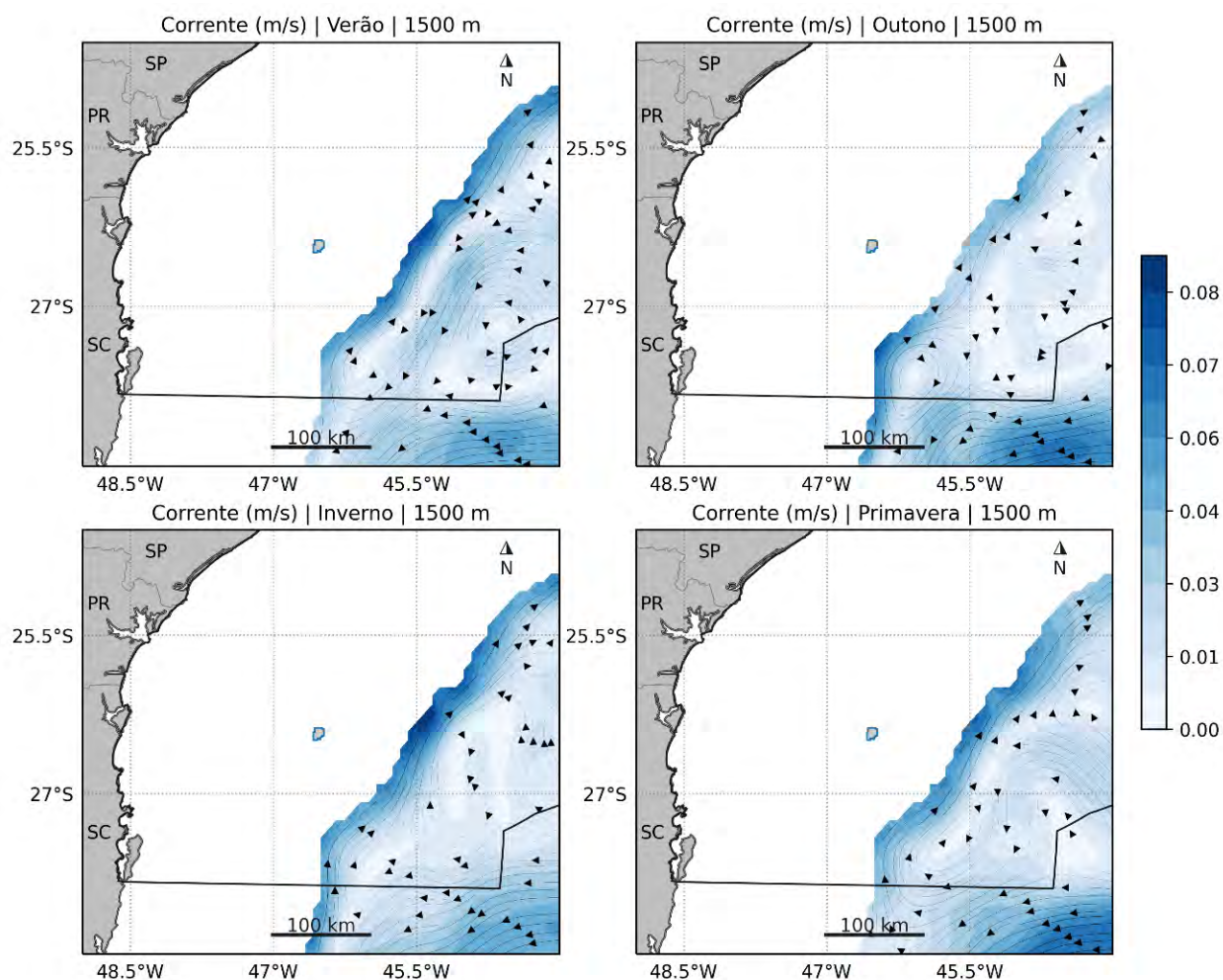


Figura 130: Campos médios de correntes em 1500 m de profundidade no entorno do Campo de Baúna para o período entre 2012 e 2019. Fonte dos dados: Mercator. Datum: SIRGAS2000.

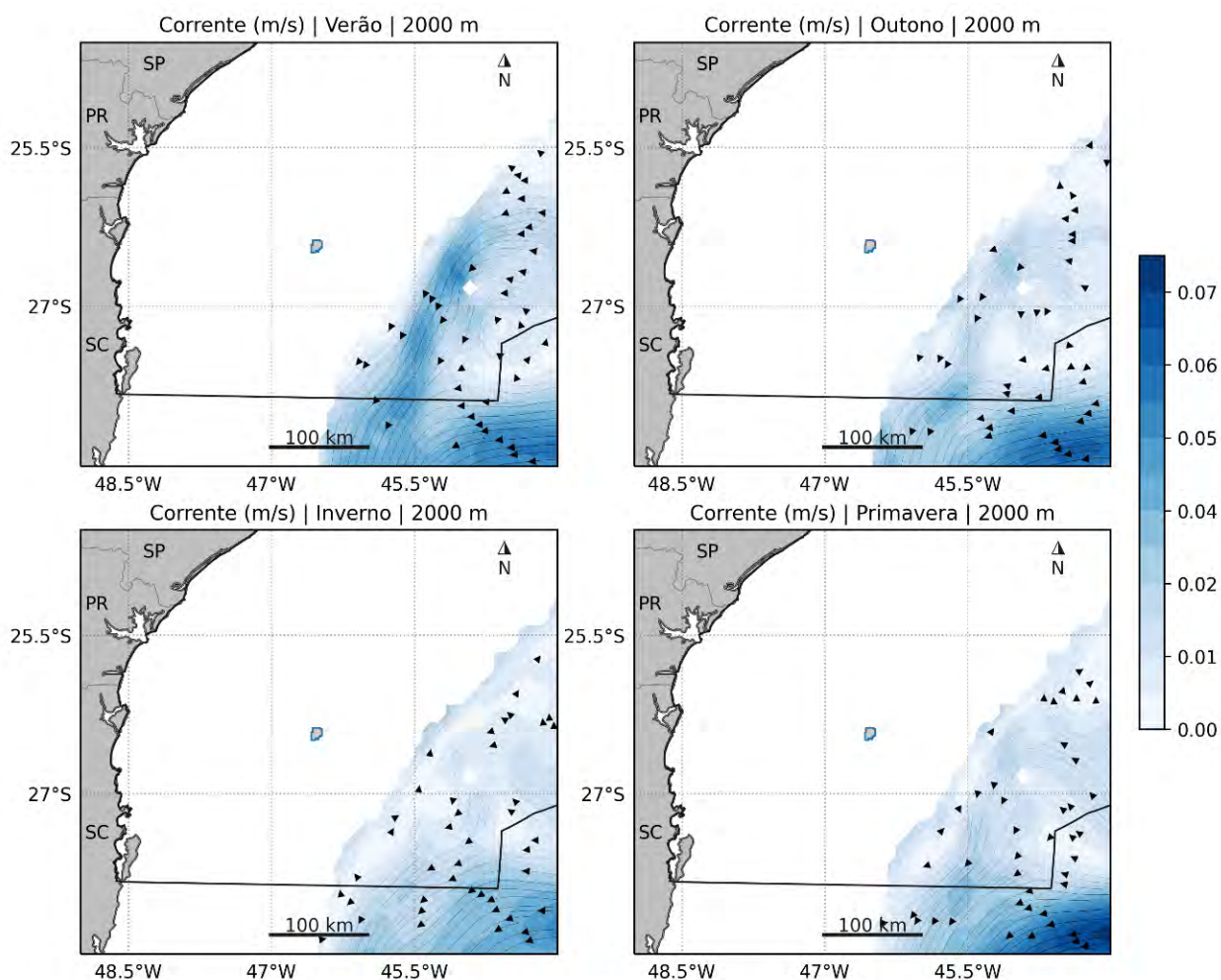


Figura 131: Campos médios de correntes em 2000 m de profundidade no entorno do Campo de Baúna para o período entre 2012 e 2019. Fonte dos dados: Mercator. Datum: SIRGAS2000.



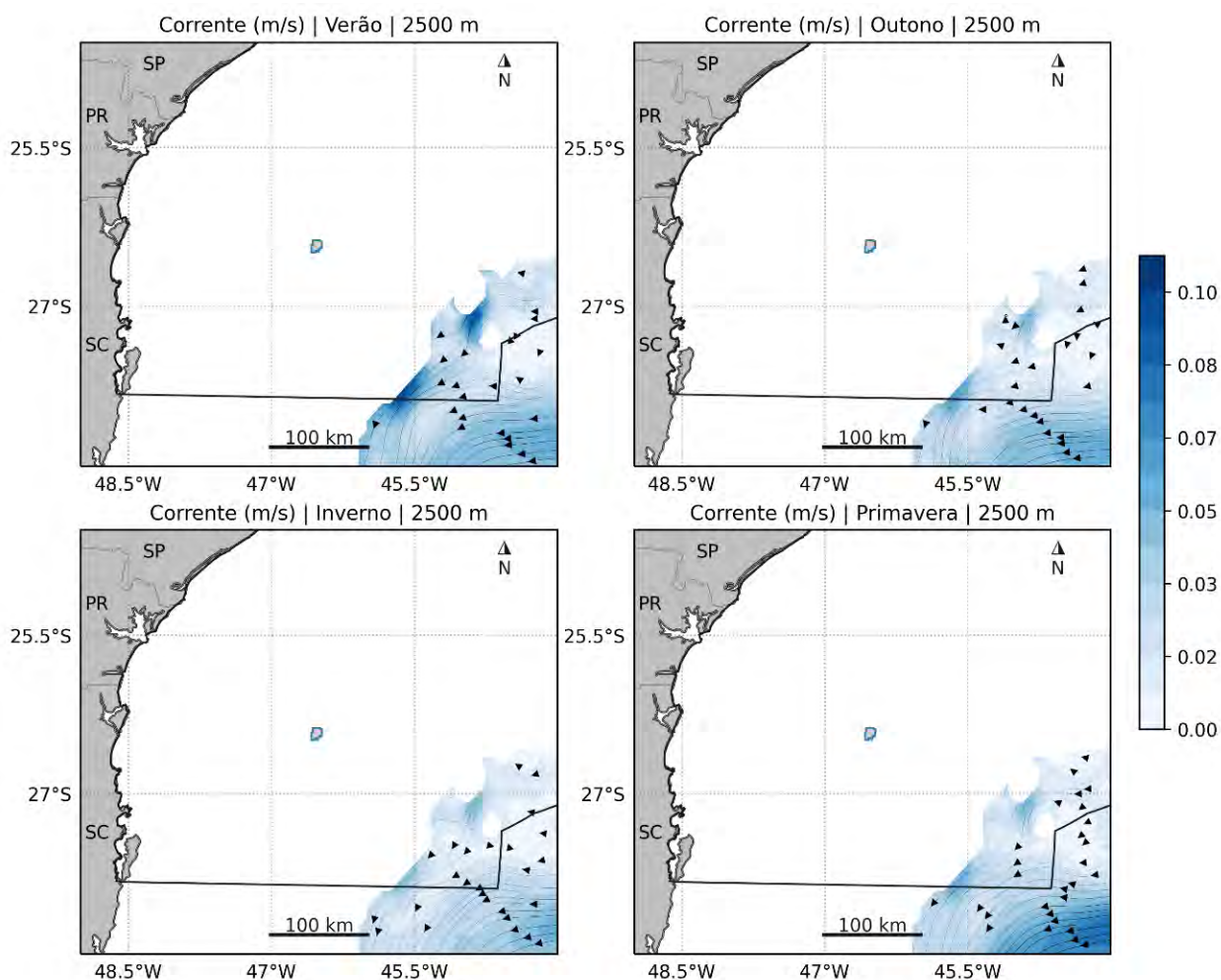


Figura 132: Campos médios de correntes em 2500 m de profundidade no entorno do Campo de Baúna para o período entre 2012 e 2019. Fonte dos dados: Mercator. Datum: SIRGAS2000.

Para as análises pontuais do regime de correntes na região do Bloco BM-S-40 e no Campo de Báuna, foram utilizados os resultados da modelagem hidrodinâmica desenvolvida com o *Regional Ocean Modeling System* (ROMS) para os estudos de dispersão de óleo. O modelo possui resolução espacial de  $1/16^\circ$  e temporal de 2h, rodado para os anos de 2012 e 2013. Foram extraídos os resultados dos pontos mais próximos aos Pontos 1 ( $46,517967^\circ\text{W} / 26,439950^\circ\text{S}$ ) e 2 ( $46,565300^\circ\text{W} / 26,384200^\circ\text{S}$ ) simulados na modelagem de óleo. Sua localização pode ser observada na Figura 133.



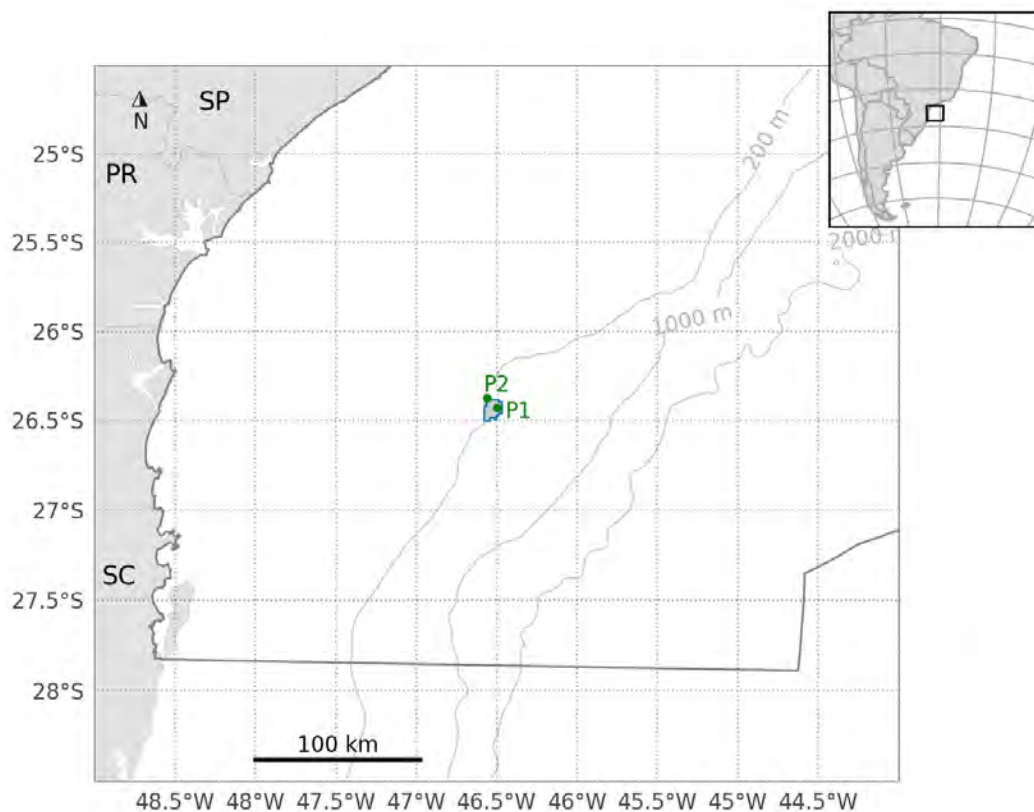


Figura 133: Localização dos pontos de grade do modelo ROMS utilizados para caracterização da área do Campo de Baúna. Datum: SIRGAS2000.

A seguir, da Figura 134 à Figura 141, são apresentadas rosas de correntes, série temporal de intensidade média de correntes, *stickplots* e gráfico com parâmetros estatísticos para os pontos selecionados.

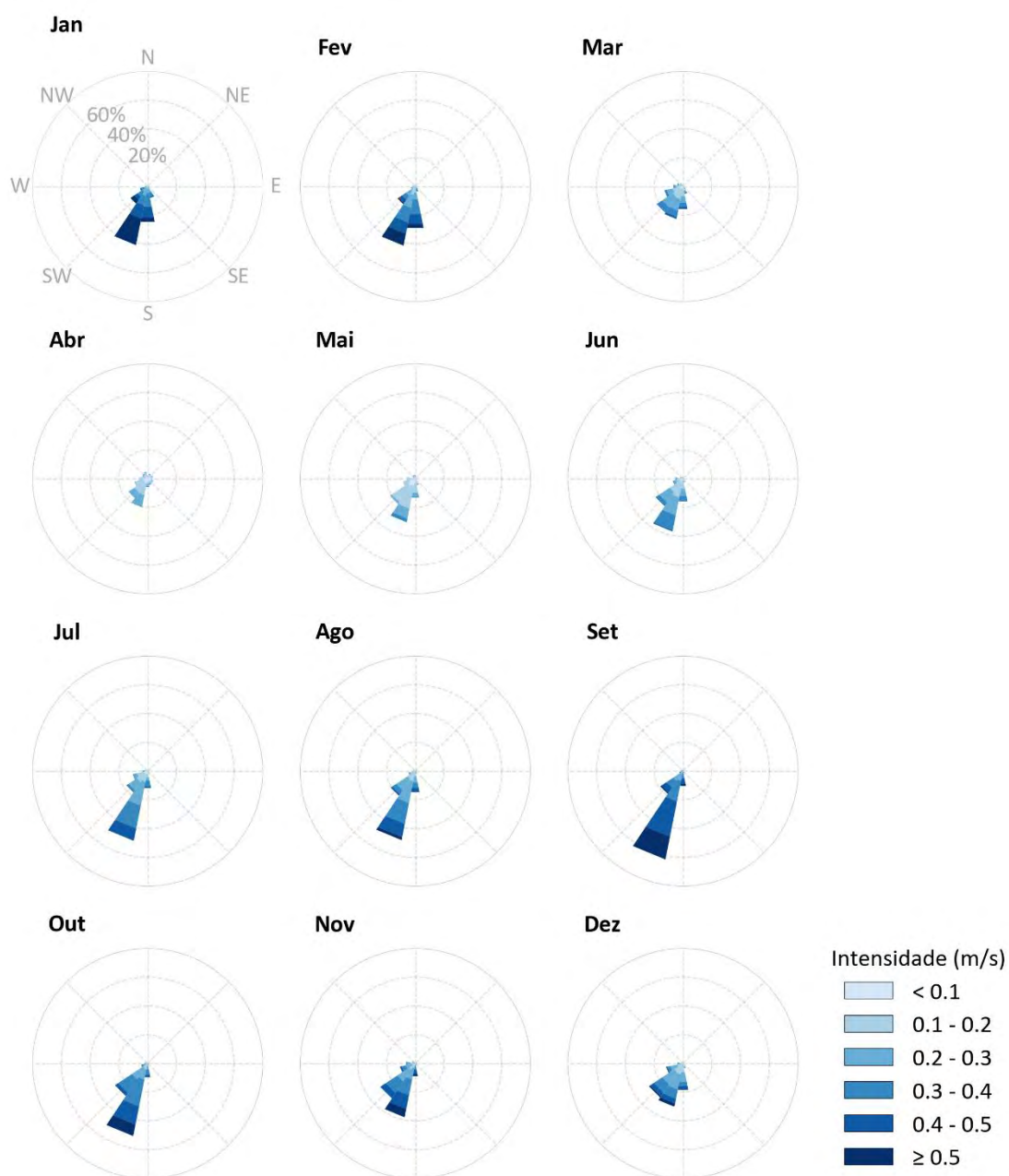


Figura 134: Rosa de correntes superficiais para o ponto mais próximo ao Ponto 1 (Campo de Baúna). Fonte dos dados: ROMS (2012 a 2013).

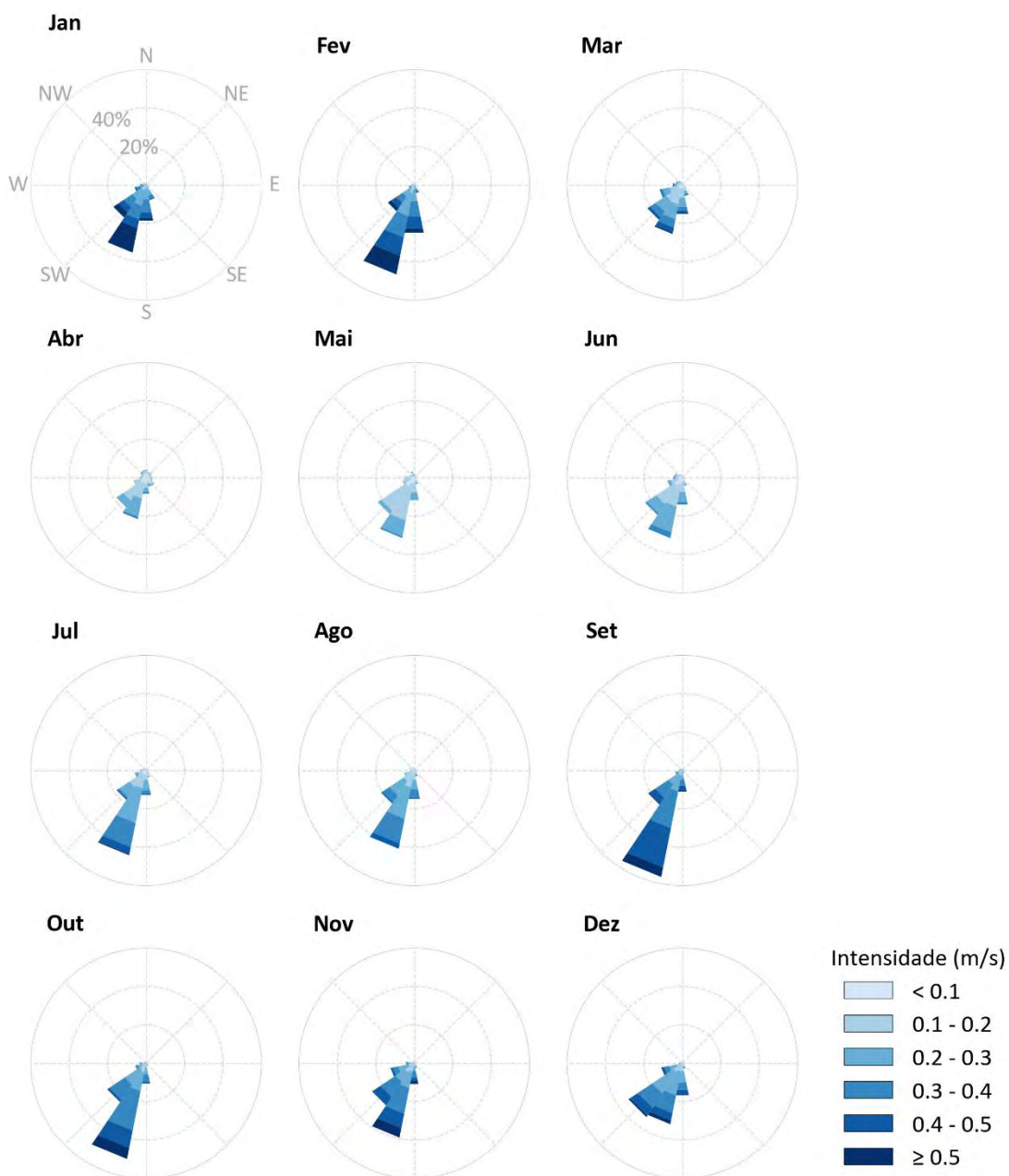


Figura 135: Rosa de correntes superficiais para o ponto mais próximo ao Ponto 2 (Campo de Baúna). Fonte dos dados: ROMS (2012 a 2013).

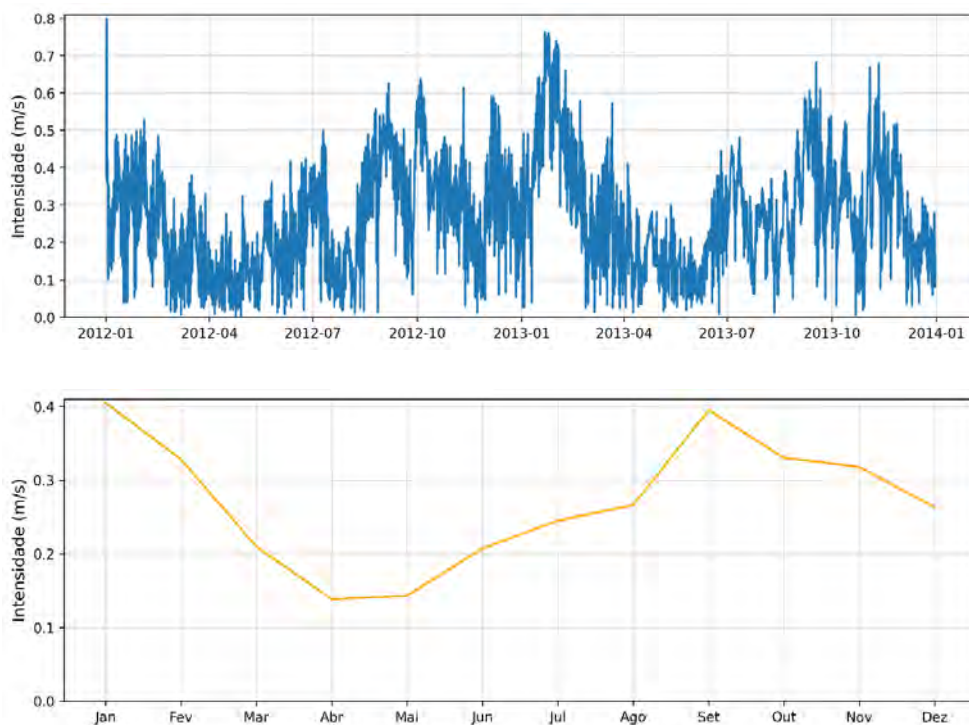


Figura 136: Intensidade de correntes superficial ao longo do período (painel superior) e intensidade média mensal (painel inferior) para o ponto mais próximo ao Ponto 1 (Campo de Baúna). Fonte dos dados: ROMS (2012 a 2013).

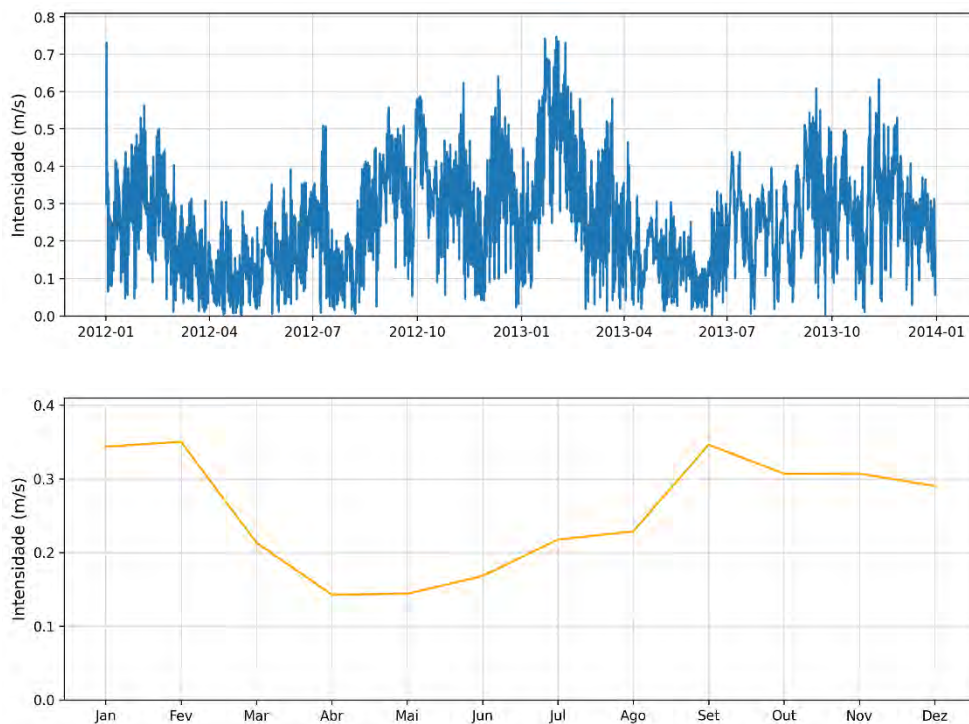


Figura 137: Intensidade de correntes superficial ao longo do período (painel superior) e intensidade média mensal (painel inferior) para o ponto mais próximo ao Ponto 2 (Campo de Baúna). Fonte dos dados: ROMS (2012 a 2013).



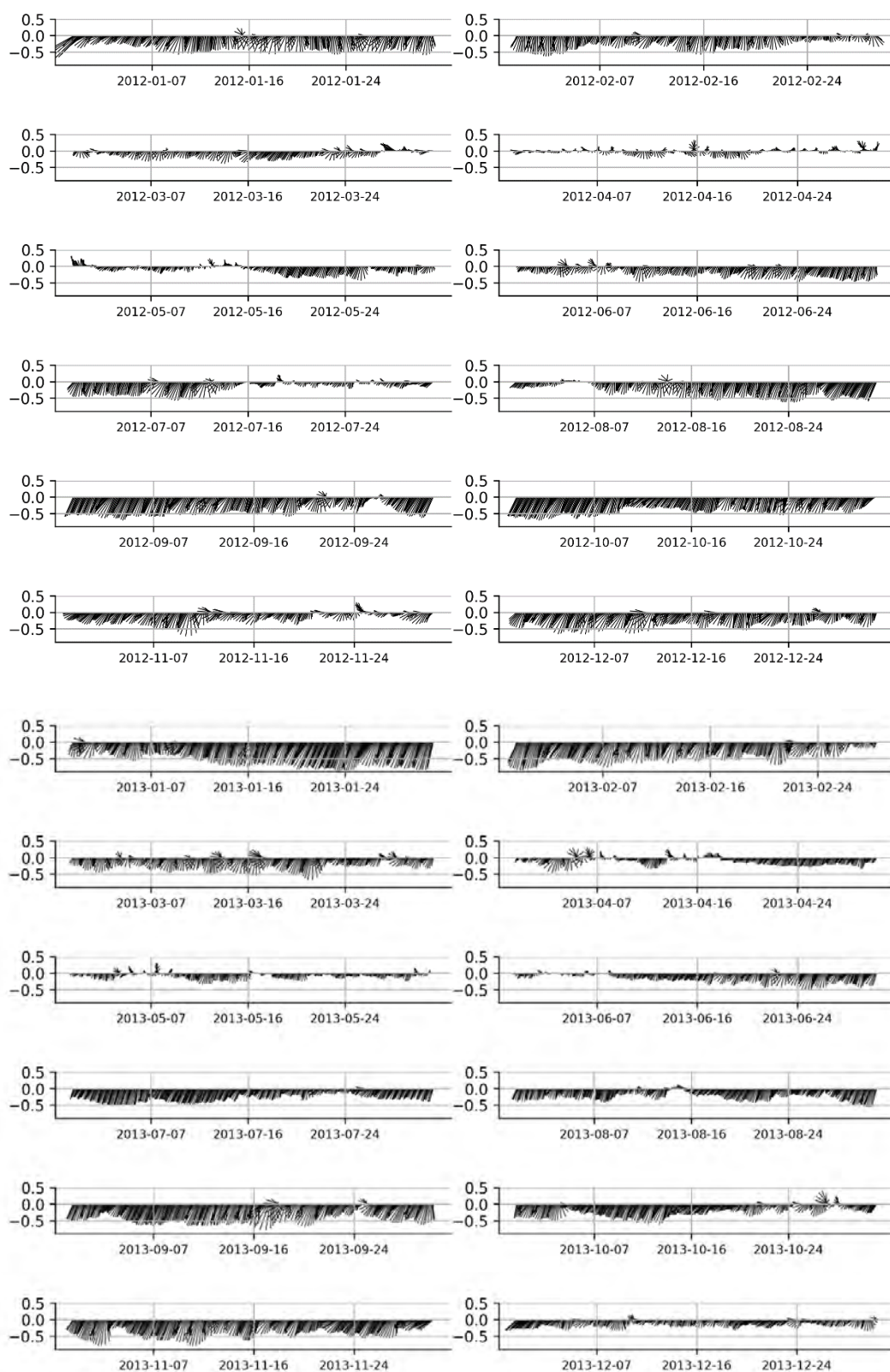


Figura 138: Stickplots de corrente superficial para o ponto mais próximo ao Ponto 1 (Campo de Baúna). Fonte dos dados: ROMS (2012 a 2013).

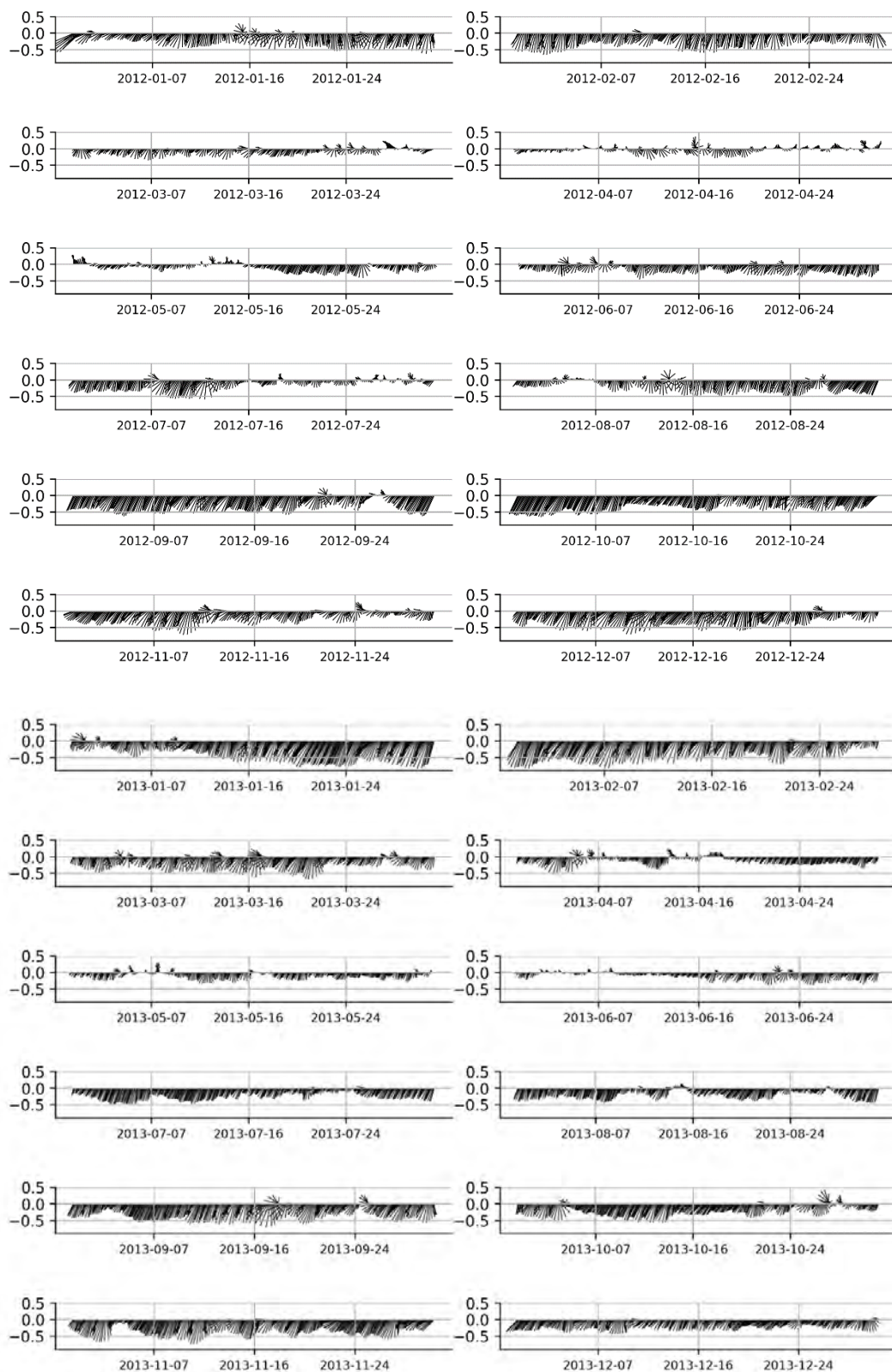


Figura 139: Stickplots de corrente superficial para o ponto mais próximo ao Ponto 2 (Campo de Baúna). Fonte dos dados: ROMS (2012 a 2013).

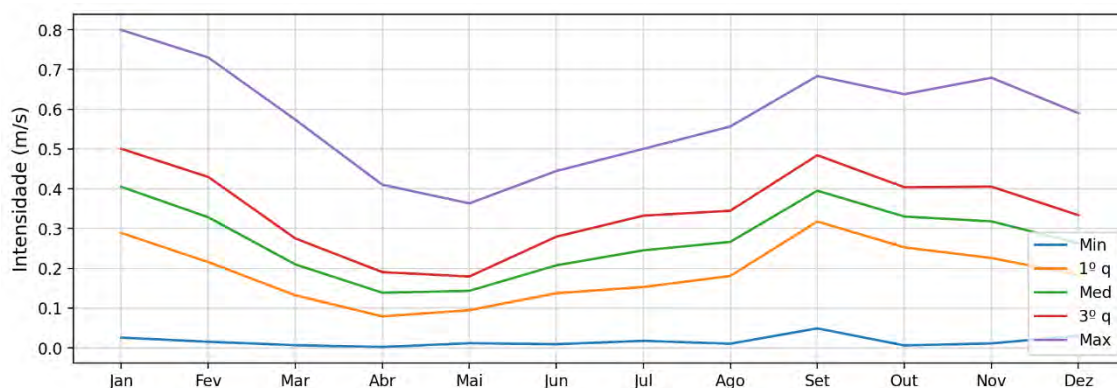


Figura 140: Média, mínima, máxima, primeiro quartil e terceiro quartil de intensidade da corrente superficial para o ponto mais próximo ao Ponto 1 (Campo de Baúna). Fonte dos dados: ROMS (2012 a 2013).

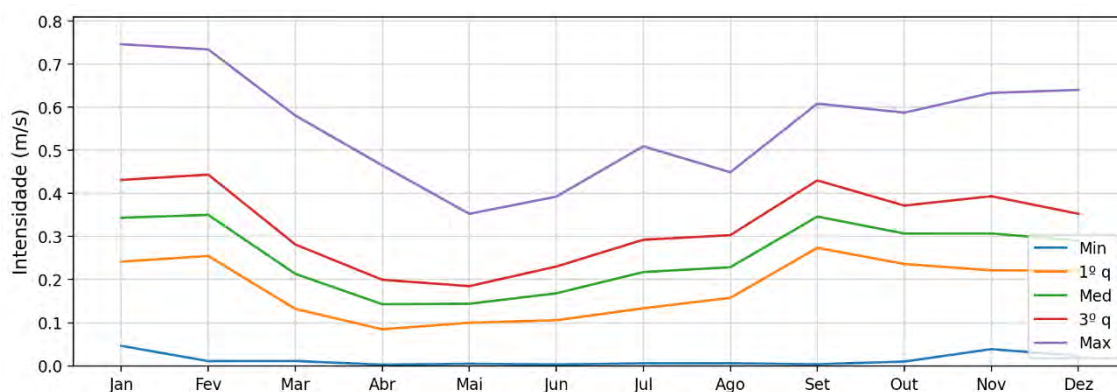


Figura 141: Média, mínima, máxima, primeiro quartil e terceiro quartil de intensidade da corrente superficial para o ponto mais próximo ao Ponto 2 (Campo de Baúna). Fonte dos dados: ROMS (2012 a 2013).

Os gráficos demonstram um escoamento predominante para SW em todos os meses do ano, com intensidades médias entre 0,1 e 0,4 m/s, evidenciando a presença do escoamento em caráter médio da Corrente do Brasil na região. Os meses mais intensos observados foram de setembro a novembro e os menos intensos de março a junho. Entre os Pontos 1 e 2 observa-se correntes mais intensas no Ponto 1, com máximo de aproximadamente 0,8 m/s.

O padrão direcional presente nas rosas de corrente (Figura 134 e Figura 135) e nos *stickplots* (Figura 138 e Figura 139) também pode ser evidenciado pela ocorrência conjunta de direção e intensidade de corrente apresentada na Tabela 23 (Ponto 1) e na

|           | N  | NE | E  | SE  | S   | SW   | W   | NW | Total | %     |
|-----------|----|----|----|-----|-----|------|-----|----|-------|-------|
| < 0,1     | 51 | 60 | 54 | 87  | 168 | 268  | 193 | 84 | 965   | 11,02 |
| 0,1 - 0,2 | 49 | 26 | 43 | 100 | 605 | 950  | 296 | 86 | 2155  | 24,61 |
| 0,2 - 0,3 | 17 | 7  | 3  | 56  | 711 | 1204 | 156 | 47 | 2201  | 25,13 |
| 0,3 - 0,4 | 1  | 0  | 0  | 22  | 820 | 862  | 58  | 12 | 1775  | 20,27 |
| 0,4 - 0,5 | 0  | 0  | 0  | 0   | 549 | 509  | 18  | 0  | 1076  | 12,29 |

|              |      |      |      |      |       |       |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|
| ≥ 0,5        | 0    | 0    | 0    | 0    | 320   | 264   | 1    | 0    | 585  | 6,68 |
| <b>Total</b> | 118  | 93   | 100  | 265  | 3173  | 4057  | 722  | 229  | 8757 | 100  |
| <b>%</b>     | 1,35 | 1,06 | 1,14 | 3,03 | 36,23 | 46,33 | 8,24 | 2,62 | 100  |      |

Tabela 24 (Ponto 2). Nota-se a predominância das direções S (36,23% - P1 e 34,77% -P2) e SW (46,33% - P1 e 47,32% - P2) e intensidades entre 0,1 e 0,4 m/s (~70%), para os Ponto 1 e 2.



Tabela 23: Ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes superficiais do Ponto 1 ao longo de todo o período de dados. Fonte dos dados: ROMS (2012 a 2013).

|              | N    | NE   | E    | SE   | S     | SW    | W    | NW   | Total | %     |
|--------------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| < 0,1        | 51   | 60   | 54   | 87   | 168   | 268   | 193  | 84   | 965   | 11,02 |
| 0,1 - 0,2    | 49   | 26   | 43   | 100  | 605   | 950   | 296  | 86   | 2155  | 24,61 |
| 0,2 - 0,3    | 17   | 7    | 3    | 56   | 711   | 1204  | 156  | 47   | 2201  | 25,13 |
| 0,3 - 0,4    | 1    | 0    | 0    | 22   | 820   | 862   | 58   | 12   | 1775  | 20,27 |
| 0,4 - 0,5    | 0    | 0    | 0    | 0    | 549   | 509   | 18   | 0    | 1076  | 12,29 |
| ≥ 0,5        | 0    | 0    | 0    | 0    | 320   | 264   | 1    | 0    | 585   | 6,68  |
| <b>Total</b> | 118  | 93   | 100  | 265  | 3173  | 4057  | 722  | 229  | 8757  | 100   |
| <b>%</b>     | 1,35 | 1,06 | 1,14 | 3,03 | 36,23 | 46,33 | 8,24 | 2,62 | 100   |       |

Tabela 24: Ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes superficiais do Ponto 2 ao longo de todo o período de dados. Fonte dos dados: ROMS (2012 a 2013).

|              | N    | NE   | E    | SE   | S     | SW    | W    | NW   | Total | %     |
|--------------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| < 0,1        | 74   | 64   | 62   | 106  | 182   | 291   | 149  | 110  | 1038  | 11,85 |
| 0,1 - 0,2    | 67   | 45   | 46   | 136  | 605   | 1066  | 241  | 92   | 2298  | 26,23 |
| 0,2 - 0,3    | 15   | 2    | 6    | 59   | 937   | 1226  | 140  | 53   | 2438  | 27,83 |
| 0,3 - 0,4    | 2    | 0    | 0    | 14   | 752   | 906   | 56   | 10   | 1740  | 19,86 |
| 0,4 - 0,5    | 0    | 0    | 0    | 2    | 390   | 433   | 16   | 0    | 841   | 9,60  |
| ≥ 0,5        | 0    | 0    | 0    | 0    | 180   | 223   | 2    | 0    | 405   | 4,62  |
| <b>Total</b> | 158  | 111  | 114  | 317  | 3046  | 4145  | 604  | 265  | 8760  | 100   |
| <b>%</b>     | 1,80 | 1,27 | 1,30 | 3,62 | 34,77 | 47,32 | 6,89 | 3,03 | 100   |       |

De forma a fornecer uma boa estimativa das correntes na região do Campo de Baúna, situada próxima à quebra da plataforma continental na Bacia de Santos, serão apresentados os dados da Boia de Santos do Programa Nacional de Boias (PNBOIA), localizada um pouco a nordeste da região (Figura 142). Os dados do PNBOIA estão disponíveis no Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO).

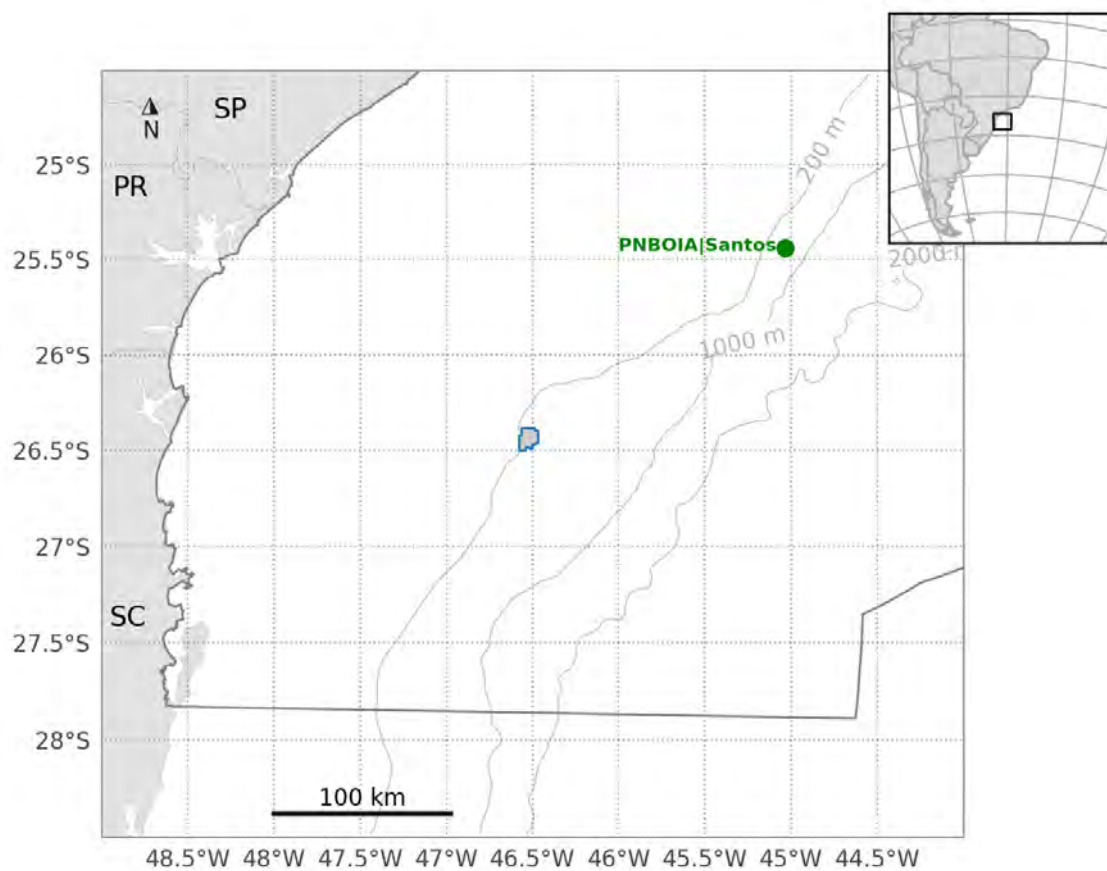


Figura 142: Posição da boia meteorológica “Santos” do PNBOIA. Datum: SIRGAS2000.

De acordo com a Figura 143, são observadas correntes predominantemente para SW, associadas ao fluxo da CB com intensidades máximas da ordem de 1 m/s.

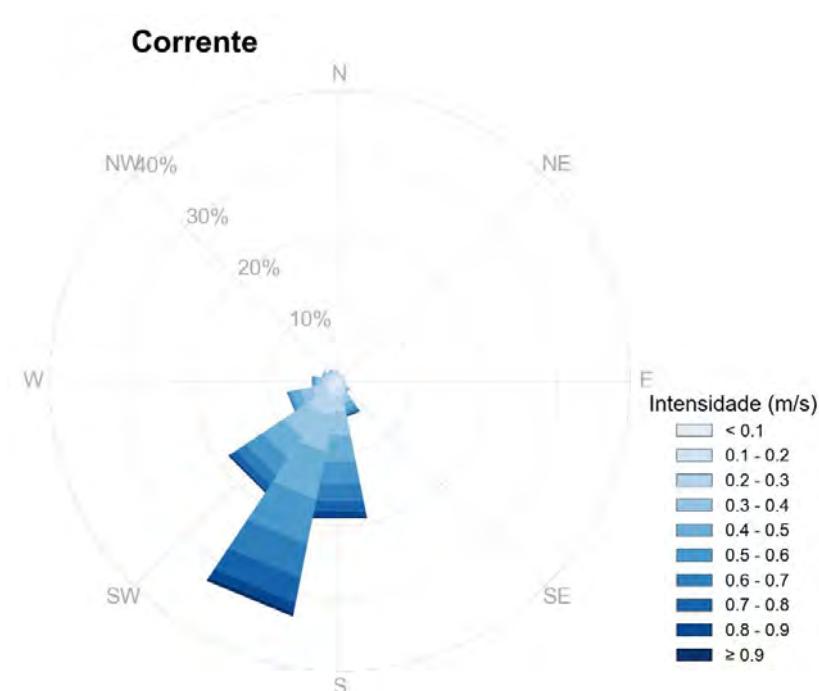


Figura 143: Rosa de correntes elaborada com os dados da Boia de Santos do PNBOIA. Período dos dados: 2011 – 2012. Fonte de dados: BNDO. Datum: SIRGAS2000.

O padrão direcional das correntes superficiais no Campo de Baúna também é corroborado pelos dados de correntes observados a bordo do FPSO Cidade Itajaí durante os anos de 2016 e 2017 no âmbito do PMA/BM-S-40, que reiteram a predominância de SW (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). A direção W está associada à presença de meandros e vórtices da CB (fenômenos de mesoescala), que resultam na ocorrência de correntes de todas as direções (exemplificado na Figura 59).

Tabela 25: Percentual direcional e intensidades médias e máximas das correntes entre 2016 e 2017. Fonte: PMA/BM-S-40, subprojeto PMOP.

|            | Direção das correntes |      |      |      |       |       |       |      |
|------------|-----------------------|------|------|------|-------|-------|-------|------|
|            | N                     | NE   | E    | SE   | S     | SW    | W     | NW   |
| Percentual | 6,2%                  | 7,4% | 5,2% | 4,5% | 11,2% | 34,3% | 21,6% | 9,7% |
| Média      | 0,13                  | 0,14 | 0,12 | 0,11 | 0,18  | 0,24  | 0,20  | 0,12 |
| Máxima     | 0,50                  | 0,50 | 0,50 | 0,42 | 0,64  | 0,80  | 0,60  | 0,50 |

Sazonalmente também há pouca variabilidade no padrão direcional das correntes, conforme demonstram as ocorrências conjuntas de direção e intensidade para cada estação do ano obtidas pelos resultados do ROMS para o Ponto 1 (Tabela 26 à Tabela 29). Vale ressaltar que, como os Pontos 1 e 2 retirados do ROMS apresentaram resultados muito semelhantes, sendo o Ponto 1 relativamente mais intenso, serão exibidas as ocorrências conjuntas do Ponto 1 de forma a representar os dois pontos.

Conforme observado anteriormente, predominam correntes de S e SW variando de ~90% no inverno a ~70% no outono. Apesar da predominância das direções de S e SW, no outono é possível observar um aumento de correntes de W (10,95%) e intensidades bem fracas, de < 0,1 m/s a 0,3 m/s (~92%). Nessa época (outono e inverno) o sinal da CB é mais fraco e há um aumento da passagem de frentes frias na região, influenciando diretamente o campo de correntes. Um outro fator que resulta na variabilidade de direções são os fenômenos de mesoescala, como a presença de meandros e vórtices da CB. Já no verão e na primavera observa-se correntes médias mais intensas e máximas mais frequentes, resultantes do escoamento da CB na região e a influência do ASAS. Durante todo o ano houve o predomínio de intensidades entre 0,1 e 0,4 m/s.

Tabela 26: Ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes superficiais do Ponto 1 durante o **verão**. Fonte dos dados: ROMS (2012 a 2013).

|              | N    | NE   | E    | SE   | S     | SW    | W    | NW   | Total | %      |
|--------------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|-------|--------|
| < 0,1        | 9    | 9    | 9    | 18   | 20    | 37    | 38   | 16   | 156   | 7,19   |
| 0,1 - 0,2    | 6    | 1    | 8    | 38   | 145   | 153   | 63   | 15   | 429   | 19,77  |
| 0,2 - 0,3    | 0    | 0    | 0    | 29   | 205   | 221   | 44   | 12   | 511   | 23,55  |
| 0,3 - 0,4    | 0    | 0    | 0    | 15   | 273   | 175   | 18   | 5    | 486   | 22,40  |
| 0,4 - 0,5    | 0    | 0    | 0    | 0    | 186   | 118   | 8    | 0    | 312   | 14,38  |
| ≥ 0,5        | 0    | 0    | 0    | 0    | 166   | 110   | 0    | 0    | 276   | 12,72  |
| <b>Total</b> | 15   | 10   | 17   | 100  | 995   | 814   | 171  | 48   | 2170  | 100,00 |
| <b>%</b>     | 0,69 | 0,46 | 0,78 | 4,61 | 45,85 | 37,51 | 7,88 | 2,21 | 100   |        |

Tabela 27: Ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes superficiais do Ponto 1 durante o **outono**. Fonte dos dados: ROMS (2012 a 2013).

|              | N    | NE   | E    | SE   | S     | SW    | W     | NW   | Total | %     |
|--------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| < 0,1        | 34   | 43   | 36   | 55   | 91    | 157   | 92    | 46   | 554   | 25,39 |
| 0,1 - 0,2    | 35   | 22   | 29   | 44   | 250   | 420   | 121   | 48   | 969   | 44,41 |
| 0,2 - 0,3    | 14   | 7    | 2    | 13   | 162   | 239   | 20    | 24   | 481   | 22,04 |
| 0,3 - 0,4    | 0    | 0    | 0    | 1    | 95    | 60    | 6     | 2    | 164   | 7,52  |
| 0,4 - 0,5    | 0    | 0    | 0    | 0    | 8     | 6     | 0     | 0    | 14    | 0,64  |
| ≥ 0,5        | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     | 0     | 0     | 0    | 0     | 0     |
| <b>Total</b> | 83   | 72   | 67   | 113  | 606   | 882   | 239   | 120  | 2182  | 100   |
| <b>%</b>     | 3,80 | 3,30 | 3,07 | 5,18 | 27,77 | 40,42 | 10,95 | 5,50 | 100   |       |



Tabela 28: Ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes superficiais do Ponto 1 durante o inverno. Fonte dos dados: ROMS (2012 a 2013).

|              | N    | NE   | E    | SE   | S     | SW    | W    | NW   | Total | %     |
|--------------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| < 0,1        | 5    | 7    | 6    | 10   | 31    | 48    | 45   | 17   | 169   | 7,65  |
| 0,1 - 0,2    | 5    | 1    | 3    | 4    | 100   | 196   | 51   | 13   | 373   | 16,89 |
| 0,2 - 0,3    | 0    | 0    | 1    | 7    | 182   | 359   | 22   | 6    | 577   | 26,13 |
| 0,3 - 0,4    | 0    | 0    | 0    | 4    | 248   | 258   | 6    | 0    | 516   | 23,37 |
| 0,4 - 0,5    | 0    | 0    | 0    | 0    | 215   | 198   | 2    | 0    | 415   | 18,80 |
| ≥ 0,5        | 0    | 0    | 0    | 0    | 85    | 73    | 0    | 0    | 158   | 7,16  |
| <b>Total</b> | 10   | 8    | 10   | 25   | 861   | 1132  | 126  | 36   | 2208  | 100   |
| <b>%</b>     | 0,45 | 0,36 | 0,45 | 1,13 | 38,99 | 51,27 | 5,71 | 1,63 | 100   |       |

Tabela 29: Ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes superficiais do Ponto 1 durante a primavera. Fonte dos dados: ROMS (2012 a 2013).

|              | N    | NE   | E    | SE   | S     | SW    | W    | NW   | Total | %     |
|--------------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| < 0,1        | 3    | 1    | 3    | 4    | 26    | 26    | 18   | 5    | 86    | 3,91  |
| 0,1 - 0,2    | 3    | 2    | 3    | 14   | 110   | 181   | 61   | 10   | 384   | 17,48 |
| 0,2 - 0,3    | 3    | 0    | 0    | 7    | 162   | 385   | 70   | 5    | 632   | 28,77 |
| 0,3 - 0,4    | 1    | 0    | 0    | 2    | 204   | 369   | 28   | 5    | 609   | 27,72 |
| 0,4 - 0,5    | 0    | 0    | 0    | 0    | 140   | 187   | 8    | 0    | 335   | 15,25 |
| ≥ 0,5        | 0    | 0    | 0    | 0    | 69    | 81    | 1    | 0    | 151   | 6,87  |
| <b>Total</b> | 10   | 3    | 6    | 27   | 711   | 1229  | 186  | 25   | 2197  | 100   |
| <b>%</b>     | 0,46 | 0,14 | 0,27 | 1,23 | 32,36 | 55,94 | 8,47 | 1,14 | 100   |       |

Na sequência serão apresentados os perfis verticais de corrente para os Pontos 1 e 2 (Figura 144 e Figura 145). Os perfis verticais de corrente demonstram que a direção SW é a predominante em todas as estações do ano, com intensidades maiores na superfície diminuindo gradativamente em direção ao fundo relacionado ao escoamento da CB. Durante o outono, as intensidades são menores devido à penetração da Corrente Costeira do Brasil e a passagem de frentes frias, invertendo o escoamento e fazendo com que a média diminua.

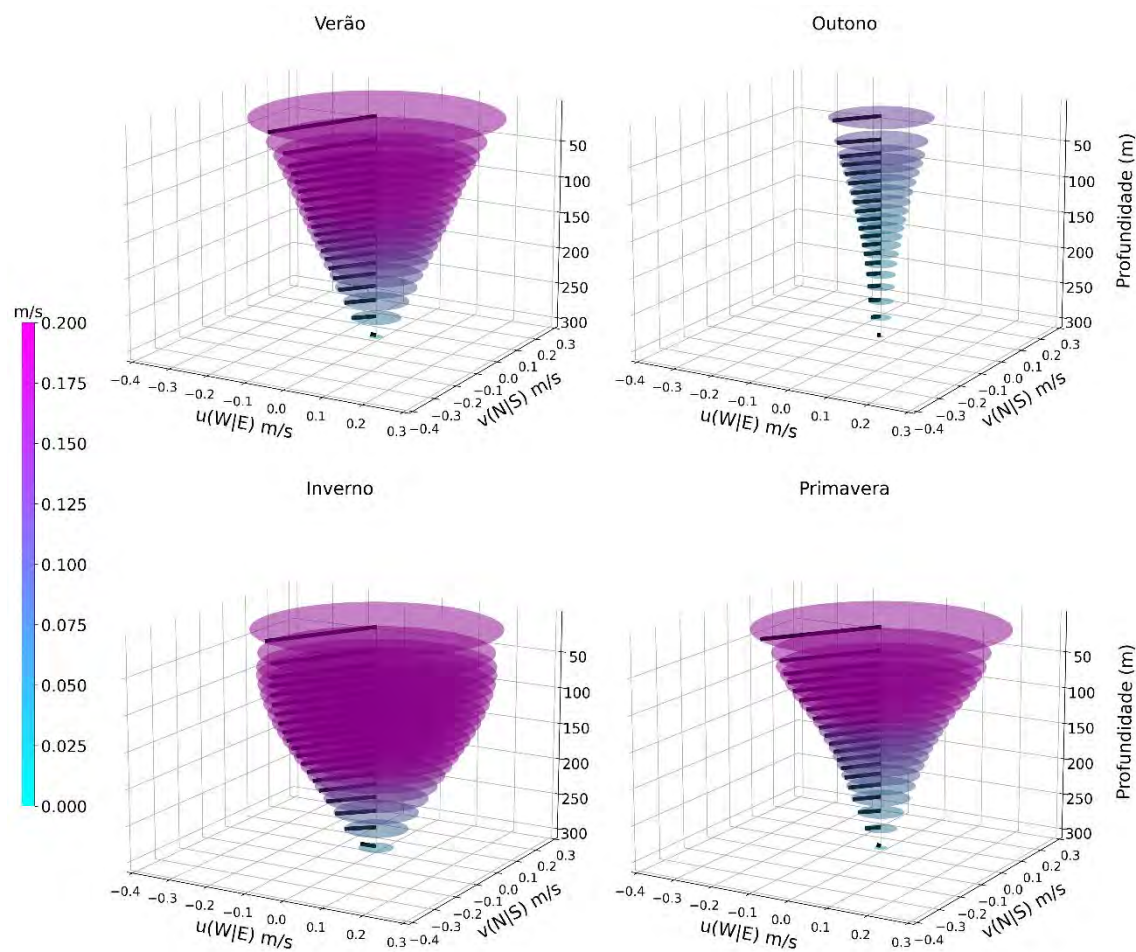


Figura 144: Perfil médio de correntes horizontais na região do Campo de Baúna (Ponto 1) para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Os vetores pretos representam a direção das correntes (com tamanho diretamente proporcional a intensidade), e a coloração a intensidade. Fonte dos dados: ROMS (2012 a 2013).

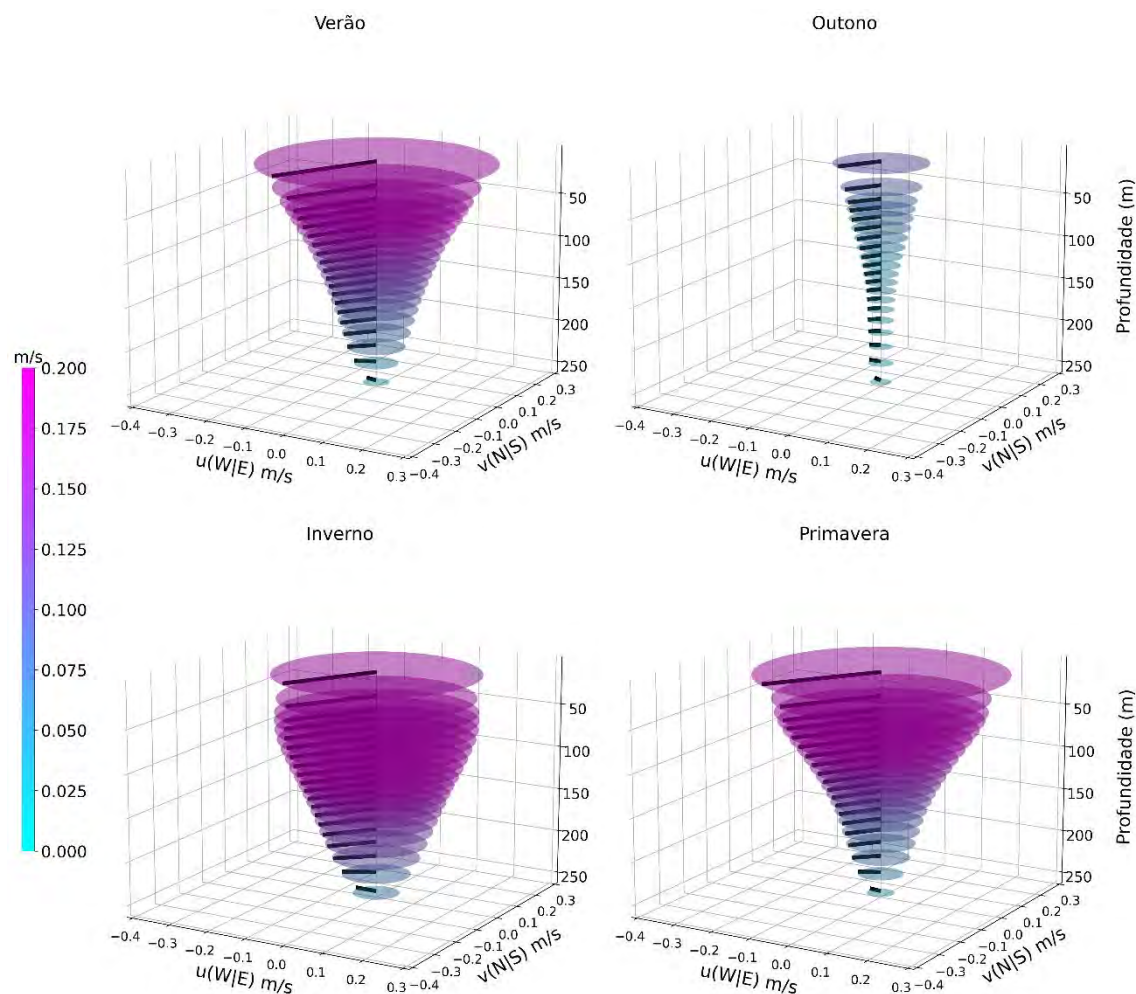


Figura 145: Perfil médio de correntes horizontais na região do Campo de Baúna (Ponto 2) para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Os vetores pretos representam a direção das correntes (com tamanho diretamente proporcional a intensidade), e a coloração a intensidade. Fonte dos dados: ROMS (2012 a 2013).

Para analisar a distribuição vertical das correntes na região de estudo foram calculadas médias da componente de velocidade zonal e meridional. Para análise da seção meridional foi escolhida a longitude de  $46,5^{\circ}\text{W}$  (Figura 147), enquanto que, para análise das seções zonais foi escolhida a latitude de  $26,5^{\circ}\text{S}$  (Figura 146). Observa-se o fluxo da Corrente do Brasil sobre a queda da plataforma continental fluindo para sul ao longo de todo o ano. Na seção analisada a CB encontra-se confinada nos primeiros 400 m da coluna d'água, nas proximidades da plataforma continental. Durante o verão, o núcleo da CB é mais intenso, devido ao fortalecimento dos ventos associados ao ASAS nesse período. Entre aproximadamente 500 e 1750 m de profundidade é observada o fluxo da CCI, escoando junto ao talude, na direção E. Por estar localizada na porção interna do talude, a área do Campo de Baúna apresenta apenas o fluxo da CB da superfície ao fundo.

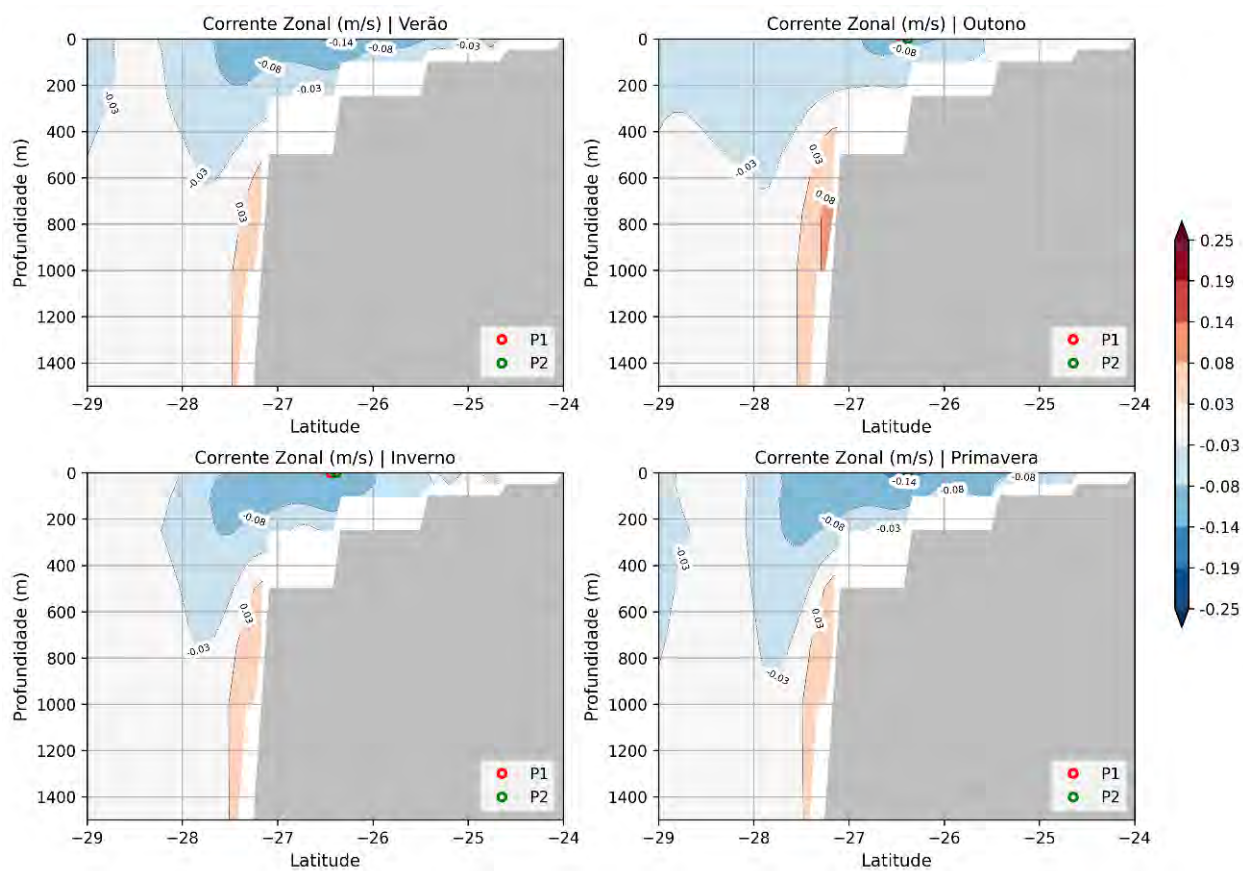


Figura 146: Seções verticais de correntes zonais médias para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Valores positivos indicam correntes para E, e negativos para W (Longitude: 46,5°W). Fonte: Mercator (2012 a 2019).



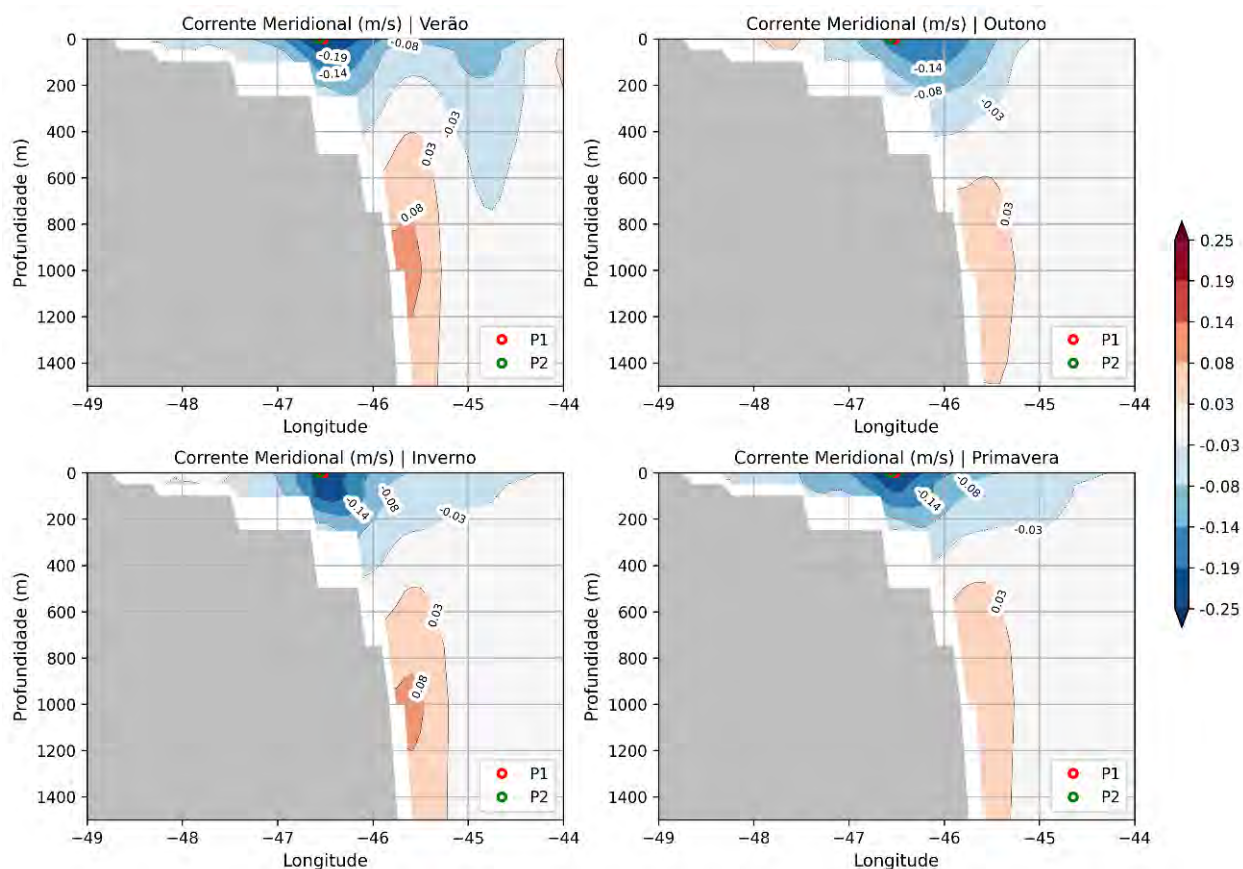


Figura 147: Seções verticais de correntes meridionais médias para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Valores positivos indicam correntes para N, e negativos para S (Latitude: 26,5°S). Fonte: Mercator (2012 a 2019).

Os resultados apresentados até aqui são corroborados por estudos realizados na região. Cerrone (2010) analisou o regime de correntes na Bacia Sul/Sudeste do Brasil através do uso de derivadores lagrangianos rastreados por satélites, sendo utilizadas as trajetórias de mais de 500 derivadores, que passaram na região por um período de 18 anos (1993 – 2010).

A autora fez a separação do conjunto de dados em cenários sazonais de primavera/verão e outono/inverno, e os campos médios de velocidades superficiais obtidos nos dois cenários. Os resultados são apresentados na Figura 148 (trajetória dos vetores médios) e Figura 149 (magnitude).

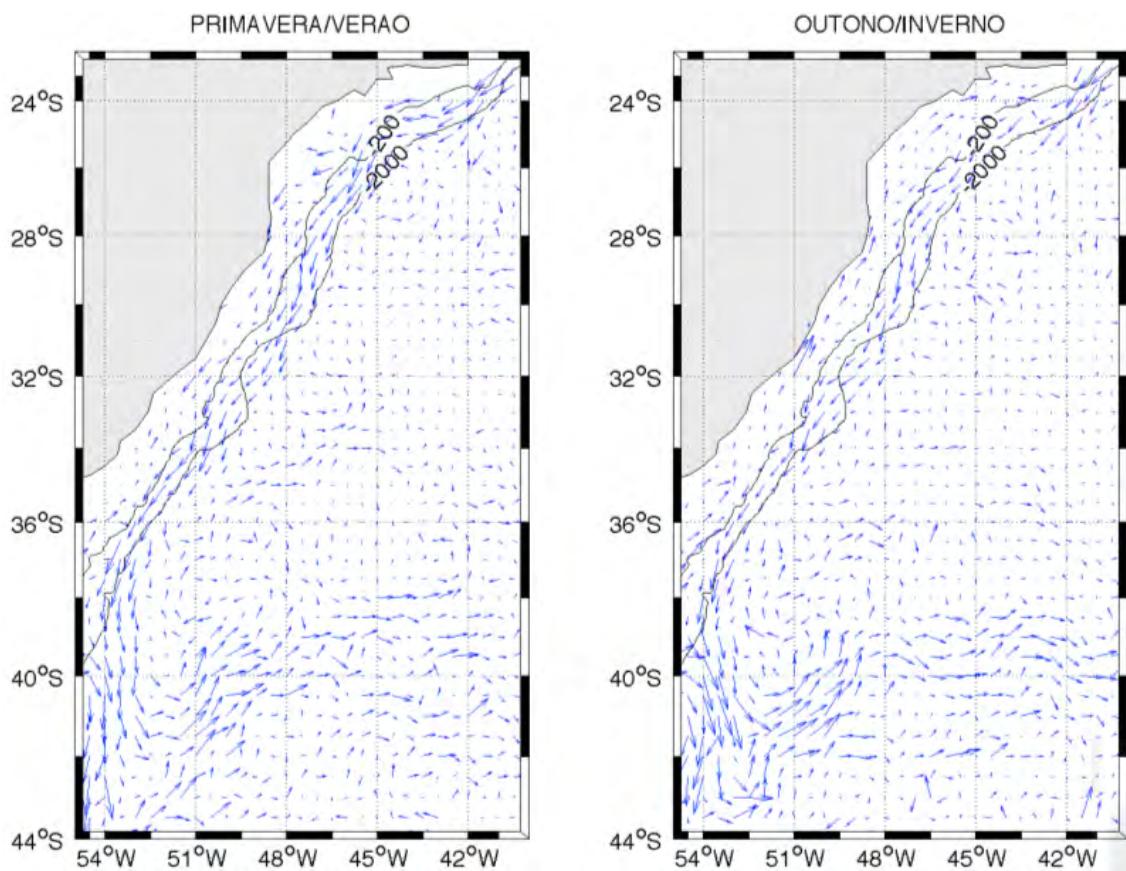


Figura 148: Campo de velocidades de corrente estimado para as costas sudeste e sul do Brasil. Período dos dados: 1993 – 2010. Fonte dos dados: Cerrone (2010).

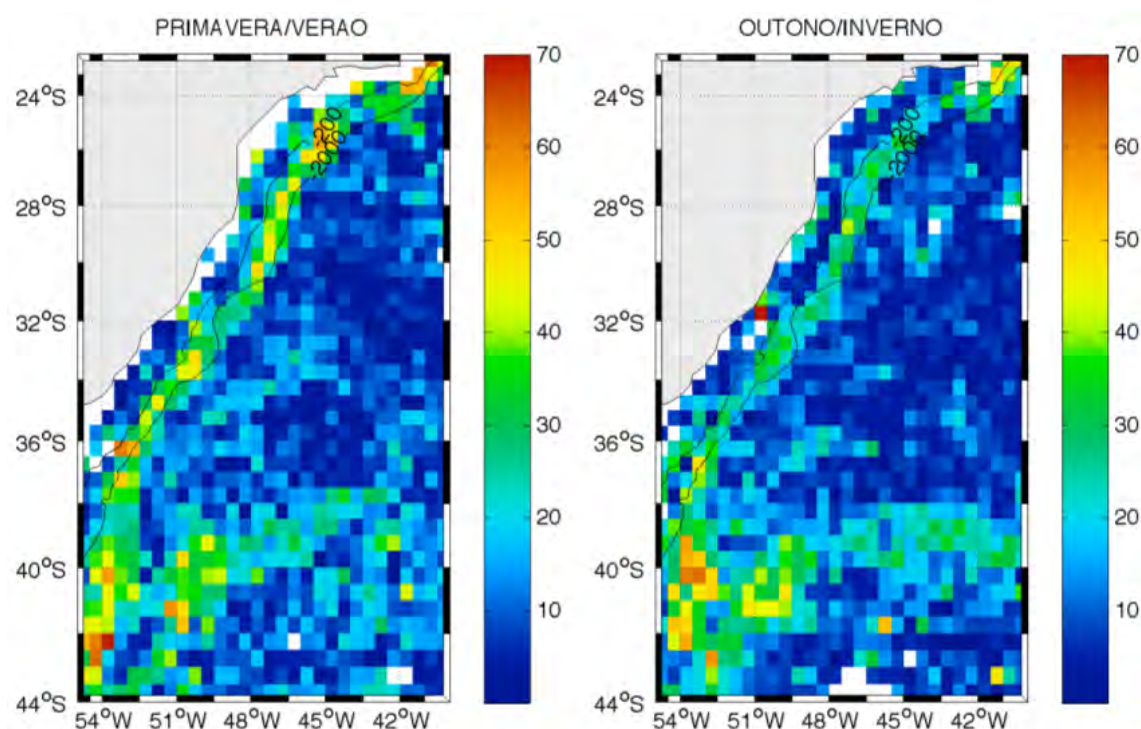


Figura 149: Intensidade média de corrente (cm/s) estimada para as costas sudeste e sul do Brasil. Período dos dados: 1993 – 2010. Fonte dos dados: Cerrone (2010).

Em ambos os cenários, verifica-se a presença da CB na região da Bacia de Santos escoando na direção sul/sudoeste, junto à quebra da plataforma continental. No período de primavera/verão as intensidades são mais elevadas, com média de  $\sim 0,45$  m/s. No outono/inverno as intensidades médias foram de  $\sim 0,3$  m/s. Também pode ser observada claramente a presença da Confluência Brasil-Malvinas nos dois cenários, próximo a latitude de  $40^{\circ}\text{S}$ . No cenário de outono/inverno, também se nota a presença da Corrente Costeira do Brasil (CCB), fluindo sobre a plataforma continental em direção a norte, desde  $36^{\circ}\text{S}$  para além de  $24^{\circ}\text{S}$  (CERRONE, 2010).

Através dos gráficos de linhas de corrente (Figura 150), pode-se observar melhor as feições de mesoescala presentes nos campos médios. As linhas foram iniciadas em diferentes latitudes e são distintas de cor.

Dentre as feições observadas destaca-se a presença da CB, fluindo para sul sobre a queda da plataforma continental e talude, nos dois cenários. A CCB pôde ser observada no cenário de outono/inverno, com trajetórias subindo a plataforma continental na direção norte. Nos dois cenários, a Confluência Brasil-Malvinas esteve posicionada entre aproximadamente  $38^{\circ}\text{S}$  e  $40^{\circ}\text{S}$ . Também é observada uma estrutura ciclônica em aproximadamente  $28^{\circ}\text{S}$ . Essa estrutura possivelmente representa o Vórtice de Santa Marta, e foi observada em ambos os cenários, porém, com maior intensidade no período de primavera/verão.



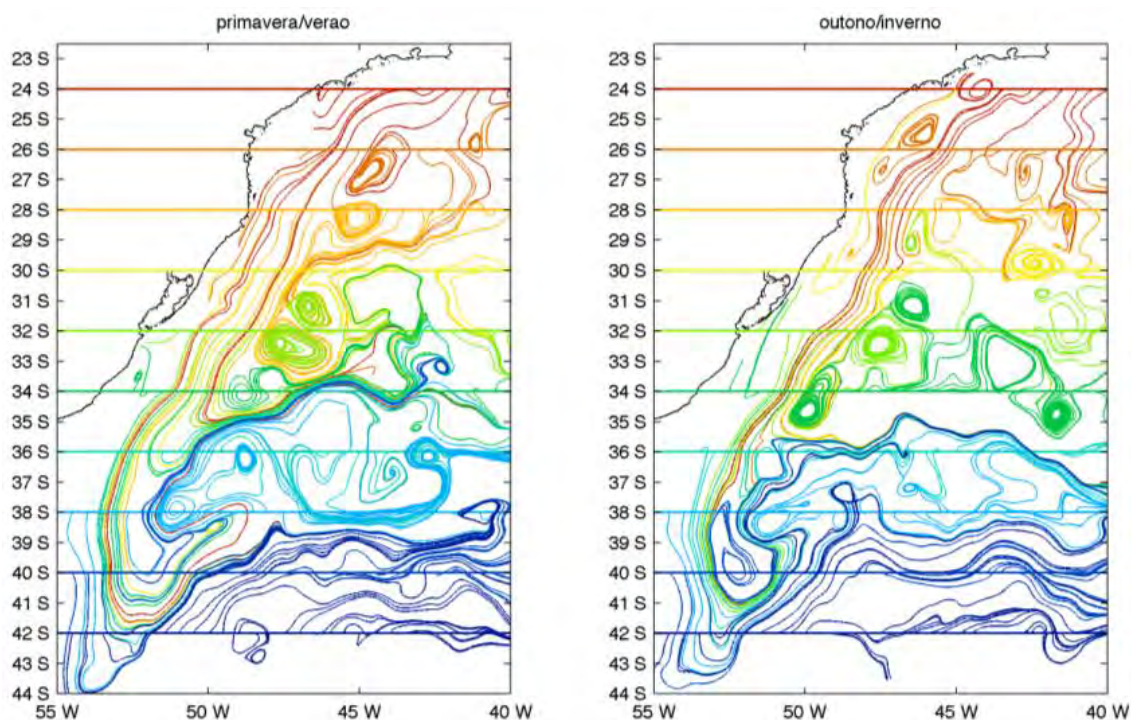


Figura 150: Linhas de corrente partindo das latitudes 25°S, 30°S, 35°S e 40°S. Período dos dados: 1993 – 2010.  
 Fonte dos dados: Cerrone (2010).

A partir de todas as análises apresentadas, é possível sintetizar o regime de correntes na região de interesse. O Campo de Baúna está localizado na porção interna do talude continental, com profundidade de aproximadamente 300 metros, sob o escoamento da borda oeste do núcleo da Corrente do Brasil (CB), sendo sua influência direta presente da superfície ao fundo.

Em superfície, observa-se a CB na região do talude, caracterizada pelos valores mais altos de intensidade e escoamento na direção SW com velocidades médias de 0,25 m/s (máxima de ~1 m/s) na região próxima ao Campo. A intensa atividade de mesoescala, como por exemplo a presença de meandros e vórtices associados à CB, é uma importante fonte de variabilidade das correntes superficiais, resultando na ocorrência de correntes de todas as direções. Tal variabilidade evidencia a tendência de transporte da CB para a plataforma continental na região de interesse, conforme observado em dados de modelos e corroborado por trajetórias observadas de derivadores (item 3.2). Em maiores frequências, atenta-se para a importância das oscilações quase-inerciais (item 3.2), que rotacionam as correntes em sentido anti-horário com período de 30 horas.

Na região da plataforma continental predominam as correntes para SW, paralelas a linha de costa. Essas correntes são geradas pelos ventos típicos de NE associados ao ASAS e encontram-se em equilíbrio dinâmico com o campo de vento. Na passagem de frentes frias observa-se a inversão das correntes para a direção N/NE. Com a maior taxa de ocorrência de frentes frias no outono e inverno, os pulsos de corrente para NE resultam no transporte residual de mesma direção, gerando a Corrente Costeira do Brasil (CCB).



Em 250 m de profundidade, o escoamento da médio da CB é menos intenso, com velocidades médias de  $\sim 0,1$  m/s na região do Campo. Nas profundidades de 500 a 2000 m nota-se a Corrente de Contorno Intermediária (CCI) com escoamento na direção NE nas proximidades do região.

Para profundidades maiores, de 2000 e 2500 m, a presença da Corrente de Contorno Profunda (CCP) é observada a uma grande distância da área de interesse devido à profundidade do bloco BM-S-40.

Todas as análises realizadas demonstraram pouca variabilidade sazonal no padrão de direção e intensidade das correntes na região, com predominância das direções S e SW e intensidades entre 0,1 e 0,4 m/s durante todos os meses do ano. De um modo geral, no período de verão e primavera, as correntes são mais intensas devido à influência dos ventos fortes de NE do ASAS, enquanto que no período de outono e inverno há uma maior ocorrência de passagens de frentes frias e a penetração da CCB.

#### 3.2.4 Regime de ondas

Para este estudo, será empregada a reconstituição da agitação marítima realizada com o modelo de ondas do ECMWF (*European Center for Medium-Range Weather Forecast*), do projeto ERA5, com resultados a cada 4 horas entre os anos de 1989 e 2019. O ponto de grade utilizado é apresentado na Figura 151.

Adicionalmente, são utilizados os resultados do Projeto de Monitoramento Ambiental do empreendimento “Sistema de Desenvolvimento da Produção de Petróleo do Campo de Baúna, Bloco BM-S-40, Bacia de Santos, através do FPSO Cidade de Itajaí” (PMA/BM-S-40, subprojeto PMOP). No âmbito do PMA/BM-S-40 foram gerados relatórios semestrais entre 2015 e 2017 com os resultados de medições de onda (Radar de ondas MIROS a bordo do FPSO Cidade de Itajaí) que serão utilizados no presente relatório como informação complementar e comparativa aos resultados climatológicos com base em 30 anos de dados da reanálise do ECMWF (ERA5).

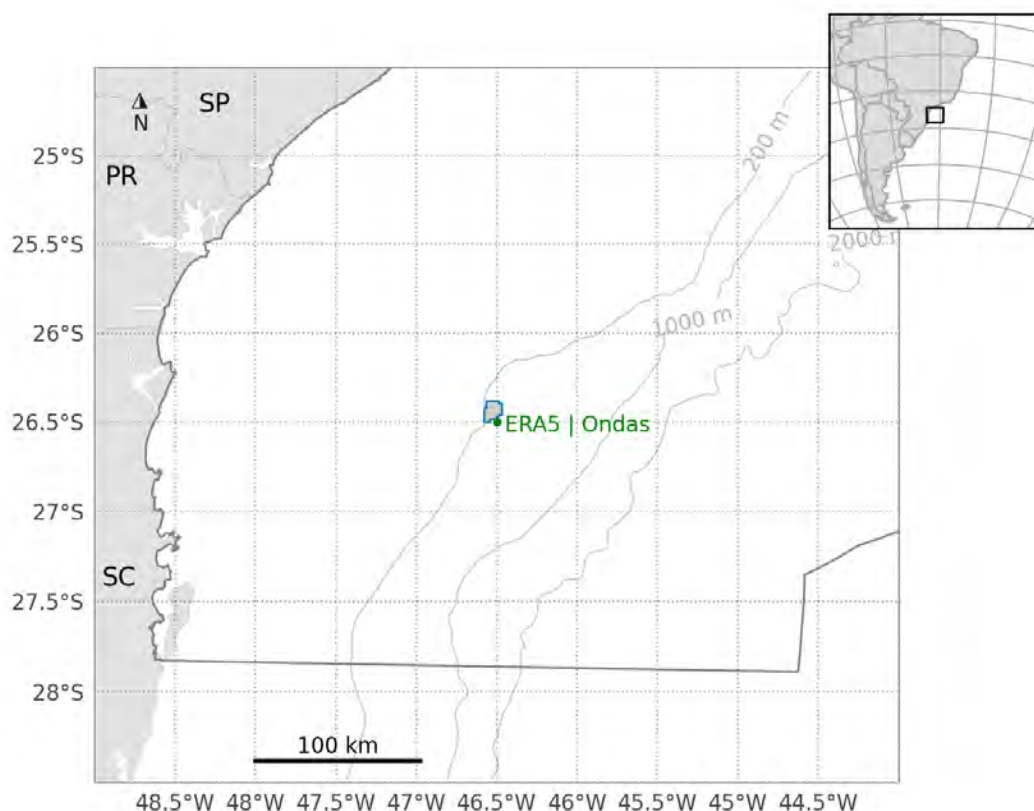


Figura 151: Mapa com a localização do ponto de grade do ERA5 utilizado para caracterização de ondas da área de estudo do Campo de Baúna na Bacia de Santos. Datum: SIRGAS2000.

Segundo Innocentini *et. al.* (2011) a costa sudeste brasileira é caracterizada por uma transição entre a propagação de ondas de nordeste e leste, formadas pelo flanco superior do ASAS, e ondas formadas pelos ciclones extratropicais vindos do sul, que podem gerar ondas de sudoeste, sul e sudeste. Segundo o autor, esses sistemas podem gerar ondas com alturas significativas de 5 a 6 m em mar aberto.

Em estudo sobre o clima de ondas na costa brasileira, Pianca *et. al.* (2010) indicaram que para a região de estudo predominam as seguintes ondulações:

- Verão: Predominância de ondas de S (29,2%), E (27%), NE (22,1%) e SE (20,1%). As alturas típicas para este período são de 1 a 2 m, e as maiores alturas são provenientes de SW, atingindo até 4 m.
- Outono: Direção predominante de S (47,2%), alturas típicas entre 1 e 3 m, e maiores alturas provenientes de SW, podendo ultrapassar 6m.
- Inverno: Direção predominante de S (38,1%) e alturas típicas entre 2 e 3 m. As maiores alturas para o período são de 5,7 m.
- Primavera: Predominância de ondas de E (33,7%), com alturas típicas entre 1 e 2m. As maiores alturas para o período são da ordem de 4,5 m.

Medições diretas de ondas são escassas na costa brasileira e muitas vezes os dados existentes são privados e não disponibilizados para a comunidade científica. Soma-se a isso o fato de que as medições são normalmente de curta duração. Portanto, a utilização de modelos de ondas é amplamente utilizada por permitir a análise de séries extensas e amplas de dados. Tais modelos utilizam séries de dados de vento e batimetria para simular a formação e dispersão de ondas ao longo de um domínio específico.

As nomenclaturas *swell* e *wind sea*, equivalentes a marulho e vaga, são amplamente utilizadas na literatura técnica, mesmo em língua portuguesa, para designar ondas fora da ou sob a influência do vento local e serão empregadas neste estudo.

Deve-se levar em consideração que *swell* são ondas que não são capazes de receber energia do vento local. Portanto, podem apresentar menor contribuição no espectro, caso o vento local esteja, por exemplo, em sentido contrário a sua propagação, dando lugar a espectros multimodais, tanto em duas (frequência x energia), quanto em três (frequência x energia x direção). No Campo de Baúna, os principais processos geradores de ondulações são ventos de NE associados ao ASAS – mar local - e evolução de ciclones extratropicais – *swell*, que quando atuando em conjunto, geram mares multimodais.

Na Figura 152 é apresentado um exemplo de espectro polar, retirado do projeto Atlasul (<https://www.atlasul.eco.br/>), no qual pode-se perceber a presença de dois sistemas de onda, um *swell* de direção S com período de cerca de 16 segundos, e um mar local de E, com cerca de 8 segundos de período. Vale lembrar que, pela convenção adotada, as ondas estão representadas como rumo (para onde vão). Essa condição de mar, observada no dia 03 de setembro de 2020 é bastante típica do estado de mar na Bacia de Santos após a passagem de frentes frias. É importante ressaltar que na região ainda pode ocorrer condições com mais de dois modos principais, como exemplificado na Figura 153.

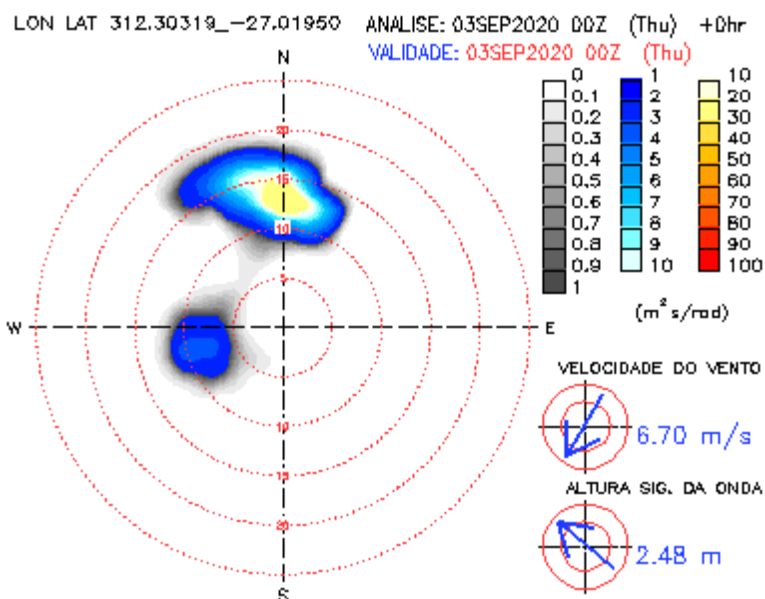


Figura 152: Espectro polar bimodal de ondas da região da Baía de Santos (47,7°W; 27,01°S) mostrando a presença de dois sistemas de onda atuando conjuntamente. Fonte: ATLASUL.

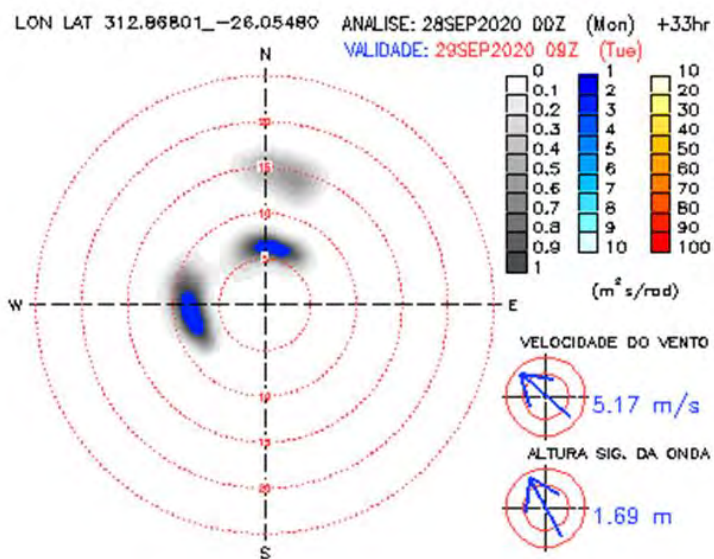


Figura 153: Espectro polar trimodal de ondas da região da Baía de Santos (47,7°W; 27,01°S) mostrando a presença de três sistemas de onda atuando conjuntamente. Fonte: ATLASUL.

Para exemplificar a formação dos sistemas de onda típicos associados aos fenômenos atmosféricos descritos no item 2.1, a seguir são apresentados mapas de campos de vento e campos de onda para duas situações distintas.

Na Figura 154 (a) é possível verificar um campo de vento gerado pelo ASAS e, na Figura 154 (b) vê-se o campo de alturas significativas de ondas por ele gerado.



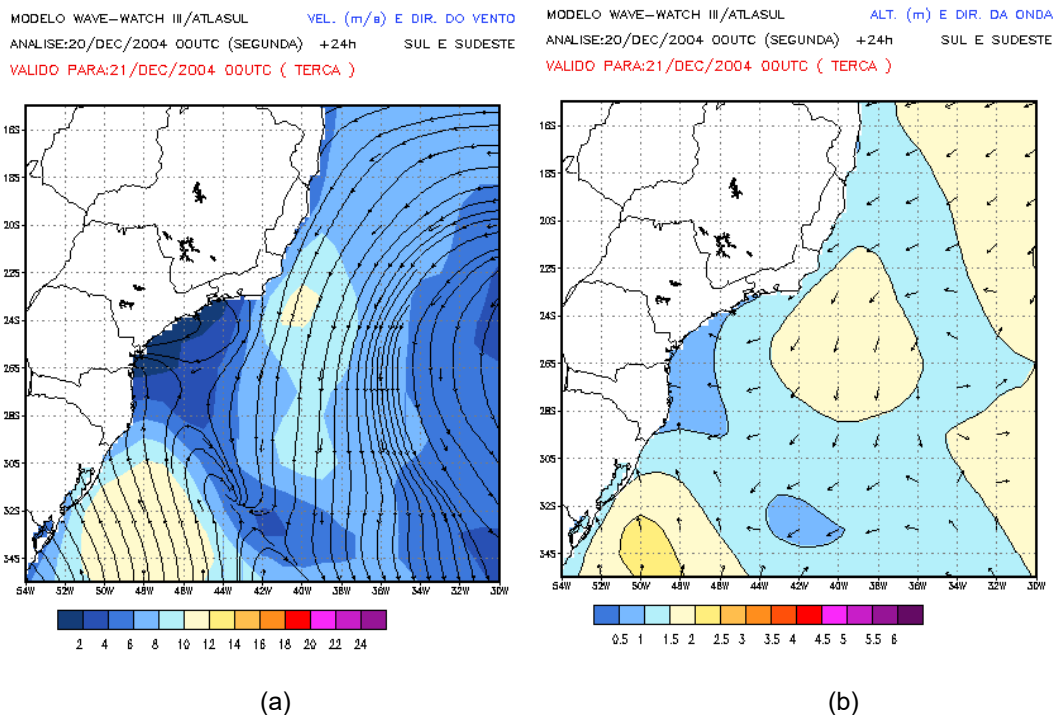
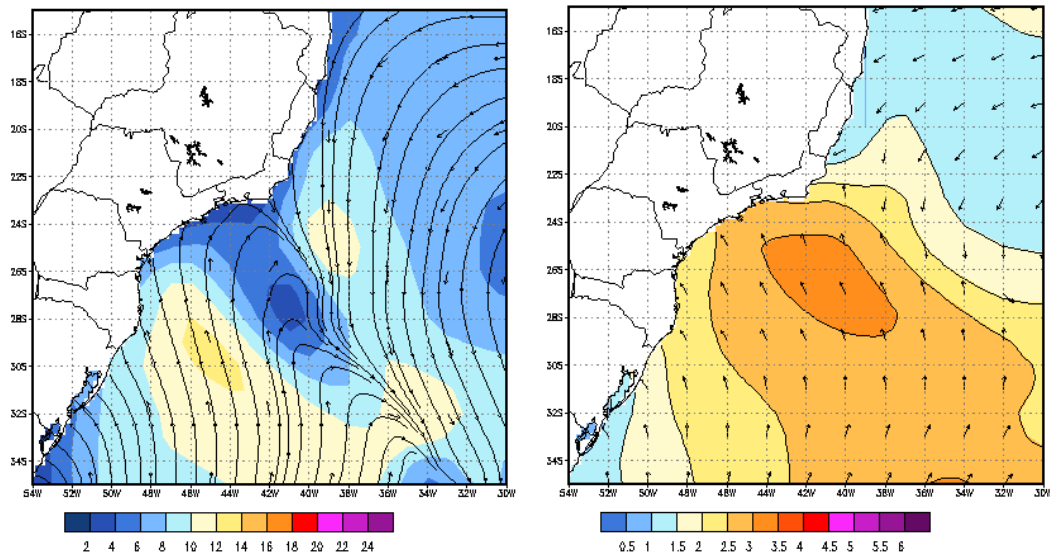


Figura 154: Exemplo de atuação do vento de NE, associado ao ASAS (a), levando ao desenvolvimento de um mar local de até 2 m (b). Fonte: ATLASUL.

Na Figura 155 (a) é possível verificar uma passagem de frente fria pela Bacia de Santos e o campo de alturas significativas de ondas por ele gerado (Figura 155 (b)). Nesse evento, os ventos de SW associados foram fracos, como pode ser visto na previsão para 36 horas. Porém, com a evolução do sistema, ventos fortes de SE geraram ondas com altura significativa entre 3 e 3,5 m.

MODELO WAVE-WATCH III/ATLASUL      VEL. (m/s) E DIR. DO VENTO      MODELO WAVE-WATCH III/ATLASUL      ALT. (m) E DIR. DA ONDA  
 ANALISE:20/DEC/2004 00UTC (SEGUNDA) +36h      SUL E SUDESTE      ANALISE:20/DEC/2004 00UTC (SEGUNDA) +66h      SUL E SUDESTE  
 VALIDO PARA:21/DEC/2004 12UTC ( TERÇA )      VALIDO PARA:22/DEC/2004 18UTC (QUARTA )



(a)

(b)

Figura 155: Exemplo de passagem de uma frente fria pela Bacia de Santos. Nesse evento, os ventos de SW associados foram fracos, como pode ser visto na previsão para 36 horas (a). Porém, com a evolução do sistema, ventos fortes de SE geraram ondas com altura significativa entre 3 e 3,5 m (b). Fonte: ATLASUL.

A seguir são apresentadas análises a partir da série de 30 anos de dados de reanálise do ECMWF (ERA5) de altura significativa, direção média e período de pico para o estado de mar 'total' e separado em *wind sea* e *swell*, no ponto mais próximo ao Campo de Baúna (Figura 151). A série temporal do período completo (1989 – 2019) é apresentada na Figura 156.

A variável altura significativa ( $H_s$ ) é uma medida estatística amplamente utilizada na literatura técnica. Ela representa a média da altura da terça parte das maiores ondas da série (por ex.: de um conjunto de 9 ondas, é a média da altura das três maiores ondas) e é útil na análise do estado de agitação marítimo, pois leva em consideração tanto as ondas de formação local (*wind sea*), quanto *swell*, além de ser uma medida conservadora.

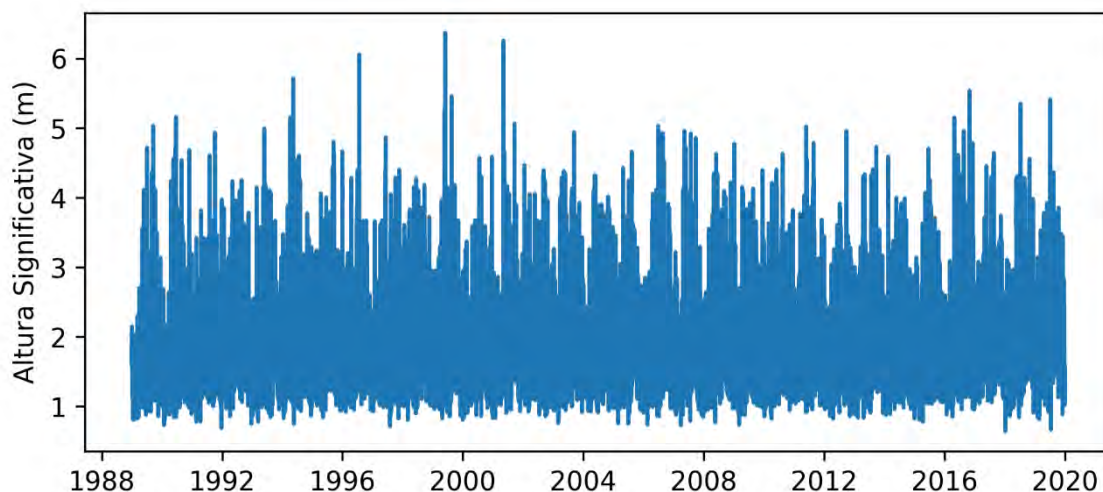


Figura 156: Série temporal de altura significativa no Campo de Baúna entre os anos de 1989 e 2019. Fonte dos dados: ERA5.

No diagrama de dispersão de altura x direção das ondas Figura 157, pode-se verificar que, no Campo de Baúna, as maiores ondas apresentam direção de SW e S, chegando a 6 metros. Pela localização do ponto analisado, praticamente não há ondas de W, NW e N, embora ondas de formação local possam ser geradas com essas direções.

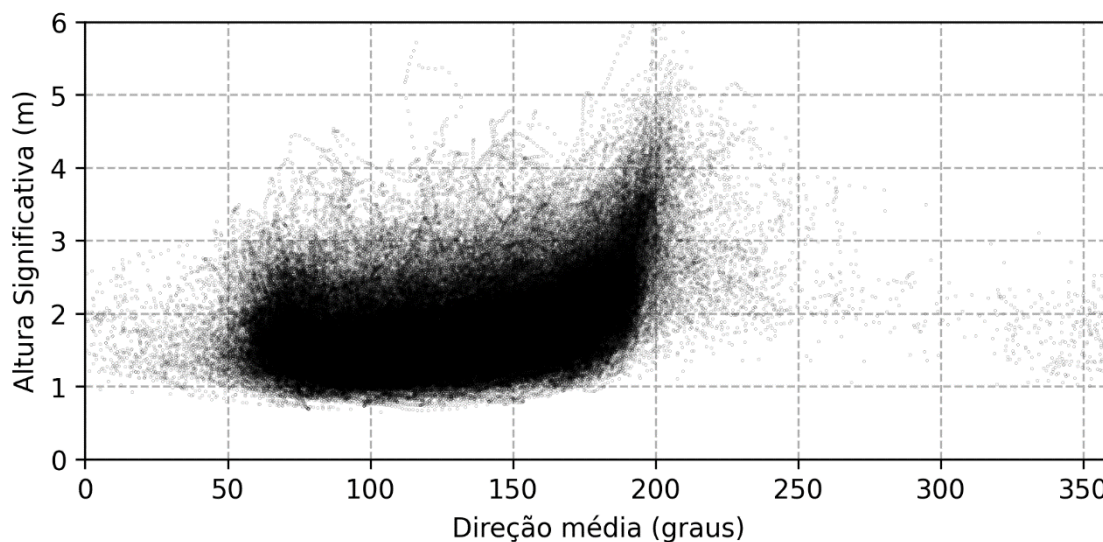


Figura 157: Diagrama de dispersão de altura significativa ( $H_s$ ) por direção média das ondas. Fonte dos dados: ERA5 (1989 a 2019).

A direção mais frequente é de SE e E, com respectivamente 33,7% e 31,89% das ocorrências, seguidas por S, com 28,08%. Os máximos de altura estão associados ao quadrante S (direções SE, S e SW). A condição de mar mais frequente apresenta ondas com altura significativa entre 1,5 e 2,0 metros, nas direções S, SE e E. A Tabela 30 detalha esses resultados.

Tabela 30: Ocorrência conjunta de altura significativa e direção de ondas na região do Campo de Baúna. Fonte dos dados: ERA5 (1989 a 2019)

| altura/direção        | N    | NE    | E     | SE    | S     | SW   | W    | NW   | N° ocorrências | %     |
|-----------------------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|----------------|-------|
| 0-0,5                 | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 0    | 0              | 0     |
| 0,5-1,0               | 3    | 210   | 3143  | 1784  | 102   | 0    | 0    | 0    | 5242           | 1,93  |
| 1,0-1,5               | 173  | 4363  | 36946 | 29300 | 7539  | 18   | 5    | 22   | 78366          | 28,84 |
| 1,5-2,0               | 194  | 5451  | 30319 | 35396 | 23089 | 188  | 23   | 49   | 94709          | 34,85 |
| 2,0-2,5               | 87   | 2139  | 11672 | 17048 | 23507 | 580  | 68   | 32   | 55133          | 20,29 |
| 2,5-3,0               | 18   | 764   | 3429  | 5678  | 12709 | 714  | 24   | 3    | 23339          | 8,59  |
| 3,0-3,5               | 0    | 177   | 809   | 1648  | 6010  | 490  | 25   | 2    | 9161           | 3,37  |
| 3,5-4,0               | 0    | 17    | 266   | 495   | 2555  | 449  | 20   | 0    | 3802           | 1,4   |
| 4,0-4,5               | 0    | 0     | 59    | 221   | 791   | 338  | 0    | 0    | 1409           | 0,52  |
| 4,5-5,0               | 0    | 0     | 4     | 34    | 242   | 139  | 0    | 0    | 419            | 0,15  |
| >5                    | 0    | 0     | 2     | 13    | 74    | 59   | 0    | 0    | 148            | 0,05  |
| <b>N° ocorrências</b> | 475  | 13121 | 86643 | 91570 | 76302 | 2777 | 165  | 108  | -              | -     |
| <b>%</b>              | 0,17 | 4,83  | 31,89 | 33,7  | 28,08 | 1,02 | 0,06 | 0,04 | -              | -     |

Abaixo, na Tabela 31, apresentam-se os percentuais de ocorrência de ondas por direção, assim como as alturas significativas médias e máximas associadas a cada direção de onda observadas pelo radar a bordo do FPSO Cidade de Itajaí (PMA/BM-S-40, subprojeto PMOP). Nota-se que os percentuais de direção são bastante similares ao observado nos dados de reanálise do ERA5. A maior diferença observada é no percentual de ondas de NE, que aparece com um percentual maior (13,4%) nos dados observados do que na série histórica do ERA5 (4,83%), e na altura máxima associada a essa direção – maior no dado observado (5,8 m) do que na série da reanálise (4 m). As direções mais frequentes, contudo, são de E, SE e S em ambas as fontes de dados. Praticamente não se observam ondas de N, W e NW, devido ao posicionamento do campo de Baúna em relação ao continente.

As maiores alturas médias e máximas são observadas associadas às ondas de SE, S e SW, que apresentam alturas máximas maiores que 6 metros, assim como observado na reanálise do ERA5.

Tabela 31: Percentual de ocorrência de ondas por direção e altura significativa média e máxima associada a cada direção observada por sensor (radar) a bordo do FPSO Cidade de Itajaí. Fonte dos dados: PMA/BM-S-40, subprojeto PMOP.

|                       | Direção de Onda      |       |       |       |       |      |      |      |
|-----------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
|                       | N                    | NE    | E     | SE    | S     | SW   | W    | NW   |
| <b>Ocorrência (%)</b> | 0,3%                 | 13,4% | 33,6% | 25,3% | 25,5% | 1,6% | 0,1% | 0,1% |
|                       | Altura Significativa |       |       |       |       |      |      |      |
|                       | N                    | NE    | E     | SE    | S     | SW   | W    | NW   |
| <b>Média</b>          | 1,86                 | 1,98  | 1,99  | 2,15  | 2,56  | 2,89 | 2,34 | 1,99 |
| <b>Máximo</b>         | 3,53                 | 5,8   | 5,75  | 6,39  | 6,23  | 6,25 | 3,16 | 3,68 |



Na rosa de ondas relativa à direção média (Figura 158), pode-se observar graficamente o padrão visto na tabela de ocorrência conjunta. Considerando-se a natureza desse parâmetro, basicamente a média entre os diversos sistema de onda que compõe o espectro direcional, essa distribuição confirma as tendências anteriormente apresentadas.

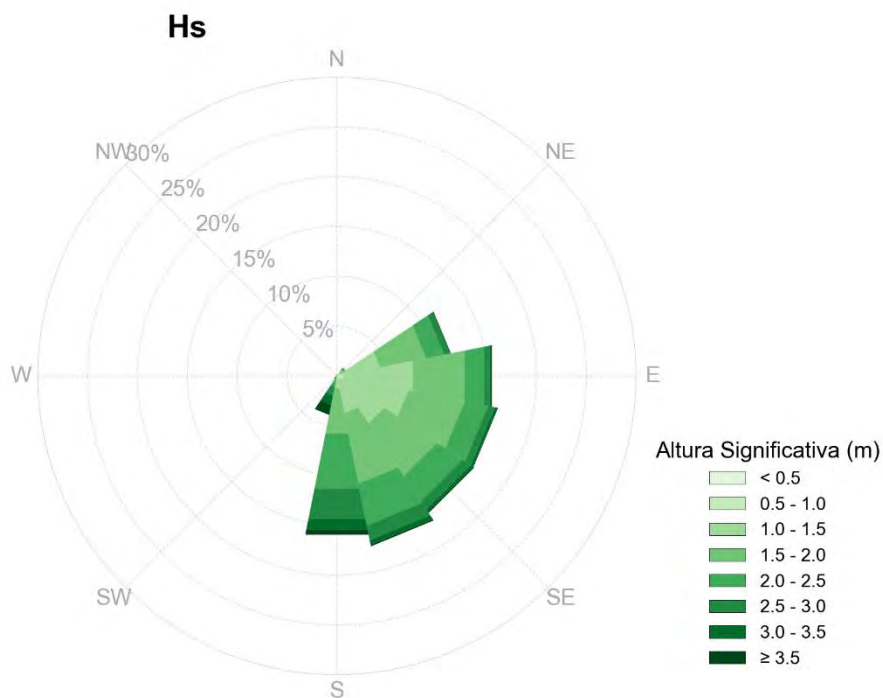


Figura 158: Histograma direcional de ondas na região do Campo de Baúna. Fonte dos dados: ERA5 (1989 a 2019).

Na Figura 159 é apresentada a distribuição do período e altura significativa para swell e mar local (wind sea). Observa-se que a distribuição referente ao swell tem ocorrências em períodos mais altos, até 14 s. Para o wind sea, as maiores ondas (> 2 m) estão associadas a períodos entre 6 e 9 s. Os detalhes desta distribuição podem ser encontrados na Tabela 32 e na Tabela 33.

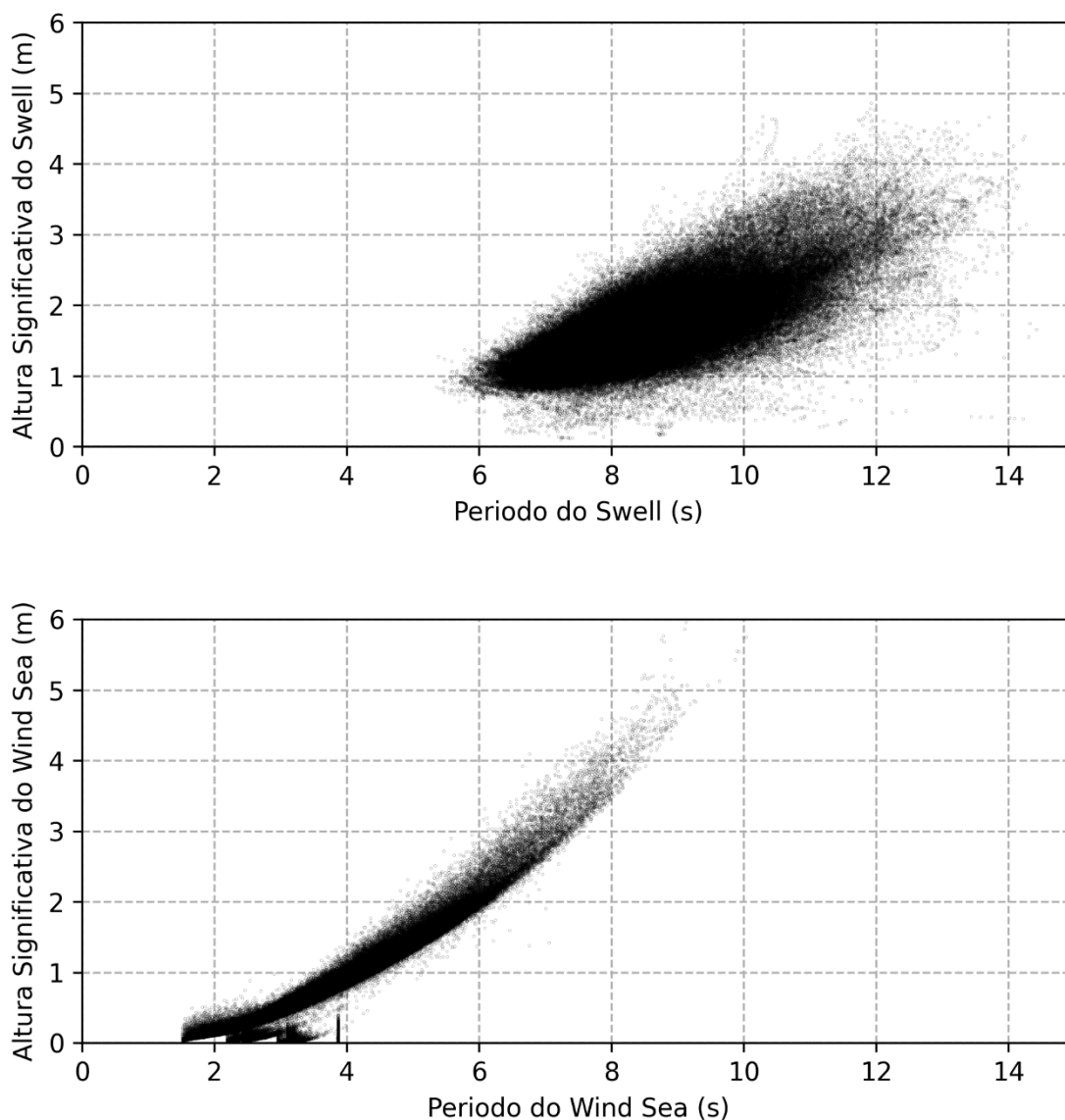


Figura 159: Diagrama de dispersão para altura significativa e período de pico para swell (acima) e mar local (wind sea) (abaixo). Fonte dos dados: ERA5 (1989 a 2019).

Em geral, as ondas do mar local (*wind sea*) apresentaram alturas mais baixas, associadas a períodos mais curtos, entre 0 a 1 m (~80%) e entre 2 e 6 s (~90%). Para as ondas de *swell*, as alturas mais frequentes observadas se encontram entre 1 e 2,5 m (~90%) e períodos de 6 a 10 segundos (~85%).

Tabela 32: Ocorrência conjunta entre altura e período do *swell* na região de interesse. Fonte dos dados: ERA 5 (1989 a 2019).

| Altura/Período        | 2 a 4 | 4 a 6 | 6 a 8 | 8 a 10 | 10 a 12 | 12 a 14 | 14 a 16 | 16 a 18 | N° Ocorrências | %     |
|-----------------------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|----------------|-------|
| 0-0,5                 | 0     | 0     | 296   | 141    | 21      | 4       | 3       | 0       | 465            | 0,17  |
| 0,5-1,0               | 0     | 206   | 9309  | 2058   | 111     | 2       | 0       | 0       | 11686          | 4,3   |
| 1,0-1,5               | 0     | 99    | 61352 | 39366  | 1316    | 33      | 0       | 0       | 102166         | 37,6  |
| 1,5-2,0               | 0     | 0     | 20837 | 66234  | 7906    | 142     | 3       | 0       | 95122          | 35,01 |
| 2,0-2,5               | 0     | 0     | 1285  | 26809  | 13013   | 441     | 0       | 0       | 41548          | 15,29 |
| 2,5-3,0               | 0     | 0     | 27    | 4968   | 7978    | 874     | 1       | 0       | 13848          | 5,1   |
| 3,0-3,5               | 0     | 0     | 0     | 615    | 3532    | 1122    | 4       | 0       | 5273           | 1,94  |
| 3,5-4,0               | 0     | 0     | 0     | 32     | 838     | 448     | 9       | 0       | 1327           | 0,49  |
| 4,0-4,5               | 0     | 0     | 0     | 2      | 119     | 139     | 3       | 0       | 263            | 0,1   |
| 4,5-5                 | 0     | 0     | 0     | 0      | 21      | 9       | 0       | 0       | 30             | 0,01  |
| > 5                   | 0     | 0     | 0     | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0              | 0     |
| <b>N° Ocorrências</b> | 0     | 305   | 93106 | 140225 | 34855   | 3214    | 23      | 0       |                |       |
| <b>%</b>              | 0     | 0,11  | 34,26 | 51,6   | 12,83   | 1,18    | 0,01    | 0       |                |       |

Tabela 33: Ocorrência conjunta entre altura e período do *wind sea* na região de interesse. Fonte dos dados: ERA 5 (1989 a 2019).

| Altura/Período        | 2 a 4  | 4 a 6 | 6 a 8 | 8 a 10 | 10 a 12 | 12 a 14 | 14 a 16 | 16 a 18 | N° Ocorrências | %     |
|-----------------------|--------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|----------------|-------|
| 0-0,5                 | 121104 | 3     | 0     | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 121107         | 49,05 |
| 0,5-1,0               | 61578  | 10180 | 0     | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 71758          | 29,07 |
| 1,0-1,5               | 761    | 30406 | 3     | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 31170          | 12,63 |
| 1,5-2,0               | 0      | 12683 | 235   | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 12918          | 5,23  |
| 2,0-2,5               | 0      | 1945  | 3213  | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 5158           | 2,09  |
| 2,5-3,0               | 0      | 68    | 2435  | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 2503           | 1,01  |
| 3,0-3,5               | 0      | 0     | 1281  | 1      | 0       | 0       | 0       | 0       | 1282           | 0,52  |
| 3,5-4,0               | 0      | 0     | 499   | 99     | 0       | 0       | 0       | 0       | 598            | 0,24  |
| 4,0-4,5               | 0      | 0     | 86    | 197    | 0       | 0       | 0       | 0       | 283            | 0,11  |
| 4,5-5                 | 0      | 0     | 1     | 83     | 0       | 0       | 0       | 0       | 84             | 0,03  |
| > 5                   | 0      | 0     | 0     | 27     | 1       | 0       | 0       | 0       | 28             | 0,01  |
| <b>N° Ocorrências</b> | 183443 | 55285 | 7753  | 380    | 0       | 0       | 0       | 0       |                |       |
| <b>%</b>              | 74,3   | 22,39 | 3,14  | 0,15   | 0       | 0       | 0       | 0       |                |       |

Para o *swell*, os maiores períodos (> 12 s) estão associados às direções SW, S e SE. Essas ondas são geradas pela evolução de frentes frias e ciclones extratropicais que, ao se formar podem gerar ondas de SW e ao se deslocar para E/NE, geram ondulações de SE para a região de estudo.

Os maiores períodos de *wind sea* estão associados à direção NE e S/SW (aproximadamente 6 a 8 segundos) (Figura 160). Nota-se o maior espalhamento direcional do mar local, associado diretamente aos ventos atuantes no local. Os resultados detalhados dessas figuras podem ser vistos nas Tabela 34 e Tabela 35.

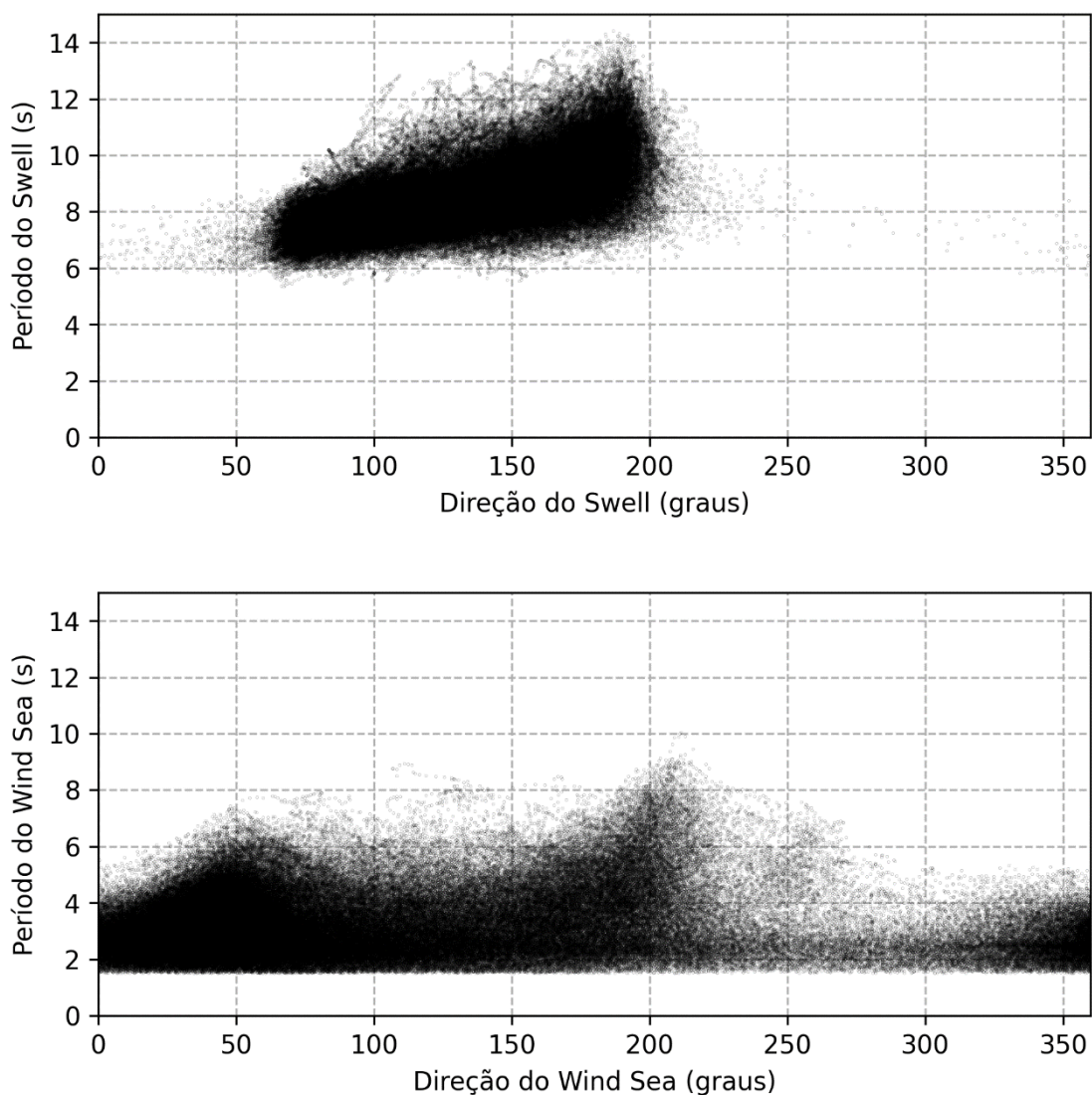


Figura 160: Diagrama de dispersão para direção e período de pico para ondulação (swell) (acima) e mar local (wind sea) (abaixo). Fonte dos dados: ERA5 (1989 a 2019).



Tabela 34: Ocorrência conjunta da direção e período para o *swell* na região de interesse. Fonte dos dados: ERA5 (1989 a 2019).

| período/direção | N    | NE   | E     | SE    | S     | SW   | W    | NW   | N° ocorrências | %     |
|-----------------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|----------------|-------|
| 2 a 4           | 0    | 0    | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 0    | 0              | 0     |
| 4 a 6           | 8    | 66   | 173   | 52    | 5     | 0    | 0    | 1    | 305            | 0,11  |
| 6 a 8           | 76   | 2742 | 53290 | 28367 | 8409  | 197  | 10   | 15   | 93106          | 34,26 |
| 8 a 10          | 3    | 240  | 30539 | 62464 | 46227 | 740  | 12   | 0    | 140225         | 51,6  |
| 10 a 12         | 0    | 0    | 707   | 7856  | 26020 | 272  | 0    | 0    | 34855          | 12,83 |
| 12 a 14         | 0    | 0    | 29    | 407   | 2768  | 10   | 0    | 0    | 3214           | 1,18  |
| 14 a 16         | 0    | 0    | 0     | 0     | 23    | 0    | 0    | 0    | 23             | 0,01  |
| > 16            | 0    | 0    | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 0    | 0              | 0     |
| N° ocorrências  | 87   | 3048 | 84738 | 99146 | 83452 | 1219 | 22   | 16   | -              | -     |
| %               | 0,03 | 1,12 | 31,18 | 36,49 | 30,71 | 0,45 | 0,01 | 0,01 | -              | -     |

Tabela 35: Ocorrência conjunta da direção e período para o *wind sea* na região de interesse. Fonte dos dados: ERA5 (1989 a 2019).

| período/direção | N     | NE    | E     | SE    | S     | SW    | W    | NW   | N° ocorrências | %     |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|----------------|-------|
| 2 a 4           | 27431 | 78119 | 27710 | 19785 | 16632 | 6865  | 3262 | 5640 | 185444         | 74,51 |
| 4 a 6           | 2043  | 20017 | 8950  | 6991  | 12196 | 3738  | 973  | 377  | 55285          | 22,21 |
| 6 a 8           | 1     | 1058  | 772   | 738   | 3031  | 1928  | 225  | 0    | 7753           | 3,12  |
| 8 a 10          | 0     | 0     | 7     | 32    | 101   | 267   | 0    | 0    | 407            | 0,16  |
| 10 a 12         | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0    | 0    | 1              | 0     |
| 12 a 14         | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 0              | 0     |
| 14 a 16         | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 0              | 0     |
| > 16            | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 0              | 0     |
| N° ocorrências  | 29475 | 99194 | 37439 | 27546 | 31960 | 12799 | 4460 | 6017 |                |       |
| %               | 11,84 | 39,85 | 15,04 | 11,07 | 12,84 | 5,14  | 1,79 | 2,42 |                |       |

Nas rosas (histogramas direcionais) apresentadas para o *swell* e *wind sea* (Figura 161) para todo o período de dados, nota-se claramente a diferença no padrão direcional. Enquanto o *swell* apresenta maiores alturas e direções distribuídas de sul a leste – associadas à evolução típica das frentes frias – o mar local apresenta maior percentual de ocorrência de NE, associado aos ventos do ASAS sobre a região.

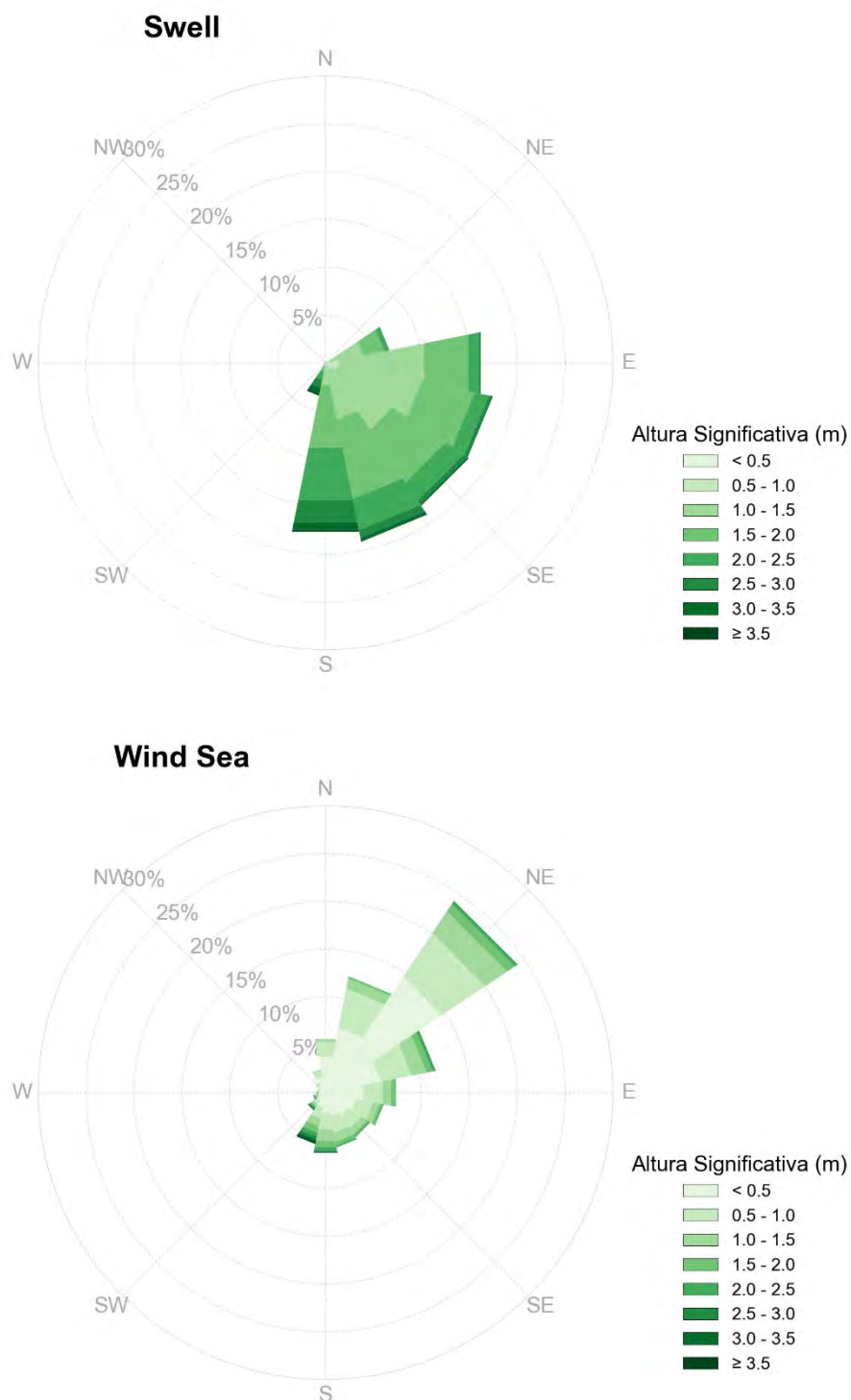


Figura 161: Histograma direcional do *Swell* (acima) e *Wind Sea* (abaixo) Fonte dos dados: ERA5 (1989 a 2019).

O histograma de altura significativa (Figura 161 – painel superior) indica que o valor típico desse parâmetro é de 1,5 a 2 m, mas alturas de até 3 m são frequentemente observadas (~10%). Valores de  $H_s$  inferiores a 1 m são bastante raros, conforme indicado no gráfico. Grande parte do *swell* tem altura entre 1 e 1,5 m, enquanto que para o *wind sea* as alturas mais frequentes são até 1 m.

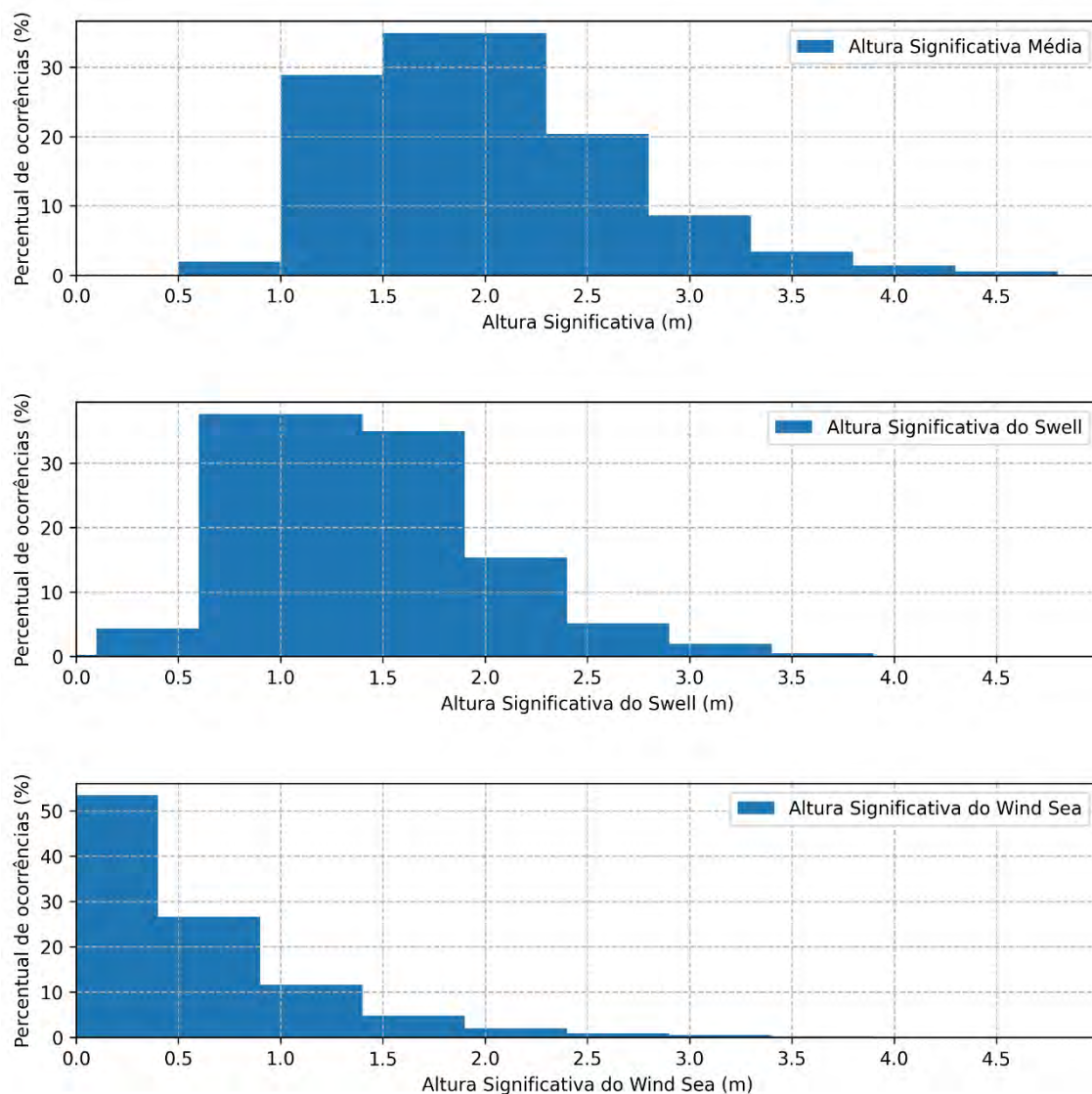


Figura 162: Histograma da altura significativa média (acima), do *swell* (ao centro) e do *wind sea* (abaixo). Fonte dos dados: ERA5 (1989 a 2019).

Na Figura 163 estão apresentados os valores médios (acima) e máximos (abaixo) mensais da altura significativa das ondas no Campo de Baúna. Nota-se um claro padrão sazonal, com maiores alturas nos meses entre maio e setembro, época de maior ocorrência de passagens de frentes frias na Bacia de Santos. Entre maio e setembro, a Hs média é de aproximadamente 2 metros, com ocorrência de condições de mar com Hs acima de 5 metros entre abril e outubro.

O gráfico de altura significativa média e máxima mensal do *swell* é apresentado na Figura 164. Nota-se o mesmo padrão observado na Figura 163, indicando que o *swell* é dominante na composição do espectro total de energia do Campo de Baúna.

O comportamento das alturas significativas médias e máximas mensais do *wind sea* é apresentado na Figura 165. Observa-se o mês de setembro como o mês com as maiores alturas médias e os meses de maio e julho como os meses com maiores alturas máximas.

A Tabela 36 lista os valores médios e máximos de Hs, swell e wind sea, para todo o período analisado.

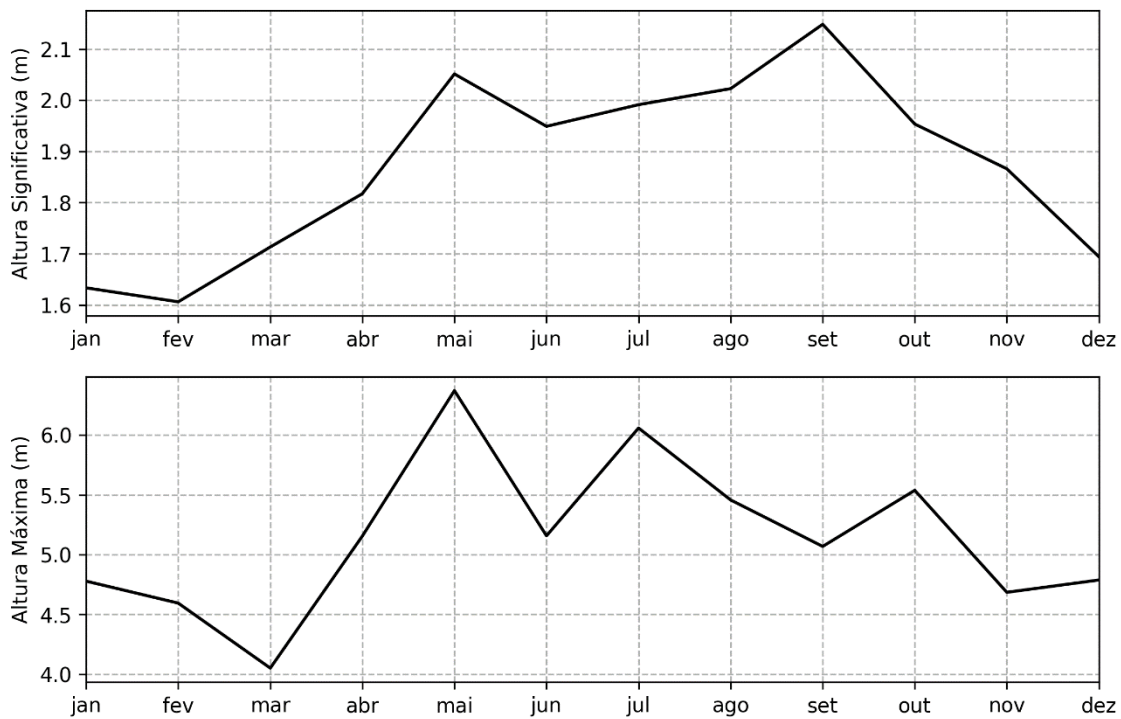


Figura 163: Valores médios (em cima) e máximos (embaixo) mensais da altura significativa na área de interesse. Fonte dos dados: ERA5 (1989 a 2019).



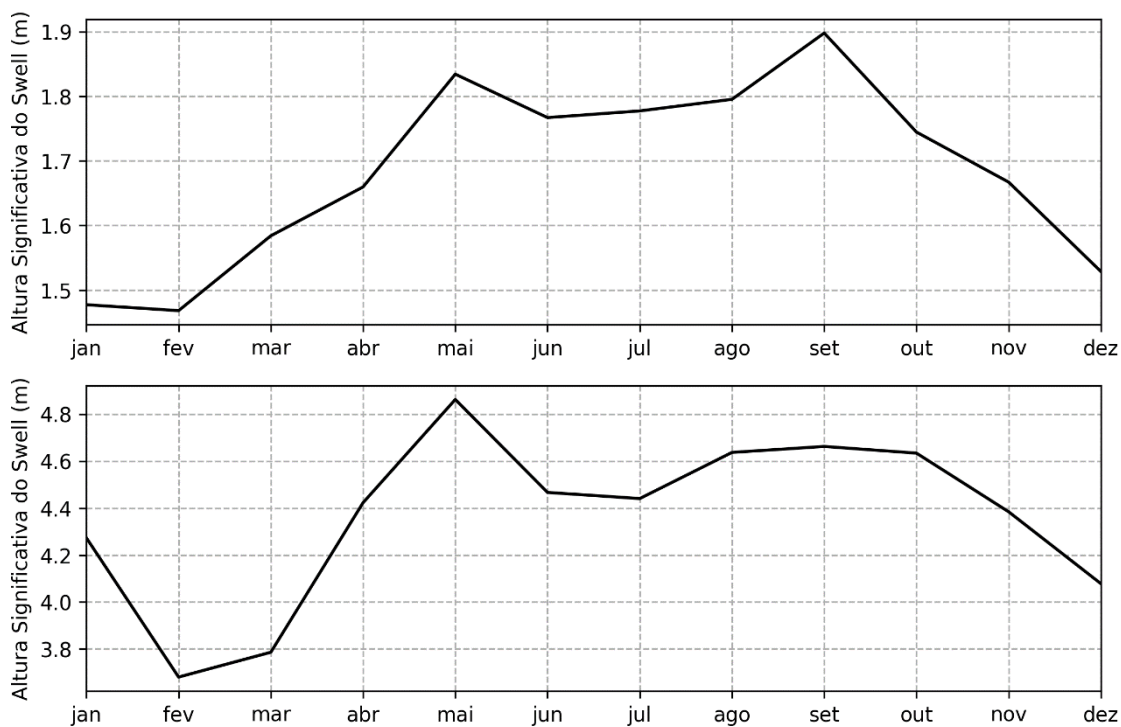


Figura 164: Valores médios (em cima) e máximos (embaixo) mensais da altura significativa do *swell* na área de interesse. Fonte dos dados: ERA5 (1989 a 2019).

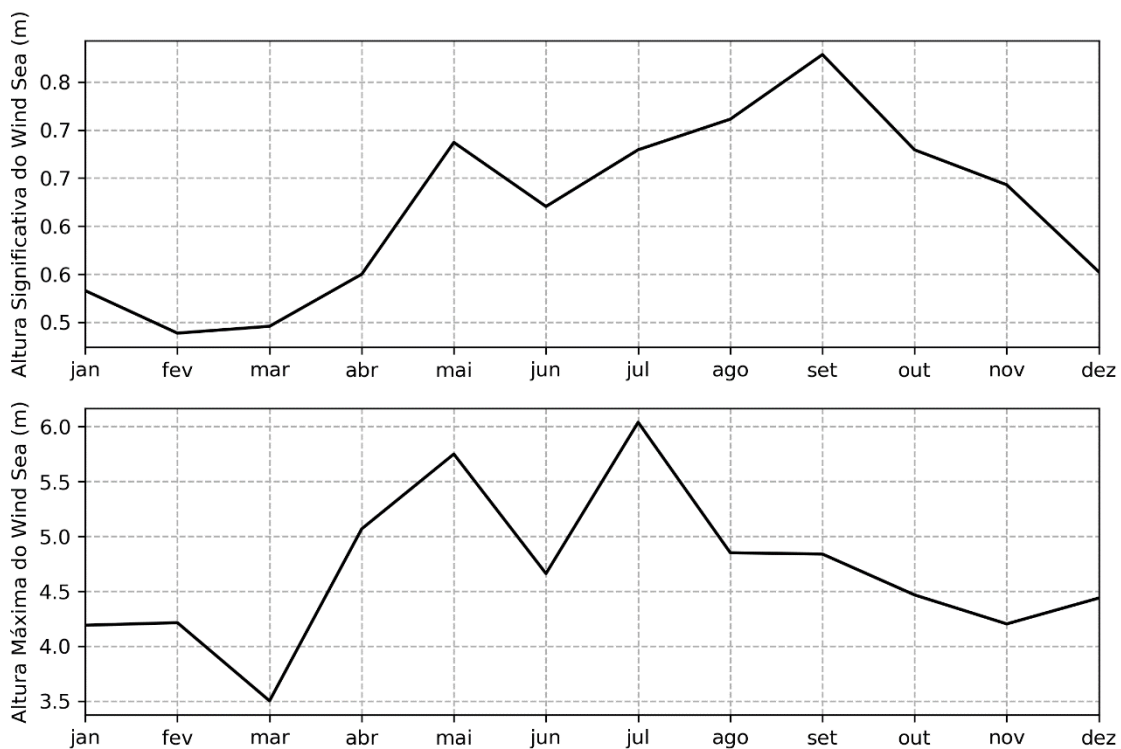


Figura 165: Valores médios (em cima) e máximos (embaixo) mensais da altura significativa do mar local (*wind sea*) na área de interesse. Fonte dos dados: ERA5 (1989 a 2019).

Tabela 36: Valores mensais médios e máximos para altura significativa, *swell* e mar local (*wind sea*) na região de interesse. Fonte dos dados: ERA5 (1989 a 2019).

| Mês       | Todo o espectro |        | Ondulação (Swell) |        | Mar Local (Wind Sea) |        |
|-----------|-----------------|--------|-------------------|--------|----------------------|--------|
|           | Média           | Máxima | Média             | Máxima | Média                | Máxima |
| Janeiro   | 1,6             | 4,8    | 1,5               | 4,3    | 0,5                  | 4,2    |
| Fevereiro | 1,6             | 4,6    | 1,5               | 3,7    | 0,5                  | 4,2    |
| Março     | 1,7             | 4,1    | 1,6               | 3,8    | 0,5                  | 3,5    |
| Abril     | 1,8             | 5,2    | 1,7               | 4,4    | 0,6                  | 5,1    |
| Maió      | 2,1             | 6,4    | 1,8               | 4,9    | 0,7                  | 5,8    |
| Junho     | 1,9             | 5,2    | 1,8               | 4,5    | 0,6                  | 4,7    |
| Julho     | 2,0             | 6,1    | 1,8               | 4,4    | 0,7                  | 6,0    |
| Agosto    | 2,0             | 5,5    | 1,8               | 4,6    | 0,7                  | 4,9    |
| Setembro  | 2,1             | 5,1    | 1,9               | 4,7    | 0,8                  | 4,8    |
| Outubro   | 2,0             | 5,5    | 1,7               | 4,6    | 0,7                  | 4,5    |
| Novembro  | 1,9             | 4,7    | 1,7               | 4,4    | 0,6                  | 4,2    |
| Dezembro  | 1,7             | 4,8    | 1,5               | 4,1    | 0,6                  | 4,4    |

Na Figura 166 e Figura 167 são apresentados os histogramas direcionais mensais de altura significativa do *swell* e *wind sea*, respectivamente. No histograma de *swell* nota-se uma rotação nas direções predominantes de E e de SE, nos meses de primavera e verão, para S nos meses de outono e inverno – quando se observam maiores alturas significativas.

O *wind sea* reflete o padrão de ventos locais, e, portanto, possui o predomínio da influência do ASAS ao longo de todo o ano, como pode ser verificado na caracterização climatológica de meteorologia (item 2.1). Contudo, nos meses de maio a setembro nota-se o aumento do percentual de ondas de SW e S, com altura significativa maior que 3 metros.

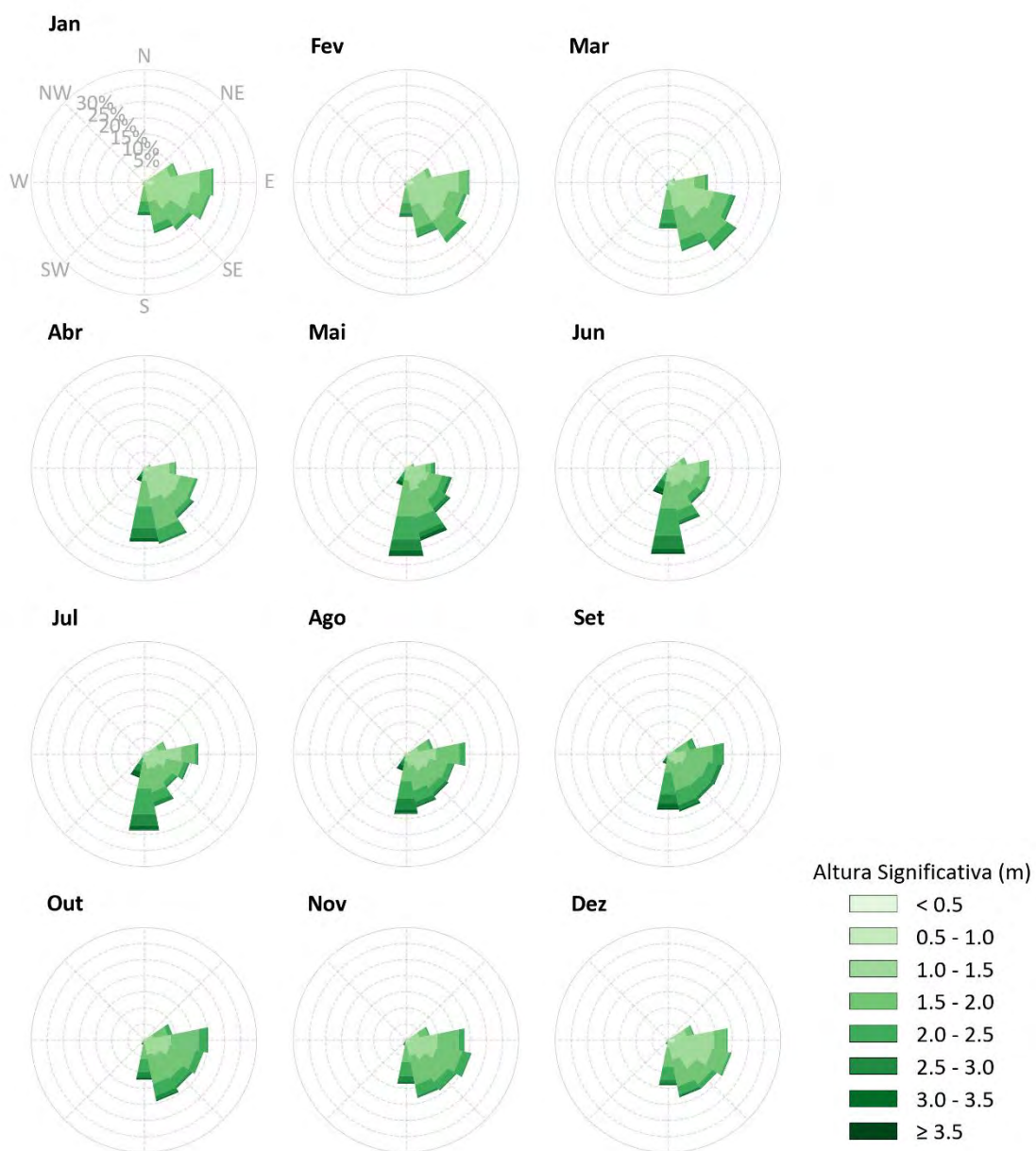


Figura 166: Histogramas direcionais mensais da altura significativa do *swell* no Campo de Baúna. Fonte dos dados: ERA5 (1989 a 2019).

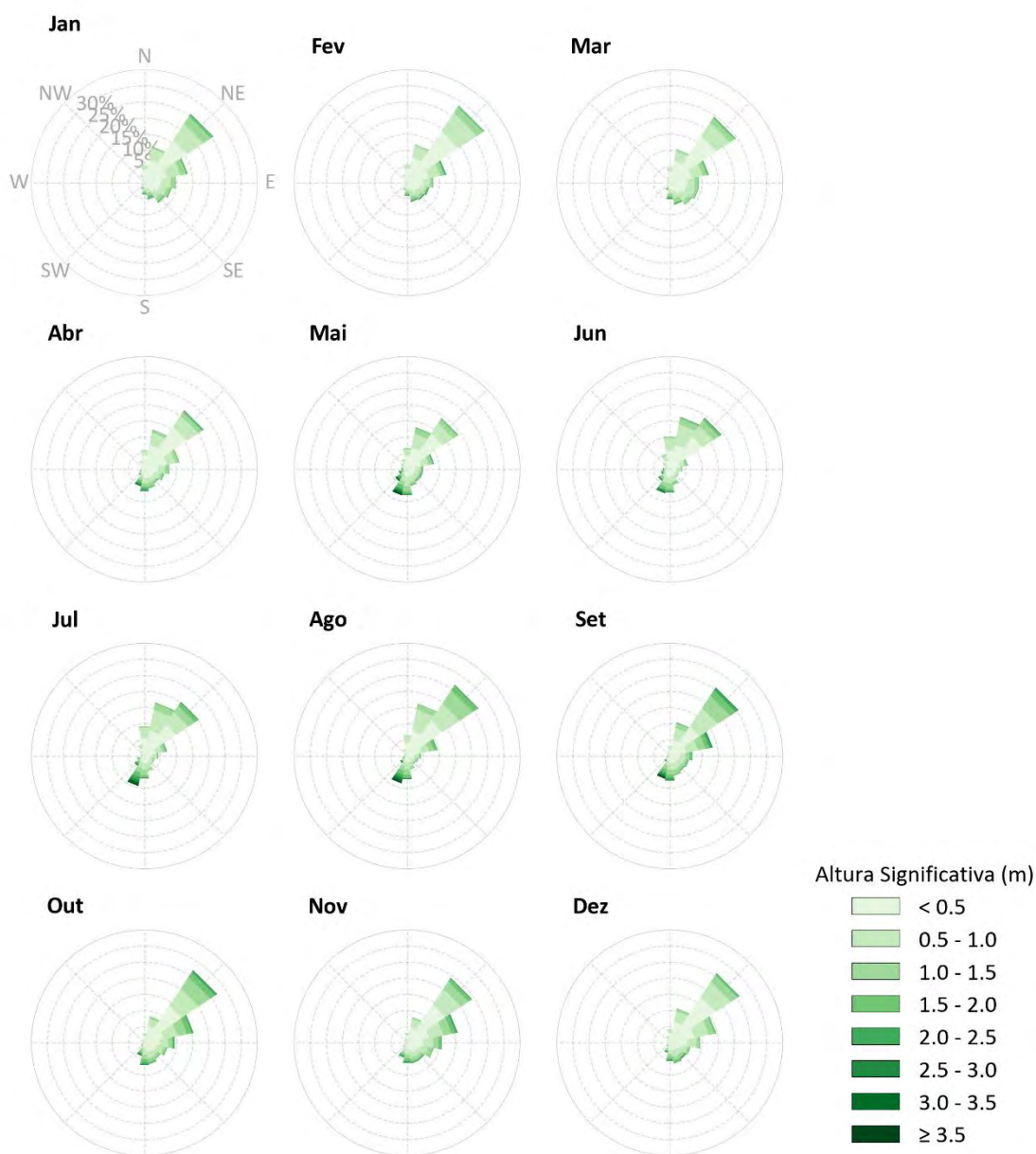


Figura 167: Histogramas direcionais mensais da altura significativa do *wind sea* no Campo de Baúna. Fonte dos dados: ERA5 (1989 a 2019).

Resumindo, a agitação marítima no ponto de estudo tem basicamente 3 fontes principais:

- O Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que pode gerar mar local (*wind sea*) com direção NE de curto período (6-10 s) e altura típica de 1 a 3 metros podendo chegar até 5 metros. Essa situação ocorre ao longo de todo o ano, visto que o ASAS mantém sua influência na região.
- A passagem de frentes frias com o avanço da Alta Migratória Fria sobre a região e seu posterior deslocamento para NE e fusão ao ASAS. Esse processo atmosférico produz, em geral, ondas de S, SE e E, com períodos variando entre 6 e 14 s (sendo 10 s mais frequente) e alturas



até 6,4 metros (sendo de 1 a 3 metros mais frequente). A passagem de frentes frias pode ocorrer o ano inteiro, porém com maior frequência e intensidade nos meses entre abril e setembro.

- Atuação de Ciclones extratropicais, sistemas de baixa pressão que podem gerar *swell* remotamente para região ou passar sobre ela, evoluindo em trajetória para NE ao largo da costa sudeste brasileira. Esse processo tem capacidade de gerar ondas de SW e S de mais de 6 metros na região.

#### 3.2.4.1 Refração e deriva litorânea

Para tal, foi empregada a metodologia proposta no trabalho de Dominguez (2007) e baseada nos conceitos e expressões presentes em Komar (1976; 1998). Nesta, um modelo regional de propagação de ondas é utilizado para propagar ondas características de uma determinada região, desde águas profundas até a costa. A partir dos resultados deste modelo regional na zona costeira (altura significativa e direção de ondas) e da angulação da linha de costa, obtêm-se estimativas da deriva litorânea.

##### 3.2.4.1.1 Seleção de cenários

Para a definição das ondas mais características da região da Bacia de Santos, foi empregada a reconstituição da agitação marítima realizada com o modelo de ondas WaveWatch III, em escala global, resolução de 1° em longitude e latitude, forçado por ventos oriundos da Reanálise da NOAA/NCEP para o período de 01 de janeiro de 1979 a 31 de dezembro de 2006, com resultados gravados a cada 3 horas, realizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) dentro do plano de cooperação técnica INPE/PROOCEANO. O ponto de grade selecionado tem coordenadas 24°S e 42°W., conforme apresenta a Figura 168.

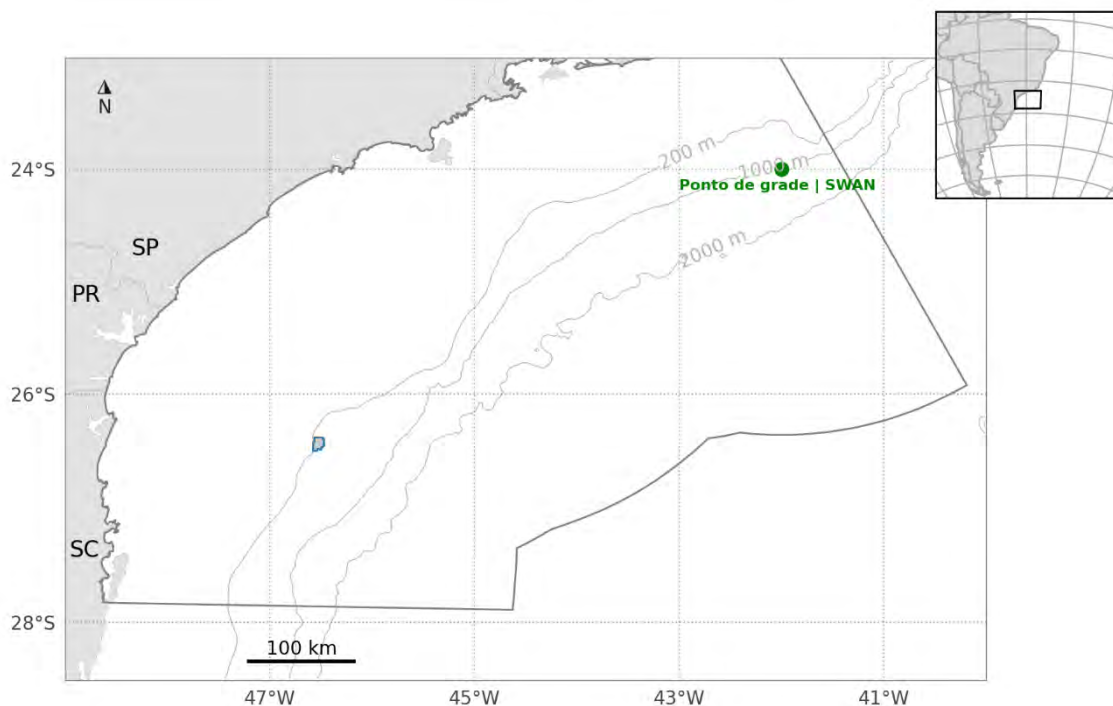


Figura 168: Localização do ponto de grade selecionado para o modelo SWAN. Datum: SIRGAS2000.

O modelo Simulating WAVes Nearshore - SWAN (SWAN, 2014) foi o modelo escolhido para realizar a propagação dos cenários de ondas selecionadas desde águas profundas até a zona costeira. O SWAN é um modelo de ondas de terceira geração utilizado para obtenção de estimativas reais de parâmetros de ondas de gravidade em áreas costeiras. Seus resultados serão utilizados para o estudo da refração de ondas e deriva litorânea na região costeira.

Segundo a teoria de propagação de ondas, as mesmas interagem com o fundo oceânico e com barreiras como ilhas, quebra mares e afunilamentos físicos, alterando sua altura e direção de propagação (difração, refração e empinamento). A batimetria tem um importante papel na interferência das ondas com o fundo oceânico, e uma batimetria bem resolvida auxilia na obtenção de bons resultados. Para este trabalho foi utilizada a batimetria obtida a partir dos dados do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução de 30 metros (USGS, 2004), e é apresentada na Figura 169.

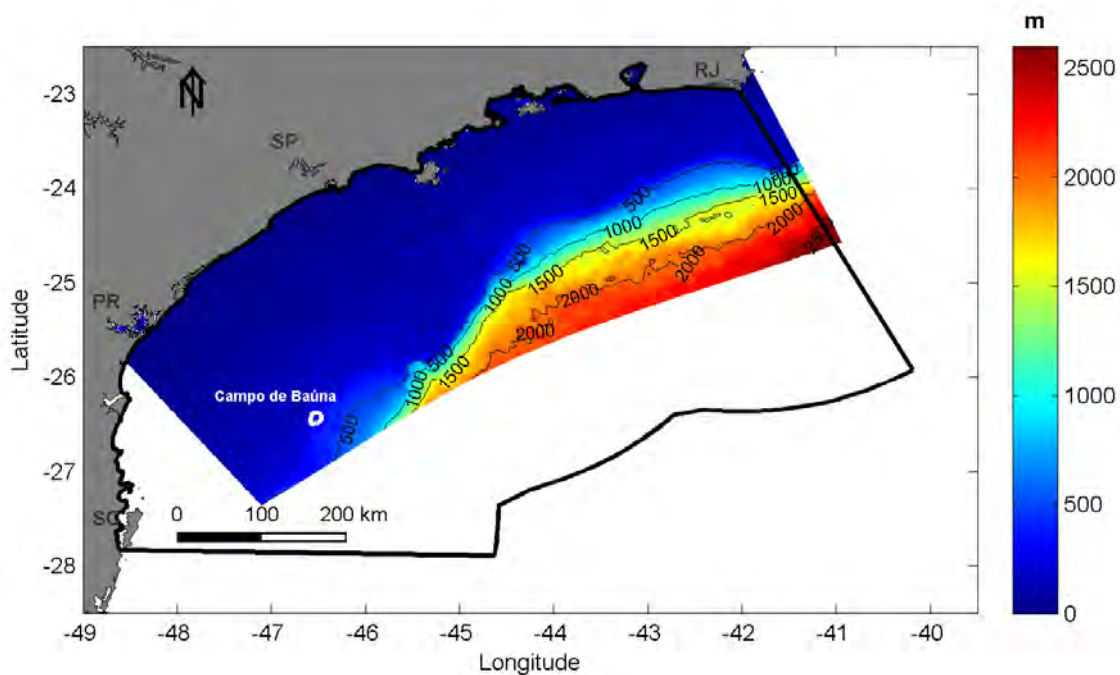


Figura 169: Batimetria utilizada para a realização da modelagem com o modelo SWAN.

A fim de se analisar a frequência de ocorrência de cenários específicos de ondas no local, e assim selecionar os cenários para a realização da modelagem, foram utilizados os resultados obtidos na análise de ocorrência conjunta de altura significativa e direção das ondas para o ponto de grade selecionado, conforme apresentado na Tabela 37, para definição das direções de ondas mais frequentes na região de estudo.

Tabela 37: Ocorrência conjunta de Hs e direção média de ondas obtidos a partir dos dados do modelo de ondas WaveWatch III. Período de dados: 1979 a 2006.

| altura/direção        | N    | NE    | E     | SE    | S     | SW   | W    | NW   | Nº ocorrências | %     |
|-----------------------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|----------------|-------|
| 0-0,5                 | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 0    | 0              | 0     |
| 0,5-1,0               | 0    | 46    | 210   | 188   | 42    | 1    | 0    | 0    | 487            | 1,01  |
| 1,0-1,5               | 8    | 1196  | 3078  | 2206  | 1001  | 48   | 3    | 4    | 7544           | 15,65 |
| 1,5-2,0               | 5    | 4011  | 4350  | 3945  | 3208  | 178  | 10   | 4    | 15711          | 32,59 |
| 2,0-2,5               | 0    | 4042  | 2455  | 2545  | 3974  | 396  | 5    | 1    | 13418          | 27,83 |
| 2,5-3,0               | 1    | 1525  | 867   | 1129  | 2779  | 345  | 3    | 0    | 6649           | 13,79 |
| 3,0-4,0               | 1    | 467   | 228   | 526   | 2004  | 507  | 3    | 0    | 3736           | 7,75  |
| 4,0-5,0               | 0    | 10    | 20    | 60    | 321   | 170  | 2    | 0    | 583            | 1,12  |
| 5,0-6,0               | 0    | 0     | 5     | 6     | 39    | 32   | 0    | 0    | 82             | 0,17  |
| >6                    | 0    | 0     | 5     | 6     | 39    | 32   | 0    | 0    | 82             | 0,17  |
| <b>Nº ocorrências</b> | 15   | 11297 | 11213 | 10605 | 13369 | 1678 | 26   | 9    | 48212          | -     |
| <b>%</b>              | 0,03 | 23,43 | 23,26 | 22,00 | 27,73 | 3,48 | 0,05 | 0,02 | -              | -     |

Assim, observou-se que as direções de E, SE e S são as mais frequentes, contabilizando juntas 73% das ocorrências, e as ondas com altura significativa (Hs) entre 1 e 3 m somam 89,86% das ocorrências.

A partir da análise geral realizada com todo o conjunto de dados, foi realizado um refinamento da mesma análise, com intuito de se obter as características das ondas mais representativas da região, a fim de serem utilizadas no estudo de propagação de onda.

Desta forma, são apresentadas a seguir tabelas de ocorrência conjunta de altura significativa (Hs) por Período médio (Tp), para cada uma das três direções predominantes na região, Sudeste (Tabela 38), Sul (Tabela 39) e Leste (Tabela 40).



Tabela 38: Ocorrência conjunta de Hs e Tp de ondas de SE na área de estudo, obtidos a partir dos dados do modelo de ondas WaveWatch III. Período de dados: 1979 a 2006.

| Altura/Período        | 2 a 4 | 4 a 6 | 6 a 8 | 8 a 10 | 10 a 12 | 12 a 14 | 14 a 16 | 16 a 18 | N° Ocorrências | %     |
|-----------------------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|----------------|-------|
| 0-0,5                 | 0     | 0     | 0     | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0              | 0     |
| 0,5-1,0               | 0     | 2     | 76    | 104    | 6       | 0       | 0       | 0       | 188            | 1,77  |
| 1,0-1,5               | 0     | 54    | 1169  | 917    | 66      | 0       | 0       | 0       | 2206           | 20,80 |
| 1,5-2,0               | 0     | 81    | 1920  | 1820   | 124     | 0       | 0       | 0       | 3945           | 37,20 |
| 2,0-2,5               | 0     | 0     | 849   | 1563   | 133     | 0       | 0       | 0       | 2545           | 24,00 |
| 2,5-3,0               | 0     | 0     | 283   | 736    | 107     | 3       | 0       | 0       | 1129           | 10,65 |
| 3,0-4,0               | 0     | 0     | 52    | 378    | 96      | 0       | 0       | 0       | 526            | 4,96  |
| 4,0-5,0               | 0     | 0     | 2     | 32     | 23      | 3       | 0       | 0       | 60             | 0,57  |
| 5,0-6,0               | 0     | 0     | 0     | 0      | 6       | 0       | 0       | 0       | 6              | 0,06  |
| > 6                   | 0     | 0     | 0     | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0              | 0     |
| <b>N° Ocorrências</b> | 0     | 137   | 4351  | 5550   | 561     | 6       | 0       | 0       | 10605          |       |
| <b>%</b>              | 0     | 1,29  | 41,03 | 52,33  | 5,29    | 0,06    | 0       | 0       | -              |       |

Tabela 39: Ocorrência conjunta de Hs e Tp de ondas de S na área de estudo, obtidos a partir dos dados do modelo de ondas WaveWatch III. Período de dados: 1979 a 2006.

| Altura/Período        | 2 a 4 | 4 a 6 | 6 a 8 | 8 a 10 | 10 a 12 | 12 a 14 | 14 a 16 | 16 a 18 | N° Ocorrências | %     |
|-----------------------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|----------------|-------|
| 0-0,5                 | 0     | 0     | 0     | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0              | 0     |
| 0,5-1,0               | 0     | 0     | 12    | 21     | 9       | 0       | 0       | 0       | 42             | 0,37  |
| 1,0-1,5               | 0     | 24    | 377   | 478    | 118     | 4       | 0       | 0       | 1001           | 8,93  |
| 1,5-2,0               | 0     | 45    | 1015  | 1763   | 363     | 21      | 1       | 0       | 3208           | 28,61 |
| 2,0-2,5               | 0     | 22    | 781   | 2335   | 791     | 45      | 0       | 0       | 3974           | 35,44 |
| 2,5-3,0               | 0     | 1     | 278   | 1431   | 962     | 104     | 3       | 0       | 2779           | 24,78 |
| 3,0-4,0               | 0     | 0     | 77    | 697    | 1045    | 181     | 3       | 1       | 2004           | 17,87 |
| 4,0-5,0               | 0     | 0     | 1     | 53     | 180     | 83      | 4       | 0       | 321            | 2,86  |
| 5,0-6,0               | 0     | 0     | 0     | 4      | 31      | 3       | 1       | 0       | 39             | 0,35  |
| > 6                   | 0     | 0     | 0     | 0      | 1       | 0       | 0       | 0       | 1              | 0,01  |
| <b>N° Ocorrências</b> | 0     | 92    | 2541  | 6782   | 3500    | 441     | 12      | 1       | 13369          |       |
| <b>%</b>              | 0     | 0,82  | 22,66 | 60,48  | 31,21   | 3,93    | 0,11    | 0,01    | -              |       |

Tabela 40: Ocorrência conjunta de Hs e Tp de ondas de E na área de estudo, obtidos a partir dos dados do modelo de ondas WaveWatch III. Período de dados: 1979 a 2006.

| Altura/Período | 2 a 4 | 4 a 6 | 6 a 8 | 8 a 10 | 10 a 12 | 12 a 14 | 14 a 16 | 16 a 18 | N° Ocorrências | %     |
|----------------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|----------------|-------|
| 0-0,5          | 0     | 0     | 0     | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0              | 0     |
| 0,5-1,0        | 0     | 18    | 168   | 24     | 0       | 0       | 0       | 0       | 210            | 1,87  |
| 1,0-1,5        | 0     | 344   | 2384  | 349    | 1       | 0       | 0       | 0       | 3078           | 27,45 |
| 1,5-2,0        | 0     | 246   | 3397  | 702    | 5       | 0       | 0       | 0       | 4350           | 38,79 |
| 2,0-2,5        | 0     | 25    | 1807  | 620    | 3       | 0       | 0       | 0       | 2455           | 21,89 |
| 2,5-3,0        | 0     | 0     | 543   | 322    | 2       | 0       | 0       | 0       | 867            | 7,73  |
| 3,0-4,0        | 0     | 0     | 102   | 124    | 2       | 0       | 0       | 0       | 228            | 2,03  |
| 4,0-5,0        | 0     | 0     | 1     | 19     | 0       | 0       | 0       | 0       | 20             | 0,18  |
| 5,0-6,0        | 0     | 0     | 0     | 5      | 0       | 0       | 0       | 0       | 5              | 0,04  |
| > 6            | 0     | 0     | 0     | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0              | 0     |
| N° Ocorrências | 0     | 633   | 8402  | 2165   | 13      | 0       | 0       | 0       | 11213          |       |
| %              | 0     | 5,65  | 74,93 | 19,31  | 0,12    | 0       | 0       | 0       | -              |       |

De acordo com as análises apresentadas, pode-se dizer que as condições mais frequentes são as expostas na Tabela 41. Esses foram os dados de entrada para cada um dos cenários de ondas utilizados no estudo com o SWAN.

Tabela 41: Ondas mais frequentes na área de estudo, para cada direção incidente.

|             | SE    | S     | E     |
|-------------|-------|-------|-------|
| Hs (m)      | 1,5-2 | 2-2,5 | 1,5-2 |
| Período (T) | 8-10  | 8-10  | 6--8  |

### 3.2.4.1.2 Propagação de ondas ao largo

A direção e altura com as quais a onda incide sobre a linha de costa são determinadas pela propagação das ondas geradas em águas profundas até a zona costeira que, ao interagirem com o fundo sofrem refração, empinamento e difração, alterando sua direção de propagação e altura.

A partir dos cenários de ondas determinados acima, um modelo de ondas foi elaborado em alta resolução para a região de interesse e então as ondas selecionadas foram propagadas desde águas profundas até a linha de costa.

A seguir, da Figura 170 à Figura 175, apresentam-se os mapas de refração de onda para os 3 cenários selecionados.

As ondas de sudeste alcançam o Campo de Baúna com a mesma direção, e ao sofrerem interferência da batimetria, refratam e atingem a costa com direções predominantes de SE e S. As ondas chegam ao Campo de Baúna com alturas entre 1,5 e 1,8 m, e à costa com alturas que variam

entre 0,5 e 1,2 m, predominantemente. Os valores variam de acordo com o empinamento e sombreamento sofrido pelas ondas devido a batimetria e ilhas, respectivamente.

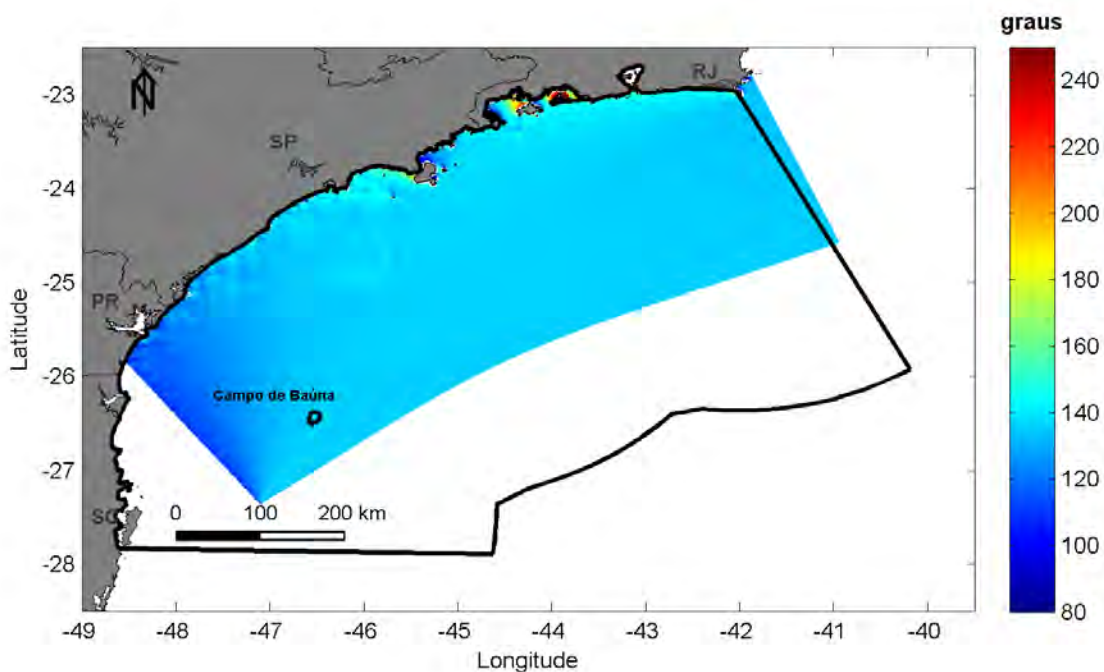


Figura 170: Direção resultante da refração de ondas originadas de SE, com altura de 1,75m e período de 9 segundos. Fonte: SWAN.

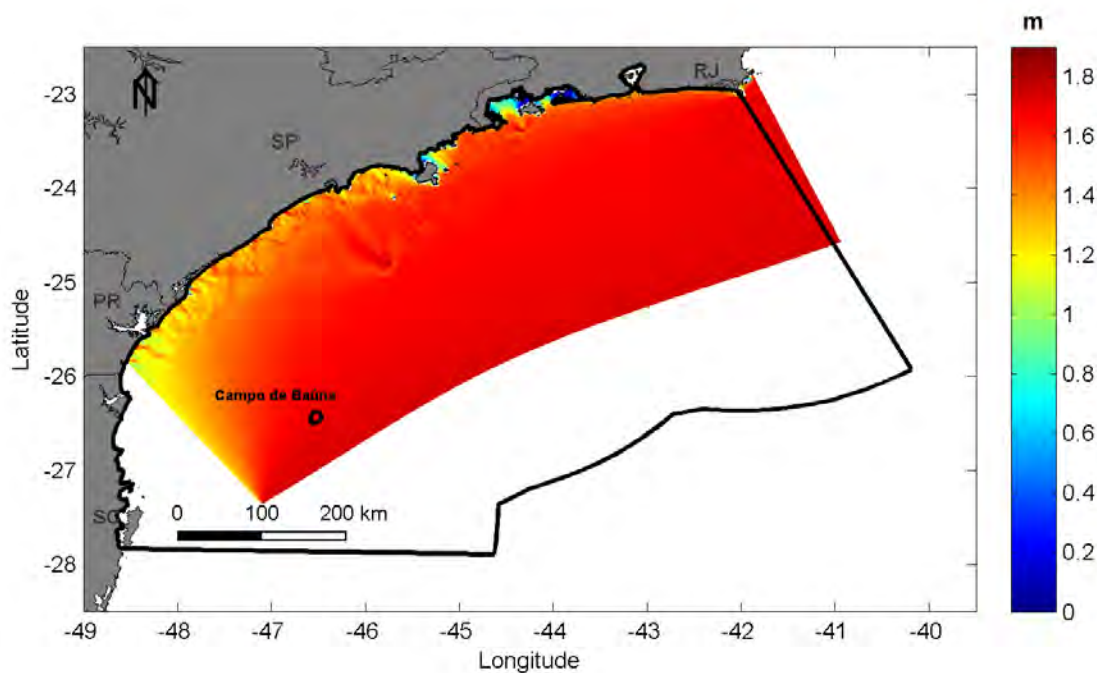


Figura 171: Hs resultante da refração de ondas originadas de SE, com altura de 1,75m e período de 9 segundos.  
 Fonte: SWAN

As ondas de sul alcançam o Campo de Baúna com a mesma direção, e ao sofrerem interferência da batimetria, refratam e atingem a costa com direções predominantes de SE e S. As ondas chegam ao Campo de Baúna com alturas de aproximadamente de 2 metros, e à costa com alturas que variam entre 0 e 2 m. Estes valores variam de acordo com o empinamento e sombreamento sofrido pelas ondas ao interagir com a batimetria e com ilhas, respectivamente.

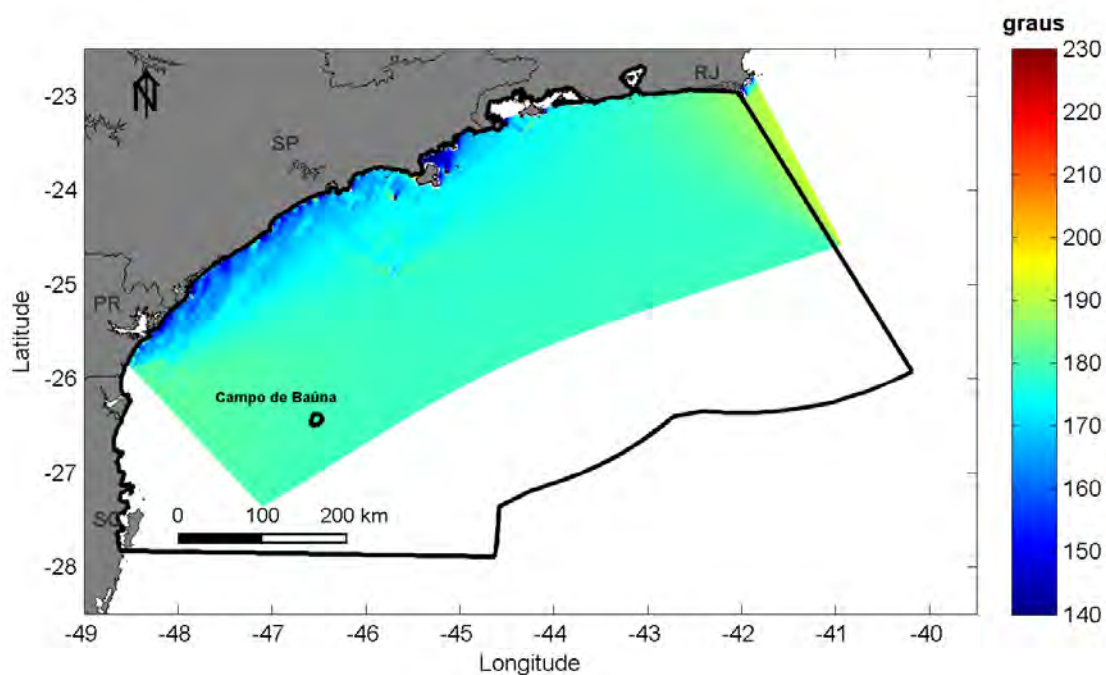


Figura 172: Direção resultante da refração de ondas originadas de S, com altura de 2,25 m e período de 9 segundos. Fonte: SWAN.

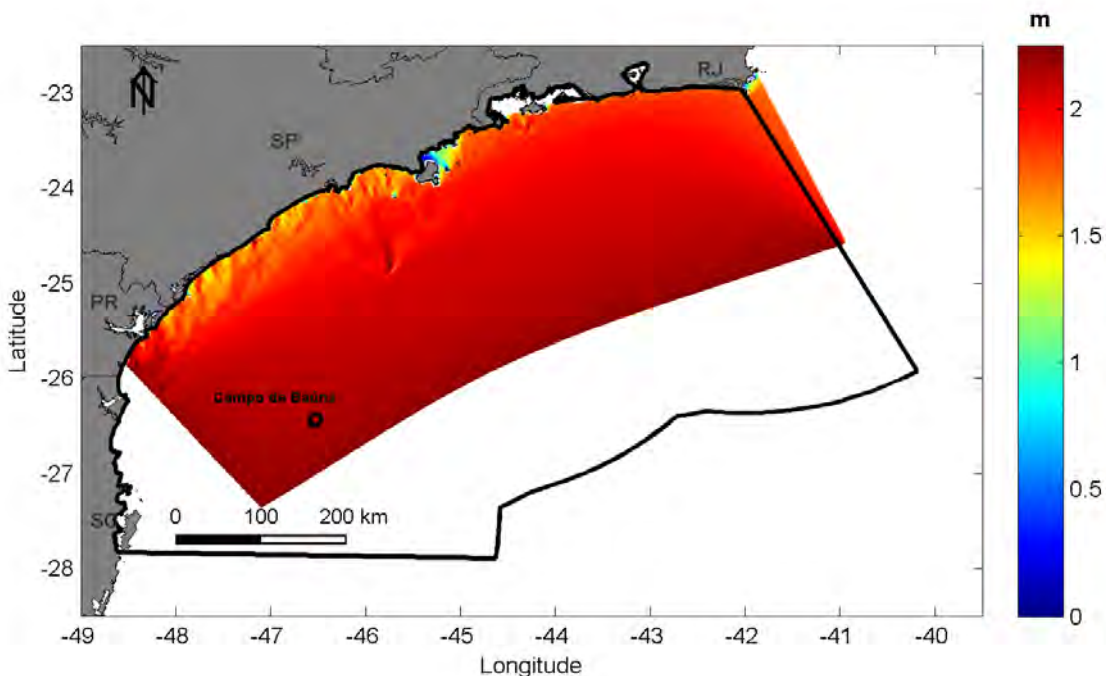


Figura 173: Hs resultante da refração de ondas originadas de S, com altura de 2,25 m e período de 9 segundos. Fonte: SWAN.

Observa-se que as ondas de leste alcançam o Campo de Baúna com a mesma direção, e ao sofrerem interferência da batimetria, refratam e atingem a costa com direções predominantes de E e SE. As



ondas chegam ao Campo de Baúna com alturas entre 1,4 e 1,5 m, e à costa com alturas que variam entre 0,5 m e 1,5 m, predominantemente. Os valores variam de acordo com o empinamento e sombreamento sofrido pelas ondas em função da batimetria e de ilhas, respectivamente.

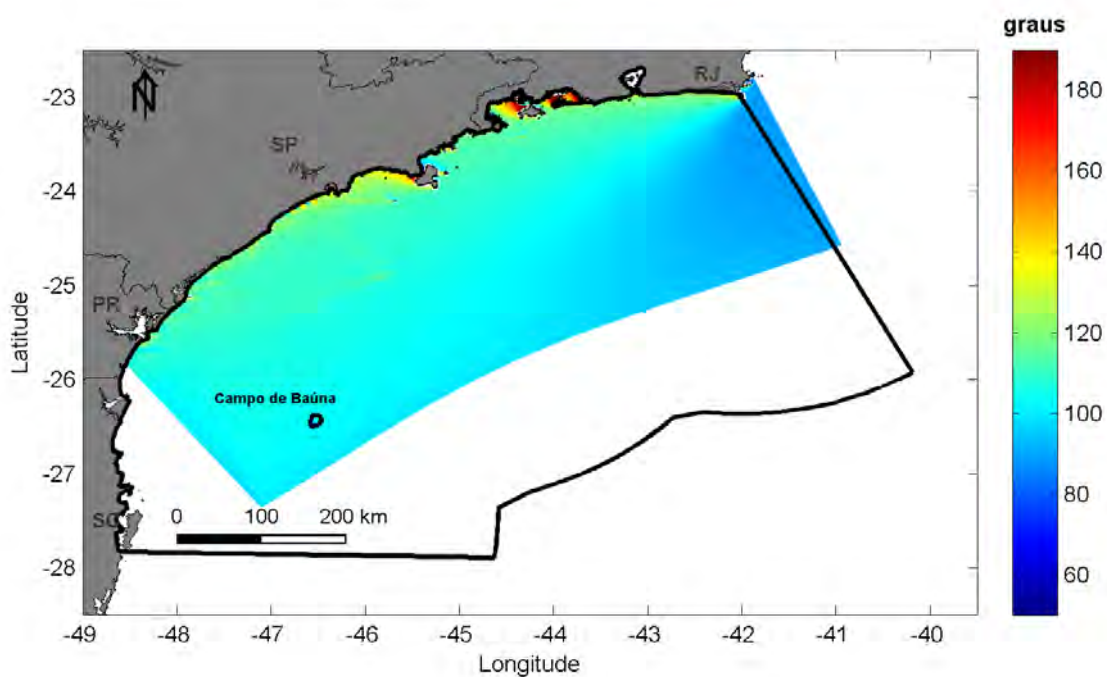


Figura 174: Direção resultante da refração de ondas originadas de E, com altura de 1,75 m e período de 7 segundos. Fonte: SWAN.

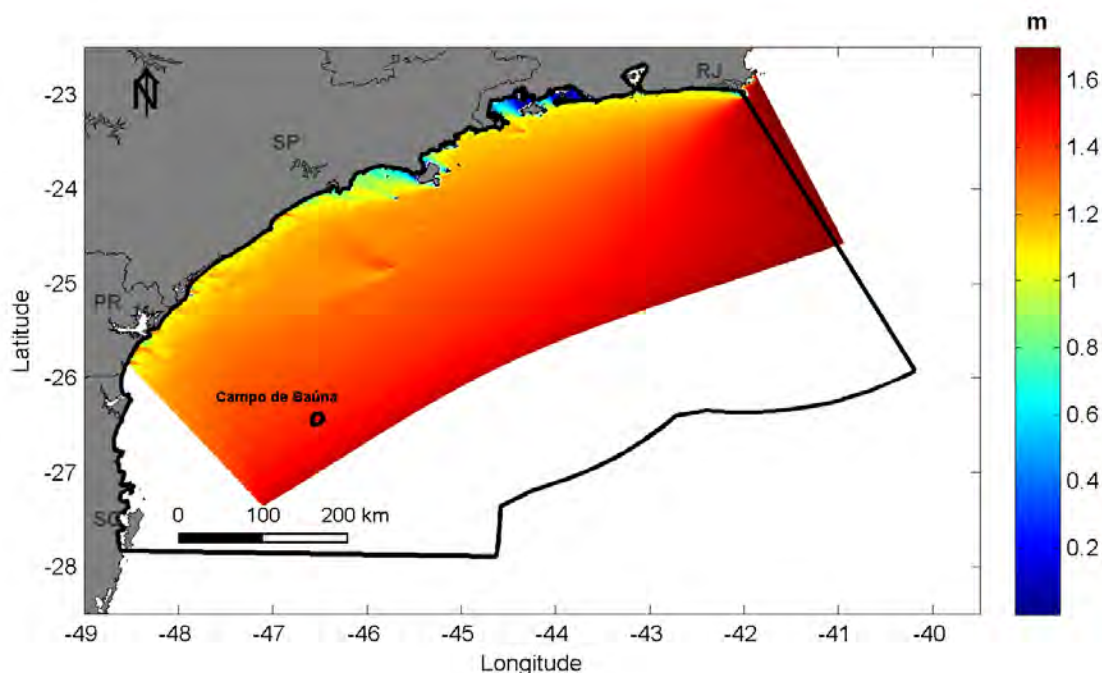


Figura 175: Hs resultante da refração de ondas originadas de E, com altura de 1,75 m e período de 7 segundos.  
 Fonte: SWAN.

A partir dos resultados obtidos com o modelo regional de ondas apresentado acima foi possível obter uma estimativa do potencial de deriva litorânea para a região de interesse, que será apresentada a seguir.

### 3.2.4.1.3 Deriva litorânea

As ondas, ao alcançarem a zona litorânea, além de dissiparem sua energia através da interação com o fundo, geram correntes costeiras. Segundo Komar (1967; 1998), a deriva litorânea é composta pela corrente longitudinal e a deriva de praia. A direção e magnitude dessa deriva é função da direção de incidência da onda em relação à linha de costa e a energia com a qual a onda chega à praia, que por sua vez é proporcional ao quadrado das alturas, segundo a expressão (DOMINGUEZ, 2007):

$$X = Y * H^2$$

$$Y = \text{sen}(\alpha) * \cos(\alpha)$$

onde  $\alpha$  é o ângulo que a frente de onda faz com a linha de costa e H é a altura significativa das ondas na zona costeira.

Devido ao fato de que o trecho de costa estudado é relativamente longo, para se obter o ângulo da linha de costa foi necessário segmentar a faixa litorânea em intervalos que possam ser representados por linhas retas. Desta forma, se individualizou 62 segmentos (Figura 176).

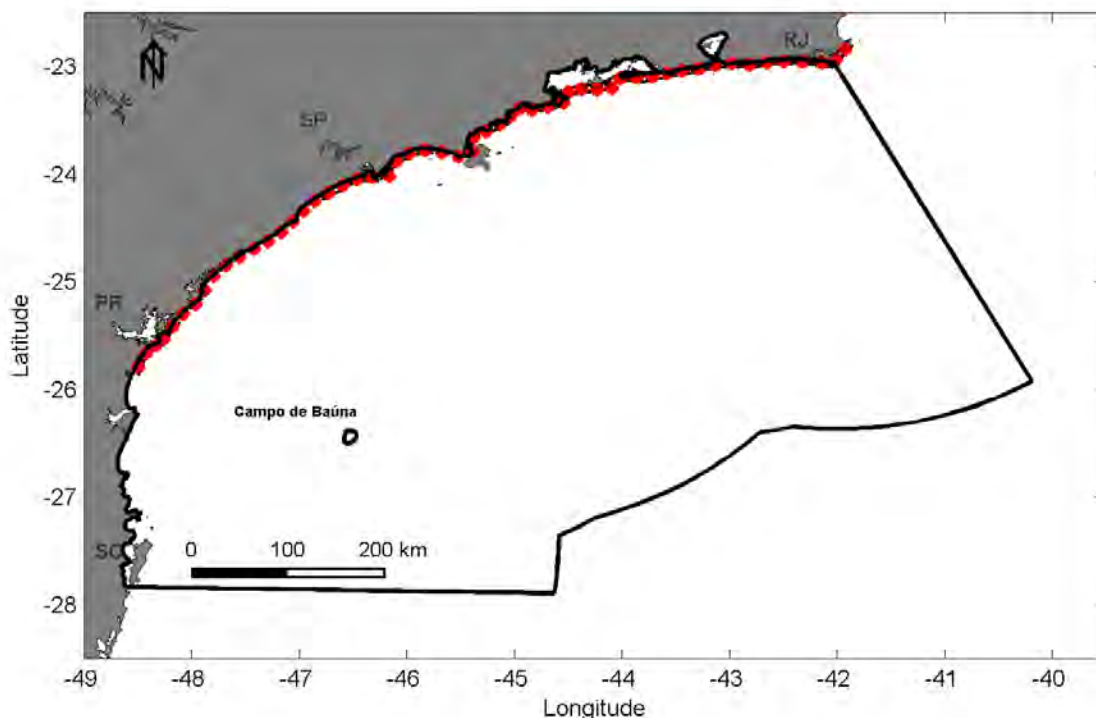


Figura 176: Divisão da costa da região de interesse em 62 segmentos. As linhas pretas separadas por pontos brancos representam os segmentos e os pontos vermelhos representam os pontos dos quais os parâmetros de altura e direção de onda foram retirados.

É importante que se faça uma consideração sobre o método proposto e aplicado neste estudo. Como explicitado, a deriva litorânea é determinada pelo ângulo formado entre a frente de onda incidente na zona costeira e a orientação da linha de costa. Ao segmentar a costa, muitas quebras de orientação são retilizadas. Por exemplo, em uma determinada praia que apresente formato de arco, uma mesma direção de onda pode gerar derivas em sentido inverso. Logo, ressalta-se que os resultados gerados neste estudo devem ser encarados como tendências gerais para cada segmento definido.

Para cada ponto central dos segmentos (pontos vermelhos da Figura 176), foram obtidos os parâmetros de altura e direção da onda incidente a partir dos resultados do modelo de ondas regional (SWAN), para cada um dos cenários estudados.

A intensidade do potencial da deriva foi então calculada para cada segmento e cenário estudados, a partir da expressão apresentada. Os resultados vetorizados podem ser vistos a seguir (Figura 177 a Figura 179).

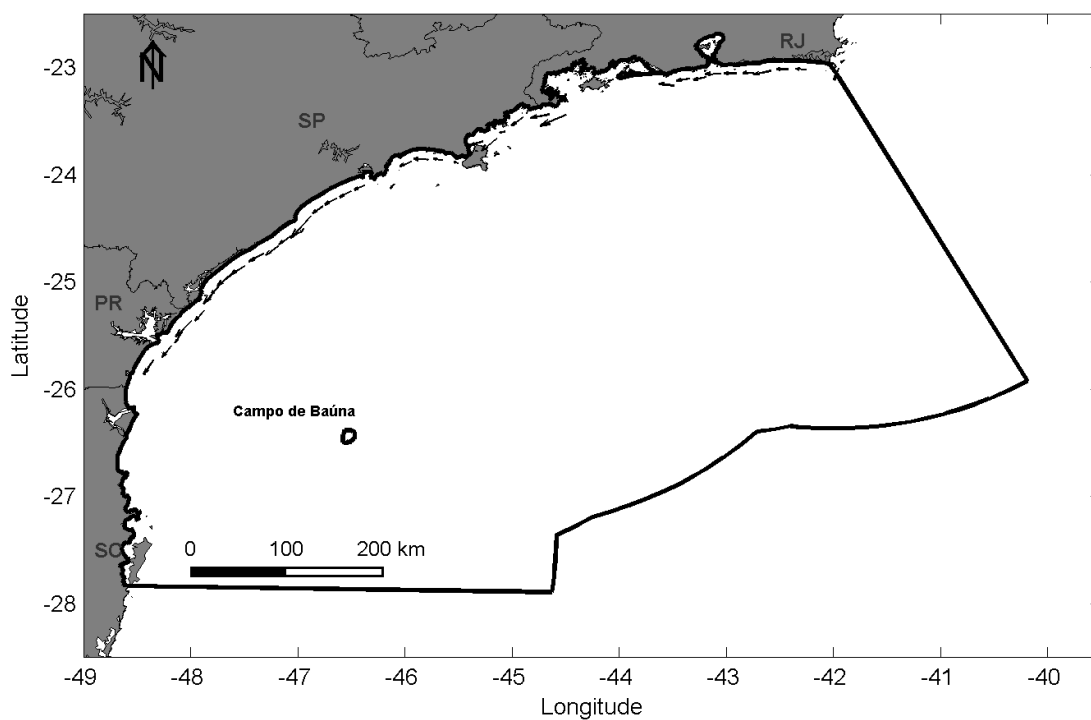


Figura 177: Potencial da deriva litorânea ao longo da zona costeira da região de estudo, para o cenário de ondas de E, com altura significativa de 1,75 m e período de 7 segundos. Fonte: SWAN

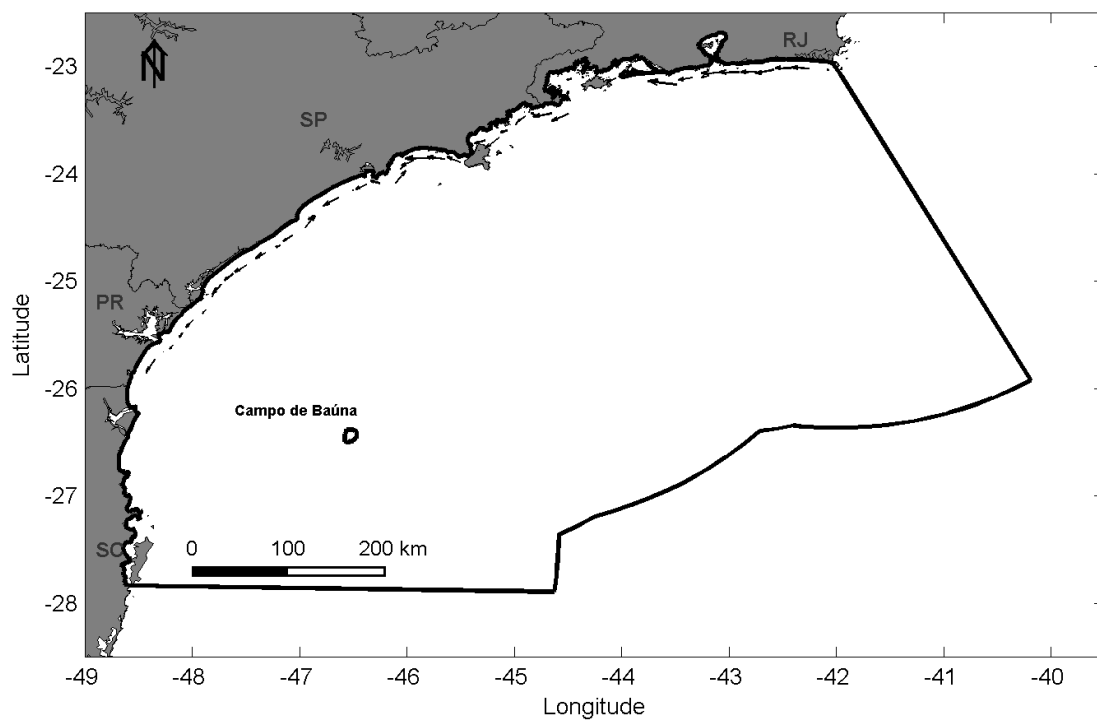


Figura 178: Potencial da deriva litorânea ao longo da zona costeira da região de estudo, para o cenário de ondas de SE, com altura significativa de 1,75 m e período de 9 segundos. Fonte: SWAN.



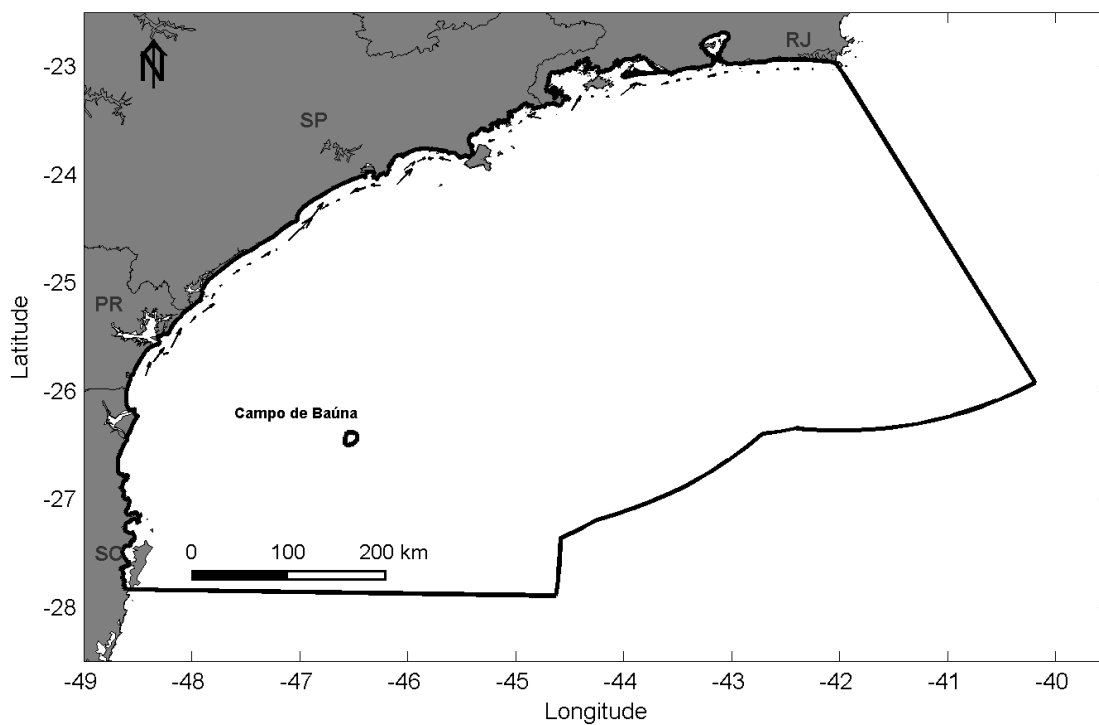


Figura 179: Potencial da deriva litorânea ao longo da zona costeira da região de estudo, para o cenário de ondas de S, com altura significativa de 2,25m e período de 9 segundos. Fonte: SWAN.

Nota-se que para ondas de E, a deriva litorânea tem sentido S/SW ao longo de todo o domínio.

Para ondas de SE, a tendência da deriva litorânea também é para Sul da longitude 42°W até aproximadamente 46°W, a partir de onde a tendência de deriva fica dividida entre Sul e Norte.

As ondas de Sul invertem esse padrão, forçando uma deriva para norte em todo o domínio, salvo algumas poucas exceções a partir da longitude de 46,5°W devido à orientação de costa diferente.

### 3.2.5 Regime de marés

É possível classificar a maré quanto ao seu período, ou seja, pode-se determinar se a maré é diurna, semi-diurna, mista principalmente diurna ou mista principalmente semi-diurna (POND & PICKARD, 1978).

Para classificar a maré, calcula-se um fator que leva em consideração a amplitude das principais componentes diurnas e semi-diurnas. Segundo Pond & Pickard (1978), esse fator é definido por:

$$F = \left( \frac{(K_1 + O_1)}{(M_2 + S_2)} \right)$$

De acordo com essa classificação temos:

- $F = 0$  a  $0,25$ : Maré semi-diurna, ou seja, a maré cujo período é de aproximadamente 12h. Nesse caso, tem-se duas marés altas e duas marés baixas em 24 horas. A altura de uma preamar é praticamente igual a outra, o mesmo acontecendo com a baixamar.
- $F = 0,25$  a  $1,5$ : Maré mista, principalmente semi-diurna, ou seja, a maré cujo período é, preferencialmente, de aproximadamente 12h e com grandes diferenças de altura entre suas preamares e baixamares. Apesar de ser, na maioria das vezes, semi-diurna, pode ser diurna em algumas épocas do ano.
- $F = 1,5$  a  $3,0$ : Maré mista, principalmente diurna, ou seja, a maré cujo período é, preferencialmente, de aproximadamente 24h e com grandes diferenças de altura entre suas preamares e baixamares. Apesar de ser, na maioria das vezes, diurna, pode ser semi-diurna em algumas épocas do ano.
- $F > 3,0$ : Maré diurna, ou seja, maré cujo período é de 24h, aproximadamente. Nesse caso, tem-se apenas uma maré alta e uma maré baixa em 24 horas.

Para a caracterização da maré na Bacia de Santos, foram utilizadas as constantes harmônicas do modelo global de marés TPX08 (EGBERT, EROFEEVA, 2002). Esse modelo possui resolução de  $1/4^\circ$  e utiliza dados do satélite altimétrico TOPEX/POSEIDON como fonte primária para assimilação.

A partir desses dados, foram então retirados os dados de fase e amplitude de sete componentes ( $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$ ,  $K_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$  e  $M_4$ ) para o ponto de grade selecionado ( $46,5^\circ\text{W}/26,5^\circ\text{S}$ ), próximo ao Campo de Baúna (Figura 180). As principais constantes harmônicas de maré local encontram-se na Tabela 42.

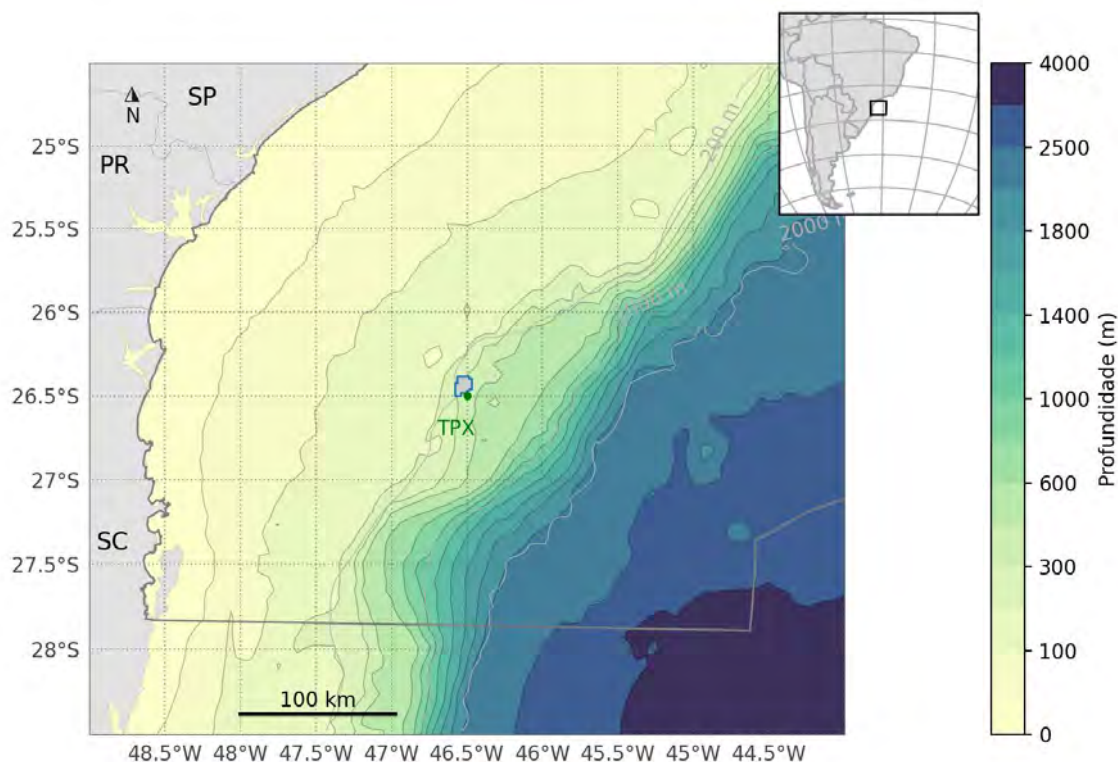


Figura 180: Localização do ponto de grade do modelo global de maré TPX08 utilizado para caracterização do regime de marés na região do Campo de Baúna. Datum: SIRGAS2000.

Tabela 42: Constantes harmônicas obtidas para a região do bloco BM-S-40/Campo de Baúna (46,5°W/26,5°S). Fonte dos dados: TPX08.

| Componente | Nome                        | Amplitude (m) | Fase (em relação à Greenwich) |
|------------|-----------------------------|---------------|-------------------------------|
| M2         | lunar principal semi-diurna | 0,20          | 160                           |
| S2         | solar principal semi-diurna | 0,13          | 165                           |
| O1         | lunar principal diurna      | 0,10          | 117                           |
| K1         | luni-solar principal diurna | 0,06          | 180                           |
| N2         | lunar elíptica semi-diurna  | 0,03          | 226                           |
| K2         | luni-solar semi-diurna      | 0,04          | 157                           |
| M4         | lunar quarto-diurna         | 0,01          | 117                           |

Exemplos dos campos de amplitude e fase das quatro componentes mais importantes na região (M2, S2, O1 e K1) podem ser vistos na Figura 181 e Figura 182. A amplitude das componentes semidiurnas (M2 e S2) apresentam baixos valores de amplitude e um gradiente em direção ao norte da Bacia (menores valores ao sul e maiores ao norte, aproximando-se da costa). Tal fato se dá devido ao posicionamento de um ponto anfidrômico localizado no Atlântico Sul, que resulta em

marés de pequena amplitude na região sul da Bacia de Santos, consequentemente influenciando a área do Campo de Baúna.

Para as componentes diurnas O1 e K1, nota-se um gradiente no sentido leste-oeste. Em relação às fases, nota-se um aumento de sul para norte da bacia, e de oeste para leste, nas quatro componentes analisadas.

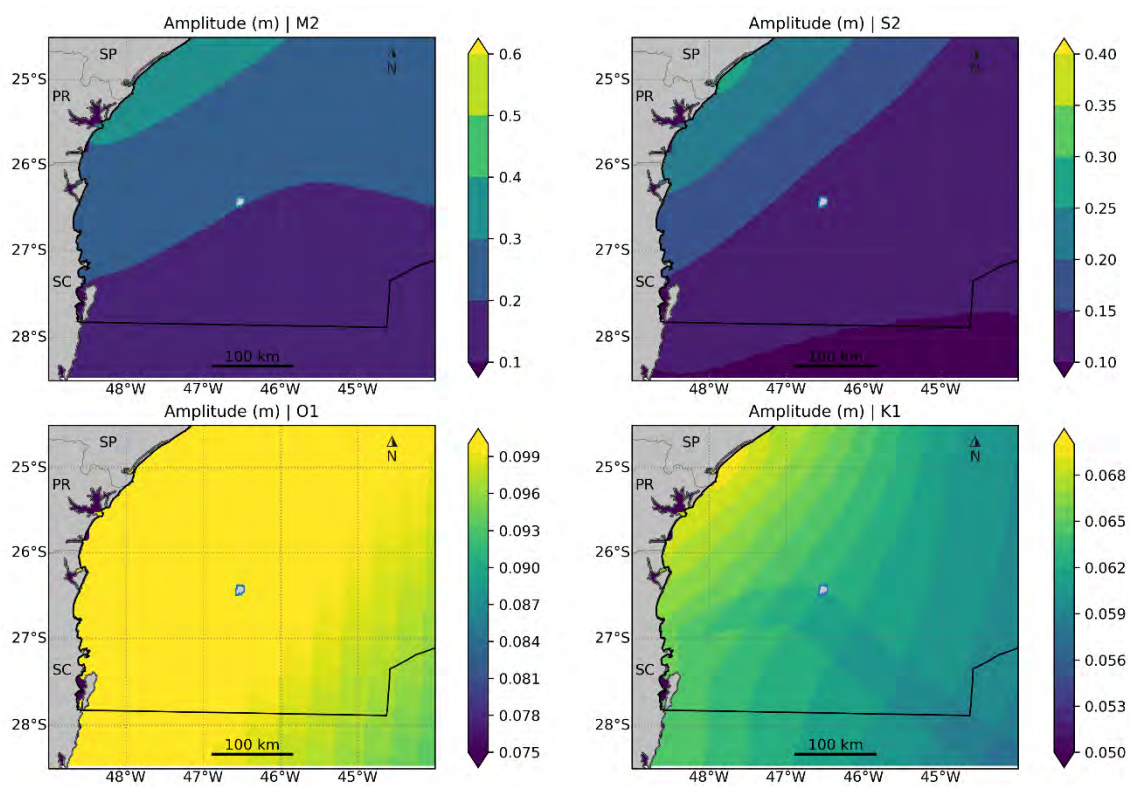


Figura 181: Amplitude das componentes M2, S2, O1 e K1 para a região de estudo. Fonte: TPX08.

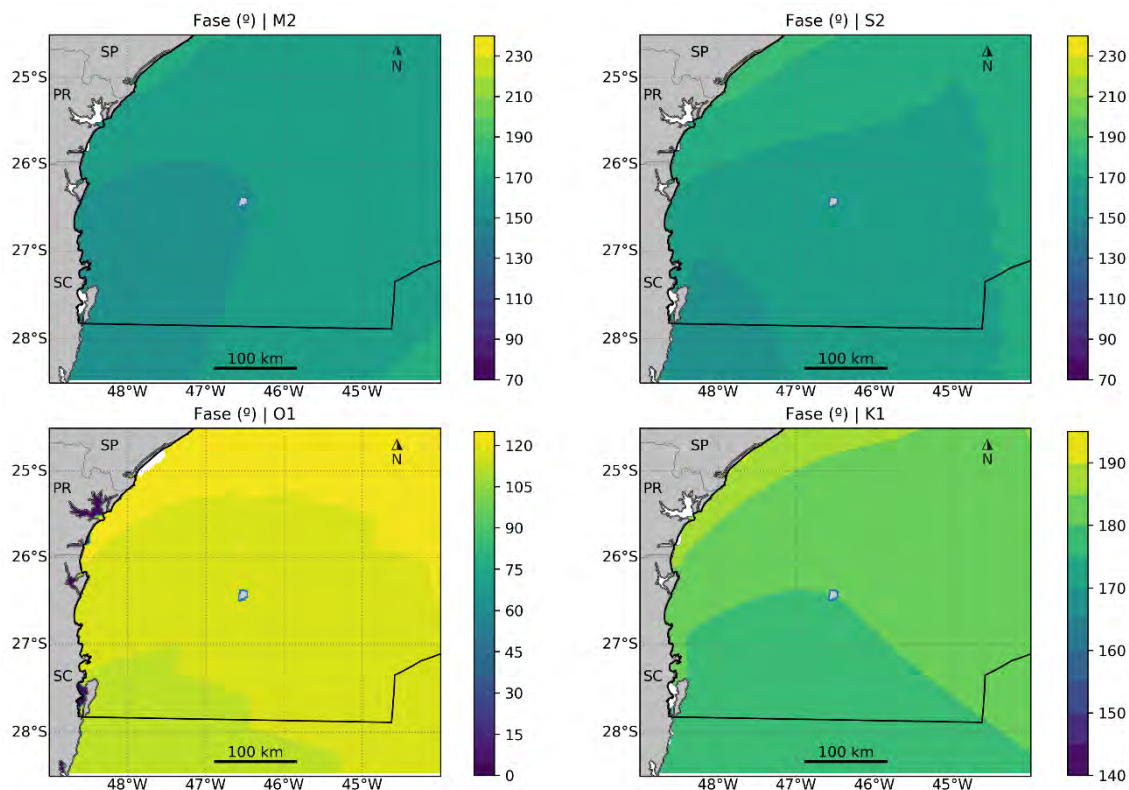


Figura 182: Fase das componentes M2, S2, O1 e K1 para a região de estudo. Fonte: TPX08.

Utilizando os valores apresentados na Tabela 42, pode-se concluir que na região de interesse tem-se:

- $F = 0,48$  – maré mista predominantemente semi-diurna.

Pode-se calcular também, segundo a formulação de Pond & Pickard (1978), a média da amplitude das marés de sizígia, que nesse caso será:

$$2(M2+S2) = 0,66 \text{ m.}$$

É possível classificar a maré na região como sendo mista, predominantemente semi-diurna com amplitudes médias de maré de sizígia variando em torno de 0,66 m.

Na Figura 183 é apresentada a série de elevação e as correntes de maré associadas, elaborada a partir das constantes harmônicas disponibilizadas pelo TPX08, para todo o ano de 2013, no ponto de grade selecionado. A série temporal (painel superior) mostra a ocorrência de marés com amplitudes máximas de aproximadamente 0,9m, com altura máxima de 0,41 m e mínima de -0,39 m. Devido a profundidade local, as correntes induzidas pela maré possuem intensidades muito baixas, menores que 0,08 m/s.



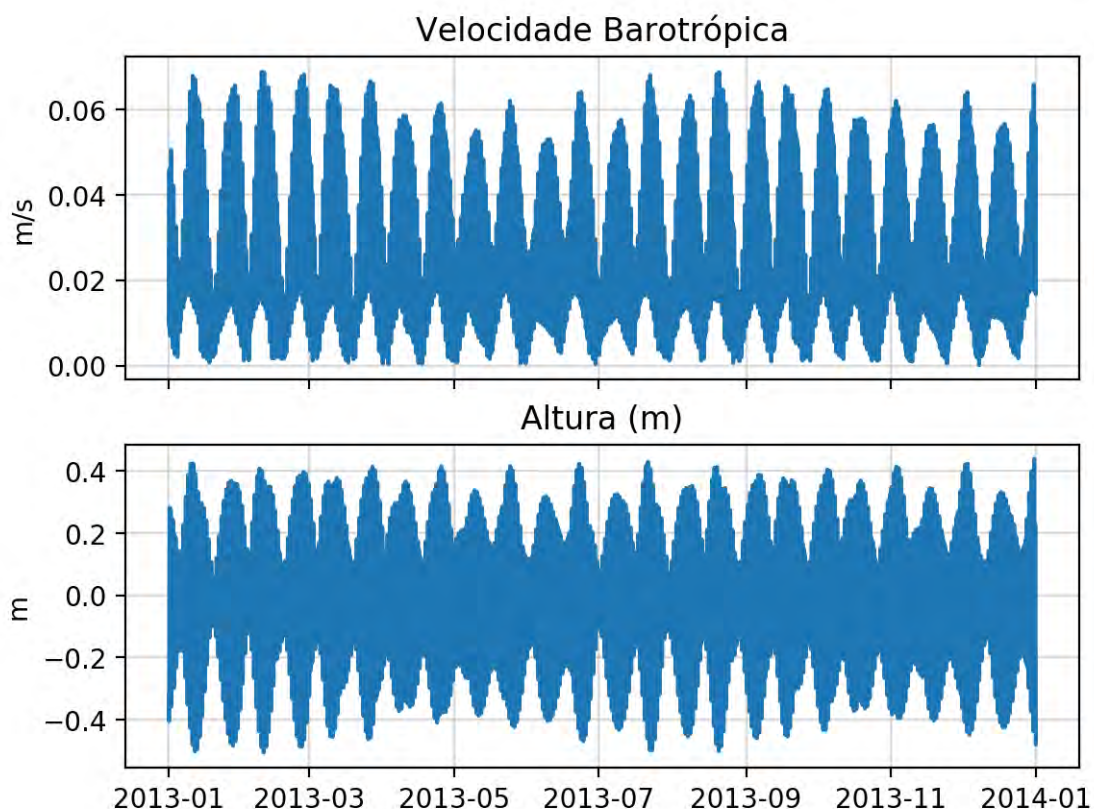


Figura 183: Série temporal de maré reconstituída (cima) e velocidade de correntes de maré (baixo) para o ano de 2020 a partir das constantes harmônicas do TPX08 no ponto de grade selecionado (46,5°W/26,5°S). Fonte: TPX08.

### 3.3. Identificação da variabilidade ambiental

Neste item, as séries de dados dos parâmetros oceanográficos foram analisadas visando a identificação da presença de variações interanuais na área de estudo. De acordo com a modelagem de dispersão de óleo, o Período 1 compreende ao intervalo de setembro a fevereiro, enquanto que o Período 2 ao intervalo de março a agosto.

Embora a corrente seja o principal parâmetro oceanográfico a considerar nas modelagens hidrodinâmica e de óleo, a separação sazonal adotada possui um efeito semelhante ao dos ventos. Conforme visto no item 3.2.3 - Regime de correntes – a circulação oceânica superficial é forçada pelo rotacional da tensão dos ventos de NE associados ao ASAS sobre o oceano e a passagem de frentes frias e ciclones extratropicais, todos fenômenos meteorológicos. Apesar da região apresentar pouca variabilidade sazonal, no verão e na primavera as correntes costumam ser mais intensas devido à uma maior influência da ASAS, enquanto que no outono e inverno as correntes são mais fracas e com uma maior variedade direcional resultante da passagem de sistemas frontais.

Ao analisar os resultados sazonais do modelo ROMS para os Pontos 1 e 2 na região (Figura 184 e Figura 185) é possível observar essas diferenças. Conforme esperado, há a predominância de

correntes na direção S/SW em ambos os cenários decorrente do escoamento da CB. No entanto, no Período 2 é possível observar uma diminuição das intensidades e um aumento da variabilidade direcional, com um maior percentual de correntes na direção W.

Como previamente observado, o Ponto 1 apresenta correntes um pouco mais intensas do que no Ponto 2, ao longo de todo o ano.

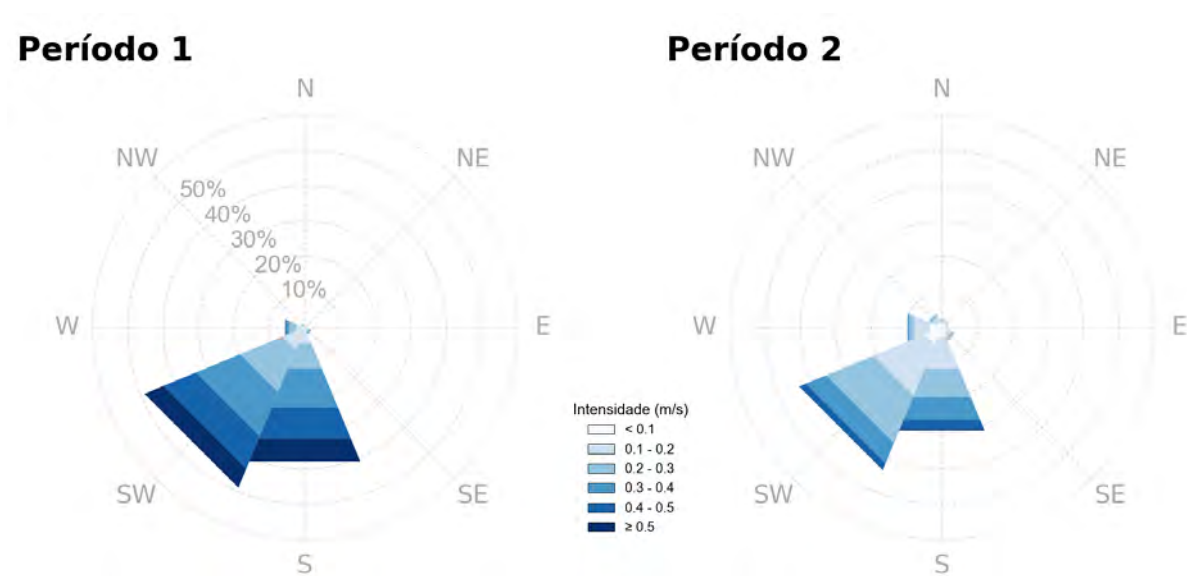


Figura 184: Rosa das correntes superficiais (m/s) no Ponto 1 para os dois períodos sazonais: Período 1 (setembro a fevereiro) e Período 2 (março a agosto).

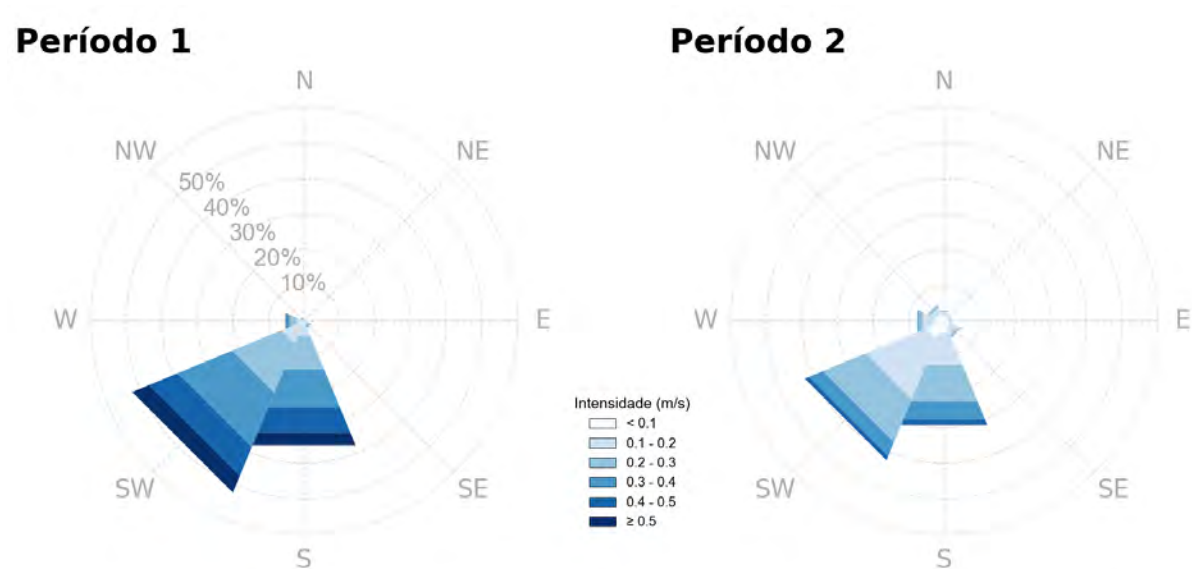


Figura 185: Rosa das correntes superficiais (m/s) no Ponto 2 para os dois períodos sazonais: Período 1 (setembro a fevereiro) e Período 2 (março a agosto).

Apresenta-se, a seguir, na Tabela 43 os valores climatológicos aproximados para a região do Campo de Baúna, levando-se em conta as seguintes fontes de dados:

- Temperatura e Salinidade (WOA13) – Período dos dados: 1773 - 2013;
- Velocidade de direção de correntes (ROMS) - Período dos dados: 2012 - 2013; e
- Altura e direção de ondas (ERA5) – Período dos dados: 1989 - 2019.

Tabela 43: Valores climatológicos obtidos para cada variável analisada na região do Campo de Baúna, na Bacia de Santos nas estações definidas: Período 1 – setembro a fevereiro – e Período 2 – março a agosto.

| Variáveis                          | Período 1 |         | Período 2 |         |
|------------------------------------|-----------|---------|-----------|---------|
|                                    | Ponto 1   | Ponto 2 | Ponto 1   | Ponto 2 |
| Temperatura (°C)                   |           | 24,52   |           | 21,98   |
| Salinidade                         |           | 35,85   |           | 35,67   |
| Vel. de Corrente superficial (m/s) | 0,34      | 0,32    | 0,20      | 0,19    |
| Dir. de Corrente superficial       | SW        | SW      | SW        | SW      |
| Vel. de Corrente 100 m (m/s)       | 0,24      | 0,20    | 0,15      | 0,13    |
| Dir. de Corrente 100 m             | SW        | SW      | SW        | SW      |
| Vel. de Corrente 150 m (m/s)       | 0,19      | 0,15    | 0,12      | 0,11    |
| Dir. de Corrente 150 m             | SW        | SW      | SW        | SW      |
| Vel. de Corrente 200 m (m/s)       | 0,14      | 0,12    | 0,10      | 0,10    |
| Dir. de Corrente 200 m             | SW        | SW      | SW        | SW      |
| Vel. de Corrente 300 m (m/s)       | 0,05      | 0,07    | 0,04      | 0,06    |
| Dir. de Corrente 300 m             | W         | W       | W         | W       |
| Alt. de Ondas (m)                  |           | 1,82    |           | 1,92    |
| Dir de ondas                       |           | SE      |           | SE      |

Na região do Campo de Baúna é possível observar que o período 1 apresenta águas superficiais mais quentes e salinas em comparação ao período 2, o que evidencia a influência maior da AT (massa d'água quente e salina que é transportada pela CB) entre setembro e fevereiro e a presença das correntes de plataforma vindas do sul, entre março e agosto. As correntes foram ligeiramente mais intensas no período 1 em todas as profundidades (da superfície até 300 m) devido ao escoamento da CB na área de talude. Para os dois períodos, a direção predominantes foram de SW até 300 metros de profundidade, onde rotaciona para W. As ondas foram um pouco maiores no período 2, chegando a 1,92 m. Em ambos os períodos, foram observadas direções médias para SE.

### 3.4. Identificação de fenômenos oceanográficos extremos

Neste item buscou-se identificar a ocorrência de eventos extremos a partir dos resultados da reanálise do ERA5 e de modelagem do ROMS no Ponto 1. A definição utilizada para o evento extremo é a de evento raro. Desta forma, para esta análise foram considerados eventos extremos aqueles que não se encontram em uma faixa entre o valor médio mais ou menos duas vezes o desvio padrão.

As regiões sul e sudeste do Brasil são frequentemente influenciadas pela passagem de sistemas frontais. A influência desses sistemas no oceano é expressa em alterações substanciais no regime hidrodinâmico, seja em função de efeitos locais ou de fenômenos sinóticos, tais como a chegada de grandes ondulações geradas, por exemplo, em altas latitudes.

As condições extremas de ondas na região podem estar associadas a 3 sistemas sinóticos diferentes: ASAS, passagem de sistemas frontais ou deslocamento do anticiclone polar.

No caso de domínio do ASAS, ondas com direções de NE-E podem chegar a até 5,0 m de altura significativa, configurando um cenário crítico para operações no mar. Entretanto, as condições mais severas de mar observadas na região estão associadas à evolução de sistemas frontais, onde ondulações de SW e SE podem atingir a região com mais de 6 metros de altura significativa. A maior ocorrência de passagem de sistemas frontais na região entre o outono e a primavera (março a setembro), faz com que esses períodos sejam mais propícios à ocorrência de eventos extremos de ondas.

A região do Bloco BM-S-40 e o Campo de Baúna encontra-se sobre o talude na borda do escoamento da CB, o que resulta em correntes entre 0,1 e 0,4 m/s e máximos de até 1 m/s. Para o regime de ondas, a região apresenta ondas com altura significativa de 1,0 a 3,0 m (~93%).

Apresenta-se a seguir, na Tabela 44 uma síntese dos eventos extremos para ondas e correntes. Para o regime de correntes foram utilizados os dados do ROMS no Ponto 1, localizado no Campo, e para o regime de ondas, os dados do ERA5.

Ao todo, 4,56% das ondas ultrapassaram o limiar superior de 3,10 m. O mês crítico para a ocorrência de eventos extremos de ondas foi maio. Na maior parte dos casos esses eventos estão associados à ondulações de quadrante S, embora também possam ocorrer ondulações de NE e E (menos frequente).

Para correntes, 3,30% apresentaram velocidades superiores a 0,5 m/s, sendo janeiro o mês mais propício para ocorrência desses eventos. Tal fato está associado ao escoamento da CB na direção SW na região do Campo de Baúna.

Apesar de estarem dentro do limite considerado como extremos, as menores alturas significativas de onda e intensidades de corrente observados (mais próximos aos limiares) foram nos meses de janeiro e abril, respectivamente.

Tabela 44: Estatísticas de extremos elaboradas para alturas de ondas e velocidade de correntes na região do Campo de Baúna.

| Variáveis               | Limiares |          | Frequência de ocorrência (%) |          | Meses críticos |          |
|-------------------------|----------|----------|------------------------------|----------|----------------|----------|
|                         | Superior | Inferior | Superior                     | Inferior | Superior       | Inferior |
| Alt. de Ondas (m)       | 3,10     | 0,64     | 4,56                         | 0        | maio           | -        |
| Vel. de Correntes (m/s) | 0,56     | -        | 3,30                         | 0        | janeiro        | -        |

Para avaliar os eventos extremos de maré meteorológica na Bacia de Santos, podemos recorrer ao estudo realizado por Campos *et. al.* (2009).

Os autores caracterizaram eventos extremos de nível do mar utilizando dados de nível do mar do Porto de Santos, campos de ventos e pressão atmosférica das reanálises do NCEP para o período de 1951 a 1990.

Os limiares utilizados por Campos *et. al.* (2009) para a caracterização de eventos extremos, foram os mesmos utilizados na caracterização de extremos de correntes e ondas aqui apresentados, ou seja, a série filtrada acima e abaixo +2 e -2 desvios-padrão.

Os resultados indicarem que os períodos de outono e inverno apresentaram a maior ocorrência de extremos positivos (40,2% e 30,8% respectivamente), enquanto a primavera e o inverno foram as estações com maior número de extremos negativos (47,2% e 32,3% respectivamente). Os autores indicaram que os casos mais importantes de sobre-elevação do nível do mar ocorrem com a evolução e persistência de sistemas de baixa pressão sobre o oceano, com ventos de sudoeste acima de 8 m/s.



## 4. Síntese Conclusiva

Na primeira parte do relatório foram apresentados dados e gráficos de maneira a caracterizar a meteorologia da região da Bacia de Santos e do entorno do Campo de Baúna, situado no bloco BM-S-40. As seguintes variáveis e parâmetros foram analisados: temperatura, precipitação, evaporação, umidade relativa, pressão atmosférica, insolação, ventos e as condições extremas atuantes.

Ao longo da região próxima ao Bloco, puderam ser identificadas variações espaciais nas variáveis analisadas (por exemplo, médias no inverno de 18,5°C em Iguape e 16,6°C em Florianópolis), e um padrão sazonal bem definido, com dois grandes períodos e meses de transição.

Os fenômenos de macroescala que mais são presentes nas variáveis analisadas e nos comportamentos gerais descritos são o ASAS, a ZCAS e a passagem de sistemas frontais, com a penetração da AF e dos CF. Sua presença e variação sazonal influencia todas as variáveis.

A partir da análise das estações automáticas, localizadas em terra, puderam ser identificados alguns fenômenos com reflexos na microescala, como efeitos de brisa nos ventos, possivelmente a maré atmosférica nos campos de pressão, temperatura e umidade relativa, e variações diurnas relacionadas com o ciclo solar.

Para além das estações sazonais clássicas (verão, inverno, outono e primavera), a partir das análises e gráficos apresentados na caracterização dos fenômenos de mesoescala, puderam-se definir dois grandes períodos sazonais no ano, tendo como base principalmente o parâmetro vento. O período 1 foi definido como o período do ano compreendido entre setembro e fevereiro e o período 2 pelo intervalo compreendido entre março e agosto.

Durante o período 1, cujo pico pode ser considerado nos meses de janeiro e fevereiro, encontram-se as maiores temperaturas (média climatológica de 23,1°C), altos índices de umidade relativa (média climatológica de 80,5%), pressão atmosférica mais baixa e ventos mais intensos predominantemente de nordeste, com pouca porcentagem de ventos do quadrante sul. Nos meses do período 2, as temperaturas e a umidade relativa são mais baixas (média climatológica de 22°C e 77,6%, respectivamente), a pressão atmosférica é mais alta e os ventos são, em média, menos intensos com uma maior porcentagem de ventos do quadrante sul.

Os ventos na região do Campo de Baúna são predominantemente do quadrante NE, considerando N, NE e E (~60% de ocorrência), associados ao ASAS, durante o ano inteiro. Esse sistema pode ser perturbado pela passagem de frentes frias e ciclones extratropicais, invertendo seu sentido para o quadrante sul (SW, S e SE). Os meses de maio, junho e julho apresentam maior frequência de ventos do quadrante sul, característicos de sistemas frontais. A faixa de intensidade com a maior ocorrência foi de 4 a 8 m/s, e a intensidade máxima observada nos conjuntos de dados utilizados foi de 18,9 m/s.

Condições extremas foram caracterizadas por temperaturas acima de 27,52°C e abaixo de 17,56°C, precipitação acima de 1,13 mm/h, umidade relativa acima de 99,94% e abaixo de 58,13%, pressão atmosférica acima de 1026, hPa e abaixo de 1005,63 hPa e ventos acima de 11,4 m/s com rajadas acima de 15,09 m/s. No geral, os valores extremos máximos de temperatura, umidade e

precipitação foram observados no verão, enquanto que os extremos de pressão atmosférica e ventos, no inverno.

Na segunda parte do relatório foram analisadas as condições oceanográficas da região de estudo. A Bacia de Santos encontra-se sob a influência do Giro Subtropical do Atlântico Sul, feição de macroescala que apresenta correntes em giro anti-horário, forçadas pelos ventos do ASAS, e tem como seu limite oeste a Corrente do Brasil (CB). A CB é uma corrente de contorno oeste que flui ao longo das costas leste, sudeste e sul do Brasil com fluxo para SW com intensidade média de 0,25 m/s (máxima de ~1 m/s). Essa corrente transporta as águas quentes e salinas da AT próximo a superfície, e águas da ACAS até aproximadamente 400 m de profundidade.

A Bacia de Santos é influenciada diretamente pela CB e seus meandros e vórtices associados, que alteram o padrão climatológico da direção das correntes e posição do núcleo da CB, sendo uma importante fonte de variabilidade das correntes superficiais. A localização do Campo de Baúna está na porção interna do talude, com uma lamina d'água de aproximadamente 300 m de profundidade, resulta na influência direta da CB na região, da superfície ao fundo.

Para caracterizar a oceanografia da Bacia de Santos e do Campo de Baúna, foram usados dados de diversas fontes, bem como referências bibliográficas para a área.

A análise dos dados oceanográficos da região do Campo mostrou a presença das massas d'água AM, AT e ACAS devido a profundidade local (~300 metros). Foram ainda encontradas variações sazonais bem marcadas nos perfis de temperatura e densidade potencial para os períodos inverno e verão, com maiores temperaturas e menores densidades sendo verificadas no período de verão. No período de inverno fica evidente a presença de correntes de plataforma em direção ao norte vindas do sul, com águas mais frias. Os dados de temperatura e salinidade climatológicas indicaram médias de 26,13°C e 35,97 no verão e 20,55°C e 35,44 no inverno para o Campo, respectivamente.

A camada de mistura na região é pouco espessa, tendo menos de 50 m em média desde a superfície até a base, e mais frequente no verão, corroborado pelos perfis de CTD amostrados no PCA/BM-S-40.

As condições de ondas observadas na região estão associadas a 3 sistemas sinóticos diferentes: o ASAS, a passagem de sistemas frentes frias e a atuação de ciclones extratropicais. A agitação marítima no Campo de Baúna gerada pelo ASAS, o mar local (*wind sea*), possui direção preferencial de NE e E (~50% da ocorrência total) e altura significativa média de 1 a 1,3m (máxima de 5,8m) e é a condição de mar mais frequente. As ondas geradas pela ação de ciclones extratropicais produzem ondas do quadrante sul (SW, S e SE - ~30% da ocorrência total), o *swell*, com altura significativa média de 1 a 3 metros e máxima de até 6,4m.

Tanto o regime de ondas quanto o de correntes são forçados pelo regime de ventos, dependendo principalmente da atuação de sistemas meteorológicos como o ASAS e a passagem de sistemas frontais. Entretanto, deve-se ressaltar que o regime de correntes depende de outros fatores, como as variações provocadas por fenômenos de macro e meso- e submesoescala.

Os dados de correntes mostram que a região do Campo de Baúna se encontra sob influência direta da CB em toda a coluna d'água. O fluxo superficial predominante é para SW (~50%) com velocidades

entre 0,1 e 0,4 m/s (~70%), resultante do equilíbrio dinâmico da CB com os ventos do ASAS na plataforma continental. Na ocorrência da passagem de frentes frias observa-se a inversão das correntes, que adquirem direção para N/NE, que, nos meses de maior ocorrência (inverno) resultam no transporte residual de mesma direção gerando a CCB.

A presença de meandros e vórtices da CB leva a ocorrência de correntes de todas as direções, dentre as quais destaca-se a direção W, que chegou a representar cerca de 20% das correntes medidas *in situ* a bordo do FPSO Cidade de Itajaí (PMA/BM-S-40). Tal variabilidade associada às feições de mesoescala evidencia ainda a tendência de transporte da CB para a plataforma continental na região do entorno do Campo de Baúna, conforme observado em dados de modelos e corroborado por trajetórias observadas de derivadores. Ainda, em maiores frequências, atenta-se para a importância das oscilações quase-inerciais, que rotacionam as correntes no sentido anti-horário com período de cerca de 30 horas.

A maré na região apresenta caráter misto com predominância semi-diurna, com amplitude média de marés de sizígia de 0,6m e gera correntes de, no máximo, 0,08 m/s no Campo de Baúna.

## 5. Bibliografia

- ASSIREU, A. T. Estudo das Características Cinemáticas e Dinâmicas das Águas de Superfície do Atlântico Sul Ocidental a partir de Derivadores Rastreados por Satélite. Tese (Doutorado em Oceanografia Física). Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo. 174 p. 2003.
- AZEVEDO, T. R. Distribuição espacial da ocorrência dos maiores totais diários de precipitação na RMSP e arredores em função da intensidade relativa da atividade urbana. GEOUSP – Espaço e Tempo, São Paulo, n.12, p.89-104. 2002.
- BILÓ, T. C. (2015). The changing Brazil Current system between 23°S-31°S: vertical structure and mesoscale dynamics. Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. doi:10.11606/D.21.2015.tde-31082015-155125. Recuperado em 2021-02-08, de [www.teses.usp.br](http://www.teses.usp.br).
- BOEBEL, O.; DAVIS, R. E.; OLLITRAUT, M.; PETERSON, R. G.; RICHARD, P. L.; SCHMID, C.; ZENK, W. The intermediate depth circulation of the Western South Atlantic. Geophys. Res. Lett. 26 (21), 3329 – 3332. 1999.
- BRAGA, A. P. (2019). Description and Dynamics of the Santos Bifurcation. Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. doi:10.11606/D.21.2020.tde-30012020-153237. Recuperado em 2021-02-08, de [www.teses.usp.br](http://www.teses.usp.br)
- CALADO, L.; Dinâmica da interação da atividade de meso-escala da Corrente do Brasil com o fenômeno da ressurgência costeira ao largo de Cabo Frio e Cabo de São Tomé, RJ. Tese de doutorado – Instituto Oceanográfico, USP. 2006. 159 p
- CALIL ELIAS, L. M. 2009. Variabilidade Interanual da Ressurgência de Cabo Frio - RJ. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 110 pp.
- CAMPOS, E. J. D., J. E. GONÇALVES & Y. IKEDA, 1995. Water Mass Structure and Geostrophic Circulation in the South Brazil Bight – Summer of 1991. J. Geophys. Res., 100(C9), 18537-18550.
- CAMPOS, E. J. D.; LORENZETTI, J. A.; STEVENSON, M. R.; STECH, J. L.; SOUZA, R. B. Penetration of Waters from the Brazil-Malvinas Confluence Region Along the South American Continental Shelf up to 23°S. An. Acad. Bras. Ci., v. 68, pp. 49 – 58. 1996.
- CAMPOS, R. M.; DE CAMARGO, R.; HARARI, J. Caracterização de eventos extremos do nível do mar em Santos e sua correspondência com as reanálises do modelo do NCEP no sudoeste do Atlântico Sul. Ver. Bras. Meteorol., v. 25, no. 2, São Paulo, Brasil. 2010.
-

- CASTRO, B. M. , MIRANDA, L. B. ,1998. Physical Oceanography of the Western Atlantic Continental Shelf Located between 4°N and 34°S Costal Segment (4,W). Chapter 8. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo
- CARVALHO, L.; JONES, C.; LIEBMANN, B. 2004. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal to Interannual Activity and Extreme Rainfall. *Journal of Climate*. 17. 88-108. 10.1175/1520-0442(2004)017<0088:TSACZI>2.0.CO;2.
- CERRONE, B. N. Estatísticas da Circulação do Oceano Atlântico Sudoeste a partir de Dados Lagrangeanos. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 48 p. 2010.
- CIOTTI, A. M.; ODEBRECHT, C; FILLMANN, G; MOLLER, O. O. Freshwater outflow and Subtropical Convergence influence on phytoplankton biomass on the southern Brazilian continental shelf. *Continental Shelf Research*, v. 15, n. 14, pp. 1737 – 1756. 1995.
- CIRINO, P.; Feres, J.; Braga, M.; Reis, E. 2015. Assessing the Impacts of ENSO-related Weather Effects on the Brazilian Agriculture. *Procedia Economics and Finance*. 24. 146-155. 10.1016/S2212-5671(15)00635-8.
- COVEY C., A. DAI, D. MARSH Y R. LINDZEN , 2011. The Surface-Pressure Signature of Atmospheric Tides in Modern Climate Models. *J. Atmos. Sci.*, 28, 495-514.
- DERECZYNSKI, C.P., MENEZES, W.F. 2015. Meteorologia da Bacia de Campos. In: Martins, R.P., Grossmann-Matheson, G.S., editores. *Meteorologia e Oceanografia*. Rio de Janeiro: Elsevier. *Habitats*, v. 2. p. 1-54.
- DOMINGUEZ, J. M. L., MAIA, L. P., CARVALHO, A. M. 2007. A deriva e o Transporte Litorâneo de Sedimentos no Trecho entre Cumbuco e Matões – Costa Noroeste do Estado do Ceará. *Arquivos de Ciências do Mar*, vol. 40, pp 43 – 51. LABOMAR, Universidade Federal do Ceará.
- DOS SANTOS FA, DE OLIVEIRA ALSC, SOARES FLM, CARVALHO GV, SÃO TIAGO PM, SANTOS NG, GARÇÃO HF, PIMENTEL FP, BOECHAT AC, MARIANO LS, BERGMAN C, RINALDI FL, MIRANDA TC, CABRAL MM, DA CRUZ LMM, PELLEGRINI JAC, ASSAD LPF, LANDAU L, FRAGOSO MR (2015) 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/B978-0-12-802022-7.00020-1
- EGBERT, G.D., EROFEEVA, S. Y, 2002: Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 19(2), 183-204.
- FRAGOSO, M. R., 2004. Um Modelo Numérico da Circulação Oceânica para as Bacias Leste e Sudeste do Brasil. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. 173p.
-



- FRANÇA, B.R.L. (2013). Ondas Confinadas Costeiras na Plataforma Continental Sul-Sudeste do Brasil. Dissertação (mestrado) – UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia Oceânica.
- FREITAS, P.P., AMORIM, F.D.L., MILL, G.N. ET AL. 2019. Observations of near-inertial oscillations along the Brazilian continental shelf break. *Ocean Dynamics* 69, 1203–1215 (2019).  
<https://doi.org/10.1007/s10236-019-01296-w>
- GODOI, S.S., 2005: Dinâmica Quase-Geostrófica do Sistema Corrente do Brasil no Embaiamento de São Paulo (23,5º - 27º S). Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Instituto Oceanográfico. 157p.
- HASTENRATH, S., 1985: *Climate and Circulation of the Tropics*. D. Reidel Publish. Co., 455 pp.
- ILSON, S. A. C. 2007. O Sistema Corrente do Brasil na Bacia de Campos, RJ. Tese Doutorado IOUSP. São Paulo.
- INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), <http://www.inmet.gov.br/>, acessado em maio de 2021.
- INNOCENTINI, V., S. C. S. C. Prado, C. S. Pereira, F. O. Arantes, and I. N. Brandao, 2001: Ocorrência de vagas no arquipélago de São Pedro e São Paulo: Caso outubro de 1999. *Revista Bras. Meteor.*, 16, 177–186.
- JONES, C., Carvalho, L. M. V. 2002. Active and break phases in the South America monsoon system. *J. Climate*, 15, 905–914.
- JOHNSON, D.R., T.P. BOYER, H.E. GARCIA, R.A. LOCARNINI, O.K. BARANOVA, AND M.M. ZWENG, 2013. *World Ocean Database 2013 User's Manual*. Sydney Levitus, Ed.; Alexey Mishonov, Technical Ed.; NODC Internal Report 22, NOAA Printing Office, Silver Spring, MD, 172 pp. Available at <http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD13/docwod13.html>.
- KOMAR, P. D. 1976. *Beach processes and sedimentation*. Prentice-Hall Inc., New Jersey, 429 p.
- KOMAR, P. D. 1998. *Beach processes and sedimentation*. Prentice Hall, Inc, Upper Saddle River, New Jersey, 429p.
- LIMA, J. A. M. 1997. 164p. Ocean circulation on the Brazilian shelf break and continental slope at 22ºS. Tese (Doutorado em Matemática Aplicada – Oceanografia), University of New South Wales, Australia.
- MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J.M.L. & BITTENCOURT, A.C.S.P. 1998. Climatic control of coastal erosion during a sealevel fall episode. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 1998.
- MASCARENHAS, A. S., L. B. MIRANDA, & N. J. ROCK, 1971: A study of oceanographic conditions in the region of Cabo Frio. *Costlow J. D.*, 1, 285:308.
-

- MATTOS, R. A., 2006, Feições de meso e grande escalas da Corrente do Brasil ao largo do sudeste brasileiro, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 126 pp.
- MENDONÇA, L.F., SOUZA, R.B., ASSEF, C.R.C., PEZZI, L.P., MÖLLER, O.O., ALVES, R.C.M. (2016). Regional modeling of the water masses and circulation annual variability at the Southern Brazilian Continental Shelf. *Journal of Geophysical Research*, doi: 10.1002/2016JC011780.
- MIRANDA, L.B., 1991. "Análise de massas d'água dos oceanos." Notas de aula do curso, Univ. de São Paulo, São Paulo.
- MOREIRA, D. L., 2008. "Correntes subinerciais e ondas confinadas costeiras presentes na Baía de Campos, RJ". Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- MOLLER, O.O.; PIOLA, A.R.; FREITAS, A.C.; CAMPOS, E.J.D. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. *Continental Shelf Research*, v. 28, pp. 1607 – 1624. 2008.
- ODA, T.O., 1997. Influência da ressurgência costeira sobre a circulação local em Cabo Frio (RJ). Dissertação de Mestrado, São José dos Campos, 119 pp.
- PETERSON, R.G. & L. STRAMMA, 1991: Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. *Progress in Oceanography*, 26, pp. 1-73.
- PETROBRAS (Petróleo Brasileiro S.A.) & BOURSCHEID (Engenharia e Meio Ambiente LTDA), 2017a. Relatório Técnico de Avaliação Ambiental. Projeto de Monitoramento Ambiental do Desenvolvimento da Produção de Petróleo dos Campos de Baúna e Piracaba - fase operação - Bloco BM-S-40, Baía de Santos. Subprojetos - Monitoramento Meteoceanográfico Operacional (PMA/BS-40 subprojeto PMOP) e Monitoramento por Sensoriamento Remoto (PMA/BS-40 subprojeto PMSR). 1.643p.
- PIANCA, C.; MAZZINI, P.L.; SIEGLE, E. 2010. Brazilian offshore wave climate based on NWW3 reanalysis. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58(1): 53-70.
- PIOLA, A. R.; MATANO, R. P.; PALMA, E. D.; MOLLER, O. O.; CAMPOS, E. J. D. The influence of the Plata River discharge on the western South Atlantic shelf. *Geophysical Research Letters*, v. 32, pp. 1 - 4. 2005.
- POND, S. & G.L. PICKARD, 1978. *Introductory Dynamical Oceanography*. Pergamon Press, Oxford. 329p
- PORTILHO-RAMOS R.C., RIO-NETTO A.M. & BARBOSA C.F. 2006. Caracterização bioestratigráfica do Neógeno superior da Baía de Santos com base em foraminíferos planctônicos. *Rev. Bras. Paleont.*, 9(3):349-354.
-

- PROOCEANO & KAROON (Petróleo e Gás LTDA.). 2019. Modelagem Hidrodinâmica e Dispersão de Óleo, Campo de Baúna – Bacia de Santos. Relatório Técnico. 168p.
- PROOCEANO & KAROON (Petróleo e Gás LTDA.), 2021. Relatório Técnico de Caracterização Ambiental. Projeto de Caracterização Ambiental do Bloco BM-S-40, Bacia de Santos. 126p.
- QUADRO, M. F. L., SILVA DIAS, M. A. F., HERDIES, D. L., GONCALVES, L. G. G. Análise Climatológica da Precipitação e do Transporte de Umidade na Região da ZCAS Através da Nova Geração de Reanálises. Revista Brasileira de Meteorologia, v.27, p.152-162, 2012.
- RI PRO06. Relatório Interno. Meio Físico. Meteorologia. Terminal Aquaviário de Barra do Riacho. Preparado por: Lincon Alves. 2007.
- REBOITA, M.S. 2008. Ciclones extratropicais sobre o Atlântico Sul: simulação climática e experimentos de sensibilidade [Tese]. São Paulo: Universidade de São Paulo.
- ROCHA, C., SILVEIRA, I.C.A., CASTRO, B. LIMA, J. 2014. Vertical structure, energetics, and dynamics of the Brazil Current System at 22°S-28°S. Journal of Geophysical Research: Oceans. 119. 10.1002/2013JC009143.
- RODRIGUES, R. R., ROTHSTEIN, L. M., WIMBUSH, M., 2007. Seasonal variability of the South Equatorial Current bifurcation in the Atlantic Ocean: A numerical study. J. Phys. Oceanogr. 37, 16. 30 pp.
- SATYAMURTY P, MATTOS LF, NOBRE CA & SILVA DIAS PL. 1998. Tropics - South America. In : Meteorology of the Southern Hemisphere, Ed. Kauly, D. J. and Vincent, D. G., Meteorological Monograph. American Meteorological Society, Boston, 119-139.
- SILVA, L.C.F., C.A.F. ALBUQUERQUE, W.W. CAVALHEIRO, C.M.P. HANSEN, 1982: Gabarito tentativo para as massas de água da costa sudeste brasileira. Separata dos Anais Hidrográficos - Tomo XLI. 30p.
- SILVEIRA, I. C. A.; MIRANDA, L. B.; BROWN, W. S., 1994. On the origins of the North Brazil Current. J. Geophys. Res. 99 (C11), 22501 - 22512.
- SILVEIRA, I. C. A., A. C. K. SCHIMIDT, E. J. D. CAMPOS, S. S. GODOI, & Y. IKEDA, 2000: A Corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. R. bras. Oceanogr., 48(2), 171–183.
- SILVEIRA, I. C. A.; CALADO, L.; CASTRO, B. M.; CIRANO, M.; LIMA, J. A.; MASCARENHAS, A. S., 2004 On the baroclinic structure of the Brazil Current/Intermediate Western Boundary Current System. Geophys. Res. Lett. 31 (14), L14308.
- SILVEIRA, I. C., 2007: O Sistema Corrente do Brasil na Bacia de Campos, RJ - Tese de Livre Docência - Universidade de São Paulo - SP.
-

- SCHMID, C.; SIEDLER, G.; ZENK, W., 2000. Dynamics of the intermediate water in the subtropical south atlantic. J. Phys. Oceanogr. 30, 3191 – 3211.
- SOUTELINO, R. G. 2008. A Origem da Corrente do Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 95 pp.
- SOUZA, R. B. & ROBINSON, I. S., 2004, “Lagrangian and satellite observations of the Brazilian Coastal Current”. Continental Shelf Research vol. 24 (2) pp. 241-262.
- SOUZA, R. B.; LORENZZETTI, J. A.; LUCCA, E. V. D. Estimativas da temperatura da superfície do mar através do sensoriamento remoto no infravermelho. In: Souza, R. B. (Org.). Oceanografia por Satélites. São Paulo: Oficina de textos, p. 102-115, 2005.
- STARK, J. D. CRAIG J. DONLON, MATTHEW J. MARTIN AND MICHAEL E. 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.
- STECH, J.L., LORENZZETTI, J.A., 1992. The Response of the South Brazil Bight to the Passage of Wintertime Cold Fronts.
- STRAMMA, L. & M. ENGLAND, 1999: On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. J. Geophys. Res., 104(C9), 20.863–20.883.
- STRAMMA, L.; FISCHER, J.; REPPIN, J., 1995. The North Brazil Undercurrent. Deep Sea Res. Part I 42 (5), 773 - 795.
- TOMCZAC, M., GODFREY, J.S., 1994. Regional Oceanography: An Introduction. Elsevier, Oxford, 422 p.
- VIANNA, M.L. & MENEZES V. V., 2005 Circulação Oceânica: Monitoramento por meio de Altimetria de Satélite. Em: de Souza R.B. (Org.). Oceanografia por Satélite. Oficina de Textos, São Paulo, SP.
-

### II.5.1.3. Qualidade da Água e do Sedimento

O Termo de Referência (TR) TR SEI/IBAMA 819775, específico para a Atividade de Perfuração Marítima da acumulação de Patola, Bloco BM-S-40, na Bacia de Santos, aponta que o diagnóstico da qualidade da água e do sedimento deverá ser elaborado com base nos resultados apresentados no Projeto de Caracterização Ambiental (PCA) para o referido bloco, bem como com a comparação à dados secundários, quando pertinente.

O PCA consistiu em um levantamento de dados primários na área do bloco, antes do início das atividades de perfuração. Os resultados obtidos permitiram definir os valores de referência (*background*) para as variáveis físico-químicas (parâmetros físicos, orgânicos e inorgânicos) e biológicas (meio e macrofauna bentônica; fito, zoo e ictioplâncton) do ambiente marinho estudado, nas matrizes sedimento e água. O levantamento de dados no Bloco BM-S-40 também incluiu a realização de inspeções visuais do fundo marinho nas estações estabelecidas.

Adicionalmente, destaca-se que toda a operação de coleta foi realizada seguindo as condicionantes apresentadas na Autorização de Captura, Coleta e Transporte de Material Biológico (ABIO) N°1334/2020 (SEI/IBAMA 8543164).

A campanha do PCA no Bloco BM-S-40 foi realizada entre os dias 15 de fevereiro e 07 de março de 2021. A malha amostral utilizada avaliou seis estações de amostragem, para coletas de água e sedimento, sendo duas coincidentes com os poços firmes previstos (Patola-1 e Patola-2), abrangendo a área do bloco (**Figura II.5.1.3 - 1**). As metodologias de amostragem foram aprovadas pelo órgão ambiental através da emissão do Parecer Técnico nº 242/2020 - COEXP/CGMAC/DILIC (SEI/IBAMA 8531990).



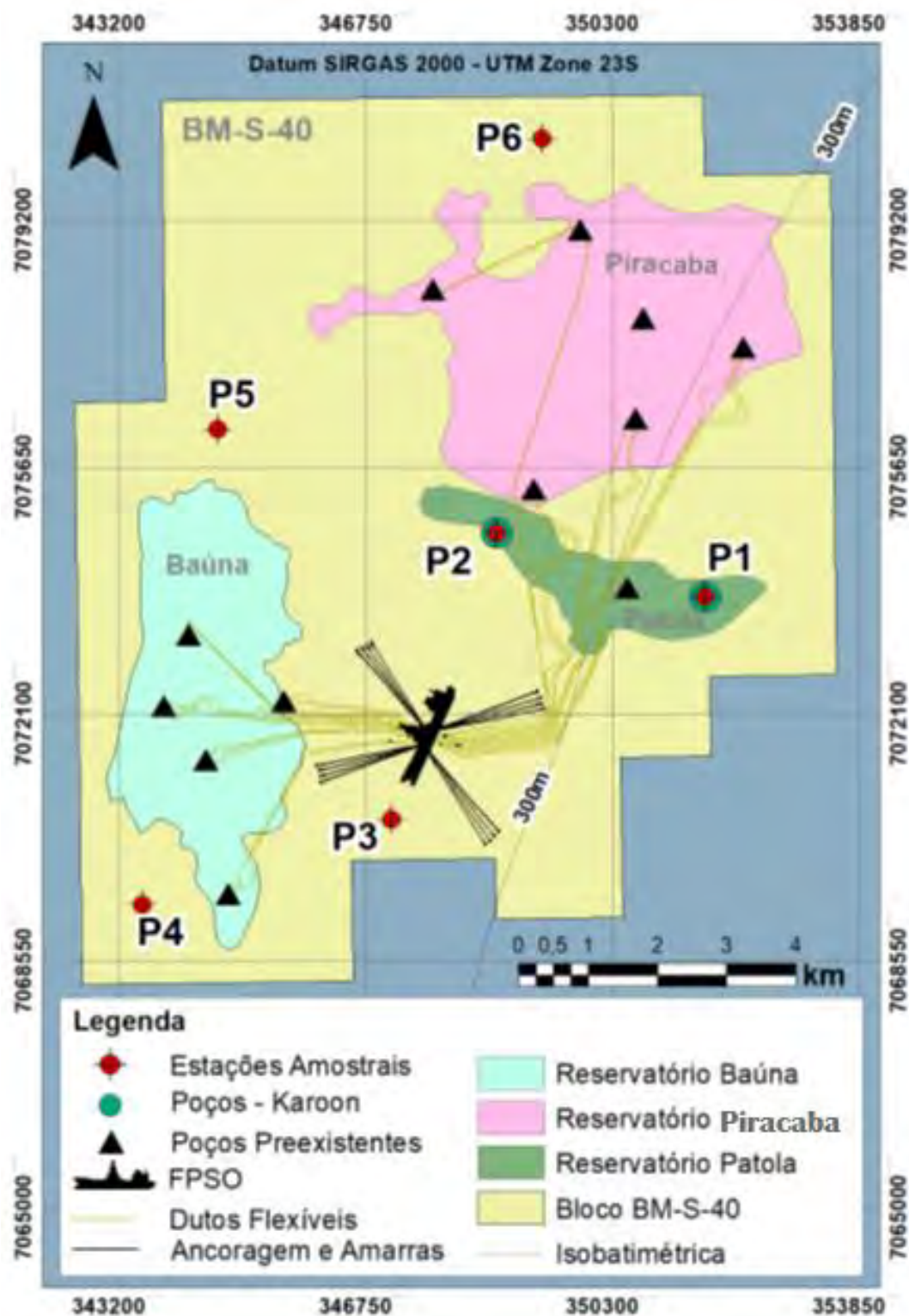


Figura II.5.1.3 - 1: Localização das estações amostrais, das locações dos poços e FPSO da Atividade de Perfuração Marítima da Acumulação de Patola, Bloco BM-S-40, Bacia de Santos. Fonte: KAROON/PROOCEANO (2021).

Para as perfilagens de CTD, o instrumento utilizado para medições de temperatura, condutividade e pressão foi o modelo ACMPlus 7000, da marca FSI (Fallmouth Scientific, Inc.). As amostragens de água para análise dos parâmetros físico-químicos foram realizadas através do lançamento de garrafas Go-Flo, em todas as estações, nas profundidades fixas de 5m, 70m e próximo ao fundo. Os parâmetros de qualidade de água foram: transparência, oxigênio dissolvido (OD), pH, BTEX, totais de sólidos em suspensão (TSS), totais de sólidos dissolvidos (TDS), clorofila-a, feofitina, HTP, HPA's, fenóis totais, nutrientes, nitrogênio e fósforo totais, sulfetos e carbono orgânico total (COT).

Para as amostragens de sedimento foi utilizado o Box-Corer (50 x 50 x 50 cm), sendo coletada amostras em triplicata, três amostragens válidas de sedimento por estação, para a caracterização ambiental da área do Bloco BM-S-40. Os parâmetros físico-químicos avaliados foram: granulometria, teor de carbonatos, matéria orgânica total (MOT), carbono orgânico total (COT), nitrogênio e fósforo totais, HTP total, HPA's, biomarcadores, metais totais e os radionuclídeos  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$ .

A seguir, é apresentada uma síntese dos resultados do PCA relativos à qualidade das águas e dos sedimentos da área do Bloco BM-S-40, na Bacia de Santos. O relatório completo do PCA encontra-se em volume próprio, anexo a esse documento.

### ➤ **Qualidade da Água e do Sedimento**

#### **- Água**

A partir dos dados de CTD, foi possível verificar o início da termoclina - e da pycnoclina no intervalo entre 10 e 18 metros, respectivamente, e da haloclina dentro da faixa de 25 a 60 m, se estendendo até a profundidade máxima de 250 m aproximadamente.

Com relação às massas d'água presentes na área do bloco, identificou-se a presença da Água Tropical (AT), entre as profundidades de 2 e 128 m; a Água de Mistura (AM), entre 2,10 e 12,20 m, e a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), entre 112 e 293,30 m de profundidade. A AT e a ACAS foram identificadas em todas as estações, enquanto a AM foi identificada somente nas estações 4 e 6. A presença destas massas d'água e suas respectivas profundidades estiveram de acordo com o verificado por Silva *et al.* (1982); Castro & Miranda (1998) e Silveira *et al.* (2000)

As concentrações de OD encontradas no Bloco BM-S-40 variaram entre 6,2 e 9,5 mg/L, sendo superiores a 6 mg/L, valor mínimo de referência indicado pela CONAMA 357/2005 para águas salinas de classe 1. Durante a caracterização do bloco, foi possível identificar na maioria das estações o aumento das concentrações de OD com o aumento da profundidade (variação vertical significativa). Resultados semelhantes foram observados nas campanhas C1 e C7

dos Projeto de Monitoramento Ambiental no mesmo bloco (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2019c) assim como no PMA de Mexilhão (PETROBRAS / BOURSCHEID, 2020).

Com relação ao pH, foram registrados valores entre 8,0 e 8,4, não ultrapassando os valores mínimo e máximo de referência (VMR) definidos pela CONAMA 357/2005 para águas salinas de classe 1 (variação entre 6,5 e 8,5), sem variação vertical significativa ou entre as estações na área do bloco. Esses resultados são condizentes com o esperado para essa região (AS/PEG, 2003a; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2020; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014 a 2019).

Considerando os sólidos na água, foram registradas concentrações de 0,04 a 1,43 mg/L de total de sólidos suspensos - TSS, sem variação vertical significativa ou na área do bloco. O total de sólidos dissolvidos (TDS) variou entre 28,71 e 39,74 g/L, com leve variação vertical, diminuindo conforme o aumento da profundidade. Mesma variação para sólidos totais, que corresponde ao somatório de TSS e TDS em cada amostra, dentro do esperado para a região. Os valores de TSS estiveram de acordo com o observado em estudos pretéritos da região da Bacia de Santos (AS/PEG, 2003a; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2020; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014 a 2019).

A transparência da água, avaliada através do lançamento do Disco de Secchi, variou entre 21 e 29 m, o que é típico para regiões oceânicas.

A clorofila-a apresentou concentrações detectáveis na maioria das amostras principalmente nas profundidades de 5 e 70 m, variando entre não detectado (LD de 0,002 µg/L) e 0,32 µg/L, valores característicos de águas oligotróficas (GONZALEZ-RODRIGUEZ et al., 2017). A feofitina\_a foi detectada em todas as estações, em pelo menos um estrato de 5 e 70 m (LD de 0,002 µg/L), variando entre não detectada (todas as amostras próximas ao fundo) e 0,01 µg/L.

As concentrações de COT variaram de 1,30 a 2,53 mg/L, sem variação significativa vertical ou na área do Bloco BM-S-40, estando os resultados de acordo com o definido (3 mg/L) pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas salinas classe 1. Estes valores também estiveram em concordância com o observado na literatura consultada da região (AS/PEG, 2003a; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2020; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014 a 2019).

O nitrogênio total apresentou concentrações que oscilaram entre 0,085 e 0,509 mg/L, sem variação entre as estações, mas com variação vertical entre as profundidades amostradas, com tendência a maiores concentrações na camada mais profunda. A legislação brasileira não preconiza concentração limite para este parâmetro.

Considerando o fósforo total, seus resultados variaram de 0,002 a 0,030 mg/L, estando todos os valores abaixo do estabelecido pela CONAMA 357/2005 (0,062 mg/L), sendo observada variação vertical significativa (aumento das concentrações com a profundidade de amostragem).

Considerando os nutrientes na fração dissolvida, as concentrações de amônia variaram entre os valores 0,002 mg/L e 0,004 mg/L, bastante abaixo do valor máximo de referência de 0,40 mg/L definido pela CONAMA 357/2005 e próximas ao padrão de resultados comum para as regiões oceânicas da costa brasileira. Esses resultados foram compatíveis a maioria das referências consideradas para comparação (AS/PEG, 2003a; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2020; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014 a 2019).

O nitrito apresentou concentrações entre a não detecção (<0,0009 mg/L) e 0,003 mg/L, valores abaixo do máximo estabelecido (0,07 mg/L) pela CONAMA 357/2005. Além disso, não foram registradas variações estatisticamente significativas entre profundidades ou entre estações, padrão semelhante ao observado em estudos anteriores (AS/PEG, 2003a; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2020; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014 a 2019).

As concentrações de nitrato, por sua vez, demonstraram estratificação vertical clara, com aumento significativo em camadas mais profundas, variando entre 0,010 e 0,050 mg/L na superfície e entre 0,020 e 0,051 mg/L no estrato 70 metros. Os valores registrados estiveram abaixo do máximo definido pela CONAMA 357/2005 (0,40 mg/L). Na camada mais profunda as concentrações de nitrato ultrapassaram este limiar em metade das estações, variando entre 0,366 e 0,753 mg/L.

No Programa de Monitoramento Ambiental de Baúna e Piracaba, 3 campanhas não detectaram esse nutriente (C1, C2 e C3), 4 campanhas mantiveram o resultado abaixo dos valores definidos pela CONAMA e apenas uma campanha (C6) apresentou resultado um pouco acima da diretriz norteadora (0,66 mg/L) no estrato acima da termoclina (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014 a 2019). Entre os nutrientes nitrogenados, o nitrato é considerado limitante para a produção primária nos ecossistemas oceânicos (RILEY & CHESTER, 1971; CHESTER, 1993; CONKRIGHT et al., 2000). Em regiões oligotróficas, como a região de estudo, a concentração superficial de nitrato tende a ser muito baixa (MASSERINI & FANNING, 2000).

Ortofosfatos e silicatos também apresentaram estratificação vertical significativa, aumentando as concentrações com a profundidade. As concentrações de ortofosfatos variaram entre não detectado e 0,001 mg/L na superfície e entre 0,003 e 0,007 mg/L no fundo. Portanto todos os resultados ficaram abaixo do estabelecido pela CONAMA 357/2005 (0,032 mg/L). No Projeto 3 Bacias ocorreram valores acima da CONAMA, variando de 0,09 mg/L na superfície até 0,13 mg/L, em 200 metros de profundidade (AS/PEG, 2003a).

As concentrações de silicatos, durante a caracterização do bloco, variaram entre não detectado e 0,24 mg/L. No PMA de Baúna e Piracaba, 2 campanhas não detectaram esse nutriente (C1 e C8), 3 campanhas ficaram abaixo dos resultados encontrados (C4, C5 e C6) com valor máximo de 0,17 mg/L e o restante ficou acima com valores máximos entre 0,36 e 2 mg/L (C2, C3 e C7) (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014 a 2019). No PMA de Mexilhão, não foi detectado silicatos (LD= 0,05 mg/L) em nenhuma das estações (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2020).

Com relação aos sulfetos, não foram detectadas concentrações (LD < 0,0020 mg/L) em nenhuma das amostras, não tendo ultrapassado o limite máximo estabelecido (0,0020 mg/L) pela Resolução CONAMA 357/05 para este parâmetro.

Considerando os compostos orgânicos, não foram detectados em nenhuma das amostras concentrações de Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP) (LQ < 175 µg/L). assim como ocorreu na maioria dos resultados registrados nas referências selecionadas (medianas máximas de HTP em torno de 12 µg/L) (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2020; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014 a 2019). No entanto, no Projeto 3 Bacias, as concentrações máximas de HTP foram mais elevadas, que os indicativos sugeridos por LAW (1981), com valores máximos de 2706 e 2958 µg/L (subsuperfície e entre 20 e 230m, respectivamente) (AS/PEG, 2003a).

Não foi detectado nenhum dos 16 HPAs considerados prioritários (LQ de 0,01 µg/L na campanha de caracterização do Bloco BM-S-40), ou seus homólogos alquilados avaliados (LQ de 0,3 µg/L), assim como os compostos BTEX (LQ < 1,00 µg/L) e fenóis totais (LD de 0,4 µg/L) em nenhuma das amostras analisadas, o que foi bastante condizente com o esperado pelos registros da literatura selecionada para comparação (AS/PEG, 2003a; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2020; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014 a 2019).

Assim, considerando os resultados de qualidade de água obtidos durante a caracterização ambiental do Bloco BM-S-40, tem-se que estiveram de acordo com o estabelecido pela legislação ambiental brasileira, bem como foram, de um modo geral, semelhantes com o observado em estudos pretéritos da Bacias de Santos (AS/PEG, 2003a; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2020; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014 a 2019).



## - Sedimento

Durante a campanha do PCA de BM-S-40, os resultados de granulometria obtidos indicaram uma composição granulométrica composta por lama arenosa e/ou areia lamosa. As porcentagens de areia (somatórios de areias grossa, média e fina) variaram de 39,44 a 64,58%, enquanto a de lama (somatório de siltes + argilas) variaram de 35,42 a 60,56%. Não foi registrada a presença de cascalhos nas amostras.

Comparando-se com estudos anteriores, foi observado que existe uma grande variedade nos valores de porcentagem de areia e lama na Bacia de Santos, sendo que os resultados obtidos na caracterização de BM-S-40 se mostraram similares às campanhas de monitoramento de Baúna e Piracaba (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014 a 2019).

Os carbonatos, representados principalmente por restos de conchas e carapaças de organismos planctônicos, variaram entre 25,90 e 46,11%, teores elevados em comparação com os resultados das campanhas realizadas no mesmo bloco anteriormente (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014 a 2019).

Com relação à matéria orgânica presente no sedimento, os resultados de MOT (matéria orgânica total) do PCA de BM-S-40 variaram de 3,41 a 6,28 % (mediana de 5,04 %), sem variação espacial significativa. Estes resultados, em sua maioria, são maiores que aqueles obtidos nos PMAs de Baúna e Piracaba (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014 a 2019), e menores quando comparados com o PMA de Cabiúnas (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2017). Já o carbono orgânico total (COT) apresentou valores homogêneos e suas medianas variaram entre 0,03 e 0,04 %, sendo inferiores ao observado no Projeto 3 Bacias (AS/PEG, 2003a).

O teor de nitrogênio total (NT) no sedimento apresentou uma distribuição bem mais heterogênea que MOT ou COT. Os resultados de NT no Bloco BM-S-40 (medianas de 487,72 a 612,15 mg/kg) foram, na grande maioria, maiores que nos PMAs de Baúna e Piracaba (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014 a 2019). Já os resultados dos PMAs dos blocos BM-S-61; 62; 68; 69 e 70, pré e pós (EKMAN/KAROON, 2015), apresentaram valores maiores do que os encontrados na campanha de caracterização de BM-S-40.

Para o teor de fósforo total (PT) no sedimento, as medianas variaram dentre todas as amostras analisadas, entre 81 e 105 mg/kg, valores abaixo do observado em estudos pretéritos realizados na Bacia de Santos (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2020; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014 a 2019; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2018; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2017; EKMAN/KAROON, 2015).

Considerando as razões de carbono (C), nitrogênio (N) e fósforo (P) presentes no sedimento, a razão C:N ficaram entre 6,48 e 7,39 caracterizando fontes marinhas (MEYERS, 1997). Já as razões C:P variaram de 61,11 a 126,77, com mediana de 91,95, caracterizando a região como de baixa taxa de sedimentação e de origem marinha. Por fim, as razões N:P mantiveram-se entre 9,43 e 19,79 nas amostras analisadas (mediana de 13,14), estando estes valores em torno da razão de REDFIELD característica, que é de 16.

Dentre os 21 metais analisados nas réplicas de sedimento do PCA de BM-S-40, cinco não ocorreram em concentrações quantificáveis em nenhuma das estações e réplicas, sendo eles: Ag, Cd, Sb, Se e Tl.

Cádmio, não quantificado na caracterização de BM-S-40 (LQ médio de 0,38 mg/kg), foi registrado, dentre os resultados selecionados para comparação, apenas pelo PMA de Cabiúnas e nas campanhas 4, 5 e 6 dos PMAs de Baúna e Piracaba (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014 a 2019), em concentração máxima de 0,14 mg/kg, sendo o TEL de 0,68 mg/kg (BUCHMAN, 2008) e 0,70 mg/kg (CCME, 2015).

Arsênio, que foi quantificado (LQ médio de 0,42 mg/kg) em todas as estações, variou de 2,45 a 4,26 mg/kg, estando acima do único estudo consultado que analisou este metal (EKMAN/KAROON, 2015), o qual não encontrou concentrações acima do limite de quantificação do método.

Mercúrio foi quantificado em apenas uma das 18 amostras de sedimento analisadas na caracterização ambiental de BM-S-40 (LQ médio de 0,02 mg/kg) com a concentração de 0,04 mg/kg, ficando, portanto, abaixo do TEL e PEL (0,13 mg/kg e 0,7 mg/kg, respectivamente). Este valor também esteve abaixo dos resultados observados no Projeto 3 Bacias na Bacia de Santos (AS/PEG, 2003a) e no PMA dos blocos BM-S-61;62;68;69;70 (pós) (EKMAN/KAROON, 2015).

O elemento chumbo (LQ médio de 0,42 mg/kg) foi quantificado em todas as estações, variando de 3,10 a 5,45 mg/kg, estando dentro do observado nos estudos pretéritos realizados na Bacia de Santos (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2020; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014 a 2019; RAMOS *et al.*, 2019; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2018; SANTOS *et al.*, 2018; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2017; EKMAN/KAROON, 2015; FIGUEIREDO/TESSLER, 2004; AS/PEG, 2003a).

Para o níquel (LQ médio de 0,42 mg/kg), todas as estações também foram quantificadas com concentrações que oscilaram de 5,13 a 9,82 mg/kg. As concentrações de cromo (LQ médio de 0,42 mg/kg) variaram de 10,55 a 14,63 mg/kg. Para ambos os metais, os resultados estiveram abaixo do TEL e dentro do observado nos estudos pretéritos consultados da Bacia

de Santos (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2020; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014 a 2019; RAMOS *et al.*, 2019; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2018; SANTOS *et al.*, 2018; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2017; EKMAN/KAROON, 2015; FIGUEIREDO/TESSLER, 2004; AS/PEG, 2003a).

O cobre, apesar de apresentar valores baixos (mínimo de 2,94 e máximo de 6,05 mg/kg), foi quantificado em todas as amostras de sedimento analisadas no PCA de BM-S-40, sendo os resultados condizentes com a maioria dos estudos realizados anteriormente na região.

Zinco foi quantificado (LQ médio de 0,42 mg/kg) em todas as estações (variação de 18,64 a 28,40 mg/kg). Nenhum dos resultados obtidos ultrapassou o TEL definido para Zn no sedimento (124 mg/kg; BUCHMAN, 2008; CCME, 2015), além destes resultados serem semelhantes aos observados em estudos pretéritos realizados na região.

Este também foi o cenário observado para bário, o qual apresentou concentrações que oscilaram de 15,89 a 47,95 mg/kg (LQ médio de 0,42 mg/kg), estando estes valores abaixo da diretriz norteadora TEL (BUCHMAN, 2008), assim como, abaixo dos estudos verificados da região.

As concentrações de vanádio (entre 16,42 e 26,71 mg/kg) e cobalto (entre 3,16 e 4,93 mg/kg) encontradas no Bloco BM-S-40 são condizentes com o esperado para a região, considerando os resultados das referências selecionadas para comparação (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2020; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014 a 2019; RAMOS *et al.*, 2019; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2018; SANTOS *et al.*, 2018; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2017; EKMAN/KAROON, 2015; FIGUEIREDO/TESSLER, 2004; AS/PEG, 2003a).

As concentrações de alumínio no sedimento variaram de 8766,17 a 14562,70 mg/kg, de ferro de 12931,48 a 20997,46 mg/kg e de manganês de 186,65 a 790,71 mg/kg, concentrações estas compatíveis com estudos pretéritos realizados na Bacia de Santos.

O berílio foi quantificado (LQ médio de 0,25 mg/kg) em todas as estações, variando de 0,31 a 0,51 mg/kg. Análise inédita dentre os estudos comparativos, assim como o estanho que foi quantificado (LQ médio de 0,42 mg/kg) em apenas uma amostra com o valor de 1,80 mg/kg.

O molibdênio apresentou apenas um resultado dentre as amostras do PCA de BM-S-40 no valor de 0,54 mg/kg (LQ médio de 0,42 mg/kg). Em SANTOS *et al.* (2018), única referência que analisou este metal, teve resultados variando de 0,48 a 1,68 mg/kg.

Com relação aos compostos orgânicos, os valores de HTP total variaram de 139,38 a 1871,26 µg/kg (LQ de 5 µg/kg) caracterizando um sedimento não poluído, segundo VOLKMAN *et al.* (1992). Os PMAs realizados no mesmo bloco não quantificaram HTP em

nenhuma das 8 campanhas (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014 a 2019) . Das referências que detectaram HTP podemos incluir o Projeto 3 Bacias e o PMA dos blocos BM-S-61;62;68;69;70 com valor máximo de 81482,73 µg/kg para fase de pré perfuração e 599879,57 µg/kg para pós perfuração (AS/PEG, 2003a), indicando um ambiente contaminado (ZHENG *et al.*, 2000).

Considerando os resultados de diferentes frações componentes do HTP, o total de n-alcanos oscilou de 21,48 a 199,73 µg/kg; pristano de 0,28 a 2,96 µg/kg; fitano de 0,94 a 6,77 µg/kg; total de alcanos (incluindo pristano e fitano) de 25,10 a 201,70 µg/kg; HRP de 44,62 a 821,82 µg/kg; e, por fim, MCNR oscilou de 93,88 a 1.049,44 µg/kg.

Dentre os HPA's analisados (acenaftileno, acenafteno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, benzo[a]antraceno, criseno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, benzo[a]pireno, benzo[ghi]perileno, indeno[123-cd]pireno e dibenzo[ah]antraceno) e alquilados (naftalenos, fluorenos e fenantrenos)), as análises realizadas não foram capazes de quantificá-los (LQ médio de 4,23 µg/kg).

A análise de biomarcadores indicou presença tanto de n-alcanos de cadeia curta (C12-C24) com preferência dos homólogos pares (C18 e C20), refletindo aporte marinho, quanto n-alcanos de cadeia longa (C24-C40), indicando contribuição de vegetais superiores (aporte terrestre). A presença de ambos os grupos evidenciou uma contribuição natural para os n-alcanos de amostras de sedimento.

Com relação aos biomarcadores saturados e aromáticos, a classe dos terpanos foi a mais abundante como indicam os valores das razões hopanos/esterano variando entre 4,21 e 7,69. Embora bastante afetadas pela presença de hidrocarbonetos singenéticos, derivados de plantas recentes, e por sua baixa concentração, as análises dos biomarcadores nos sedimentos do fundo marinho no Bloco BM-S-40 permitiram identificar compostos de origem fóssil (p.ex., hopanos e esteranos maduros) entre os compostos naturais, na região de estudo. Dentre os biomarcadores saturados, a detecção de metilfenantreno (MPI-1) indicou a ocorrência de hidrocarbonetos fósseis com diferentes graus de maturação.

Por fim, a análise de biomarcadores das amostras do Bloco BM-S-40 permitiram classificar a origem do hidrocarboneto como sendo uma mistura de hidrocarbonetos contendo uma fração com compostos típicos de origem marinha e outra contendo hidrocarbonetos de origem terrestre. Por outro lado, os biomarcadores indicaram um aporte de componentes fósseis similar ao *background* observado em sedimentos de bacias sedimentares brasileiras e não apresenta uma correlação direta com os óleos de produção das bacias de Santos, correspondendo, portanto, a uma mistura de fontes de diversas origens, inclusive óleo árabe.

Considerando os resultados de radionuclídeos obtidos nas amostras de sedimento coletadas no PCA de BM-S-40, as concentrações de  $^{226}\text{Ra}$  oscilaram entre 8,78 e 16,94 Bq/kg. Para  $^{228}\text{Ra}$  as amostras apresentaram valores de 14,83 a 34,73 Bq/kg. Para ambos, não foram observados estudos pretéritos que tenham estudado estes elementos para comparação.

A razão  $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$  apresentou um resultado baixo, mediana de 1,68 Bq/kg, como era de se esperar em regiões oligotróficas, com mínimas contribuições continentais e mistura de águas e consequentemente baixo teor de radioisótopos.

Sendo assim, considerando o panorama geral, os resultados dos parâmetros físico-químicos do sedimento foram condizentes com o observado na literatura consultada da região PETROBRAS/BOURSCHEID, 2020; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014 a 2019; RAMOS et al., 2019; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2018; SANTOS et al., 2018; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2017; EKMAN/KAROON, 2015; FIGUEIREDO/TESSLER, 2004; AS/PEG, 2003a), bem como de acordo com os valores de referência para este compartimento (BUCHMAN, 2008; CCME, 2015), indicando uma boa qualidade ambiental na área do Bloco BM-S-40.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AS (Analytical Solutions S.A.) & PEG (Petroleum Environmental Geoservices Ltda.), 2003a. **Projeto Diagnóstico Ambiental das Áreas de Exploração e Produção nas Bacias de Santos, Campos e Espírito Santo (MMA - Ministério do Meio Ambiente e PETROBRAS - Petróleo Brasileiro S.A.)**. Primeira etapa - Relatório referente à Bacia de Santos. 578p. (5 anexos).

BUCHMAN, M.F., 2008. **NOAA Screening Quick Reference Tables**, NOAA OR&R Report 08-1, Seattle WA, Office of Response and Restoration Division, National Oceanic and Administration, 34 pages."

CASTRO, B. M. & MIRANDA, L. B., 1998. **Physical Oceanography of the Western Atlantic Continental Shelf Located between 4°N and 34°S Costal Segment (4, W)**. Chapter 8. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo.

CCME – CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIROMENT, 2015. **Consult the Canadian Environmental Quality Guidelines introductory text, factsheet and/or protocols for specific information and implementation guidance pertaining to each environmental quality guideline**.

CHESTER, R. Marine geochemistry. London: **Chapman & Hall**, 1993, 668p.

CONKRIGHT, M. E.; GREGG, W. W.; LEVITUS, S. 2000. Seasonal cycle of phosphate in the deep ocean. **Deep-Sea Research I**, Oxford, v. 47, p. 159-175.

EKMAN (Serviços Ambientais e Oceanográficos LTDA) & KAROON (Petróleo e Gás LTDA). **Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Perfuração Marítima nos Blocos BM-S-61, BM-S-62, BM-S-68, BM-S-69 e BM-S-70, Bacia de Santos–Subprojetos A e B**. Revisão 00, 2015. 308p. BDCA (bdca.com.br), código WBZX675668, visitado em 02/03/2021.



FIGUEIREDO JR, A. G. **Topografia e composição do substrato marinho da região Sudeste-Sul do Brasil** / Alberto G. Figueiredo Jr., Moisés G. Tessler. — São Paulo : Instituto Oceanográfico – USP, 2004.

GONZALEZ-RODRIGUEZ, E., RODRIGUES, S.V., MARINHO, M.M., CARVALHO, W.F., PINTO, F.N., PARANHOS, R. 2017. Biomassa fitoplanctônica e produção primária. In: FALCÃO, A.P.C., MOREIRA, D.L. editores. Ambiente pelágico: caracterização ambiental regional da Bacia de Campos, Atlântico Sudoeste. Rio de Janeiro: **Elsevier. HABITATS**, v. 5. p. 69-87.

KAROON/PROOCEANO. 2021. Projeto de Caracterização Ambiental (PCA) Bloco BM-S-40 / Bacia de Santos. **Relatório Técnico**. MON000024-13(00).

MASSERINI JR., R.T. & FANNING, A.A., 2000. A sensor package for the simultaneous determination of nanomolar concentrations of nitrite, nitrate and ammonia in seawater by fluorescence detection. **Marine Chemistry**, v. 68, p. 323-333

MEYERS, P. A. 1997. Organic geochemical proxies of palaeoceanographic, paleolimnologic and paleoclimatic process. **Organic Geochemistry**, 5-6 (27): 213-250

PETROBRAS (Petróleo Brasileiro S.A.) & BOURSCHEID (Engenharia e Meio Ambiente LTDA), 2014a. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental do Desenvolvimento da Produção de Petróleo dos Campos de Baúna e Piracaba - fase pré-instalação - Bloco BM-S-40, Bacia de Santos. 359p.

PETROBRAS (Petróleo Brasileiro S.A.) & BOURSCHEID (Engenharia e Meio Ambiente LTDA), 2014b. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental do Desenvolvimento da Produção de Petróleo dos Campos de Baúna e Piracaba - fase operação - Bloco BM-S-40, Bacia de Santos. 418p.

PETROBRAS (Petróleo Brasileiro S.A.) & BOURSCHEID (Engenharia e Meio Ambiente LTDA), 2016. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental do Desenvolvimento da Produção de Petróleo dos Campos de Baúna e Piracaba - fase operação - Bloco BM-S-40, Bacia de Santos. 458p.

PETROBRAS (Petróleo Brasileiro S.A.) & BOURSCHEID (Engenharia e Meio Ambiente LTDA), 2017a. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental do Desenvolvimento da Produção de Petróleo dos Campos de Baúna e Piracaba - fase operação - Bloco BM-S-40, Bacia de Santos. 1.643p.

PETROBRAS (Petróleo Brasileiro S.A.) & BOURSCHEID (Engenharia e Meio Ambiente LTDA), 2017b. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental do Projeto de Escoamento de Gás para Cabiúnas – Rota Cabiúnas - fase de instalação, Bacia de Santos. 1070 p.

PETROBRAS (Petróleo Brasileiro S.A.) & BOURSCHEID (Engenharia e Meio Ambiente LTDA), 2018. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental do Gasoduto Rota 3, Bacia de Santos. 2ª campanha (fase pós instalação). 1147p.

PETROBRAS (Petróleo Brasileiro S.A.) & BOURSCHEID (Engenharia e Meio Ambiente LTDA), 2019a. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental do Desenvolvimento da Produção de Petróleo dos Campos de Baúna e Piracaba - fase operação - Bloco BM-S-40, Bacia de Santos. 1.656p.

PETROBRAS (Petróleo Brasileiro S.A.) & BOURSCHEID (Engenharia e Meio Ambiente LTDA), 2019b. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental do Desenvolvimento da Produção de Petróleo dos Campos de Baúna e Piracaba - fase operação - Bloco BM-S-40, Bacia de Santos. 2.908p.

PETROBRAS (Petróleo Brasileiro S.A.) & BOURSCHEID (Engenharia e Meio Ambiente LTDA), 2019c. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental do Desenvolvimento da Produção de Petróleo dos Campos de Baúna e Piracaba - fase operação - Bloco BM-S-40, Bacia de Santos. 2.584p.

PETROBRAS (Petróleo Brasileiro S.A.) & BOURSCHEID (Engenharia e Meio Ambiente LTDA), 2019d. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental do Desenvolvimento da Produção de Petróleo dos Campos de Baúna e Piracaba - fase operação - Bloco BM-S-40, Bacia de Santos. 2.574p.

PETROBRAS (Petróleo Brasileiro S.A.) & BOURSCHEID (Engenharia e Meio Ambiente LTDA), 2020. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Gás Natural e Condensado no Campo de Mexilhão, Bacia de Santos. 2566p.

RAMOS, R. B.; SANTOS, R. F., SCHATTNER, U.; FIGUEIRA, R. C. L.; BÍCEGO, M. C.; LOBO, F. J.; MAHIQUES, M. M. Deep pockmarks as natural sediment traps: a case study from southern Santos Basin (SW Atlantic upper slope). **Geo-Marine Letters**. 40:989-999. 2019.

RILEY, J. P.; CHESTER, R. 1971. Introduction to Marine chemistry. London: **Academic Press**, 465p.

SANTOS et al. **Metal/Ca ratios in pockmarks and adjacent sediments on the SW Atlantic slope: Implications for redox potential and modern seepage**. Journal of Geochemical Exploration, volume 192, 2018, Pages 163-173, ISSN 0375-6742, <https://doi.org/10.1016/j.jgexplo.2018.06.014>.

SILVA, L.C.F., C.A.F. ALBUQUERQUE, W.W. CAVALHEIRO, C.M.P. HANSEN, 1982: Gabarito tentativo para as massas de água da costa sudeste brasileira. Separata dos Anais Hidrográficos - Tomo XLI. 30p.

SILVEIRA, I. C. A. da, SCHMIDT A.C.K., CAMPOS E.J.D; GODOI, S. S. de & IKEDA, Y. A. 2000. Corrente Do Brasil Ao Largo Da Costa Leste Brasileira. **Revista Brasileira Oceanografia**, 48 (2): 171-183.

VOLKMAN, J., T. O'LEARY, R. SUMMONS, AND M. BENALL 1992, 'Biomarker composition of some asphaltic coastal bitumens from Tasmania, Australia', **Organic geochemistry**, vol. 18(5), pp. 668-682.

ZHENG, G.J.; RICHARDSON, B., 2000. Petroleum hydrocarbons and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in Hong Kong marine sediment – **Chemosphere**, 38 (11): p. 2625-2632.

## II.5.1.4. Geologia e Geomorfologia

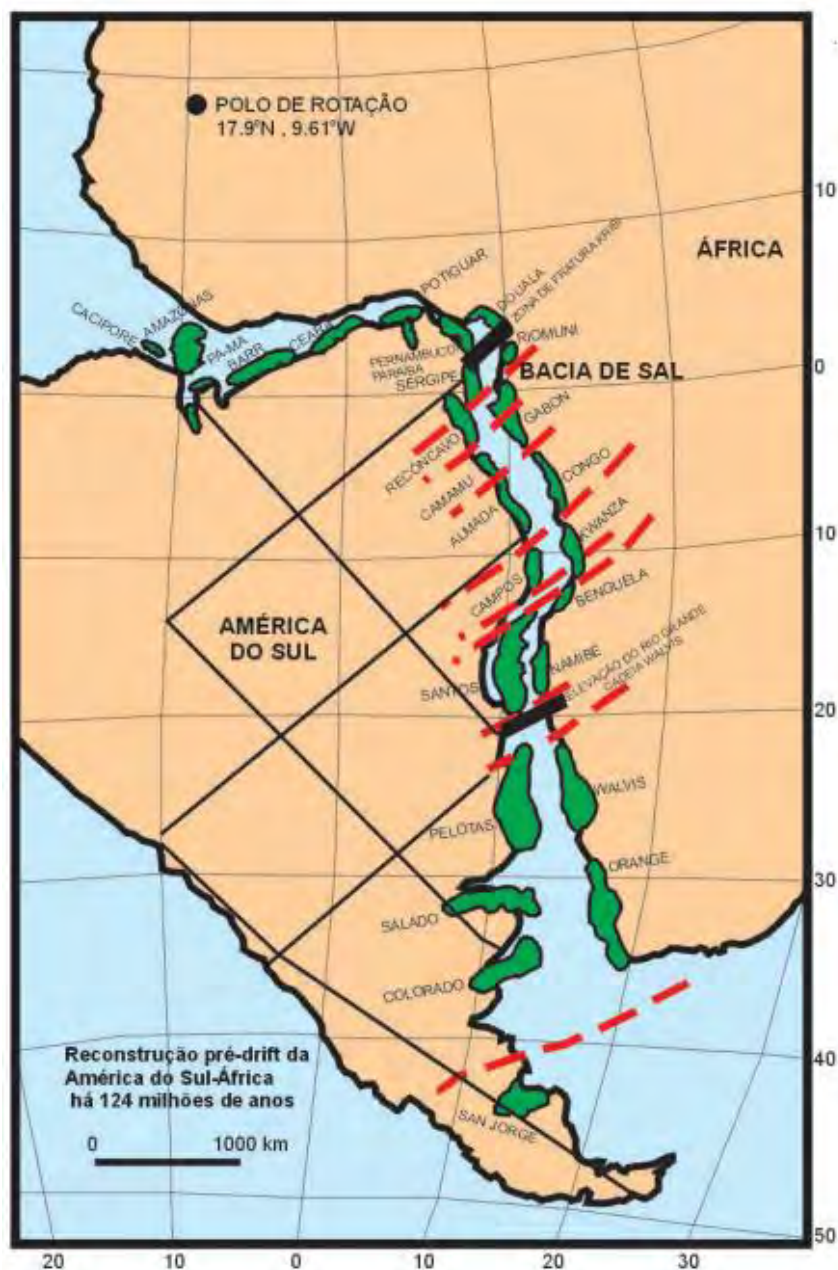
### II.5.1.4.1. Considerações Gerais

- **Considerações Regionais**

A Bacia de Santos está situada na porção marítima da região sul-sudeste do Brasil e possui uma área de aproximadamente 350.000 km<sup>2</sup> (MOREIRA *et al.*, 2007; CHANG *et al.*, 2008). Atingindo cotas batimétricas de até 3.000m, sua divisa norte com a Bacia de Campos ocorre a partir do Alto de Cabo Frio e ao sul com a Bacia de Pelotas pelo Alto de Florianópolis (MOREIRA *et al.*, 2007). A Bacia de Santos também faz divisa com os estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina. A exploração petrolífera na bacia remonta à década de 1970, sendo que a primeira descoberta ocorreu apenas em 1980, no Campo de Merluza (CHANG *et al.*, 2008). Desde então, a importância econômica da Bacia de Santos aumentou com as promissoras descobertas de hidrocarbonetos na camada pré-sal em 2005 (RODRIGUES e SAUER, 2015) e com o início da produção de hidrocarbonetos nesses reservatórios. Um mapa batimétrico da Bacia de Santos, com a localização do Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna), é apresentado no **Anexo A**.

- **Geologia Histórica da Bacia de Santos**

A Bacia de Santos foi originada na ruptura do supercontinente Gondwana durante o Mesozóico, sendo resultado da separação das placas Sul-americana e Africana, e consequente abertura do Oceano Atlântico (**Figura II.5.1.4 - 1**) (CAINELLI e MOHRIAK, 1999; MOHRIAK, 2003; CHANG *et al.*, 2008; KUKLA *et al.*, 2018). Durante esse processo de ruptura foram reconhecidos três domínios geológicos distintos na margem brasileira, classificados pela sua natureza e orientação dos campos de tensões regionais, sendo eles: distensional ao norte da Foz do Amazonas, transformante na Margem Equatorial e outro predominantemente distensivo entre o sul da Argentina e o nordeste brasileiro (MILANI *et al.*, 2000). A formação da Bacia de Santos enquadra-se na categoria de evolução predominantemente distensiva, que pode ser dividida em quatro megassequências deposicionais, sendo elas: pré-rifte ou embasamento, rifte, transicional ou pós-rifte e drifte (MOHRIAK, 2003; MOREIRA *et al.*, 2007). Cada megassequência está relacionada a distintos ambientes de deposição, registrados nas sequências estratigráficas da bacia (MOHRIAK, 2003; MOREIRA *et al.*, 2007; CHANG *et al.*, 2008).



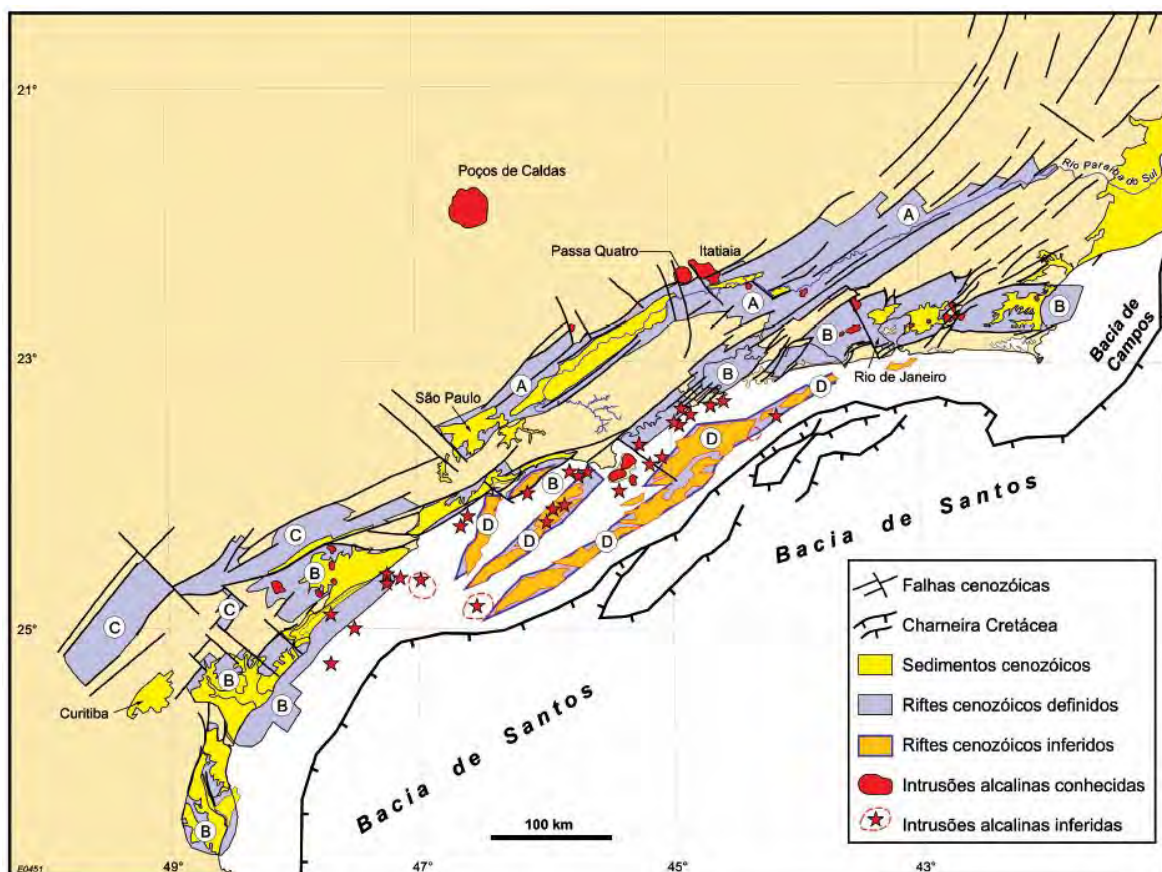
**Figura II.5.1.4 - 1: Mapa esquemático relacionando as bacias marginais brasileiras e africanas, durante o pré-drifte, a 124 milhões de anos (Mohriak, 2003).**

A mega-sequência pré-rifte corresponde a um ambiente de sedimentação intracratônico e por um soerguimento litosférico (MOHRIAK, 2003; ZALÁN e OLIVEIRA, 2005). O soerguimento do embasamento nessa fase seria corroborado pela presença de numerosos diques, *plugs* e *stocks*, compostos por rochas intrusivas alcalinas em áreas onde se encontram as serras atuais, ocorrido no Paleozoico e no Mesozóico (ZALÁN e OLIVEIRA, 2005). Já a fase rifte está relacionada aos eventos extensionais no início da ruptura do Gondwana, com depósitos sedimentares continentais lacustres e fluviais (MOHRIAK, 2003). Em seguida, a mega-sequência transicional correspondeu a presença de um golfo marinho

com a formação de evaporitos, e as sequências deposicionais do drifte (até o recente) estão associadas a sedimentação predominantemente marinha (MOHRIAK, 2003; MOREIRA *et al.*, 2007). Essa última mega-sequência pode ser subdividida em eventos de nível de mar transgressivo e regressivo (MOHRIAK, 2003), podendo haver discordâncias entre esses eventos no registro estratigráfico (MOREIRA *et al.*, 2007). A sequência transgressiva foi marcada pela sedimentação carbonática em plataforma e posteriormente por sedimentação oceânica. Essa sequência também é reconhecida pela estabilidade ambiental e grande diversidade biológica (MOHRIAK, 2003). Já a sequência regressiva apresentou o aporte de grandes fluxos de sedimentos siliciclásticos e turbidíticos intercalados com folhelhos (MOHRIAK, 2003).

Em termos estruturais, a crosta continental fendeu-se em diversas áreas de forma linear durante a origem das bacias da região sudeste brasileira, criando corredores de grábens paralelos à costa, sendo o antigo limite oriental da Serra do Mar coincidente com uma charneira que se estende na plataforma continental das bacias de Campos e Santos, denominada Charneira de Santos (**Figura II.5.1.4 - 2**) (ZALÁN e OLIVEIRA, 2005). Esses grábens são caracterizados pela presença de planícies litorâneas ou vales fluviais encaixados em grandes desníveis topográficos, possuindo cotas altimétricas variando de acordo com patamares escalonados desde a Serra da Mantiqueira até a plataforma continental da Bacia de Santos e que, por sua vez, abrigam evidências da ocorrência de processos de quebraamento, basculamento e abatimento cenozoico (ZALÁN e OLIVEIRA, 2005). O grande aporte de sedimentos no pós-rifte provenientes da Serra do Mar propiciou na bacia, conjuntamente com a tectônica salífera, a formação de falhas antitéticas de maior magnitude (CAINELLI e MOHRIAK, 1999). Na fase rifte (Cretáceo) a Bacia de Santos apresentou a ocorrência de falhas sintéticas e antitéticas de alto ângulo (Cainelli e Mohriak, 1999). Na porção centro-norte da Bacia de Santos é notável a presença de uma falha lístrica antitética relacionada a tectônica de sal (MOHRIAK, 2003).





**Figura II.5.1.4 - 2: Principais estruturas da bacia de Santos evidenciando a presença da Charneira Cretácea, denominada Charneira de Santos (Zalán e Oliveira, 2005).**

Eventos magmáticos bem definidos no Alto de Cabo Frio afetaram a sedimentação na porção norte da Bacia de Santos e sul da Bacia de Campos, do Albiano ao Maastrichtiano e no Eoceno (CASTRO e PICOLINI, 2016). Algumas feições estruturais identificadas na Bacia de Santos são: falhas lítricas extensionais de alto ângulo, domos salinos no talude e elevação continental, falhas lítricas induzidas pela halocinese nos sedimentos acima da camada de sal, e uma zona de falha que deu origem a uma escarpa batimétrica na fronteira entre o sopé e a planície abissal (CONTRERAS *et al.*, 2010). De acordo com esses autores, as falhas lítricas de alto ângulo afetaram a crosta continental e os sedimentos clásticos e vulcanismo ocorridos no Barremiano-Aptiano, já as falhas lítricas relacionadas a halocinese (normais e inversas) ocorreram devido a movimentação do sal durante o Cretáceo e terciário.

Quanto aos sistemas petrolíferos na Bacia de Santos, as rochas geradoras de hidrocarbonetos correspondem à Formação Guaratiba e à porção inferior da Formação Itajaí-Açu (CHANG *et al.*, 2008). A Fm. Guaratiba é composta por folhelhos negros laminados depositados no Aptiano em um ambiente lacustre salino, já a rocha geradora da porção inferior da Fm. Itajaí-Açu foi depositada em um ambiente deposicional marinho anóxico no Cenomaniano/Meso-Turoniano, sendo que esta rocha está em estágio inicial de

maturidade térmica (CHANG *et al.*, 2008). Os reservatórios na bacia são variados, incluindo carbonatos da Formação Guarujá, depositados em ambientes de águas rasas no Albiano Inferior-Médio, e siliciclásticos do Membro Ilhabela (turbidíticos) e unidades litoestratigráficas do Cretáceo Superior e Eoceno, como os arenitos da Formação Santos/Juréia e arenitos turbidíticos do Campaniano-Maastrichtiano (CHANG *et al.*, 2008). As trapas e selos podem ser descritas como sendo pelitos e calcilutitos intercalados aos reservatórios, seja aos calcarenitos porosos da Fm. Guarujá, seja aos arenitos das formações Itajaí-Açu, Santos/Juréia e Marambaia (CHANG *et al.*, 2008). Esses autores também descrevem a sequência evaporítica da Fm. Ariri como um ótimo selante, associados a trapas estruturais e mistas, principalmente associadas ao efeito da halocinese. A migração dos hidrocarbonetos das rochas geradoras até os reservatórios está intimamente ligada aos processos de halocinese e à baixa permeabilidade da camada de sal, que atuou como uma importante rede de drenagem dos fluxos de hidrocarbonetos gerados na seção rifte (CHANG *et al.*, 2008). A migração dos hidrocarbonetos também está condicionada pela presença de falhas lítricas e de transferência causadas pela halocinese (CHANG *et al.*, 2008).

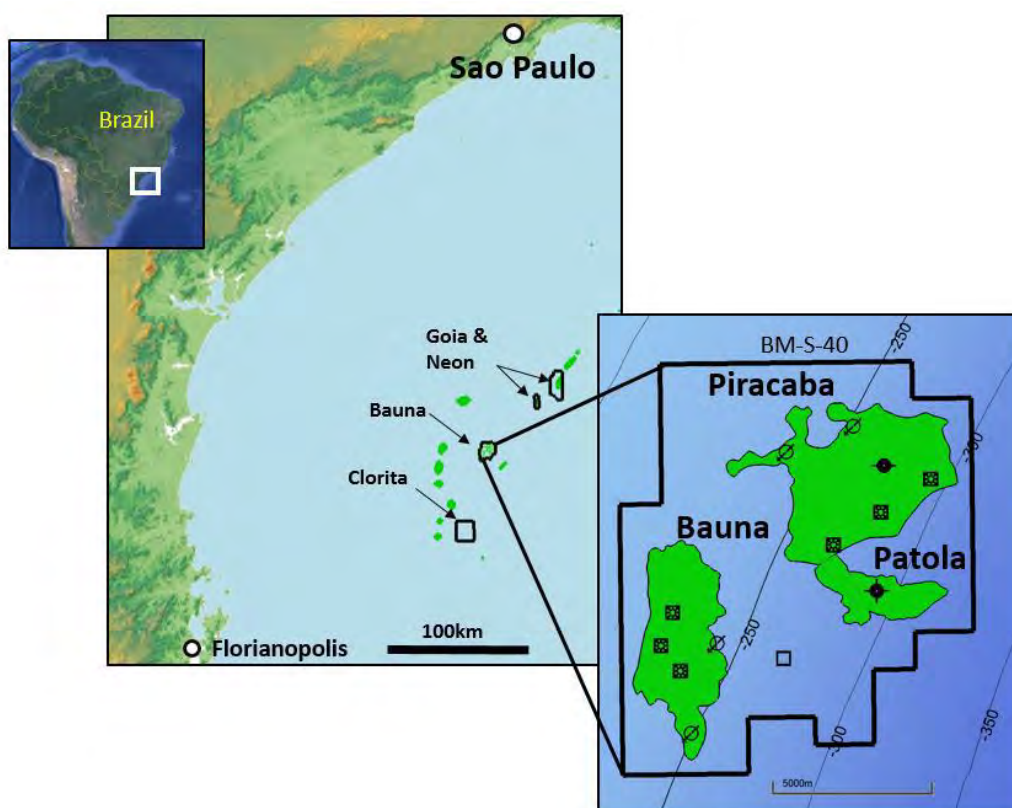
Seis *plays* exploratórios principais são identificados na Bacia de Santos, sendo eles: arenitos turbidíticos do Neógeno da Fm. Marambaia, arenitos turbidíticos do Campaniano-Maastrichtiano da Fm. Santos-Juréia, arenitos turbidíticos do Coniánciano-Eo Santoniano da Fm. Ilhabela, carbonatos do Albo-Cenomaniano da Fm. Camburi, carbonatos do Barremiano-Aptiano da Fm. Barra Velha-Itapema e basaltos fraturados do Neocomiano da Fm. Camboriú, sendo o principal sistema petrolífero o da Fm. Guaratiba (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2017). O *play* efetivo objeto deste licenciamento, na acumulação Patola do Campo de Baúna (Bloco BM-S-40), corresponde ao *play* da Formação Marambaia, relacionadas a um sistema de leques submarinos entre 2.000 e 2.200m de profundidade. Um resumo das suas características principais é apresentado na **Tabela II.5.1.4 - 1**, abaixo.

**Tabela II.5.1.4 - 1: Correlação entre o reservatório objetivo deste licenciamento e as características do *play* efetivo apresentado pelo Zoneamento Nacional de Recursos de Óleo e Gás (Ministério de Minas e Energia, 2017).**

| Play                |                                     | Marambaia  |
|---------------------|-------------------------------------|--|
| Situação Geográfica |                                     | Mar  |
| Garga               | Unidade Litoestratigráfica          | Formações Itapema e Piçarras; Formação Itajaí-Açu                                      |
|                     | Unidade Cronoestratigráfica         | Cretáceo Inferior (Barremiano-Aptiano); Cretáceo Superior (Cenomaniano-Maastrichtiano) |
|                     | Migração                            | falhas lítricas e janelas do sal   |
| Reservatório        | Unidade Litoestratigráfica          | Formação Marambaia   |
|                     | Unidade Cronoestratigráfica         | Neógeno  |
|                     | Profundidade Média (m)              | 2.580  |
|                     | Litologia / Contexto Depositional   | Arenito/Turbidito marinho profundo   |
| Trapa               | Unidade Litoestratigráfica Selante  | Formação Marambaia   |
|                     | Unidade Cronoestratigráfica Selante | Neógeno  |
|                     | Tipo de Trapa                       | Mista  |
|                     | Litologia Selante                   | Folhelho   |

### II.5.1.4.2. Geologia Estrutural

O Campo de Baúna (Bloco BM-S-40) pode ser dividido em três regiões de acumulação, sendo elas Baúna, em produção desde 2010, Piracaba e Patola, sendo este último o objetivo deste estudo (**Figura II.5.1.4 - 3**). Os volumes máximos produzidos no Campo de Baúna atingiram 80.000 barris/dia em 2014, e agora encontra-se em declínio. O objetivo principal do desenvolvimento de Patola é melhorar o desempenho na produção de hidrocarbonetos no Campo de Baúna a partir da perfuração de dois poços produtores, com possibilidade de um ser injetor (PAT-01 e PAT-02) e de um possível poço contingencial, estendendo a sua vida útil.

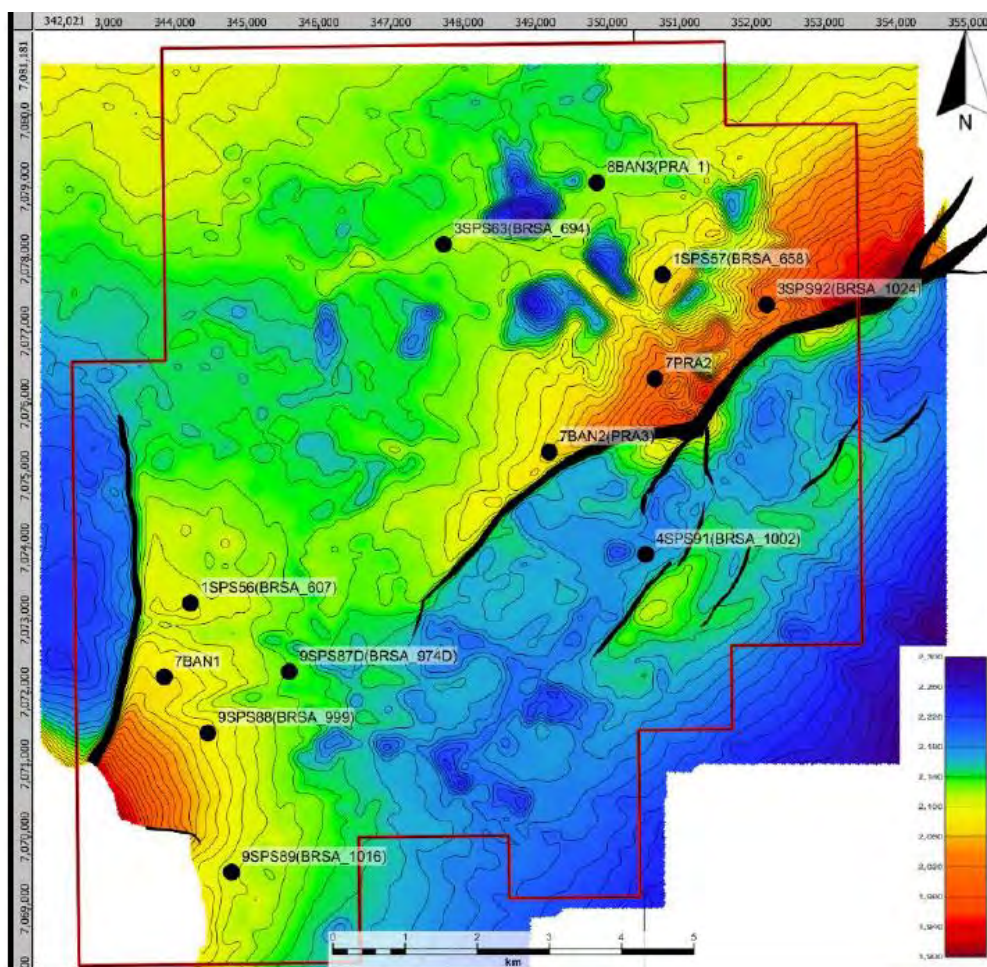


**Figura II.5.1.4 - 3: Localização das acumulações de Baúna, Piracaba e Patola, no Campo de Baúna (Bloco BM-S-40). A acumulação Patola é foco deste estudo.**

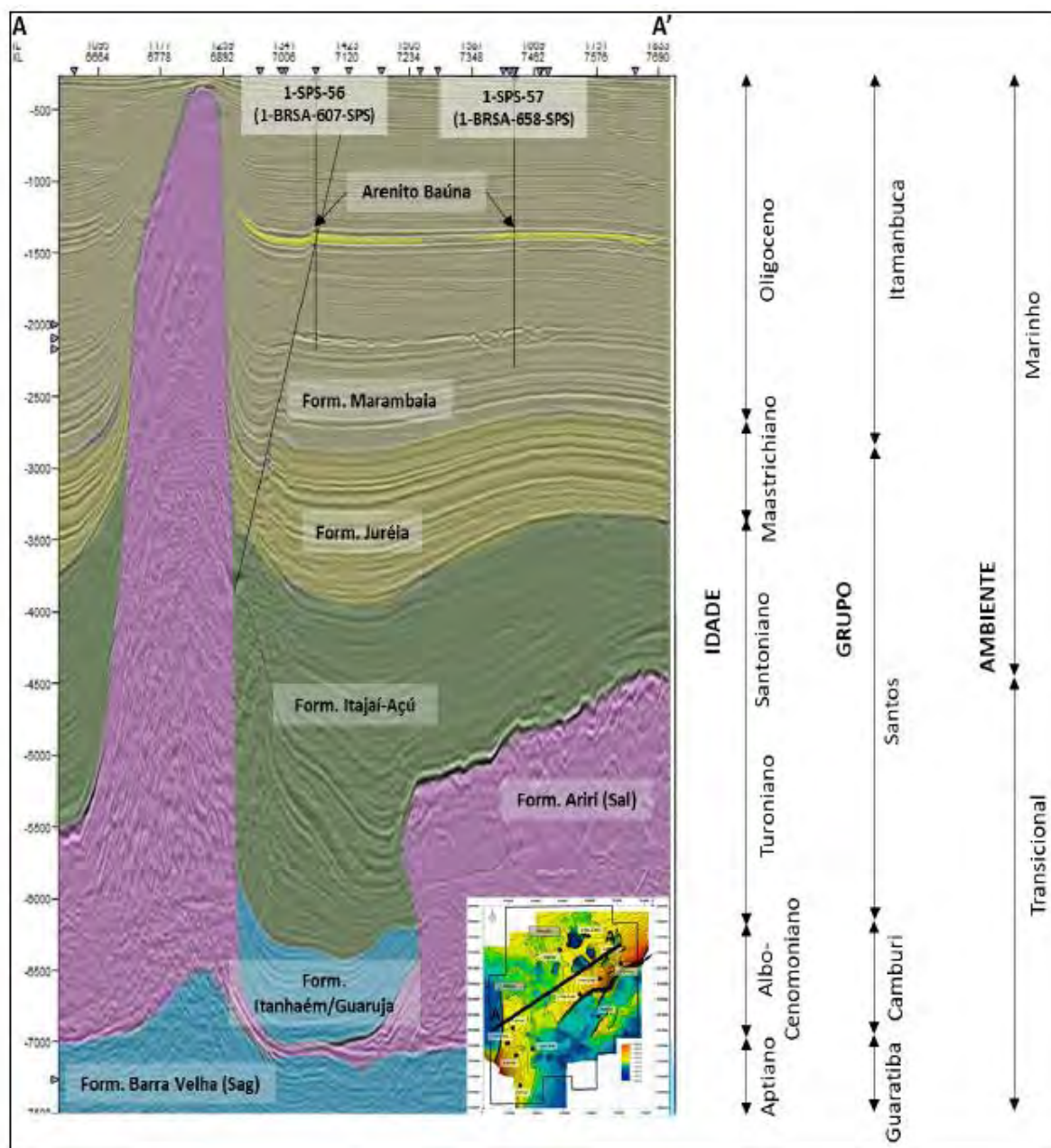
De uma maneira geral, as estruturas no Campo de Baúna e nas áreas do entorno se desenvolveram sobre estruturas pré-existentes do Jurássico superior e Cretáceo inferior, sendo controlados por halocinese. No campo, uma extensa falha normal de orientação N-S é identificada (**Figura II.5.1.4 - 4**), com mergulhos de 50° e 70° a oeste e rejeito de até 140m diminuindo para norte. Falhamentos radiais em torno do domo de sal ocorre a sudoeste do campo, com rejeitos de cerca de 250m. O fechamento estrutural da acumulação de Baúna é de 14 km², com ápice ocorrendo em direção ao diápiro. Dessa forma, elementos estratigráficos e estruturais contribuem para o fechamento do reservatório de Baúna. As



trapas na acumulação do Campo de Baúna é de tipo combinada, envolvendo o fechamento estrutural controladas por falhamento e diapirismo com origem na halocinese (**Figura II.5.1.4 - 4**), e fechamento estratigráfico, através do *pinch out* das areias dos leques submarinos. Na área de Patola o campo é limitado por uma trapa essencialmente estratigráfica. A interpretação sísmica detalhada dos horizontes permitiu a geração de mapas estruturais detalhados para a área da acumulação de Patola, com uma resolução espacial de 25m (**Figura II.5.1.4 - 5**).



**Figura II.5.1.4 - 4: Mapa estrutural do topo do reservatório para o Campo de Baúna. As linhas pretas correspondem as falhas causadas pela halocinese. Ao todo, 13 poços já foram perfurados no Campo de Baúna, em todas as três acumulações.**



**Figura II.5.1.4 - 5: Seção sísmica interpretada no Campo de Baúna, onde é notável a presença de domos salinos, bem como a acumulação que corresponde ao Arenito Baúna, na Formação Marambaia.**

No caso da área do poço PAT-02, uma avaliação de três cenários está sendo considerados quanto a uma possível compartimentação estrutural, sendo a primeira uma comunicação a partir de uma rampa nas camadas superiores do reservatório entre a área de acumulação perfurada no poço 4-SPS-91 e o poço PAT-02 (**Figura II.5.1.4 - 6**). A segunda seria uma compartimentação da região do PAT-02, a partir da barreira originada pelas falhas Norte e Sul. Neste caso, o poço PAT-02 seria responsável pela prospecção desta acumulação. Um terceiro caso, mais restritivo, seria a compartimentação total da porção que corresponde ao poço PAT-02, com falhas em ambos os lados, o que restringiria ainda mais a área de interesse. Nesse caso a porção leste não será produzida.



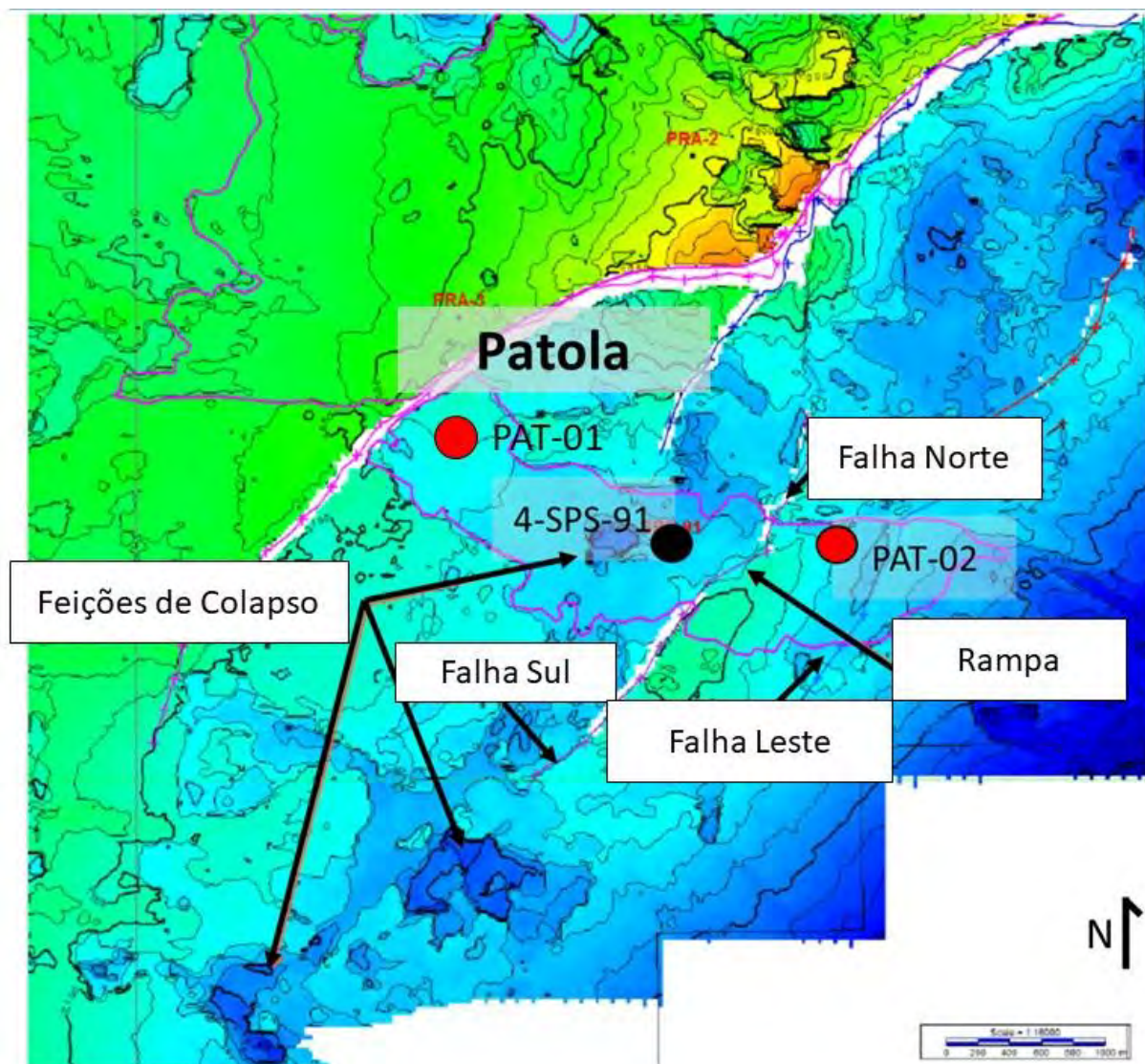


Figura II.5.1.4 - 6: Mapa estrutural na acumulação de Patola, com a localização dos poços PAT-01 e PAT-02. Esta acumulação foi atingida pelo poço 4-SPS-91, não sendo identificadas feições estruturais que possam causar riscos às perfurações dos poços PAT-01 e PAT-02, indicados pelos círculos vermelhos.

### II.5.1.4.3. Estratigrafia

De forma a complementar o entendimento da Carta Estratigráfica da Bacia de Santos, apresentada no **Anexo B**, segue abaixo um descritivo resumido das principais litologias da bacia (MOREIRA *et al.*, 2007).

- **Embasamento**

Granitos e gnaisses do pré-cambriano. Engloba as rochas do Complexo Costeiro e os metassedimentos da Faixa Ribeira.

- **Supersequência Rifte**

- Sequência K20-K34: derrames basálticos do Eocretáceo sotopostos ao preenchimento sedimentar. Corresponde a basaltos cinza-escuro da Formação Camboriú.
- Sequência K36: composta por leques aluviais de conglomerados e arenitos polimíticos da Formação Piçarras. Também engloba arenitos, siltitos e folhelhos nas porções lacustres.
- Sequência K38: corresponde a intercalações de calcirruditos (fragmentos de conchas e pelecípodes) e folhelhos escuros da Formação Itapema (Grupo Guaratiba). As fácies mais proximais apresentam conglomerados e arenitos.

- **Supersequência Pós-Rifte**

- Sequência K44: calcários microbiais, estromatólitos e lamitos, com folhelhos nas regiões mais distais da Formação Barra Velha (Grupo Guaratiba. Também ocorrem *grainstone* e *packstones* de fragmentos de estromatólitos e bioclásticos (ostrácodes).
- Sequência K46-K48: calcários microbiais intercalados a folhelhos da porção superior da Formação Barra Velha (Grupo Guaratiba). As regiões proximais abrigam leques aluviais de arenitos e conglomerados.
- Sequência K50: corresponde aos evaporitos (halita e anidrita) da Formação Ariri. Contudo, ocorrem também a presença de sais mais solúveis como a taquidrita, carnalita e silvinita, mais localmente.

- **Supersequência Drifte (Pós-Rifte)**

- Sequência K60: Formação Florianópolis, Formação Guarujá e Formação Itanhaém (região mais basal). A Formação Florianópolis (conglomerados, arenitos e folhelhos) corresponde a leques aluviais e deltaicos. A Formação Guarujá engloba folhelhos e calcilutitos (sistema lagunar), além de calcirruditos e calcarenitos oolíticos/oncolíticos (banco raso de borda de plataforma). Ocorrem calcilutitos e margas, intercalados com folhelhos escuros na plataforma externa.
- Sequência K70: Formação Florianópolis (áreas proximais), Formação Itanhaém (áreas distais) e ao Membro Tombo. A Formação Florianópolis corresponde a arenitos e folhelhos associados a sistemas de leques aluviais e deltaicos. A Formação Itanhaém abrange folhelhos e margas de origem marinha (mais raro). O Membro Tombo ocorre de maneira intercalada com a Formação Itanhaém, correspondendo a depósitos arenosos com origem em fluxos gravitacionais densos.

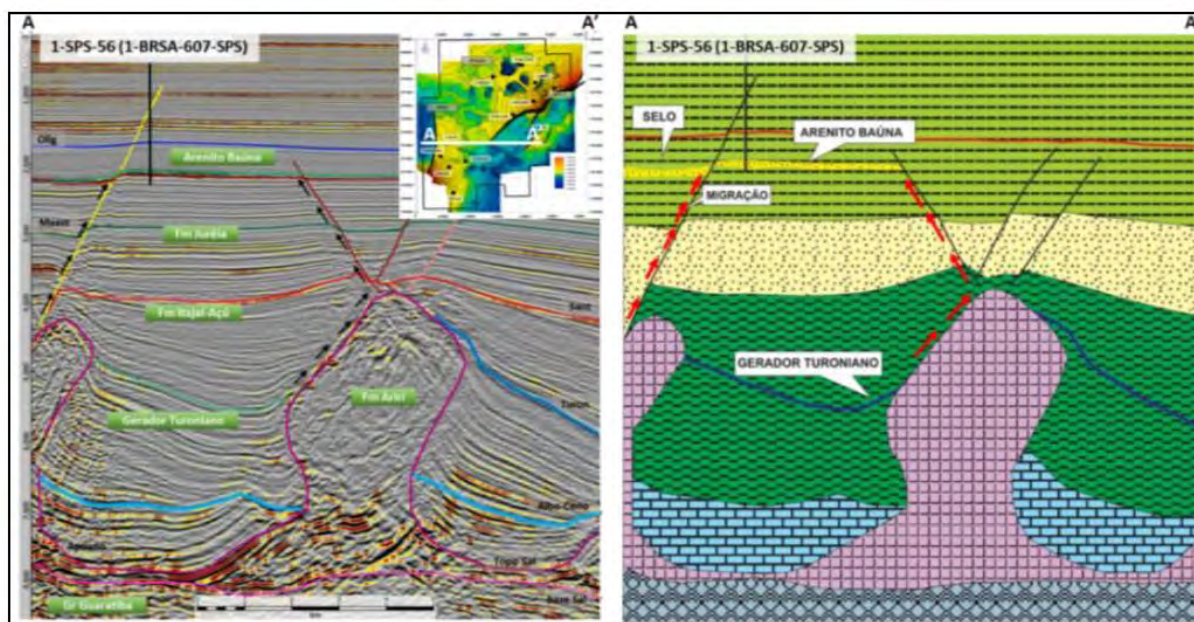
- Sequência K82-K86: Grupos Camburi e Frade. Depósitos areníticos (conglomerados avermelhados de origem continental) da Formação Florianópolis e Formação Santos. A Formação Juréia corresponde a sedimentos arenosos, folhelhos, siltitos e argilosos. Também pode ocorrer coquinas e calcilutitos intercalados. A Formação Itanhaém compreende sedimentos finos com uma concentração carbonática maior em sua seção basal.
- Sequência K88: Formação Santos, Formação Juréia, Formação Itajaí-Açu e Membro Ilhabela. As rochas da Formação Juréia correspondem a sedimentos arenosos, folhelhos, siltitos e argilitos.
- Sequência K90: Formação Juréia (arenitos, siltitos e folhelhos) e a Formação Itajaí-Açu, que corresponde a depósitos siltico-argilosos (regiões distais).
- Sequência K100: sedimentos siliciclásticos do Campaniano. Compreende conglomerados continentais da Formação Santos, interdigitados com arenitos continentais da Formação Juréia, alternados com sedimentos pelíticos, siltitos, folhelhos, diamictitos e margas na região distal e talude. Também ocorrem arenitos provenientes de densos fluxos turbidíticos da Formação Ilhabela.
- Sequência K110: conglomerados continentais (Formação Santos), arenitos de plataforma e continentais da Formação Juréia e folhelhos, siltitos e diamictitos da Formação Itajaí-Açu. Também ocorrem arenitos provenientes de fluxos turbidíticos densos da Formação Ilhabela.
- Sequência K120: depósitos pelíticos em condutos de cânions, bem como depósitos conglomeráticos ricos carbonatos e areias da Formação Ilhabela.
- Sequência K130: arenitos do Membro Ilhabela, siltitos, folhelhos, diamictitos e margas da Formação Itajaí-Açu (região distal). Arenitos da Formação Juréia e conglomerados da Formação Santos ocorrem nas áreas proximais.
- Sequência E10: rochas da Formação Ponta Aguda (arenitos avermelhados) e Formação Marambaia (siltitos, folhelhos, diamictitos e margas) (Grupo Itamambuca).
- Sequência E20: arenitos avermelhados da Formação Ponta Aguda, siltitos, folhelhos, diamictitos e margas da Formação Marambaia.
- Sequência E30-E40: arenitos da Formação Ponta Aguda, siltitos, folhelhos e diamictitos da Formação Marambaia, intercalados por arenitos de escorregamentos do Membro Maresias. Também ocorrem corpos vulcânicos intrusivos sob a forma de soleiras de diabásio.

- Sequência E50: arenitos da Formação Ponta Aguda, siltitos, folhelhos e diamictitos da Formação Marambaia, sendo intercalados por arenitos de escorregamentos do Membro Maresias.
- Sequência E60: arenitos provenientes de fluxos turbidíticos densos (Membro Maresias). Ocorrem folhelhos e diamictitos da Formação Marambaia e arenitos continentais da Formação Ponta Aguda nas áreas distais.
- Sequência E70: arenitos de densos fluxos turbidíticos do Membro Maresias. Na plataforma distal talude e bacia ocorrem siltitos, folhelhos, diamictitos e margas (Formação Marambaia). Também ocorrem calcarenitos e calcirruditos da Formação Iguape, próximas a quebra da plataforma. Nas regiões proximais ocorrem arenitos costeiros da Formação Ponta Aguda.
- Sequência E80: espessos corpos de diamictitos, nas regiões de talude. Também ocorrem arenitos do Membro Maresias, folhelhos, siltitos, diamictitos e margas da Formação Marambaia. Nas porções proximais ocorrem os arenitos plataformais da Formação Ponta Aguda.
- Sequência N10-N30: arenitos (Membro Maresias), siltitos, folhelhos, diamictitos e margas (Formação Marambaia). Regiões proximais compostas por arenitos plataformais da Formação Ponta Aguda e calcarenitos e calcirruditos de bancos algáicos do Membro Iguape na quebra da plataforma.
- Sequência N40: sedimentos avermelhados de origem aluvial e costeira (Formação Ponta Aguda), calcarenitos, calcirruditos, bioclásticos intercalados com argilitos cinza-esverdeados siltitos e margas. A Formação Marambaia é composta por folhelhos cinzentos e marga cinza-clara. Essa formação também abriga grande quantidade de fluxos de detritos (brechas de folhelhos e diamictitos).
- Sequência N50-N60: arenitos cinza-esbranquiçados de granulometria grossa e fina, coquinas de moluscos, briozoários e foraminíferos (Formação Sepetiba). No talude predominam sedimentos lamosos cortados por cânions preenchidos por sedimentos lamosos ou arenosos. São predominantes as lamas e diamictitos de águas profundas (Formação Marambaia) e arenitos turbidíticos da Formação Maresias.

No Campo de Baúna, o óleo foi gerado nos folhelhos da Formação Itajaí-Açú, com a sua geração e migração ocorrida a aproximadamente 25 milhões de anos. Estima-se que a geração do óleo pode ter começado antes da deposição dos reservatórios turbidíticos da Formação Marambaia (Membro Maresias), com pico durante a deposição dessa formação. A migração e a acumulação de hidrocarbonetos estão diretamente relacionadas com a



dinâmica de movimentação do Sal na sequência evaporítica (**Figura II.5.1.4 - 7**), que atua como principal condicionador para os fluxos de migração do óleo. Esse fluxo esteve concentrado em falhas listricas distensivas associadas a domos e diápiros salinos ou a falhas de transferência até a rocha selante. Os selos têm características mistas ou com fechamentos estruturais, originados por halocinese ou por *pinch out*. Em todos os reservatórios o selo é garantido pelos folhelhos e margas da Formação Marambaia.



**Figura II.5.1.4 - 7: Seção sísmica interpretada e seção geológica esquemática indicando as principais vias de migração da rocha geradora até o Arenito Baúna, na Formação Marambaia. A movimentação do sal forma as vias preferenciais de migração dos hidrocarbonetos até o reservatório.**

O reservatório é classificado como arenito marrom claro, com granulometria fina a média, bem selecionado e com grãos geralmente arredondados. Sua composição mineralógica é rica em quartzo, pouco feldspato e pequenos fragmentos de folhelhos cinza esverdeados e é caracterizado por uma maturidade textural e mineralógica alta. Os poços propostos (PAT-01 e PAT-02) devem penetrar arenitos, argilitos e margas intercaladas até atingir o reservatório, conforme já observado no poço 4-SPS-91 perfurado anteriormente em Patola. As profundidades máximas a serem atingidas em PAT-01 é de 2.228m TVDs e em PAT-02 é de 2.220 TVDs. O reservatório alvo corresponde ao Arenito Baúna, do Membro Maresias (Oligoceno). Ele é definido como um arenito de facie inconsolidada, com porosidade média de 27%. As colunas de previsão litológica são apresentadas a seguir (**Figura II.5.1.4 - 8 e Figura II.5.1.4 - 9**).



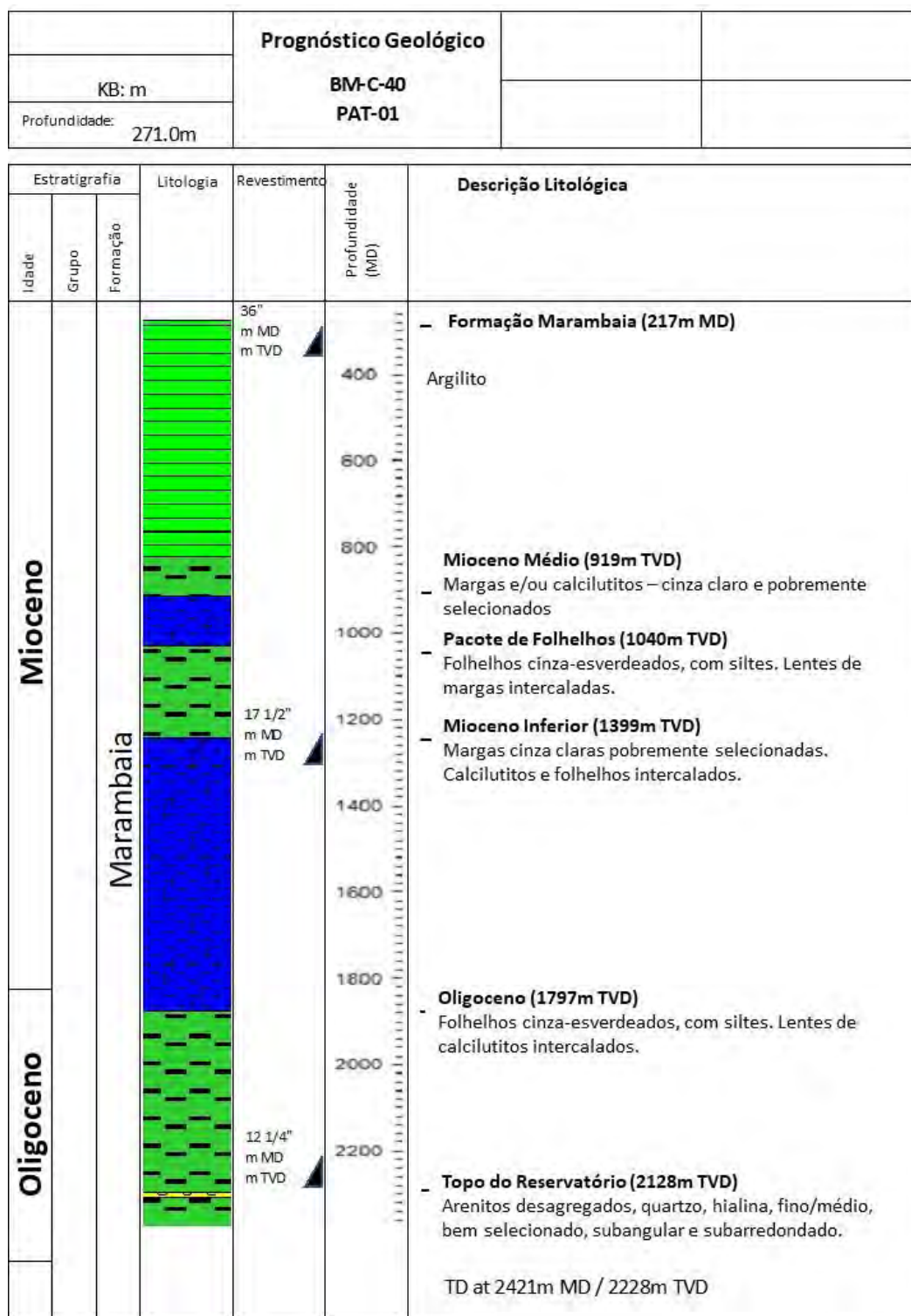


Figura II.5.1.4 - 8: Coluna de previsão litológica para o poço PAT-01.

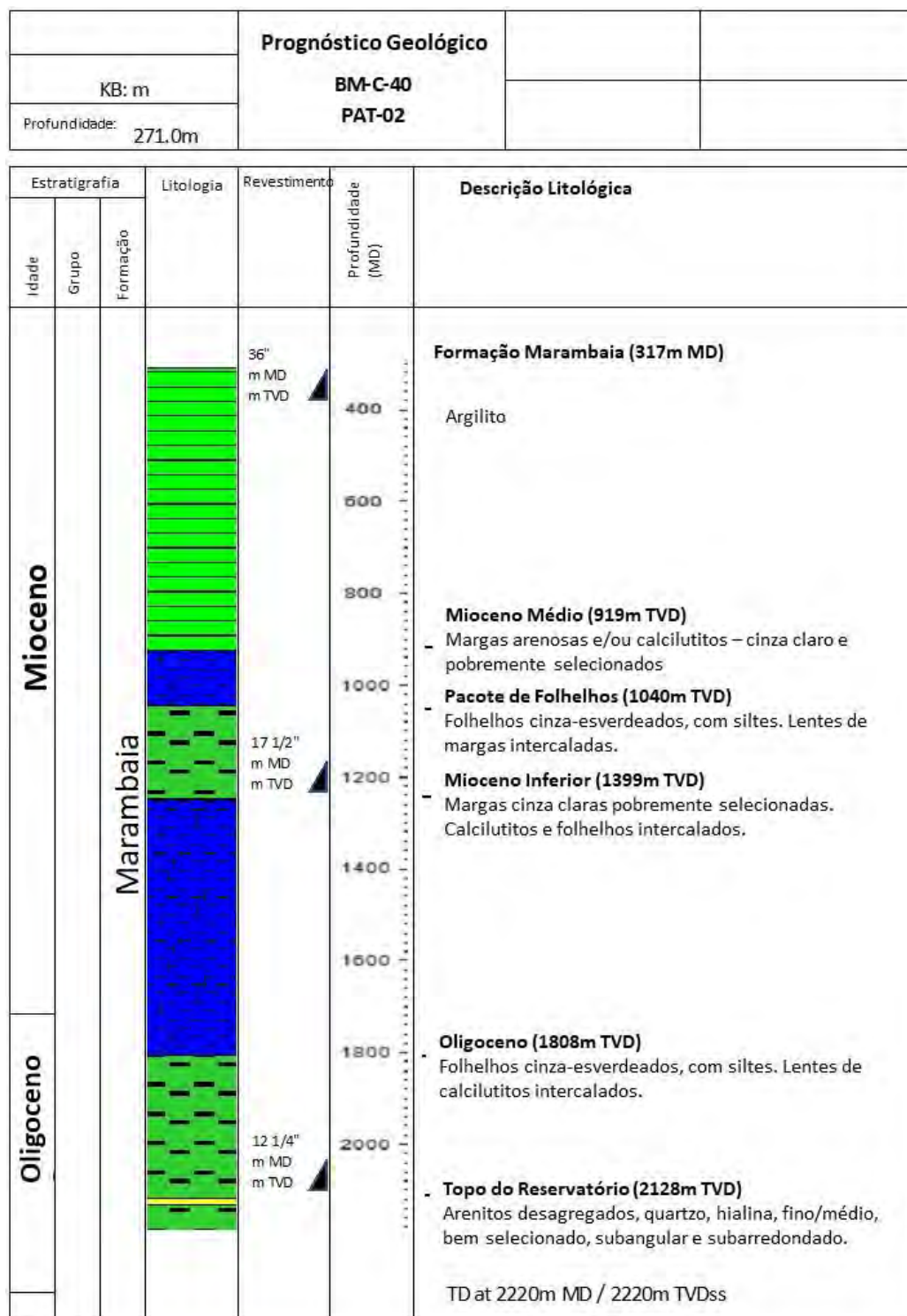
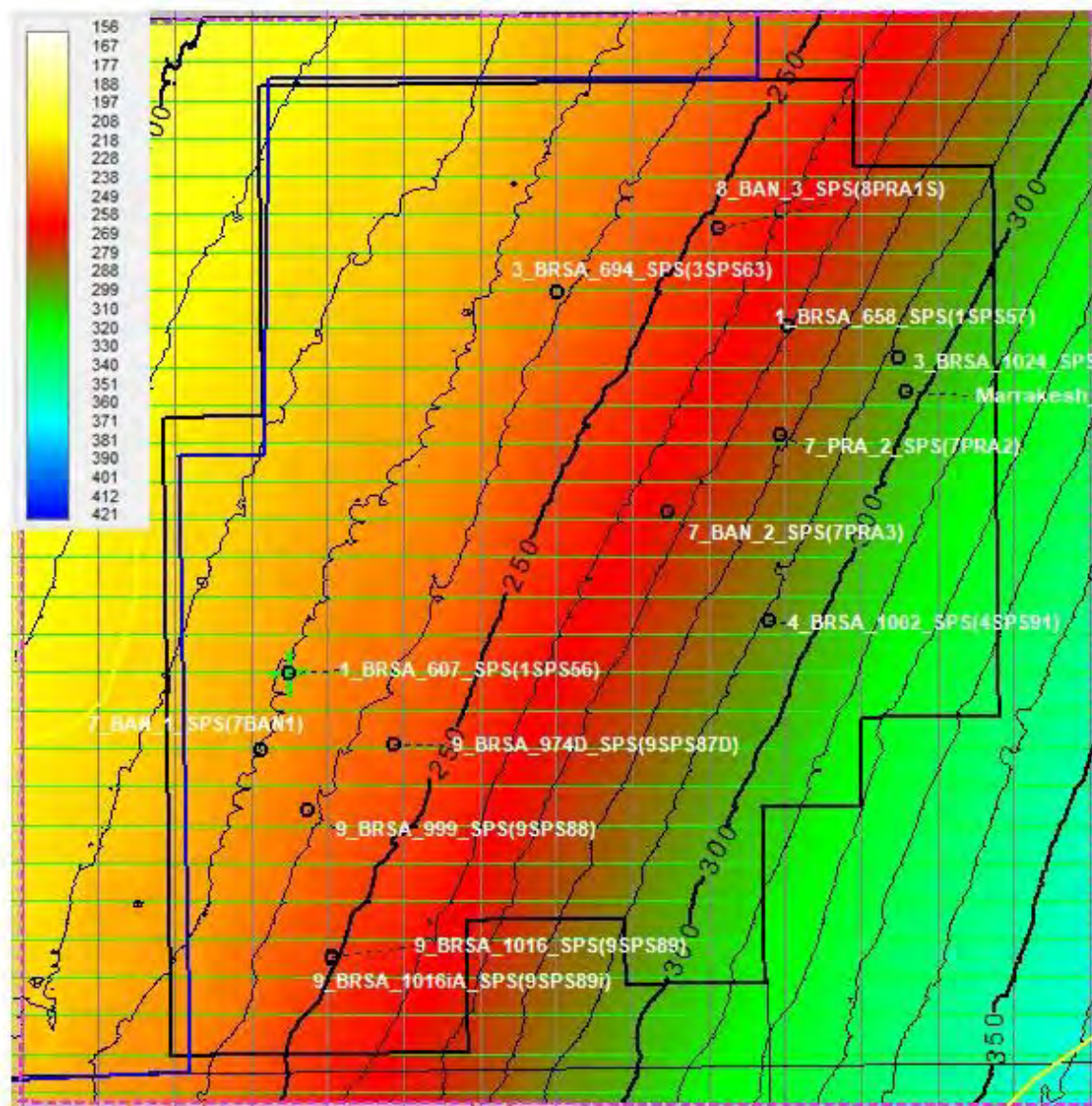


Figura II.5.1.4 - 9: Coluna de previsão litológica para o poço PAT-02.

#### II.5.1.4.4. Fisiografia

O Bloco BM-S-40 apresenta um fundo do mar suave, com declividades de aproximadamente 1°. As profundidades variam de 210m na porção noroeste a 310m na porção sudeste (**Figura II.5.1.4 - 10**), com as profundidades variando gradativamente e de forma muito suave. Com base nos dados batimétricos, não foram observadas a presença de anomalias

de fundo que possam indicar feições ativas como áreas de escorregamento, ou comunidades bentônicas formadoras de recifes ou bancos calcáreos. Ao todo, 13 poços foram perfurados na área do bloco, conforme indicado na **Figura II.5.1.4 - 10**.



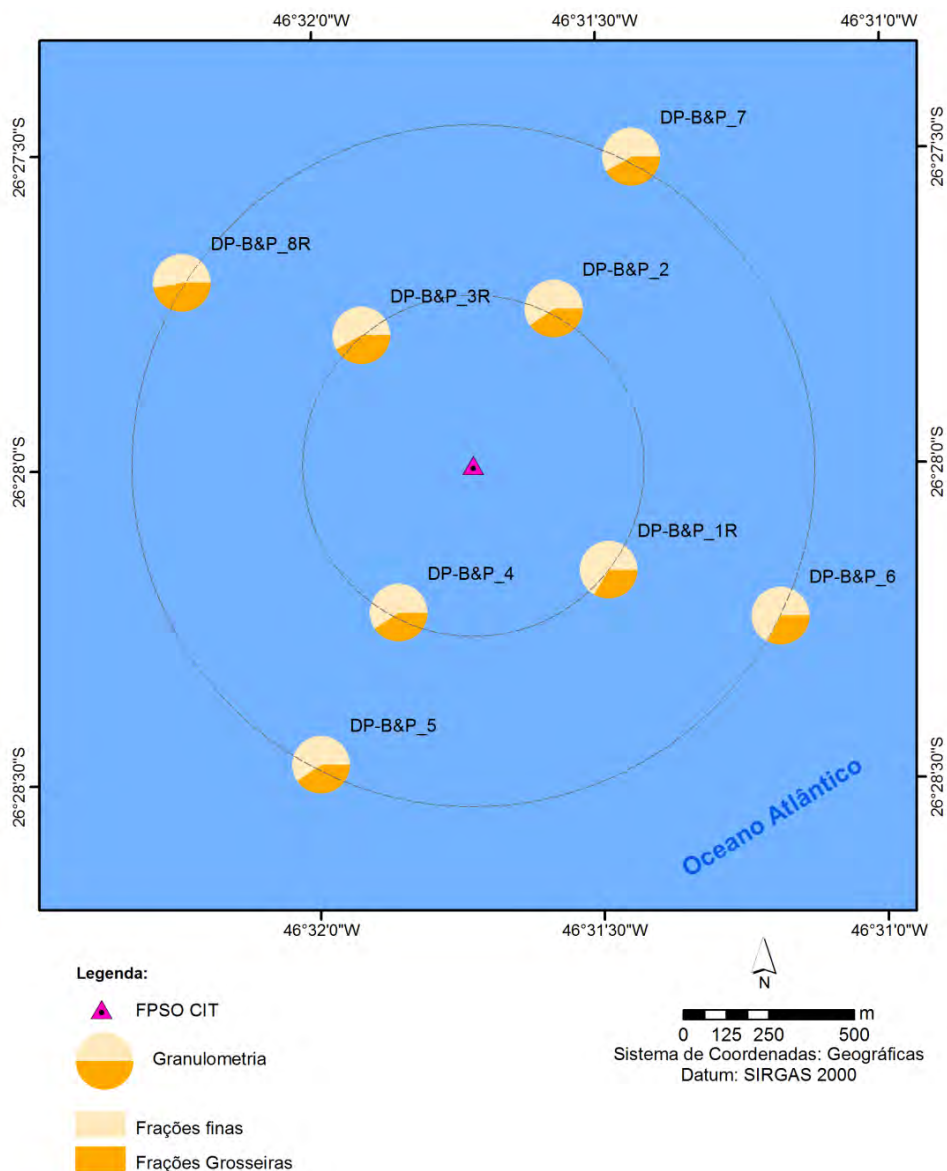
**Figura II.5.1.4 - 10; Mapa batimétrico do Bloco BM-S-40, indicando os poços já perfurados. O relevo no Campo de Baúna é suave, com as profundidades variando de 210 a 310m.**

#### II.5.1.4.5. Faciologia

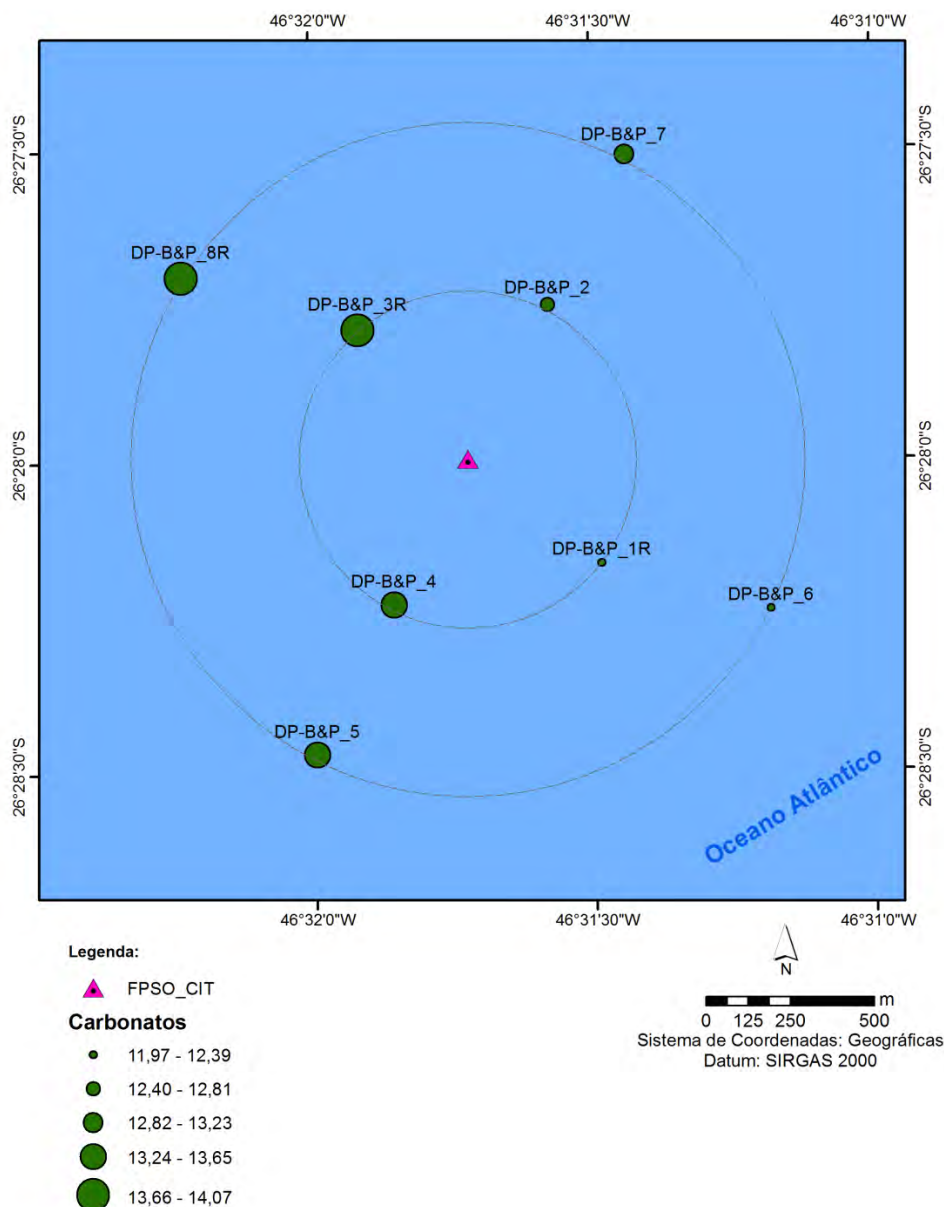
Durante as atividades de perfuração já realizadas no Campo de Baúna (Bloco BM-S-40), amostras do fundo foram coletadas durante diversos programas de monitoramento ambiental entre 2012 e 2017. Os sedimentos superficiais no Campo de Baúna são compostos majoritariamente por sedimentos finos (Silte) (**Figura II.5.1.4 - 11**), com contribuição secundária de Areia Muito Fina e depois Argilas, ao longo de todas as cinco campanhas de monitoramento realizadas (BOURSCHEID e PETROBRAS, 2017, 2019).



Quanto aos parâmetros estatísticos, as amostras variaram de muito pobremente selecionado (BOURSCHEID e PETROBRAS, 2017) a pobremente selecionado (BOURSCHEID e PETROBRAS, 2019), com assimetria muito positiva. Em termos de concentração de carbonatos, todos sedimentos foram classificados como sendo Litoclásticos (**Figura II.5.1.4 - 12**), ou seja, apresentaram baixos teores de  $\text{CaCO}_2$  (inferiores a 30%), de acordo com a classificação proposta por Larssonneur (1977) e adaptado por Dias (1996).



**Figura II.5.1.4 - 11: Mapa granulométrico durante a Campanha de Monitoramento no Campo de Baúna, no entorno da FPSO Cidade de Itajaí. Os sedimentos foram classificados como Finos (Silte com Areia Muito Fina). Fonte: (BOURSCHEID e PETROBRAS, 2019).**

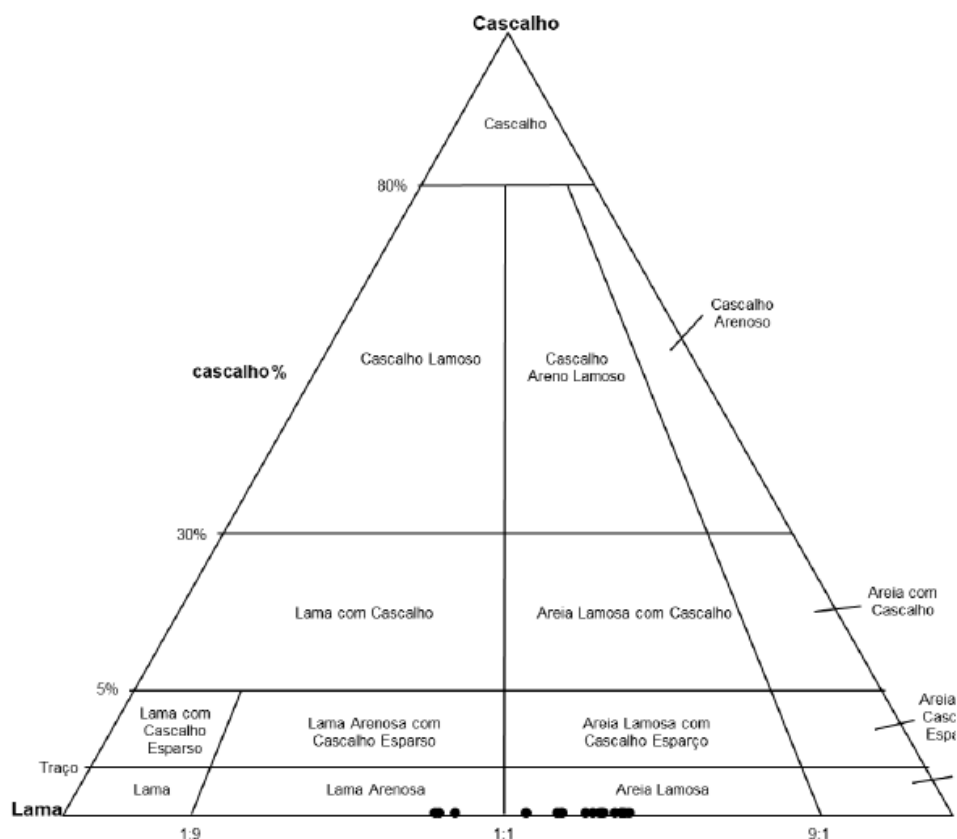


**Figura II.5.1.4 - 12: Mapa de Teor de Carbonatos durante a Campanha de Monitoramento no Campo de Baúna, no entorno da FPSO Cidade de Itajaí. Os sedimentos foram classificados como litoclásticos, com teor de carbonatos inferior a 30%. Fonte: (BOURSCHEID e PETROBRAS, 2019).**

De modo a subsidiar este diagnóstico, novas amostragens e análise dos sedimentos superficiais na área do Bloco BM-S-40 foram realizadas durante o Projeto de Caracterização Ambiental (PCA), apresentado em documento próprio, anexo ao EIA. De acordo com essa investigação, os sedimentos de fundo foram classificados como sendo compostos por Lama Arenosa ou Areia Lamosa, com porcentagens da fração Areia variando entre 39,44 a 64,58% e Lama de 35,42 a 60,56% (**Figura II.5.1.4 - 13**). Estes resultados estão em concordância com o que foi observado nos estudos de monitoramento ambiental anteriormente realizados na área do Bloco BM-S-40. Ressalta-se a inexistência da fração Cascalho nas amostragens realizadas no PCA. Na avaliação dos sedimentos superficiais



foram observadas concentrações de carbonatos variando de Litoclásticos (25,9%) a Litobioclástico (46,11%). A ausência de cascalhos e a ocorrência de baixas concentrações carbonáticas são indicativos da inexistência de bancos biogênicos ou outros tipos de comunidades bentônicas sensíveis, também não observadas nas filmagens de fundo.



**Figura II.5.1.4 - 13: Composição granulométrica das amostras obtidas durante o PCA no Bloco BM-S-40, evidenciando a ocorrência de Lama Arenosa e Areia Lamosa na área do bloco.**

#### II.5.1.4.6. Caracterização Geotécnica com ênfase em Fatores de Risco Geológico

- **Mapa de Geohazards Regional (Bacia de Santos)**

Para a elaboração do Mapa de Geohazards regional da Bacia de Santos foi realizado um levantamento bibliográfico, evidenciando a ocorrência ou a ausência de feições do tipo: reativação de falhas, áreas potencialmente erosivas, áreas de exsudação de hidrocarbonetos, *beachrocks* ou recifes, estruturas de escape de fluidos (*pockmarks*) e hidratos. Não foram encontradas publicações técnico-científicas referentes a ocorrência de reativação de falhas, de hidratos e da exsudação de hidrocarbonetos na Bacia de Santos. Todavia, a bacia abriga um campo de estruturas de escape de fluidos (*pockmarks*) no talude superior, ao largo dos estados de São Paulo e Paraná entre as isóbatas de 350 e 870 m (MAHIQUES *et al.*, 2004, 2017; SUMIDA *et al.*, 2004; SANTOS *et al.*, 2018; SCHATNER *et*

*al.*, 2018; RAMOS *et al.*, 2019). Ademais, também ocorrem 188 pontos de ocorrência corais na Bacia de Santos (BARBOSA *et al.*, 2020). A ocorrência de *beachrocks* também existe, mas segundo a bibliografia consultada ela está restrita a uma área entre a plataforma interna e o pós-praia da bacia (MANSUR *et al.*, 2011; CASTRO *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2014; MALTA *et al.*, 2017; MALTA and CASTRO, 2018; SIMIONI *et al.*, 2018; GARCIA *et al.*, 2019). No caso das áreas potencialmente erosivas, a presença de contornitos foi mapeada primeiramente por Duarte e Viana (2007) no talude inferior e na fronteira do talude com o platô de São Paulo (DUARTE e VIANA, 2007; REBESCO *et al.*, 2014; BORISOV *et al.*, 2020). Dois contornitos principais são observados, sendo eles os canais de Santos e de São Paulo, ambos controlados pelo regime das correntes de fundo, pelo tipo de sedimento e pelo contexto morfotectônico da bacia, que altera o espaço de acomodação (DUARTE and VIANA, 2007; REBESCO *et al.*, 2014). Esses autores também identificaram a presença de dois cânions submarinos, sendo eles o Cânion de Cananéia e o Cânion de São Sebastião (DUARTE e VIANA, 2007; BORISOV *et al.*, 2020). A localização dessas feições encontra-se no Mapa de *Geohazards* Regional da Bacia de Santos, no **Anexo C**. Ressalta-se que o Bloco BM-S-40 encontra-se fora das fronteiras de ocorrência das feições de *Geohazards* identificadas para a Bacia de Santos.

- **Presença de falhamentos potencialmente reativáveis**

Com base nas informações disponíveis, tanto geofísicas quanto dos poços já perfurados no Campo de Baúna, até o momento não foram observadas movimentação ou reativação de falhas. Dessa forma, esse tipo de risco geológico não é esperado para os poços PAT-01 e PAT-02, pretendidos.

- **Possibilidade de erosão ou acúmulo de sedimentos que ofereçam riscos a dispositivos instalados no fundo**

Considerando a baixa declividade (1° aproximadamente) na área do Campo de Baúna e a ausência de feições morfológicas que indiquem a presença de escorregamentos ou fluxos de sedimentos no leito marinho, não são esperados processos erosivos ou de deposição que possam acarretar riscos a dispositivos instalados junto ao fundo. Ademais, até então não foram relatados problemas operacionais ou riscos a equipamentos decorrentes de erosão ou deposição de sedimentos nas atividades exploratórias e de produção já realizadas na área.

- **Exsudação de hidrocarbonetos na área do projeto**

Uma investigação geofísica com base em interpretação sísmica, bem como de atributos sísmicos na superfície do leito marinho no Campo de Baúna, além das campanhas de

monitoramento pretéritas e das atividades de exploração e produção já realizadas no campo não apresentaram feições de indiquem exsudações ativas de fluidos no leito marinho. Pequenas depressões circulares, da ordem de 2m a 3m de profundidade e 200m de diâmetro, foram identificadas como possíveis *Pockmarks* dentro do Campo de Baúna. Essas feições estão localizadas na porção sudeste do campo, e se estendem para fora da área do bloco neste mesmo sentido, em direção aos limites da região de *pockmarks* estudados por Mahiques *et al.* (2004, 2017), Sumida *et al.* (2004), Santos *et al.* (2018), Schattner *et al.* (2018) e Ramos *et al.* (2019). Embora o Campo de Baúna está próximo a essa área, embora não se encontre dentro dos limites dos levantamentos realizados por esses autores. Dessa forma, é possível que o Campo de Baúna esteja no limite, ou próximo a ele, de ocorrência de feições do tipo *pockmarks*.

Levando essas feições em consideração, dentro do escopo do PCA em documento próprio, anexo ao EIA, foram realizadas investigações visual e amostral em três *pockmarks* identificados no Bloco BM-S-40. Segundo os resultados do PCA, a inspeção visual dessas áreas não evidenciou a presença de estruturas que possam indicar que elas se encontrem em atividade, bem como ficou evidente a inexistência de comunidades bentônicas associadas a essas feições. Ressalta-se que as locações PAT-01 e PAT-02 encontram-se a uma distância superior a 800m do *pockmark* mais próximo, não sendo esperadas interferências dessa feição no trajeto dos poços. Além disso, a avaliação geoquímica realizada no PCA classificou os sedimentos da área do Bloco BM-S-40 como sendo não poluídos, com base nos baixos valores de Hidrocarbonetos Totais do Petróleo (HTPs) e Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs). Assim sendo, não foi evidenciada a contribuição de exsudação de hidrocarbonetos nos sedimentos marinhos nas estações coletadas no Bloco BM-S-40.

- **Presença de rugosidades e eventuais problemas de cravação/fixação de âncoras**

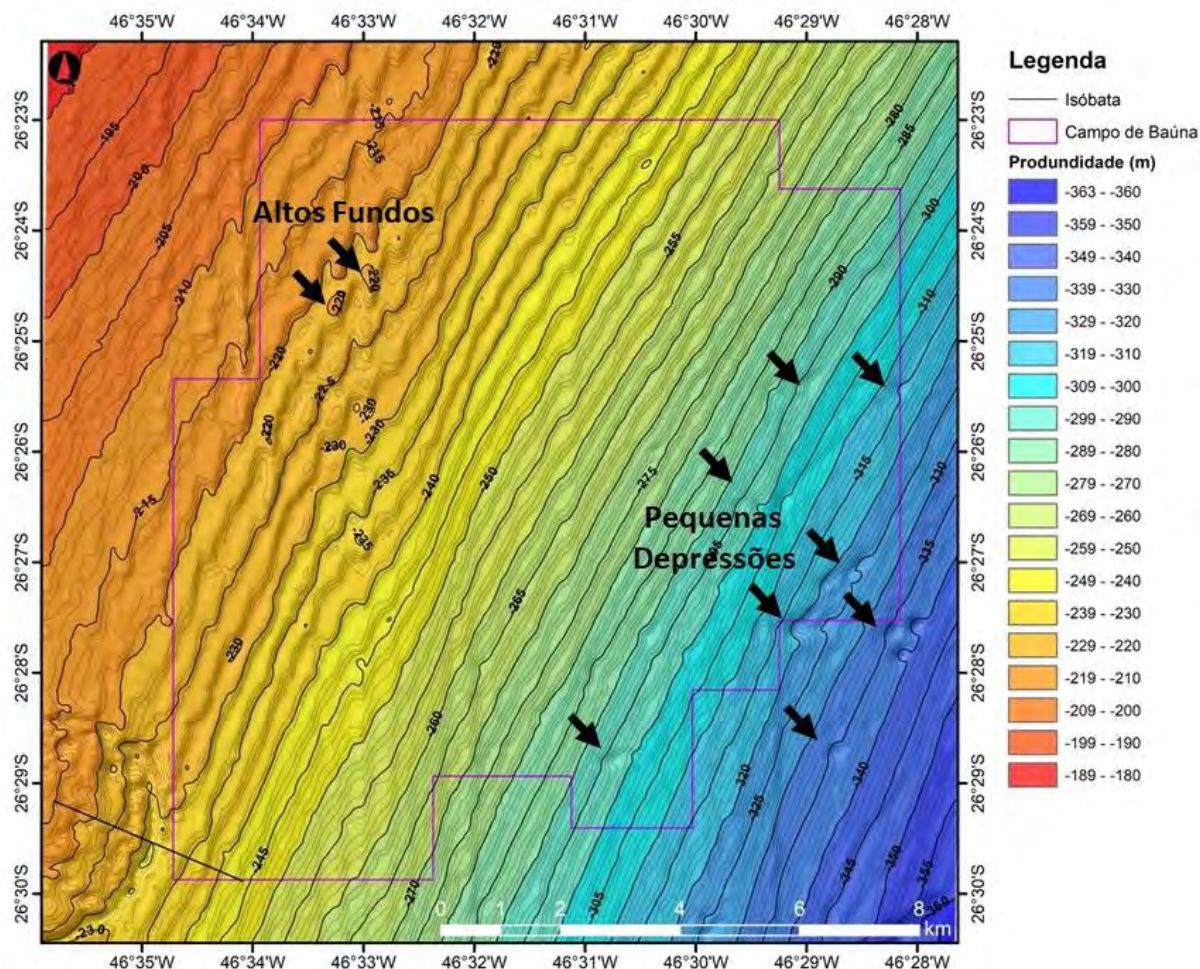
A investigação geofísica (interpretação sísmica e atributos sísmicos na superfície do leito marinho) as amostragens realizadas nas campanhas de monitoramento pretéritas não evidenciaram feições de indiquem rugosidades ou substratos duros no leito marinho que possam causar problemas na cravação de âncoras. As atividades de exploração e produção já realizadas no bloco até então também não registraram problemas quanto a ancoragem e fixação de equipamentos no leito marinho do Bloco BM-S-40. Ademais, os resultados do PCA realizados no bloco (vide relatório na íntegra, apresentado em documento próprio, anexo ao EIA) também não evidenciaram, tanto na amostragem quanto por inspeção de fundo por vídeo, a ocorrência de estruturas como bancos biogênicos ou *beachrocks*, que

pudessem atrapalhar sistemas de ancoragem. O fundo marinho do Bloco BM-S-40 é composto basicamente por Lama Arenosa e Areia Lamosa Litoclástica e Litobioclástica, ou seja, pouca contribuição biogênica nos sedimentos. Dessa forma, não são esperados problemas quanto a fixação de sistemas de ancoragens ou instalação de equipamentos no leito marinho na área do bloco.

- **Estruturas de Escapes de fluidos (*pockmarks* e vulcões e lama)**

Conforme mencionado no item de “exsudação de hidrocarbonetos na área do projeto” apresentado acima, foram identificadas feições de fundo que correspondem a possíveis *pockmarks* no leito marinho do Bloco BM-S-40 (**Figura II.5.1.4 - 14**). Essas feições estão localizadas a sudeste do bloco, restritos as áreas com profundidade superior a 274m. Essas feições são caracterizadas por pequenas depressões circulares, de 2 a 3m de profundidade e de aproximadamente 200m de diâmetro. De acordo com Sumida *et al.* (2004) e Sánchez *et al.* (2020), um indicativo de que essas feições poderiam estar ativas seriam a presença de comunidades bentônicas associadas, que consumiriam os hidrocarbonetos liberados nos *pockmarks*. Todavia, a investigação realizada no PCA em algumas feições identificadas no Bloco BM-S-40 não apresentaram a presença de comunidades bentônicas associadas, sendo o fundo nessas áreas compostos por Areia Lamosa ou Lama Arenosa Litoclástica e Litobioclástica, sendo o mesmo sedimento das demais áreas do campo. Assim sendo, acredita-se que os *pockmarks*, relacionados ao diapirosmo em subsuperfície (MAHIQUES *et al.*, 2017), estejam inativos e não ofereçam riscos as atividades de desenvolvimento na área do empreendimento. A investigação do fundo marinho a partir dos atributos sísmicos também identificou a presença de dois altos fundos de forma circular, variando em 3,5 e 5m de altura e 800 e 600m de diâmetro, respectivamente. Esses altos fundos encontram-se a noroeste do campo, e também foram alvo da investigação do PCA, não apresentando características que possam classificá-los como vulcões de lama ou bancos biogênicos. De fato, a verdade de campo realizada pela inspeção de fundo durante o PCA não identificou a presença dessas estruturas, sendo provavelmente anomalias de sinal do atributo sísmico. Assim sendo, não são esperadas a ocorrência de feições do tipo vulcões de lama e nem a interferência de *pockmarks* nas atividades de perfuração propostas no Bloco BM-S-40.





**Figura II.5.1.4 - 14: Mapa batimétrico do Campo de Baúna (Bloco BM-S-40) indicando as feições observadas nos atributos sísmicos. Dois altos fundos localizados na região NO e pequenas depressões circulares a SE de campo. Os altos fundos não foram observados durante a inspeção visual do fundo realizada no PCA, podendo estar relacionada a uma anomalia de sinal no atributo sísmico.**

- **Estratégias de cimentação entre o revestimento do poço e rochas do entorno no caso de perfuração de evaporitos**

Ressalta-se que o reservatório objetivo, arenitos turbidíticos da Formação Marambaia (Membro Maresias), encontra-se acima da camada de sal, não sendo planejada a perfuração de sequências de evaporitos. Dessa forma, não são esperados problemas quanto a cimentação e revestimento de poços devido a reologia dos evaporitos.

- **Gradiente Geotérmico**

Para o cálculo do grau geotérmico foram utilizadas a temperatura estimada para o fundo do mar, de aproximadamente 12°C a 254m de profundidade, e do reservatório medido no poço 1-BRSA-607-SPS (78°C a 1991m abaixo do leito marinho). Desta forma, o gradiente geotérmico calculado para o Campo de Baúna foi de 37,7°C/km). As profundidades máximas a serem atingidas em PAT-01 é de 2.228m TVDs e em PAT-02 é de 2.220 TVDs.



- **Presença de hidratos na Bacia de Santos e no leito do bloco**

Conforme evidenciado no item “Mapa de *Geohazards* Regional (Bacia de Santos)” apresentado acima, a literatura científica não evidencia a ocorrência de hidratos/clatratos na Bacia de Santos. A ocorrência de hidratos na margem brasileira é, até então, apenas conhecida em duas regiões: na Elevação de Rio Grande (MILLER *et al.*, 2015; KETZER *et al.*, 2019, 2020) e na Bacia da Foz do Amazonas (KETZER *et al.*, 2019). Com base nas informações geofísicas e de poços já perfurados disponíveis no Bloco BM-S-40, não foram observadas anomalias que possam indicar a ocorrência de hidratos de gás/clatratos. Dessa forma, esse tipo de risco geológico não é esperado para os poços pretendidos

- **Seção geológica indicando a presença de uma superfície de descolamento (*decollement*) na área do bloco**

As evidências geofísicas (perfis sísmicos) não indicam a presença de superfícies de descolamento (*decollement*). A área consiste em uma rampa muito suave, sem evidências da ocorrência deste tipo de feição em superfície e em subsuperfície. Um perfil sísmico é apresentando nas **Figura II.5.1.4 - 5** e **Figura II.5.1.4 - 7**, evidenciando a inexistência deste tipo de feição na área do Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna).

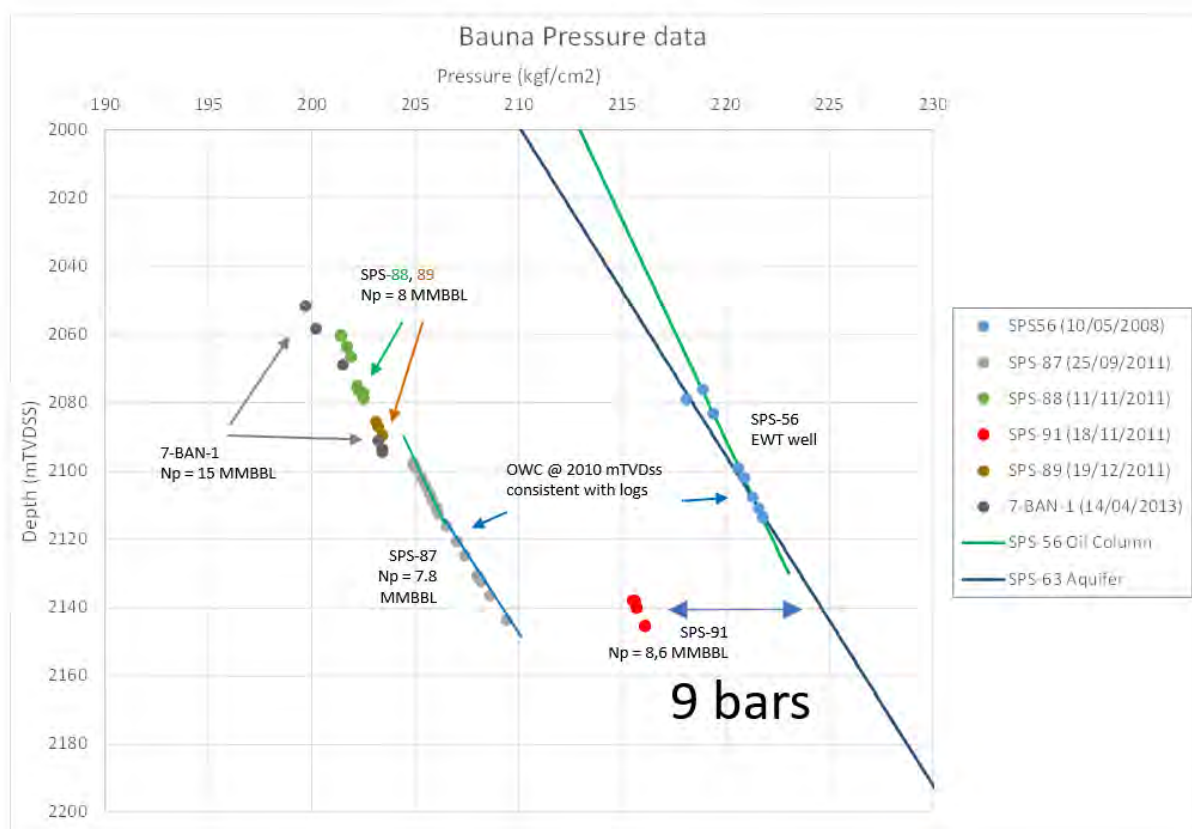
#### **II.5.1.4.7. Análise da Possibilidade de Ocorrência de Zonas de Alta Pressão no Trajeto da Perfuração**

##### **A. Análise da possibilidade de ocorrência de zonas de alta pressão**

Ao todo, foram analisados dados de 14 poços já perfurados em diversas localidades dentro do Campo de Baúna (8-BAN-3-SPS, 3-BRSA-694-SPS, 1-BRSA-658-SPS, 3BRSA-1024-SPS, 7-PRA-2-SPS, 7-BAN-2-SPS, 4-BRSA-1002-SPS, 1-BRSA-607-SPS, 7-BAN-1-SPS, 9-BRSA-947D-SPS, 9-BRSA-999-SPS, 9-BRSA-1016-SPS e 9-BRSA-10161<sup>a</sup>-SPS), conforme localização na **Figura II.5.1.4 - 10**. Durante a operação desses poços (em diversas acumulações, incluindo Patola), nenhum registro de evento anômalo de alta pressão, como *kicks*, foi identificado.

##### **B. Gráfico de geopressões**

Além dos registros dos poços perfurados no campo, um modelo de velocidade de onda sísmica não evidenciou a presença de zonas de alta pressão na área de Patola, corroborando os dados de poços. Dessa forma, não são esperadas a ocorrência de zonas de alta pressão nos prospectos pretendidos no Campo de Baúna. Espera-se uma pressão de aproximadamente 131psi (9bar) para os prospectos em Patola (PAT-01 e PAT-02) similar aos dos poços perfurados (**Figura II.5.1.4 - 15**), estando abaixo da pressão hidrostática.



**Figura II.5.1.4 - 15: Gráfico de pressões observadas nos poços previamente perfurados no Campo de Baúna. Não foram observadas pressões anômalas durante as atividades desenvolvidas no campo.**

#### II.5.1.4.8. Caracterização do Óleo

As principais características esperadas do óleo da acumulação de Patola (poços PAT-01 e PAT-02) são apresentadas na **Tabela II.5.1.4 - 1** a seguir. Algumas informações referentes as características do óleo como: ponto de fluidez, curva de destilação, ponto de fulgor e conteúdo máximo de água ainda não puderam ser mensuradas para a acumulação de Patola, no Campo de Baúna (Bloco BM-S-40).

**Tabela II.5.1.4 - 2: Caracterização do óleo esperado usado para modelagem de derramamento de óleo.**

|                      | Classificação do tipo de óleo   |          |
|----------------------|---|----------|
| ( ) Pesado           | Maior teor de componentes pesados, menos de 50% de evaporação em volume após 1 semana no mar, possibilidade de formação de emulsão.                     |          |
| ( ) Condensado       | Não contém componentes como asfalteno e parafinas pesadas, evaporação normalmente superior a 70% em volume, baixa possibilidade de formação de emulsão. |          |
| (X) Leve             | Maior teor de componentes leves, evaporação entre 50 e 70% em volume, formação de emulsões instáveis.   |          |
| Propriedades Físicas |   |          |
| Parâmetro            | Valores   | Unidades |
| Grau API             | 38  | °        |
| Densidade            | 0.7944  | g/cm³    |

**Tabela II.5.1.4 - 2: Caracterização do óleo esperado usado para modelagem de derramamento de óleo.**

|   |                    |                 |       |
|---|--------------------|-----------------|-------|
| Viscosidade   | 3,9                | cP              |       |
| Ponto de fluidez                                    | *                  | °C              |       |
| Curva de destilação (TBP)                           | *                  | °C              |       |
| Ponto de fulgor                                     | *                  | °C              |       |
| Conteúdo máximo de água                             | *                  | % vol           |       |
| Caracterização Química (Composição Química - GC/MS) |                    |                 |       |
| Grupo   | Composição Química | %               |       |
| Dióxido de Carbono                                  |                    | CO <sub>2</sub> | 0,13  |
| Nitrogênio  |                    | N <sub>2</sub>  | 0,35  |
| Metano  | Gás Residual - GLP | C1              | 21,28 |
| Etano   |                    | C2              | 6,94  |
| Propano   |                    | C3              | 9,4   |
| i-Butano  |                    | IC4             | 2,3   |
| n-Butano  |                    | NC4             | 4,9   |
| i-Pentano   | Gasolina           | IC5             | 2,1   |
| n-Pentano   |                    | NC5             | 2,49  |
| Hexano  |                    | C6              | 3,56  |
| Heptano   |                    | C7              | 4,76  |
| Octano  |                    | C8              | 5,82  |
| Nonano  |                    | C9              | 4,13  |
| Decano  |                    | C10             | 3,79  |
| Undecano  | Querosene          | C11             | 2,87  |
| Dodecano  |                    | C12             | 2,45  |
| Tridecano   | Gasóleo Leve       | C13             | 2,43  |
| Tetradecano   |                    | C14             | 2,03  |
| Pentadecano   |                    | C15             | 1,98  |
| Hexadecano  |                    | C16             | 1,59  |
| Heptadecano   | Gasóleo Pesado     | C17             | 1,44  |
| Octadecano  |                    | C18             | 1,41  |
| Nonadecano  |                    | C19             | 1,28  |
| Eicosano  |                    | C20+            | 10,56 |

\* Informações ainda não disponíveis para a acumulação de Patola, objetivo deste diagnóstico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, R. V., DAVIES, A. J., and SUMIDA, P. Y. G. 2020. Habitat suitability and environmental niche comparison of cold-water coral species along the Brazilian continental margin. **Deep. Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.** 155, 103147. doi:10.1016/j.dsr.2019.103147.
- BORISOV, D., FREY, D., and LEVCHENKO, O. 2020. Sediment waves on the Santa Catarina Plateau (western South Atlantic). **J. South Am. Earth Sci.** 102, 102698. doi:10.1016/j.jsames.2020.102698.
- BOURSCHEID and PETROBRAS. 2017. RTAA - **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental Campanha de operação - Projeto de Monitoramento Ambiental do Desenvolvimento da Produção de Petróleo no Bloco BM-S-40 (Áreas de Tiro & Sidon), Bacia de Santos.**
- BOURSCHEID and PETROBRAS. 2019. RTAA - **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental Campanha de operação - Projeto de Monitoramento Ambiental do Desenvolvimento da Produção de Petróleo dos Campos de Baúna e Piracaba, Bloco BM-S-40, Bacia de Santos.**
- CAINELLI, C., and MOHRIAK, W. 1999. Some remarks on the evolution of sedimentary basins along the eastern Brazilian continental margin. **Episodes** 22, 206–216.
- CASTRO, J. W. A., SUGUIO, K., SEOANE, J. C. S., DA CUNHA, A. M., and DIAS, F. F. 2014. Sea-level fluctuations and coastal evolution in the state of Rio de Janeiro, southeastern Brazil. **An. Acad. Bras. Cienc.** 86, 671–683. doi:10.1590/0001-3765201420140007.
- CASTRO, R. D., and PICOLINI, J. P. 2016. **Main features of the Campos Basin regional geology.** 1st ed. Elsevier Ltd. doi:10.1016/B978-85-352-8444-7.50008-1.
- CHANG, H. K., ASSINE, M. L., CORRÊA, F. S., TINEN, J. S., VIDAL, A. C., and KOIKE, L. 2008. Sistemas petrolíferos e modelos de acumulação de hidrocarbonetos na Bacia de Santos. **Rev. Bras. Geociências** 38, 29–46. doi:10.25249/0375-7536.2008382s2946.
- CONTRERAS, J., ZÜHLKE, R., BOWMAN, S., and BECHSTÄDT, T. 2010. Seismic stratigraphy and subsidence analysis of the southern Brazilian margin (Campos, Santos and Pelotas basins). **Mar. Pet. Geol.** 27, 1952–1980. doi:10.1016/j.marpetgeo.2010.06.007.
- DIAS, G. M. T. 1996. Classificação de sedimentos marinhos proposta de representação em cartas sedimentológicas. in **Anais do XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia Vol. 3.**
- DUARTE, C. S. L., and VIANA, A. R. 2007. Santos Drift System: Stratigraphic organization and implications for late Cenozoic palaeocirculation in the Santos Basin, SW Atlantic Ocean. **Geol. Soc. Spec. Publ.** 276, 171–198. doi:10.1144/GSL.SP.2007.276.01.09.
- GARCIA, M. D. G. M., LAMA, E. A. D., MARTINS, L., MAZOCA, C. E. M., and BOUROTTE, C. L. M. 2019. Inventory and assessment of geosites to stimulate regional sustainable management: the northern coast of the state of São Paulo, Brazil. **An. Acad. Bras. Cienc.** 91, e20180514. doi:10.1590/0001-3765201920180514.

KETZER, M., PRAEG, D., PIVEL, M. A. G., AUGUSTIN, A. H., RODRIGUES, L. F., VIANA, A. R., *et al.* 2019. Gas seeps at the edge of the gas hydrate stability zone on Brazil's continental margin. **Geosci.** 9, 1–11. doi:10.3390/geosciences9050193.

KETZER, M., PRAEG, D., RODRIGUES, L. F., AUGUSTIN, A., PIVEL, M. A. G., RAHMATI-ABKENAR, M., *et al.* 2020. Gas hydrate dissociation linked to contemporary ocean warming in the southern hemisphere. **Nat. Commun.** 11. doi:10.1038/s41467-020-17289-z.

KUKLA, P. A., STROZYK, F., and MOHRIAK, W. U. 2018. South Atlantic salt basins – Witnesses of complex passive margin evolution. **Gondwana Res.** 53, 41–57. doi:10.1016/j.gr.2017.03.012.

LARSONNEUR, C. 1977. La cartographie des dépôts meubles sur le plateau continental français: méthode mise au point et utilisée en Manche. **J. Rech. Ocean.** 2, 34–39.

MAHIQUES, M. M., SCHATTLER, U., LAZAR, M., SUMIDA, P. Y. G., and SOUZA, L. A. P. de (2017). An extensive pockmark field on the upper Atlantic margin of Southeast Brazil: spatial analysis and its relationship with salt diapirism. **Heliyon** 3. doi:10.1016/j.heliyon.2017.e00257.

MAHIQUES, M. M., TESSLER, M. G., MARIA CIOTTI, A., DA SILVEIRA, I. C. A., E SOUSA, S. H. D. M., FIGUEIRA, R. C. L., *et al.* 2004. Hydrodynamically driven patterns of recent sedimentation in the shelf and upper slope off Southeast Brazil. **Cont. Shelf Res.** 24, 1685–1697. doi:10.1016/j.csr.2004.05.013.

MALTA, J. V., and CASTRO, J. W. A. 2018. Petrografia, Isótopos Estáveis e Geocronologia das Rochas de Praia Beachrocks do Litoral do Estado do Rio de Janeiro, Sudeste Brasileiro. **Anuário do Inst. Geociências** 41, 232–244.

MALTA, J. V., CASTRO, J. W. A., DE OLIVEIRA, C. A., and REIS, C. C. (2017). Rochas de Praia “Beachrocks” da Ilha do Cabo Frio - Litoral do estado do Rio de Janeiro - Sudeste Brasileiro: Gênese e geocronologia. **Rev. Bras. Geomorfol.** 18, 397–409. doi:10.20502/rbg.v18i2.%.

MANSUR, K. L., RAMOS, R. R. C., DE OLIVEIRA GODOY, J. M., and DO NASCIMENTO, V. M. R. 2011. Beachrock de Jacaré, Maricá e Saquarema- RJ: Importância para a história da ciência e para o conhecimento geológico. **Rev. Bras. Geociências** 41, 290–303. doi:10.25249/0375-7536.2011412290303.

MILANI, E. J., BRANDÃO, J. A. S. L., ZALÁN, P. V., and GAMBOA, L. A. P. (2000). Petróleo na margem continental Brasileira: Geologia, exploração, resultados e perspectivas. **Rev. Bras. Geofis.** 18, 351–396.

MILLER, D. J., KETZER, J. M., VIANA, A. R., KOWSMANN, R. O., FREIRE, A. F. M., OREIRO, S. G., *et al.* 2015. Natural gas hydrates in the Rio Grande Cone (Brazil): A new province in the western South Atlantic. **Mar. Pet. Geol.** 67, 187–196. doi:10.1016/j.marpetgeo.2015.05.012.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. 2017. **Zoneamento Nacional de Recursos de Óleo e Gás.**, ed. MME/EPE.

MOHRIAK, W. U. 2003. **Bacias Sedimentares da Margem Continental Brasileira.** In: **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG.**



MOREIRA, J. L. P., MADEIRA, C. V., GIL, J. A., and MACHADO, M. A. P. 2007. Bacia de Santos. **Bol. Geociências da Petrobras**, 531–549.

RAMOS, R. B., DOS SANTOS, R. F., SCHATTNER, U., FIGUEIRA, R. C. L., BÍCEGO, M. C., LOBO, F. J., *et al.* 2019. Deep pockmarks as natural sediment traps: a case study from southern Santos Basin (SW Atlantic upper slope). **Geo-Marine Lett.** doi:10.1007/s00367-019-00617-8.

ReBESCO, M., HERNÁNDEZ-MOLINA, F. J., VAN ROOIJ, D., and WÄHLIN, A. 2014. Contourites and associated sediments controlled by deep-water circulation processes: State-of-the-art and future considerations. **Mar. Geol.** 352, 111–154. doi:10.1016/j.margeo.2014.03.011.

RODRIGUES, L. A., and SAUER, I. L. 2015. Exploratory assessment of the economic gains of a pre-salt oil field in Brazil. **Energy Policy** 87, 486–495. doi:10.1016/j.enpol.2015.09.036.

SÁNCHEZ, N., ZEPPILLI, D., BALDRIGHI, E., VANREUSEL, A., LAHITSIRESY, M. G., BRANDILY, C., *et al.* 2020. A threefold perspective on the role of a pockmark in benthic faunal communities and biodiversity patterns. **Deep. Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.** 167. doi:10.1016/j.dsr.2020.103425.

SANTOS, R. F., NAGAOKA, D., RAMOS, R. B., SALAROLI, A. B., TANIGUCHI, S., FIGUEIRA, R. C. L., *et al.* 2018. Metal/Ca ratios in pockmarks and adjacent sediments on the SW Atlantic slope: Implications for redox potential and modern seepage. **J. Geochemical Explor.** 192, 163–173. doi:10.1016/j.gexplo.2018.06.014.

SchATTNER, U., LOBO, F. J., GARCÍA, M., KANARI, M., RAMOS, R. B., and MAHIQUES, M. M. 2018. A detailed look at diapir piercement onto the ocean floor: New evidence from Santos Basin, offshore Brazil. **Mar. Geol.** 406, 98–108. doi:10.1016/j.margeo.2018.09.014.

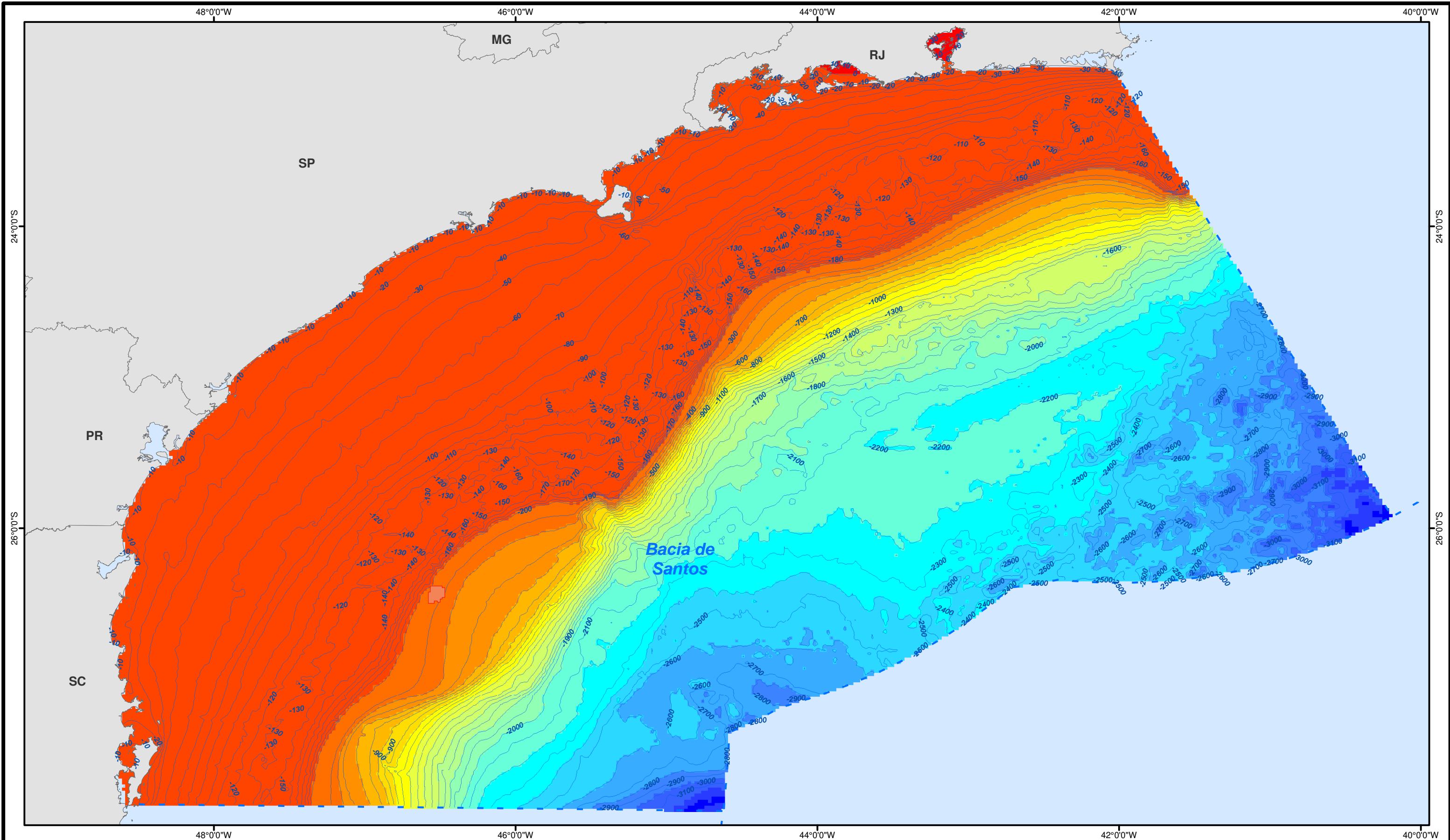
SILVA, A. L. C., SILVA, M. A. M., SOUZA, R. S., and PINTO, M. L. V. 2014. The role of beachrocks on the evolution of the Holocene barrier systems in Rio de Janeiro, southeastern Brazil. **J. Coast. Res.** 70, 170–175. doi:10.2112/SI70-029.1.

SIMIONI, B. I., ANGULO, R. J., VEIGA, F. A., SIELSKI, L. H., and SOUZA, M. C. 2018. Genesis of submerged sandstones in Paraná State continental shelf, Southern Brazil, based on cementation patterns, ages and stable isotopes. **Brazilian J. Oceanogr.** 66, 267–282. doi:http://orcid.org/0000-0001-7296-8107.





SUMIDA, P. Y. G., YOSHINAGA, M. Y., MADUREIRA, L. A. S. P., and HOVLAND, M. 2004. Seabed pockmarks associated with deepwater corals off SE Brazilian continental slope, Santos Basin. **Mar. Geol.** 207, 159–167. doi:10.1016/j.margeo.2004.03.006.

ZALÁN, P. V., and OLIVEIRA, J. A. B. 2005. Origem e evolução estrutural do Sistema de Rittes Cenozóicos do Sudeste do Brasil. **Bol. Geociências da Petrobras** 13, 269–300.

## ANEXO A – MAPA BATIMÉTRICO DA BACIA DE SANTOS

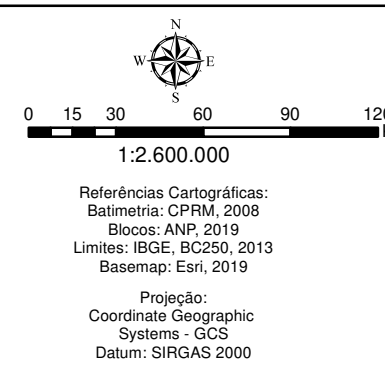
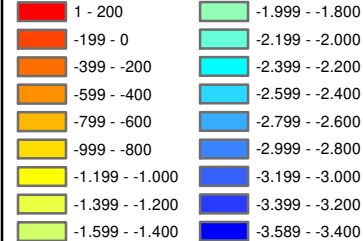


### Informações cartográficas

-  Batimetria (m)  
 Bacias marítimas  
 Acumulação de Patola  
 Bloco BM-S-40  
 Limite estadual

### Legenda

## Batimetria (m)



| TÍTULO |
|--------|
|--------|

## Estudo de Impacto Ambiental – EIA

**Atividade de Perfuração Marítima da Acumulação de Patola, Bloco BM-S-40**  
**Bacia de Santos**

### Mapa Batimétrico Regional

|                             |                       |   |                      |
|-----------------------------|-----------------------|---|----------------------|
| RESP. TÉCNICO               | EXECUÇÃO              | CLIENTE   | Nº MAPA              |
| Adriana Moreira             | <b>WITT O'BRIEN'S</b> |  | II.5.1.3 – A         |
| ASSINATURA                  | CONS. DE CLASSE       | Nº PROJETO  | Nº PROCESSO          |
|                             | - -                   | 20.07.034.09  | 02001.011412/2020-42 |
| PROJETADO POR               | DATA                  | FOLHA   | REVISÃO              |
| João Régis dos Santos Filho | Maio/2021             | 01/01   | 00                   |

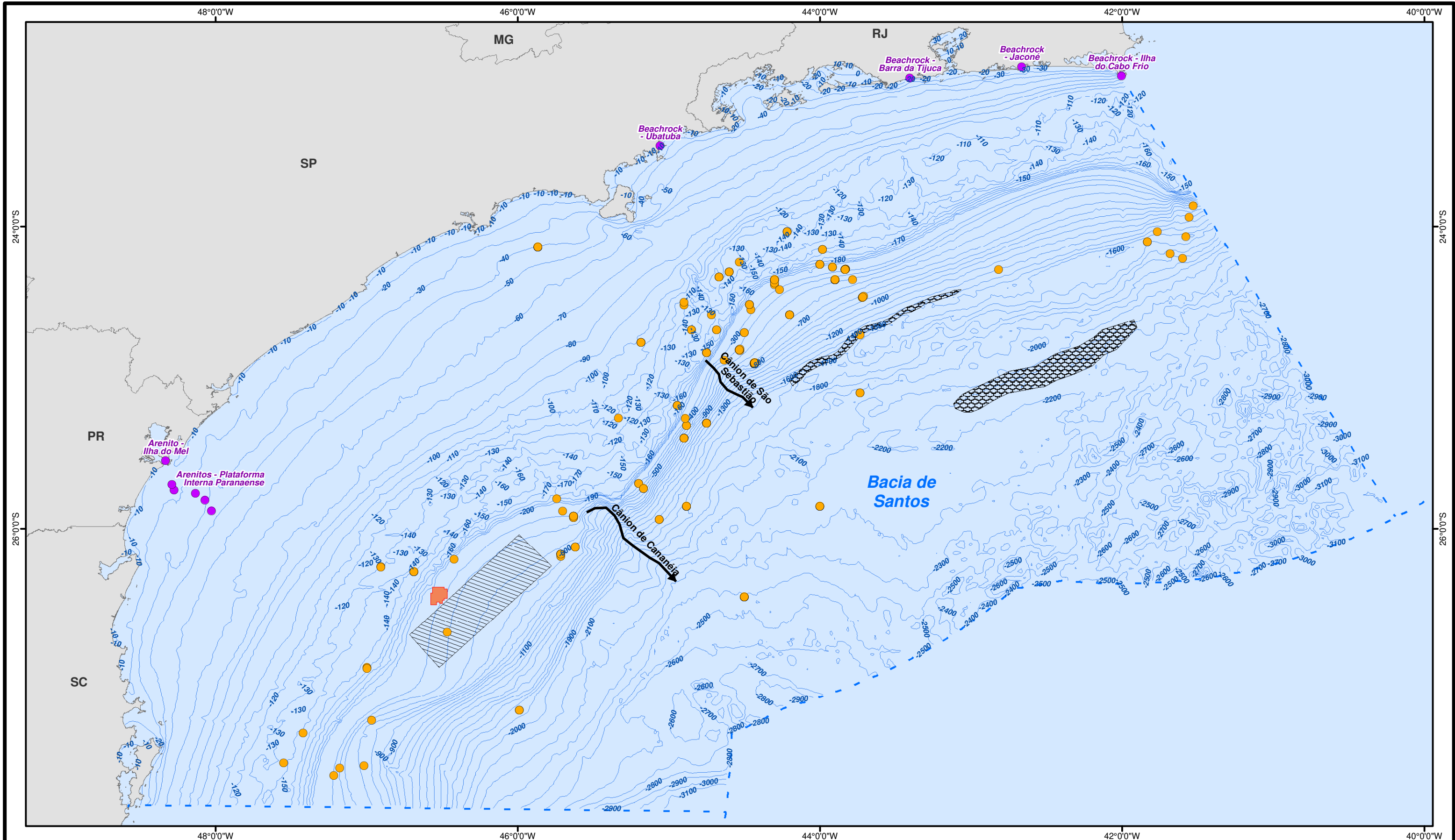
## ANEXO B – CARTA ESTRATIGRÁFICA DA BACIA DE SANTOS







## **ANEXO C – MAPA DE GEOHAZARDS REGIONAL DA BACIA DE SANTOS**



Informações cartográficas

Batimetria (m)

Bacias marítimas

Acumulação de Patola

Bloco BM-S-40

Limite estadual

Legenda

Beachrocks e arenitos

Corais de águas frias

Cânions submarinos

Contornitos

Campo de Pockmarks

Projeção:  
Coordinate Geographic Systems - GCS  
Datum: SIRGAS 2000

Fonte:  
BARBOSA et al, 2020  
BORISOV, LEVCHENKO, 2020  
CASTRO et al, 2014  
DUARTE, VIANA, 2007  
GARCIA et al, 2019  
MAHIQUES et al, 2004  
MAHIQUES et al, 2017  
MALTA et al, 2017  
MALTA et al, 2018  
MANSUR et al, 2011

0 12.5 25 50 75 100 Km

1:2.600.000

Referências Cartográficas:  
Batimetria: CPRM, 2008  
Blocos: ANP, 2019  
Limites: IBGE, BC250, 2019  
Basemap: Esri, 2019

Fonte:  
RAMOS et al, 2019  
REBESCO et al, 2014  
SANTOS et al, 2018  
SCHATTNER et al, 2018  
SILVA et al, 2014  
SIMIONI et al, 2018  
SUMIDA et al, 2004

TÍTULO

Estudo de Impacto Ambiental – EIA

Atividade de Perfuração Marítima da Acumulação de Patola, Bloco BM-S-40

Bacia de Santos

Mapa de Risco Geológico Regional

|                             |                 |              |                      |
|-----------------------------|-----------------|--------------|----------------------|
| RESP. TÉCNICO               | EXECUÇÃO        | CLIENTE      | Nº MAPA              |
| Adriana Moreira             | WITT O'BRIENS   |              | II.5.1.3 – C         |
| ASSINATURA                  | CONS. DE CLASSE | Nº PROJETO   | Nº PROCESSO          |
|                             | --              | 20.07.034.09 | 02001.011412/2020-42 |
| PROJETADO POR               | DATA            | FOLHA        | REVISÃO              |
| João Régis dos Santos Filho | Maio/2021       | 01/01        | 00                   |