



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA



DISSERTAÇÃO - MESTRADO

**Avaliação de 6 Sistemas de Reanálise Oceânicas no campo de correntes na margem continental brasileira com base nos dados do Programa Nacional de Boias - PNBOIA**

ALUNO: Felipe Galdino Silva

IDE: 121029874

Orientador: Prof. Dr. Mauro Cirano

17 de Setembro de 2025

# **Avaliação de 6 Sistemas de Reanálise Oceânicas no campo de correntes na margem continental brasileira com base nos dados do Programa Nacional de Boias - PNBOIA**

**Felippe Galdino Silva**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia do Instituto de Geociências do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPGM-IGEO-CCMN-UFRJ), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Cirano

Rio de Janeiro

17 de Setembro de 2025

# **Avaliação de 6 Sistemas de Reanálise Oceânicas no campo de correntes na margem continental brasileira com base nos dados do Programa Nacional de Boias - PNBOIA**

**Felippe Galdino Silva**

Dissertação de Mestrado submetida ao corpo docente ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia do Instituto de Geociências do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPGM-IGEO-CCMN-UFRJ), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Aprovada por:

Prof. Mauro Cirano (Ph.D)

Prof. Luiz Paulo de Freitas Assad (D.Sc)

Prof. Pedro Paulo de Freitas (D.Sc)

Rio de Janeiro

17 de Setembro de 2025

## CIP - Catalogação na Publicação

G149a Galdino Silva, Felipe  
Avaliação de 6 Sistemas de Reanálise Oceânicas no campo de correntes na margem continental brasileira com base nos dados do Programa Nacional de Boias - PNBOIA / Felipe Galdino Silva. -- Rio de Janeiro, 2025.  
81 f.

Orientador: Mauro Cirano.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, 2025.

1. REANÁLISES OCEÂNICAS. 2. ADCP. 3. PNBOIA. 4. MODELOS DE REANÁLISE. 5. CORRENTES OCEÂNICAS. I. Cirano, Mauro, orient. II. Título.

*"It's A Long Way To The Top (If You Wanna Rock 'n' Roll)"*

AC/DC

# Agradecimentos

E chega mais um fim de ciclo, mais um objetivo cumprido. O mestrado tem sido um objetivo tanto pessoal quanto profissional e acadêmico. Se hoje consigo atingir essa meta de vida, é porque tive muitas pessoas me incentivando.

Primeiramente, sempre vou (e tenho!) que agradecer às duas pessoas principais na minha vida, que tão pouco tiveram e tanto fizeram para me dar a melhor educação possível, por fomentarem meus anos de estudo e sempre fazerem o possível e impossível para. À minha mãe, Marilene, e meu pai, "seu" Vicente. Se hoje estou onde estou e sou quem sou, é porque eles me deram toda a base e força que nem eles sabiam que tinham.

Continuando, devo agradecer imensamente à pessoa que sempre me puxou para cima, me incentivou e não desistiu de mim, meu orientador, Mauro Cirano. Não foi apenas uma vez que cogitei em desistir tanto por motivos pessoais, de trabalho e até existenciais rs. Mauro sempre me questionou "Ter um mestrado é importante para você? Isso é um objetivo que te ajudará no seu trajeto?", minha resposta sempre foi, mesmo nos dias mais para baixo, "Sim! Eu quero ter um mestrado! Sei que isso vai me propiciar atingir outros objetivos que eu tenho pela frente!", em contra resposta, Mauro sempre dizia "Então vamos lá, Felipe, falta pouco! Ainda tem tempo!". Se houvesse mais professores com sua dedicação, paciência e incentivos, o ambiente acadêmico seria muito mais motivador e seguro. Muito obrigado, Mauro.

À minha companheira, Nicoli, pela paciência e compreensão nestes últimos anos,

além do incentivo diário de não desistir e continuar seguindo meus objetivos, tanto profissionais quanto pessoais.

Aos meus amigos, a família que eu escolhi, pelos incentivos e também pelos momentos de desabafo, conversas e descontração. Isso abrange minhas famílias da FURG, São Paulo e Rio de Janeiro.

Aos meus colegas de laboratório, do LOF, que de forma ou de outra, sempre estiveram disponíveis para me ajudar (e ajudaram!). À Samantha, Tayanne, Jéssica, Paula e Breno, meu muito obrigado!

Aos meus professores, aqui desde a época da FURG, UTFPR e UFRJ, pessoas que sempre admirei e que de maneira direta ou indireta, contribuíram para eu chegar neste momento. Tantos nomes para citar que não caberia nesta página, mas alguns nomes em especial merecem este espaço. Começando pelo Rodrigo Kerr, que abriu as portas do LEOC em 2013 para eu iniciar minha trajetória acadêmica, além de prover oportunidades que me ajudaram, sem dúvida, às conquistas futuras e chegar onde estou hoje. Nesta mesma linha, cito o Carlos Fujita, Maurício Mata e Zé Luís.

Aos meus colegas e amigos do CHM, iniciando pelo CT Tobias Ramalho, meu gestor direto na época em que lá trabalhei, que permitiu minhas ausências pontuais para focar nas aulas do PPGM. E a toda a equipe com quem lá trabalhei e me desenvolvi muito! Tanto como Oceanógrafo quanto profissional de Dados, além de me mostrarem os desafios rotineiros da Marinha do Brasil. "Restará sempre muito o que fazer...!"

Aos meus atuais colegas e amigos da Suzano, especialmente ao time de Inteligência de Mercado Florestal, que além de me incentivarem (e se interessarem!) na minha trajetória acadêmica, sempre foram pacientes nos momentos em que precisei me ausentar para reuniões ou no desenvolvimento de alguma entrega ou marco importante no Mestrado... Nisto eu agradeço especialmente ao meu gestor (e líder!), Bruno Polli, que possibilitou esses momentos de foco, além de sempre nos incentivar a atingirmos nossos objetivos profissionais.

E que venha um novo capítulo...

# **Avaliação de 6 Sistemas de Reanálise Oceânicas no campo de correntes na margem continental brasileira com base nos dados do Programa Nacional de Boias - PNBOIA**

**Felippe Galdino Silva**

17 de Setembro de 2025

## Resumo

Os modelos globais de reanálise oceânica são uma importante ferramenta para a compreensão e estudos dos oceanos, sendo essenciais trabalhos e estudos de avaliação destes modelos no âmbito regional. Este trabalho avaliou 6 modelos globais de reanálise oceânica em 6 pontos da margem continental brasileira, no campo de correntes, em comparação com dados observacionais coletados por ADCP's instalados nas boias do Programa Nacional de Boias (PNBOIA). Além disso, as batimetrias de cada modelo foram comparadas com o modelo global de batimetria de alta resolução ETOPO. A análise das batimetrias mostrou que todos os modelos representam bem a região da plataforma continental, assim como os padrões das isóbatas em profundidades de até 200 m, contudo, os modelos de menor resolução mostraram maiores diferenças em relação ao modelo de referência em regiões de grande gradiente topográfico e dificuldade em representar pequenas ilhas e promontórios. Para a análise do desempenho dos modelos em relação aos dados observados, utilizaram-se as métricas estatísticas de correlação de Pearson, viés, raiz do erro quadrático médio e *Skill-Score*. Como principais resultados, verificou-se que não há um único modelo que seja o melhor para todas as regiões analisadas, assim como a resolução espacial mostrou-se importante, mas não determinante para apresentar melhor desempenho. No total, 60 parâmetros foram analisados e o modelo australiano BRAN apresentou o melhor resultado em 29 ocasiões, seguido do modelo GLORYS12V1 (25 ocasiões).

Palavras chave: *reanálises oceânicas; ADCP; correntes oceânicas; modelos de reanálise; PNBOIA; skill-score; ORAS5; GLORYS2V4; C-GLOR; FOAM; BRAN; GLORYS12V1*

# Evaluation of 6 ocean reanalysis systems on the Brazilian continental margin in the current field based on (Brazilian) National Buoy Program data - PNBOIA

Felippe Galdino Silva

17<sup>th</sup> September 2025

## Abstract

Global ocean reanalysis models are an important tool for understanding and studying the oceans, making evaluation studies of these models at the regional scale essential. This study evaluated six global ocean reanalysis models at six points along the Brazilian continental margin, focusing on the current field, in comparison with observational data collected by ADCPs installed on buoys from the Brazilian National Buoy Program (PNBOIA). In addition, the bathymetry of each model was compared with the high-resolution global bathymetry model ETOPO. The bathymetric analysis showed that all models represent the continental shelf region well, as well as the isobath patterns at depths of up to 200 m; however, the lower-resolution models exhibited larger differences relative to the reference model in regions with strong topographic gradients and had difficulty representing small islands and promontories. To analyze model performance relative to the observed data, the statistical metrics of Pearson correlation, bias, root mean square error, and Skill Score were used. The main results indicate that there is no single model that performs best for all analyzed regions, and that spatial resolution proved to be important but not decisive for achieving better performance. In total, 60 parameters were analyzed, and the Australian model BRAN presented the best results in 29 instances, followed by the GLORYS12V1 model (25 instances).

Key words: *ocean reanalysis; ADCP; ocean currents; reanalysis models; PNBOIA; skill-score; ORAS5; GLORYS2V4; C-GLOR; FOAM; BRAN; GLORYS12V1*

# Conteúdo

Lista de Figuras . . . . .	xii
Lista de Tabelas . . . . .	xvii
Lista de nomenclaturas . . . . .	xx
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Contextualização . . . . .	1
1.2 Modelos de Reanálise . . . . .	4
1.3 Motivação . . . . .	4
1.4 Área de estudo . . . . .	6
1.4.1 Corrente Norte do Brasil - CNB . . . . .	8
1.4.2 Corrente do Brasil - CB . . . . .	9
1.5 Objetivos . . . . .	10
<b>2 Dados e Metodologia</b>	<b>11</b>
2.1 Dados <i>in situ</i> do Programa Nacional de Boias . . . . .	11
2.2 As Reanálises Oceânicas . . . . .	14
2.2.1 BRAN2020 . . . . .	15
2.2.2 GLORYS12V1 . . . . .	15
2.2.3 C-GLORSv5 . . . . .	16
2.2.4 ORAS5 . . . . .	16
2.2.5 GLORYS2V4 . . . . .	16

2.2.6	FOAM . . . . .	17
2.2.7	GREP . . . . .	17
2.2.8	Modelos Hidrodinâmicos . . . . .	19
2.2.9	Forçantes atmosféricas . . . . .	20
2.3	Processamento dos dados . . . . .	20
2.3.1	Controle de Qualidade . . . . .	20
2.3.2	Remoção do sinal de maré - Filtro Passa Baixa . . . . .	23
2.3.3	Análise da batimetria . . . . .	23
2.3.4	Profundidade da coluna d'água . . . . .	25
2.3.5	Rotação do sistema de coordenadas - componentes <i>along-shore</i> e <i>cross-shore</i> da velocidade . . . . .	26
2.3.6	Métricas estatísticas . . . . .	27
<b>3</b>	<b>Resultados</b>	<b>32</b>
3.1	Avaliação da batimetria . . . . .	32
3.2	Avaliação das rosas de corrente . . . . .	38
3.2.1	Ponto de Fortaleza . . . . .	39
3.2.2	Ponto de Porto Seguro . . . . .	41
3.2.3	Ponto de Cabo Frio . . . . .	44
3.2.4	Ponto de Santos . . . . .	47
3.2.5	Ponto de Itajaí . . . . .	50
3.2.6	Ponto de Rio Grande . . . . .	53
3.3	Digramas de Taylor . . . . .	56
3.4	Resumo - Métricas Estatísticas . . . . .	60
<b>4</b>	<b>Conclusões</b>	<b>65</b>
<b>A</b>	<b>Testes de Controle de Qualidade</b>	<b>77</b>
A.1	Controle de Qualidade - ADCP . . . . .	77

# Lista de Figuras

1.1	Mapa batimétrico da área de estudo com os pontos de observação das boias do PNBOIA utilizadas neste trabalho. Todas as boias foram fundeadas próximas à isóbata de 200 m (linha em negrito destacada no mapa). A batimetria foi gerada a partir dos dados do ETOPO 2022. . . . .	7
1.2	Esquema da circulação de superfície do Atlântico Sul. De Peterson e Stramma (1991) e adaptado por Cirano et al. (2006). . . . .	8
2.1	A boia do tipo Axys-3M é o principal casco utilizado no PNBOIA em regiões de mar aberto. Todos os dados utilizados neste estudo são provenientes de ADCP's instalados neste modelo de boia. . . . .	12
2.2	Período amostral de cada boia. . . . .	14
2.3	Esquema ilustrativo para a escolha do melhor ponto. O ponto em vermelho com uma cruz simboliza o ponto com as coordenadas exatas da boia sobre a grade do modelo. O ponto de grade, representado em amarelo, é o ponto do modelo mais próximo geograficamente do ponto da boia. Os pontos de grade em escala de cinza representam a isóbata (aproximadamente) de profundidade igual (ou mais próxima da) à profundidade da boia. O ponto de grade com um círculo em azul ciano representa o melhor ponto do modelo a ser usado para a comparação. . . . .	24
2.4	Esquemas de rotação demonstrando o conceito teórico (2.4a) e prático (2.4b) .	27

- 2.5 Diagrama de Taylor. A distância radial da origem (0,0) é proporcional ao desvio padrão da referência. O *CRMSE* entre o modelo e a observação é dado pela distância proporcional entre o centro da radial cinza pontilhada e o ponto do modelo, sendo a unidade a mesma do desvio padrão. Por fim, a correlação entre o modelo e a observação é dada pela posição azimutal do modelo. Neste exemplo, o ponto "Modelo" teria  $r = 0,50$ ,  $\sigma = 1,2$  e  $CRMSE = 1,1$  quando comparado com a "Observação". Adaptado de Taylor (2001). . . . . 30
- 3.1 Batimetrias de referência (ETOPO) e as diferenças entre as batimetrias dos modelos e a de referência para as regiões de Fortaleza (a - d) e Porto Seguro (e - h). A diferença negativa, em tons de azul, mostra os pontos da grade em que a profundidade é mais funda quando comparada ao ETOPO ((a) e (e)). De maneira contrária, a diferença positiva, em tons de marrom, mostra os pontos em que essa profundidade é mais rasa do que o modelo de referência. Os pontos amostrais são evidenciados com o símbolo '+' amarelo, enquanto os pontos usados para analisar os dados dos modelos são mostrados com o símbolo 'x' vermelho. A isóbata da profundidade de coleta também é destacada (tracejada em preto - ETOPO e em vermelho - modelo). Para o ponto de Fortaleza, a profundidade em que a boia esteve fundeada é de 287 m, já para Porto Seguro, 249 m. . . . . 34

- 3.2 Batimetrias de referência (ETOPO) e as diferenças entre as batimetrias dos modelos e a de referência para as regiões de Cabo Frio (a - d) e Santos (e - h). A diferença negativa, em tons de azul, mostra os pontos da grade em que a profundidade é mais funda quando comparada ao ETOPO ((a) e (e)). De maneira contrária, a diferença positiva, em tons de marrom, mostra os pontos em que essa profundidade é mais rasa do que o modelo de referência. Os pontos amostrais são evidenciados com o símbolo '+' amarelo, enquanto os pontos usados para analisar os dados dos modelos são mostrados com um 'x' vermelho. A isóbata da profundidade de coleta também é destacada (tracejada em preto considerando o modelo ETOPO e em vermelho para a batimetria do modelo). Para o ponto de Cabo Frio, a profundidade em que a boia esteve fundeada é de 222 m, já para Santos, 203 m. . . . . 35
- 3.3 Batimetrias de referência (ETOPO) e as diferenças entre as batimetrias dos modelos e a de referência para as regiões de Itajaí (a - d) e Rio Grande (e - h). A diferença negativa, em tons de azul, mostra os pontos da grade em que a profundidade é mais funda quando comparada ao ETOPO ((a) e (e)). De maneira contrária, a diferença positiva, em tons de marrom, mostra os pontos em que essa profundidade é mais rasa do que o modelo de referência. Os pontos amostrais são evidenciados com o símbolo '+' amarelo, enquanto os pontos usados para analisar os dados dos modelos são mostrados com o símbolo 'x' vermelho. A isóbata da profundidade de coleta também é destacada (tracejada em preto para o modelo ETOPO e em vermelho para a batimetria do modelo). Para o ponto de Itajaí, a profundidade em que a boia esteve fundeada é de 204 m, já para Rio Grande, 202 m. . . . . 36
- 3.4 Rosas de correntes para os dados da boia de Fortaleza (Fig. 1.1) em (a) e para os modelos de reanálise em (b) - (h), para o período de 16/11/2018 à 19/09/2019. Em (i), as séries temporais para as componentes paralelas à costa. 40

- 3.5 Climatologia dos modelos para o ponto de Fortaleza (Figs. 3.1(a-d)). A climatologia apresentada para cada modelo corresponde ao período completo de dados disponível para cada um deles, conforme detalhado na Tabela 2.2. . . . 41
- 3.6 Rosas de correntes para os dados da boia de Porto Seguro (Fig. 1.1) em (a) e para os modelos de reanálise em (b) - (h), para o período de 16/02/2016 à 19/12/2016. Em (i), as séries temporais para as componentes paralelas à costa. 43
- 3.7 Climatologias dos modelos para o ponto de Porto Seguro (Figs. 3.1(e-h)). A climatologia apresentada para cada modelo corresponde ao período completo de dados disponível para cada um deles, conforme detalhado na Tabela 2.2. . 44
- 3.8 Rosas de correntes para os dados da boia de Cabo Frio (Fig. 1.1) em (a) e para os modelos de reanálise em (b) - (h), para o período de 20/07/2016 à 01/06/2017. Em (i), as séries temporais para as componentes paralelas à costa. 46
- 3.9 Climatologias dos modelos para o ponto de Cabo Frio (Figs. 3.2(a-d)). A climatologia apresentada para cada modelo corresponde ao período completo de dados disponível para cada um deles, conforme detalhado na Tabela 2.2. . 47
- 3.10 Rosas de correntes para os dados da boia de Santos (Fig.1.1) em (a) e para os modelos de reanálise em (b) - (h), para o período de 12/04/2011 à 15/05/2012. Em (i), as séries temporais para as componentes paralelas à costa. . . . . 49
- 3.11 Climatologias dos modelos para o ponto de Santos (Figs. 3.2(e-h)). A climatologia apresentada para cada modelo corresponde ao período completo de dados disponível para cada um deles, conforme detalhado na Tabela 2.2. . . . 50
- 3.12 Rosas de correntes para os dados da boia de Itajaí (Fig. 1.1) em (a) e para os modelos de reanálise em (b) - (h), para o período de 17/02/2011 à 03/10/2012. Em (i), as séries temporais para as componentes paralelas à costa. . . . . 52
- 3.13 Climatologias dos modelos para o ponto de Itajaí (Figs. 3.3(a-d)). A climatologia apresentada para cada modelo corresponde ao período completo de dados disponível para cada um deles, conforme detalhado na Tabela 2.2. . . . 53

- 3.14 Rosas de correntes para os dados da boia de Rio Grande (Fig. 1.1) em (a) e para os modelos de reanálise em (b) - (h), para o período de 15/09/2017 à 30/12/2018. Em (i), as séries temporais para as componentes paralelas à costa. 55
- 3.15 Climatologias dos modelos para o ponto de Rio Grande (Figs. 3.3(e-h)). A climatologia apresentada para cada modelo corresponde ao período completo de dados disponível para cada um deles, conforme detalhado na Tabela 2.2. . 56
- 3.16 Diagramas de Taylor para as componentes paralelas à costa dos dados observados e modelados. Todos os dados foram normalizados pelo desvio padrão dos dados observados, desta forma o desvio padrão dos valores observados fica centrado em  $DP = 1$  no eixo x. . . . . 59
- 3.17 Gráfico de Radar ilustrando o *skill score* para cada modelo, em cada ponto analisado para a componente paralela à costa. O centro do hexágono representa  $S = 0$ , enquanto cada vértice representa  $S = 1$  para o ponto sinalizado. . . . 64

# Lista de Tabelas

2.1	Detalhamento das boias PNBOIA. . . . .	13
2.2	Detalhamento dos modelos de reanálises. . . . .	18
2.3	<i>Flags</i> do Controle de Qualidade. . . . .	21
2.4	Testes de Controle de Qualidade aplicados aos dados brutos de ADCP. . . . .	22
2.5	Profundidades consideradas para cada modelo. . . . .	25
3.1	Ângulos referentes à isóbata de cada boia em relação à componente $v$ . . . . .	38
3.2	Resultados das métricas de comparação para cada modelo (FO - Fortaleza, PS - Porto Seguro, CF - Cabo Frio, SA - Santos, IT - Itajaí, RG - Rio Grande). Os valores dos desvios padrão das observações são mostrados em cada componente para cada localidade para referência de comparação. São destacados em tom de verde o melhor resultado dentre os modelos para a métrica avaliada, assim como destacados em tom de vermelho o modelo com o pior resultado. Para o modelo por conjunto GREP, o resultado é sublinhado em verde quando a sua métrica mostrou-se superior aos modelos GLORYS2V4, C-GLOR e ORAS5. Da mesma maneira, encontra-se sublinhado em vermelho quando apresenta o pior resultado. . . . .	63
A.1	Testes e <i>flags</i> do teste de velocidade de corrente. . . . .	77
A.2	Testes e <i>flags</i> do teste de continuidade. . . . .	78
A.3	Testes e <i>flags</i> do teste de continuidade. . . . .	78

---

A.4	Testes e <i>flags</i> do teste de taxa de mudança em $\mathbf{u}$ e $\mathbf{v}$ . . . . .	79
A.5	Testes e <i>flags</i> do teste de <i>spikes</i> . . . . .	80
A.6	Testes e <i>flags</i> do teste de gradiente de corrente. . . . .	81

# Lista de Símbolos e Nomenclatura

ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler
BRAN	Bluelink Reanalysis
CB	Corrente do Brasil
CMCC	Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici
CMEMS	Copernicus Monitoring Environment Marine Service
CNB	Corrente Norte do Brasil
CQ	Controle de Qualidade
CSE	Corrente Sul Equatorial
CSIRO	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
GLORYS	Global Ocean Reanalysis and Simulation
GREP	Global Reanalysis Ensemble Product
IOOS	Integrated Ocean Observing System
NCEI	National Centers for Environmental Information
NCODA	3D-Var Navy Coupled Ocean Data Assimilation

NDBC	National Data Buoy Center
NOAA	National Oceanic and Atmosphere Administration
OAS	Oceano Atlântico Sul
OFAM3	Ocean Forecasting Australian Model
ORAS	Ocean Reanalysis System
PNBOIA	Programa Nacional de Boias
QARTOD	Quality Assurance/Quality Control of Real-Time Oceanographic Data
RMSE	Roots Mean Square Error

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Contextualização

Os oceanos possuem um papel essencial na manutenção do sistema climático, consequentemente nos ecossistemas marinhos e terrestres e na economia global. Cobrindo mais de 70% da superfície do planeta, os oceanos se tornam os maiores responsáveis pelo armazenamento e transporte de calor, através das correntes oceânicas (Grassl, 2001), sendo essenciais para a vida terrestre. No contexto econômico, diversas atividades estão relacionadas diretamente com os oceanos, tal como a pesca, logística e a indústria de óleo e gás. Além disso, há também atividades em pleno crescimento e consideradas emergentes no meio marinho, tal como a aquacultura marinha, indústrias eólicas *offshore* e de energia renovável (OECD, 2016). Com isso, é essencial a constante observação dos oceanos, não somente para compreender suas propriedades e dinâmica, mas também para monitorar as mudanças provenientes do clima (Gould et al., 2013), consequentemente os possíveis impactos na sociedade, economia e meio ambiente.

Segundo Stocker (2013), uma compreensão quantitativa dos oceanos é suportada por três pilares: (i) uma cobertura global de observações dos oceanos, *in situ* e remotas, (ii) entendimento teórico dos processos oceânicos assim como sua interação com os outros com-

ponentes do sistema terrestre e (iii) a capacidade de simular as condições dos oceanos e do clima no tempo passado, presente e futuro, utilizando modelos físico-biogeoquímicos.

Porém, há grandes desafios de se manter um sistema de observação *in situ* dos oceanos, tanto técnicos quanto logísticos. Tais sistemas normalmente devem ser instalados em regiões de mar aberto, longe da costa e em um ambiente que é naturalmente corrosivo (Gould et al., 2013). Além disso, para o estudo e compreensão de fenômenos de variabilidade de meso e larga escala, é necessária a coleta de uma longa série de dados que cubram uma grande área. Tais aspectos fazem a oceanografia operacional demandar um planejamento de longo prazo para manutenções recorrentes, envolvendo então embarcações de médio a grande porte, recursos humanos capacitados para tais atividades e recursos financeiros para custear não somente as atividades de logística e manutenção, mas também eventuais substituições de instrumentos a bordo desses sistemas. Com o objetivo e necessidade da coleta de uma série de dados contínua e quase ininterrupta, manutenções não planejadas também se tornam rotineiras em tais atividades, quando, por exemplo, é detectada uma falha em um sensor de uma boia meteoceanográfica, seja de causas naturais (ambiente corrosivo, tempo severo) ou, em situações mais extremas, casos de vandalismo (Teng et al., 2009; PNBOIA, 2022). Contudo, tais limitações logísticas para observação *in situ* têm sido superadas ao longo dos últimos anos com o desenvolvimento de novas tecnologias embarcadas e sistemas de observação autônomos.

Dentro deste contexto e de forma cronológica, há o surgimento do projeto ARGO nos anos 2000, que é derivador e perfilador autônomo da coluna d'água, coletando informações de temperatura, pressão e salinidade (Roemmich et al., 2009). Esses perfiladores possuem uma maior independência de manutenção após seu lançamento no oceano, tendo autonomia média de bateria de 5 anos. Os dados coletados são transmitidos via satélites em ciclos de 10 dias. O funcionamento de um ARGO baseia-se em um mergulho da superfície até aproximadamente 1000 metros de profundidade, onde se estabiliza e fica totalmente à deriva das correntes, durante 9 dias, sendo possível desta forma determinar não só a intensidade

e direção de correntes, mas também perfis de temperaturas e salinidade ao longo da coluna d'água. Outro tipo de instrumento oceanográfico que foi desenvolvido nos anos 2000, mas que se popularizou fortemente a partir de 2010 foram os veículos subaquáticos autônomos (*Autonomous Underwater Vehicle - AUV*), como gliders (Rudnick et al., 2004), que funcionam de maneira similar aos ARGO, porém com a possibilidade de carregar mais sensores e também o controle remoto, permitindo ao operador definir os parâmetros de mergulho, onde e o que amostrar e a frequência desta amostragem. Por fim, idealizadas no mesmo período dos gliders e se popularizando mais recentemente, há as Embarcações de Superfície Não Tripuladas (*Uncrewed Surface Vessels - USV's*) (Manley, 2008), que são embarcações de pequeno porte sem tripulação, carregando apenas os instrumentos de coleta dos parâmetros tanto oceanográficos quanto atmosféricos.

Os avanços não são exclusivos para sistemas de observação *in situ*, mas sistemas remotos também. A oceanografia por satélites transformou a compreensão da dinâmica dos oceanos, permitindo o monitoramento global e contínuo de várias propriedades físicas da superfície do mar através de sensores a bordo de satélites, como por exemplo as missões Topex/Poseidon e Jason (altura da superfície do mar), AVHRR e MODIS (temperatura do mar) e ASCAT (ventos de superfície) (Robinson, 2010). Além de satélites, há o uso de radares de alta frequência para a estimativa de correntes superficiais oceânicas (Paduan & Washburn, 2013; Oke et al., 2015). Apesar das inovações e avanços na instrumentação, seja para coleta remota ou *in situ*, as limitações financeiras, logísticas e de recursos humanos persistem, em maior ou menor grau, para o uso de tais instrumentos, manutenção e lançamentos. Ainda assim, não há como ter totalidade na visão espacial e temporal dos oceanos por meio de instrumentos. Desta forma, os modelos de reanálise se tornam uma importante ferramenta para a compreensão dos oceanos, suas propriedades e seus fenômenos.

## 1.2 Modelos de Reanálise

Reanálises oceânicas são modelos gerados a partir da combinação de modelos oceânicos, modelos de forçantes atmosféricas e de dados observados (através de medições *in situ* e de sensoriamento remoto). Todos esses dados são processados através de métodos de assimilação de dados e, uma vez combinados, esses modelos possuem o potencial de fornecer informações mais confiáveis do estado dos oceanos quando comparados somente com dados provenientes de modelos numéricos ou de observações pontuais (Balmaseda et al., 2015).

Ao longo dos últimos anos, a qualidade e performance dos modelos de reanálise aumentaram significativamente, graças à: (i) melhor resolução de modelos numéricos, (ii) melhores formulações físicas, (iii) melhores modelos de reanálise de forçantes atmosféricas, (iv) maior quantidade e melhores controles de qualidade de dados *in situ* e (v) avanços nos métodos de assimilação de dados (Storto et al., 2019). Destacam-se aqui as inovações em sistemas de observação, *in situ* e remoto citados anteriormente, como importantes fontes de informações para assimilação em tais modelos, destacando principalmente dados do projeto ARGO e dados de satélite.

## 1.3 Motivação

Apesar dos grandes avanços nos modelos mais modernos de reanálises globais, é essencial uma avaliação crítica de tais modelos através de dados observados disponíveis (Castillo-Trujillo et al., 2023). Em escala global, estudos que avaliaram modelos de reanálises contra dados observados mostraram maiores diferenças em regiões costeiras, correntes de contorno oeste e oceano profundo (Ryan et al., 2015; Balmaseda et al., 2015; Karspeck et al., 2017; Palmer et al., 2017; Toyoda et al., 2017; Storto et al., 2017; Valdivieso et al., 2017).

Também há importantes estudos em escalas regionais, tal como Oke et al. (2012) e Di-

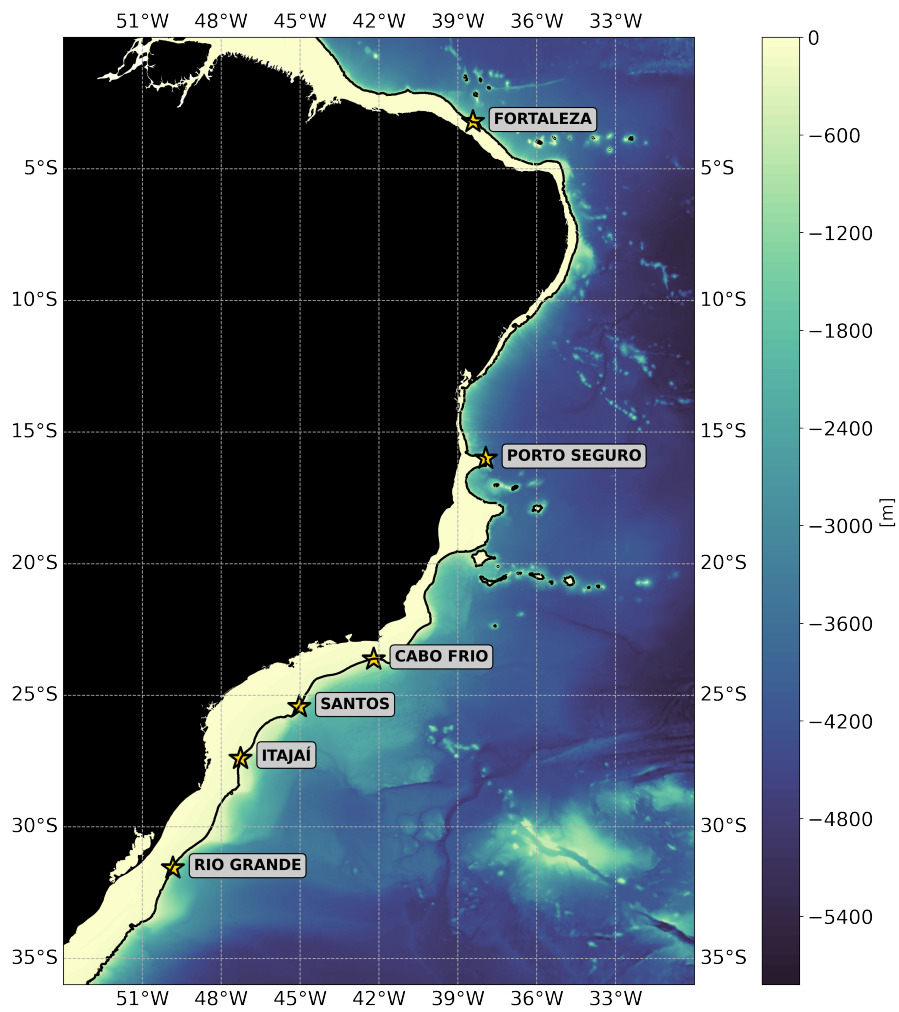
vakaran et al. (2015) em águas australianas, em que realizaram uma análise comparativa de vários modelos de reanálise, identificando os parâmetros que são melhores representados, assim como os com maiores erros. de Souza et al. (2021) analisam quatro modelos globais em torno da Nova Zelândia, identificando erros importantes nos campos de temperatura e salinidade nas regiões costeiras, além de identificar que os modelos não conseguiram representar de maneira realística os processos de correntes costeiras. Chi et al. (2018) mostram o desempenho de 13 modelos de reanálise, de várias resoluções, na região da Corrente do Golfo, identificando os melhores produtos, assim como limitações e erros comuns de todos os modelos em áreas específicas. Já com foco em sistemas ou feições mais específicas, Russo et al. (2022) analisaram 3 modelos nas principais feições oceanográficas da África do Sul, mostrando que os modelos possuem a capacidade de reprodução dos sistemas de corrente de contorno leste e oeste, porém ainda com limitações individuais. Amaya et al. (2023), com foco no Sistema da Corrente da Califórnia, compararam 3 modelos, verificando que os mais resolutos possuem uma boa capacidade de reprodução de parâmetros costeiros, como nível do mar e temperatura de fundo ao longo da plataforma continental, sugerindo que estes dois modelos podem ser usados para compreender melhor as feições de menor escala neste sistema nas últimas décadas. Por fim, Castillo-Trujillo et al. (2023) analisaram 8 modelos na região de plataforma continental ao nordeste dos Estados Unidos, identificando erros comuns em todos eles em algumas áreas, inclusive menor performance no verão quando comparada ao inverno, e apontando, dentre outros fatores, a batimetria local como um dos fatores críticos para a diferença de performance entre as reanálises.

No caso do Brasil, apesar da vasta costa e a presença de programas de observação já consolidados e bem estruturados (ex.: PNBOIA, PIRATA), ainda há uma carência de estudos específicos para uma avaliação de tais produtos e seu desempenho em águas costeiras, mesmo com a pouca disponibilidade de dados observacionais. Sendo assim, torna-se fundamental uma avaliação detalhada dos principais sistemas de reanálises atuais em relação aos dados observados, identificando os principais modelos que podem ser usados com maior

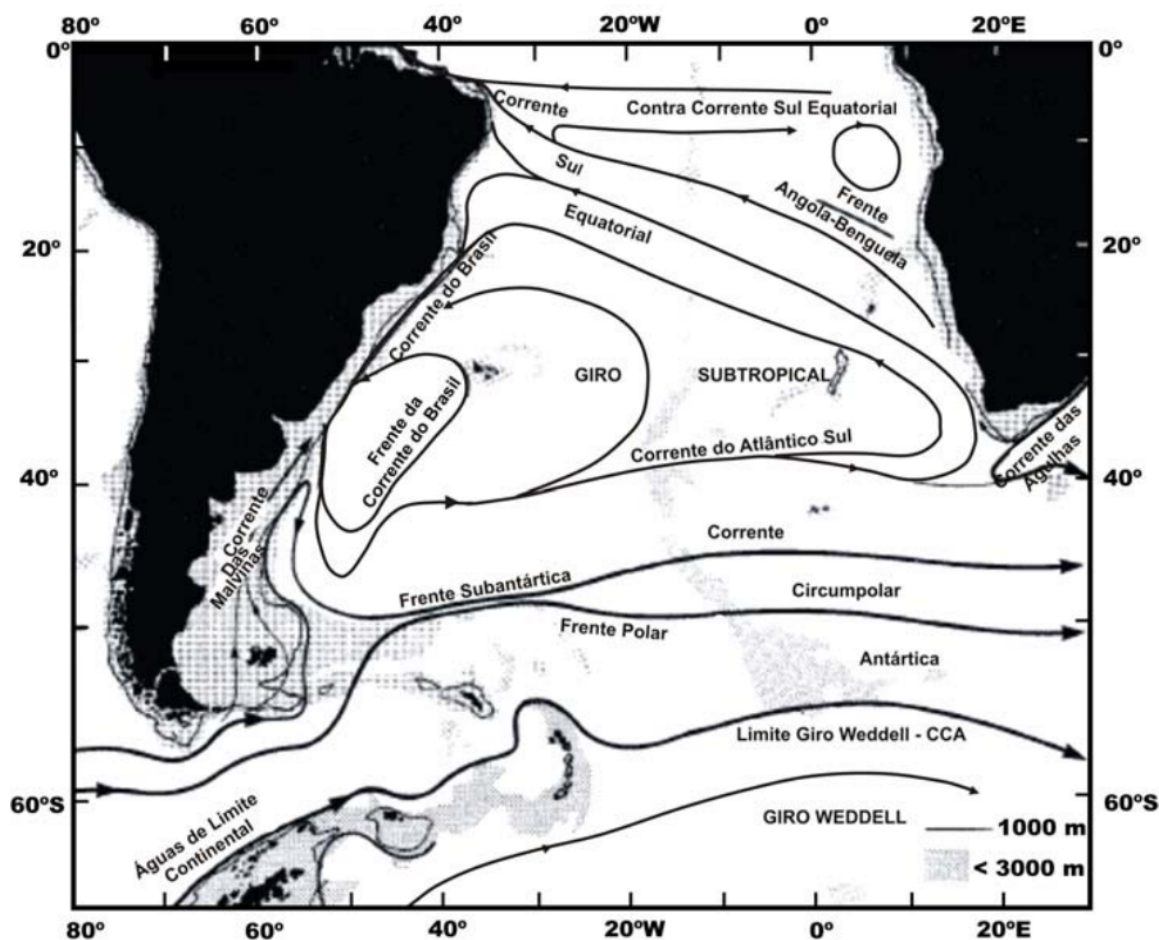
confiabilidade, assim como potenciais pontos de melhorias nestes sistemas.

## 1.4 Área de estudo

Os pontos amostrais para este estudo estão localizados ao longo do início da quebra da plataforma continental (na isóbata de 200 m) da costa brasileira, sendo o seu ponto mais ao sul localizado na latitude de 32°S, na altura da cidade de Rio Grande, e o seu ponto mais ao norte localizado na latitude 3°S, acima da cidade de Fortaleza. A Figura 1.1 ilustra o ponto de localização das boias utilizadas e a Figura 1.2 contempla um esquema da circulação superficial do Oceano Atlântico Sul (OAS), seguido de uma breve explicação sobre a circulação.



**Figura 1.1:** Mapa batimétrico da área de estudo com os pontos de observação das boias do PNBOIA utilizadas neste trabalho. Todas as boias foram fundeadas próximas à isóbata de 200 m (linha em negrito destacada no mapa). A batimetria foi gerada a partir dos dados do ETOPO 2022.



**Figura 1.2:** Esquema da circulação de superfície do Atlântico Sul. De Peterson e Stramma (1991) e adaptado por Cirano et al. (2006).

O espaço amostral contempla as 2 principais correntes de contorno na costa brasileira. A Corrente do Brasil (CB) e a Corrente Norte do Brasil (CNB). Ambas correntes são resultantes da bifurcação da Corrente Sul Equatorial (CSE), na região próxima ao equador (Silveira et al., 1994; Stramma & England, 1999; Talley et al., 2011).

### 1.4.1 Corrente Norte do Brasil - CNB

A CNB é uma intensa corrente de contorno oeste, tendo sua origem por volta de 10°S e flui em direção ao equador até a região de sua retroflexão, entre 4°N e 10°N, onde há liberação de anéis anticiclônicos que fluem em direção ao nordeste ao longo da plataforma continental (Silveira et al., 1994), alimentando a Contra-Corrente Norte Equatorial (CCNE). Tais

anéis possuem um papel importante no transporte meridional de massas de água quente nas camadas superiores do Oceano Atlântico (OA), sendo parte da Circulação Meridional Termohalina (Silveira et al., 1994). A circulação atmosférica predominante nesta região é de ventos alísios, vindos principalmente da direção nordeste e sudeste (de Freitas Assad et al., 2020).

### 1.4.2 Corrente do Brasil - CB

A CB é a corrente de contorno oeste do Giro Subtropical do Atlântico Sul, tendo sua origem em torno de 10°S a 15°S, região da bifurcação da CSE (Silveira et al., 1994; Silveira et al., 2000). É a principal corrente de contorno oeste do OAS, chegando à profundidade máxima de 700 m, fluindo até a latitude aproximada de 36°S, região em que se encontra com a Corrente das Malvinas, conhecida como Confluência Brasil-Malvinas, e por volta de 38°S, o transporte principal começa a fluir para o Leste, fluxo que é denominado como a Corrente do Atlântico Sul (Talley et al., 2011).

A CB é uma corrente considerada rasa, apresentando muitas vezes o seu eixo de corrente em profundidades mais rasas do que a isóbata de 200 m (Tomczak & Godfrey, 1994). Logo em sua origem, a CB flui para o sul por uma camada superficial com espessura de até 200 m, com uma velocidade máxima de superfície estimada em  $0,71 \text{ m.s}^{-1}$  (Silveira et al., 2000) até que, em cerca de 20°S, recebe um aporte adicional de volume proveniente da Bifurcação da Corrente Sul Equatorial (BiCSE), aumentando sua espessura para aproximadamente 500 m de profundidade (Silveira et al., 2000). Conforme a CB flui para o sul, ela apresenta uma intensa variabilidade de mesoescala (Mill et al., 2015), desenvolvendo meandros que podem se fechar eventualmente, originando vórtices (Signorini, 1978). Essas feições são observadas na região do largo de Vitória, do Cabo de São Tomé, de Cabo Frio e da Baía de Santos. Nesta região, a CB recebe um novo incremento em seu volume, aumentando sua espessura para até aproximadamente 1000 m (Müller et al., 1998, Strama 1999).

## 1.5 Objetivos

Este estudo possui como objetivo geral o melhor entendimento do desempenho e da eficiência dos modelos de reanálise oceânica selecionados em reproduzir os primeiros 75 metros de correntes superficiais em localidades específicas da costa brasileira. Tal entendimento será feito com a comparação de dados modelados com séries históricas de dados *in-situ* coletados pelo Programa Nacional de Boias (PNBOIA).

Como objetivos específicos, este estudo propõe:

1. A comparação da batimetria de cada modelo de reanálise com o modelo global de batimetria ETOPO, compreendendo as possíveis consequências da diferença de batimetria com os resultados;
2. A avaliação individual de cada modelo perante os dados observados através da análise de rosas do corrente e das séries temporais;
3. Identificar quais modelos possuem o melhor desempenho para cada região analisada utilizando correlação de Pearson, viés, raiz do erro quadrático médio e *skill-score*.

# Capítulo 2

## Dados e Metodologia

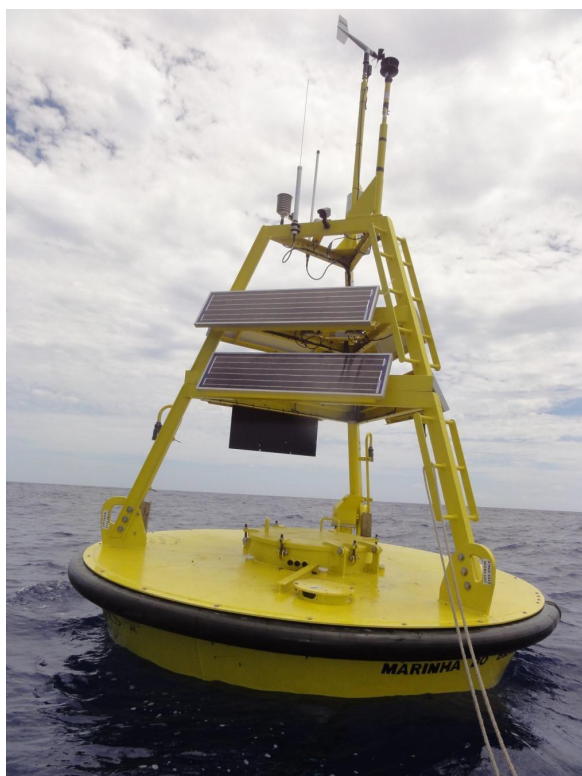
Neste capítulo, serão apresentados os conjuntos de dados utilizados neste estudo, tal como a metodologia seguida para o atingimento dos objetivos. Inicialmente, na seção 2.1 são apresentados brevemente o Programa Nacional de Boias (PNBOIA) e a sua metodologia de coleta de dados, já na seção 2.2 é apresentado cada um dos modelos usados neste estudo. Já na seção 2.3 é explicado o processamento aplicado aos dados e por fim, na seção 2.3.6, as métricas estatísticas são explicadas.

### 2.1 Dados *in situ* do Programa Nacional de Boias

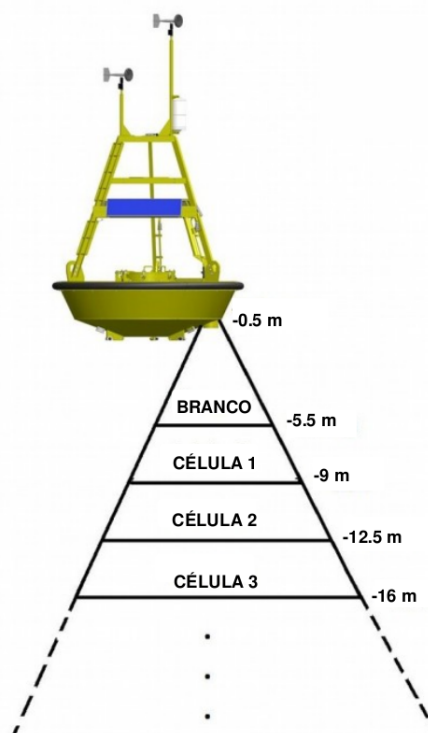
O Programa Nacional de Boias (PNBOIA) é um programa de monitoramento das condições meteoceanográficas da costa brasileira sob a responsabilidade da Marinha do Brasil, tendo sua primeira boia sido lançada em Agosto de 2000 (PNBOIA, 2023). O programa é uma iniciativa brasileira para contribuir com o *Global Ocean Observing System* (GOOS) com a coleta e divulgação de dados em tempo quase real não somente para comunidade científica, mas também para outros setores importantes da sociedade, como defesa civil, indústria de óleo e gás e segurança da navegação. De acordo com o Plano Nacional de Trabalho do programa (Marinha do Brasil, s.d.), os principais objetivos do programa são: (i) manter uma

rede de boias meteoceanográficas de fundeio, (ii) manter uma rede de boias de deriva, (iii) ampliar a sua rede de coleta de dados a partir da necessidade de coleta de dados e (iv) operacionalizar um sistema de transmissão, processamento e divulgação de dados.

As boias de fundeio do programa são equipadas com diversos sensores meteorológicos e oceanográficos, tais como higrotermógrafos, anemômetros, ondógrafos e correntômetros. Neste estudo, os dados *in situ* utilizados são provenientes dos correntômetros (*Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP)) destas boias. A Figura 2.1a mostra uma das boias do PN-BOIA em operação e um esquema da configuração padrão do ADCP é mostrada na Figura 2.1b.



(a) Boia meteoceanográfica da fabricante Axys, 3M, operada pelo Centro de Hidrografia da Marinha, da Marinha do Brasil.



(b) Configuração do intervalo entre as células de medição de um ADCP do PNBOIA.

**Figura 2.1:** A boia do tipo Axys-3M é o principal casco utilizado no PNBOIA em regiões de mar aberto. Todos os dados utilizados neste estudo são provenientes de ADCP's instalados neste modelo de boia.

As boias do programa são equipadas com um ADCP de 400 kHz, sendo estes montados no casco da boia, à uma profundidade de 0,5 m. Todos os ADCP's neste estudo foram configurados no mesmo padrão: possuem um *blank distance* (distância entre o ADCP e o

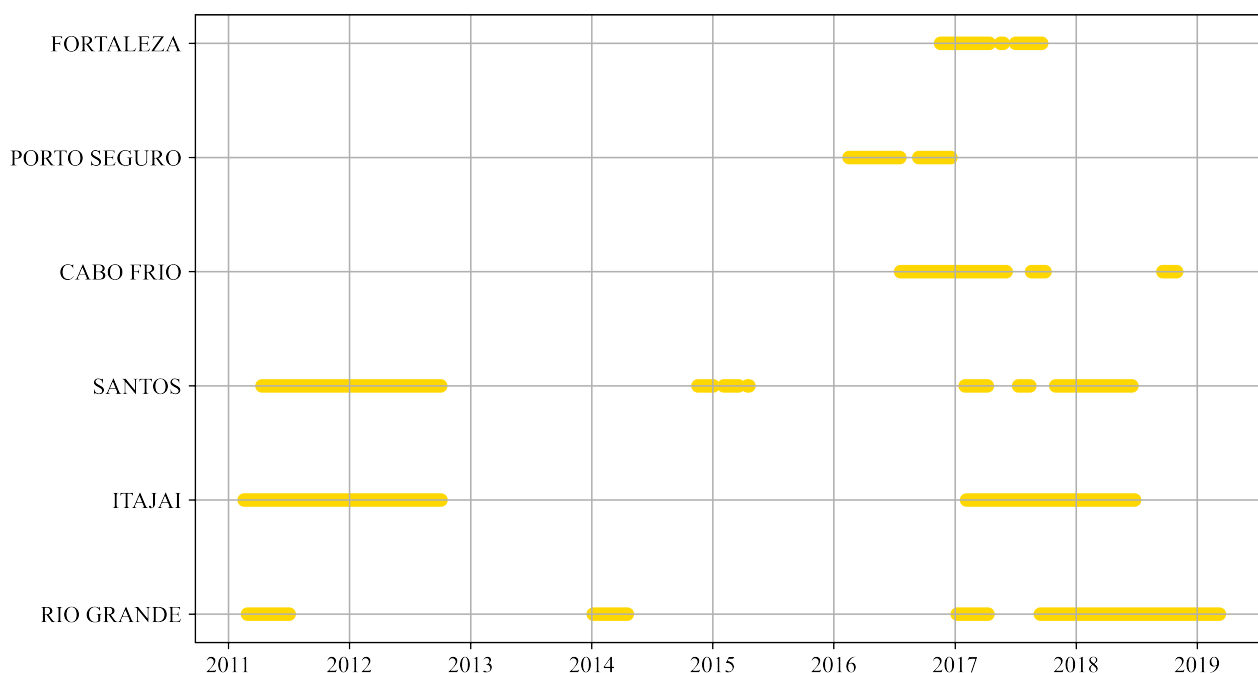
início da primeira célula) de 5 m, sendo que o intervalo entre células é de 3,5 m, em um total de 20 células. Desta forma, os dados coletados pelo ADCP representam os primeiros 75 m da coluna d'água. Os dados são disponibilizados para os 20 níveis como *velocidade\_corrente*, em  $mm.s^{-1}$ , e *direção\_corrente*, em  $^{\circ}(graus)$ , para cada hora. Todos os 20 níveis foram usados neste estudo.

Os detalhes de cada boia, como localização e período de funcionamento, são mostrados na Tabela 2.1. Todos os ADCP's foram instalados em boias fundeadas à uma profundidade próxima à isóbata de 200 m. As linhas do tempo das observações por ADCP são ilustradas na Figura 2.2.

**Tabela 2.1:** Detalhamento das boias PNBOIA.

Boia	Posição	Período de Operação*
<b>Fortaleza</b>	03°12,82'S 38°25,95'W	18/11/2016 19/09/2017
<b>Porto Seguro</b>	16°00,05'S 37°56,42'W	16/02/2016 19/12/2016
<b>Cabo Frio</b>	23°37,79'S 42°12,17'W	20/07/2016 31/10/2018
<b>Santos</b>	25°26,37'S 45°02,17'W	12/04/2011 18/06/2018
<b>Itajaí</b>	27°24,35'S 47°15,93'W	17/02/2011 26/06/2018
<b>Rio Grande</b>	31°33,74'S 49°50,24'W	27/02/2011 09/03/2019

\*Primeiro e último dado da coleta de dados de corrente por ADCP de toda a série histórica.



**Figura 2.2:** Período amostral de cada boia.

Para a verificação da qualidade e integridade dos dados, foram utilizados os dados brutos disponibilizados de cada ADCP.

## 2.2 As Reanálises Oceânicas

Para este estudo, modelos globais de reanálise oceânica foram considerados, tendo como critério sua disponibilização de forma pública (dados abertos) e possuir resultados para o mesmo período de todas as séries de observações (neste contexto, vale observar que o modelo GOFS3.1 (HYCOM), amplamente usado em trabalhos que usam modelos de reanálise, não foi incluído neste estudo, pois o produto de reanálise foi descontinuado a partir de 2016). Como esses produtos normalmente possuem versões diferentes (mudanças de forçantes atmosféricas, dados assimilados, etc), optou-se por analisar somente a versão mais atual de cada modelo. Desta forma, foram coletados ao todo resultados de seis modelos de reanálise oceânica, além de um modelo por conjunto, desenvolvido a partir da combinação de três desses modelos. A Tabela 2.2 detalha as principais características de cada modelo,

assim como um breve resumo é dado nesta seção. Os modelos apresentados são ou *eddy-resolving* ou *eddy-permitting*, ou seja, possuem uma resolução suficiente para incorporar as feições de mesoescala.

### 2.2.1 *BRAN2020*

O modelo BRAN2020 é a versão mais recente do modelo australiano *Bluelink ReAnalysis* (sendo 2020 o ano em que a configuração desta última versão foi finalizada) (Chamberlain et al., 2021b), sendo a acurácia desta versão muito superior à das versões anteriores, pois um dos diferenciais é a adoção da técnica de assimilação de dados de multiescala (Chamberlain et al., 2021a), que consiste na separação dos fenômenos de larga escala do oceano das de mesoescala. Um outro importante diferencial foi na abrangência na assimilação de dados observados, na qual, diferentemente das outras versões, inclui dados coletados por boias, cruzeiros de pesquisa e sensores instalados em mamíferos marinhos (Chamberlain et al., 2021b).

Como modelo base para esta reanálise, é usado o *Ocean Forecasting Australian Model*, versão 3 (OFAM3) (Oke et al., 2013), possuindo como forçante atmosférica o JRA-55 (Kobayashi et al., 2015).

### 2.2.2 *GLORYS12V1*

Desenvolvido pela *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS), o modelo GLORYS12V1 é um sistema de reanálise oceânica eddy-resolving (Drévillon et al., 2022). Possui como componente oceânica o NEMO, que por sua vez possui como forçante atmosférica o ERA-Interim. De maneira geral, o GLORYS12V1 mostrou possuir uma capacidade de capturar os sinais de variabilidade interanual nos oceanos e no gelo marinho, circulação geral e as dinâmicas entre bacias (Lellouche et al., 2021).

Os próximos quatro modelos possuem como características em comum o modelo NEMO sendo usado como componente oceânica, assim como o modelo ERA-Interim, do

*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), como forçante atmosférica. Algumas das especificidades de cada modelo são descritas a seguir.

### 2.2.3 C-GLORSv5

Esta reanálise foi desenvolvida pelo instituto italiano *Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici* (CMCC), o qual originou o nome deste produto (CMCC - *Global Ocean Reanalysis System* - (C-GLORS)). Este modelo encontra-se na quinta versão, com uma melhor resolução ( $0,25^\circ$ ) que seus predecessores e com uma maior gama de dados assimilados (Storto & Masina, 2016), além de singelas modificações na metodologia de assimilação dos dados, as quais todas foram demonstradas como positivas por Storto (2016), onde mostra a importância do uso de um controle de qualidade de dados *in situ* para a assimilação de dados por modelos de reanálise.

### 2.2.4 ORAS5

O *Ocean ReAnalysis System 5* (ORAS5) é um modelo desenvolvido pela ECMWF, sendo esta a quinta versão do modelo com melhoras significativas em relação às versões anteriores, assim como uma melhor resolução espacial ( $0,25^\circ$ ). Um dos avanços importantes nesta versão é a implementação de um novo esquema genérico de geração de perturbação nas forçantes oceânicas e atmosféricas, o que, resumidamente, permite uma maior amostragem de observações durante a geração de perturbação no modelo (Zuo et al., 2018).

### 2.2.5 GLORYS2V4

O modelo GLORYS2V4 é a quarta versão do modelo GLORYS2 (*Global Ocean Reanalysis and Simulation*) e antecessor do modelo GLORYS12V1. O projeto GLORYS é resultante da necessidade de uma descrição mais realista do estado dos oceanos e suas variabilidades durante as últimas décadas, tanto em uma escala global quanto regional (Garric & Parent, 2018). Este modelo possui uma assimilação de dados baseada em um filtro Kalman de or-

dem reduzida (SEEK) e uma atualização de análise incremental, junto com um esquema de correção de viés de temperatura e salinidade (Garric & Parent, 2018).

### 2.2.6 FOAM

O *Forecast Ocean Assimilation Model* (FOAM) é um modelo operacional de análise e previsão desenvolvido pela *Met Office* (Blockley et al., 2014). A configuração é baseada no modelo oceânico ORCA025 e possui como modelo de assimilação de dados o NEMOVAR, um modelo de multivariada *3D-Var*. Nesta configuração, as variâncias dos erros do background para temperatura e salinidade são especificadas como uma combinação dos erros estatísticos e da parametrização vertical, o que permite erros dependentes do fluxo enquanto incorpora informações climatológicas (Blockley et al., 2014).

### 2.2.7 GREP

Por fim, um último produto também é explorado neste estudo, um modelo por conjunto resultante do pós-processamento de três modelos descritos anteriormente (C-GLORS, GLORYS2V4, ORAS5), denominado como *Global Ocean Reanalysis Ensemble Product* (GREP) e desenvolvido pela CMEMS. A proposta deste produto é prover informações mais precisas (mais próximas de dados observados) e com maior concordância com modelos físicos (Gounou et al., 2023), isso porque um modelo por conjunto pode reduzir o erro sistemático dos modelos individuais através da média multi-modelo, podendo prover valores mais realistas do que um único modelo.

**Tabela 2.2:** Detalhamento dos modelos de reanálises.

<b>Modelo</b>	<b>Instituição</b>	<b>Resolu- ção Espacial</b>	<b>Resolu- ção Tempo- ral</b>	<b>Níveis</b>	<b>Disponibili- dade</b>	<b>Compo- nente Oceânica</b>	<b>Forçante Atmosférica</b>	<b>Referências</b>
<b>GLORYS12V1</b>	CMEMS	0,08°	DIÁRIO	50	1992-12-31 2020-12-30	NEMO3.1	ERA- Interim	Lellouche et al. (2021)
<b>GLORYS2V4</b>	MERCATOR OCÉAN	0,25°	DIÁRIO	75	1992-12-31 2020-12-30	NEMO3.1	ERA- Interim	Garric e Parent (2018)
<b>FOAM</b>	UK MET OFFICE	0,25°	DIÁRIO	75	1992-12-31 2020-12-30	NEMO3.4	ERA- Interim	Blockley et al. (2014)
<b>C-GLORS</b>	CMCC	0,25°	DIÁRIO	75	1992-12-31 2020-12-30	NEMO3.4	ERA- Interim	Storto e Masina (2016)
<b>ORAS5</b>	ECMWF	0,25°	DIÁRIO	75	1992-12-31 2020-12-30	NEMO3.4.1	ERA- Interim	Zuo et al. (2018)
<b>BRAN</b>	CSIRO	0,1°	DIÁRIO	50	1994-01-01 2022-12-31	OFAM3	JRA-55	Chamberlain et al. (2021b)

Conforme explicado na Seção 1.2 e mostrado na Tabela 2.2, modelos de reanálise possuem componentes oceânicas e forçantes atmosféricas. Ainda que esses dados não sejam empregados de forma direta neste estudo, é pertinente apresentar uma contextualização dos produtos utilizados por cada um dos modelos de reanálise considerados. Para isso, será dada uma breve explicação sobre os produtos, sem adentrar nas especificidades de cada versão utilizada.

## 2.2.8 Modelos Hidrodinâmicos

### 2.2.8.1 NEMO

O modelo (ou motor oceânico) NEMO (*Nucleus for European Modelling of the Ocean*) (Madec et al., 2024) é um modelo de equação primitiva adaptado para compreensão da circulação oceânica global e regional, sendo usado para diversas aplicações, incluindo como forçantes oceânicas e modelos acoplados com gelo marinho e/ou atmosfera (Madec et al., 2024). De código aberto, permite flexibilidade no seu uso, sendo possível configurá-lo com parâmetros específicos para cada experimento e tipo de uso, inclusive em resoluções diferentes. Neste estudo, todos os modelos, com exceção do BRAN, utilizam esse modelo oceânico (Tabela 2.2).

### 2.2.8.2 OFAM3

O OFAM (*Ocean Forecasting Australia Model*) é um modelo oceânico global de alta resolução desenvolvido pelo *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation* (CSIRO). Baseado em outro modelo (MOM - *Modular Ocean Model*), foi projetado para simular e prever as condições oceânicas, principalmente em regiões australianas e o Oceano Pacífico Sul. Apesar disso, o modelo abrange o globo todo. Possui uma resolução horizontal de  $0,1^\circ$ , o que o torna um modelo capaz de resolver vórtices de mesoescala. Possui 51 camadas verticais (Oke et al., 2013). O modelo BRAN é o único deste estudo que utiliza esta componente oceânica.

## 2.2.9 Forçantes atmosféricas

### 2.2.9.1 ERA-Interim

O modelo ERA-Interim é um conjunto de dados de reanálise atmosférica global, produzido pelo ECMWF, combinando observações meteorológicas de diversas fontes (como estações, satélites, balões atmosféricos) com modelo numérico global, gerando uma estimativa contínua e consistente do estado da atmosfera ao longo do tempo (Dee et al., 2011). Possui uma cobertura temporal de 1979 até 2019, com uma resolução horizontal de 79 km (TL255), com 60 níveis verticais. Novamente, todos os modelos, com exceção do BRAN, utilizam essa reanálise como forçante atmosférica.

### 2.2.9.2 JRA-55

O JRA-55 (*Japanese 55-year Reanalysis*, Kobayashi et al., 2015) é um modelo de reanálise atmosférico global desenvolvido pela Agência Meteorológica do Japão, cobrindo o período desde 1958 até os dias atuais. Possui uma resolução espacial de aproximadamente 55 km e 60 níveis verticais. O modelo BRAN utiliza esta reanálise como componente atmosférica.

## 2.3 Processamento dos dados

### 2.3.1 Controle de Qualidade

Para garantir a qualidade dos dados *in situ* e conseqüentemente, das análises deste estudo, os dados brutos foram submetidos a uma seqüência de testes de controle de qualidade. O controle de qualidade é baseado em uma série de testes específicos em que cada registro dos dados é classificado de acordo com a Tabela 2.3. Os testes de qualidade são baseados no manual de boas práticas desenvolvido pelo projeto QARTOD (*Quality Assurance/Quality Control of Real-Time Oceanographic Data*), do grupo IOOS (*Integrated Ocean Observing System*) / NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) (QARTOD, 2019).

**Tabela 2.3:** *Flags* do Controle de Qualidade.

Nome Flag	Descrição
<i>Pass = 1</i>	Os dados passaram nos testes e são assegurados para o uso.
<i>Not evaluated = 2</i>	Os dados não foram testados para o teste ou as informações necessárias não estão disponíveis para executar o teste.
<i>Suspect or Of High Interest = 3</i>	Os dados são considerados suspeitos ou como de alto interesse para o usuário final, sendo necessária uma atenção maior a estes dados.
<i>Fail = 4</i>	Os dados são considerados não válidos, tendo falhado em um ou mais testes.
<i>Missing data = 9</i>	Dados faltantes.

É recomendável a aplicação de uma série de testes para a melhor qualificação possível dos dados, porém muitos dos testes são realizados na situação de coleta em tempo real e/ou considerando as configurações dos *beams* e o grau de inclinação da boia durante a medição. Pelo motivo dos dados não serem em tempo real, alguns dos testes não são necessários, já outros não são possíveis pois são realizados diretamente no instrumento, de acordo com os parâmetros de configuração, e pela disponibilidade dos dados e metadados, alguns dos testes de pós processamento também não são possíveis de serem realizados, como por exemplo, testes que se utilizam dos valores do grau de inclinação da boia e velocidade do som na coluna d'água. Apesar disso, as boas práticas recomendam a aplicação de testes de qualidade, quando a disponibilidade de informações para tais testes assim permitir (QAR-TOD, 2019). Sendo assim, a Tabela 2.4 mostra os testes aplicados aos dados disponíveis e sua descrição. Os detalhes de cada teste, tal como as regras aplicadas e limites utilizados, estão descritos na seção do apêndice A.1.

**Tabela 2.4:** Testes de Controle de Qualidade aplicados aos dados brutos de ADCP.

Teste de CQ	Descrição do teste
Velocidade de corrente	Verificação se os valores não são espúrios para a velocidade de corrente.
Direção de corrente	Verificação se os valores não são espúrios para a direção de corrente.
Continuidade	Verificação se os dados não se repetem consecutivamente ao longo do tempo.
Taxa de mudança em u e v	Verificação se a mudança de u e v está dentro de um limite aceitável.
<i>Spike</i> em u e v	Verificação se os valores de u e v não excedem os valores adjacentes a um limite máximo.
Gradiente de corrente	Verificação se a mudança de velocidade e direção no perfil vertical está dentro de um limite aceitável.

Antes de aplicar os testes, os dados foram divididos entre períodos de funcionamento contínuo do ADCP (com intervalos de no máximo 3 dias de funcionamento). Isso é necessário, pois uma boia pode ter períodos de operação distintos. Além disso, cada série foi padronizada para 24 pontos por dia (1 dado por hora), do início ao fim do período de coleta, caso fosse necessário. Os momentos que não possuem dados são catalogados como dados faltantes durante os testes.

Ao final dos testes, os dados considerados inválidos são removidos da análise deste estudo. Após a implementação dos testes de qualidade, os dados de direção são corrigidos para o norte verdadeiro. Esta foi a única modificação realizada nos dados *in situ*. É importante destacar que os testes de controle de qualidade foram aplicados com objetivo de identificar dados espúrios e inválidos, ou seja, valores que não condizem com a grandeza e comportamento das variáveis (por exemplo, valores de direção acima de  $360^\circ$  ou de intensidade superiores a  $2,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) como também períodos de problemas no equipamento (por exemplo, períodos longos em que a intensidade apresentou valores constantes próximos de  $0,00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), portanto, observações em possíveis períodos de eventos extremos são

preservadas.

### 2.3.2 Remoção do sinal de maré - Filtro Passa Baixa

Para uma análise mais coerente dos sinais de corrente em comparação com as reanálises oceânicas globais, é necessário a remoção dos sinais de maré dos dados observados. Para tanto, foi utilizado o filtro digital passa baixa *Butterworth* (Roberts & Roberts, 1978), amplamente utilizado para a filtragem de sinais. O filtro é dado por

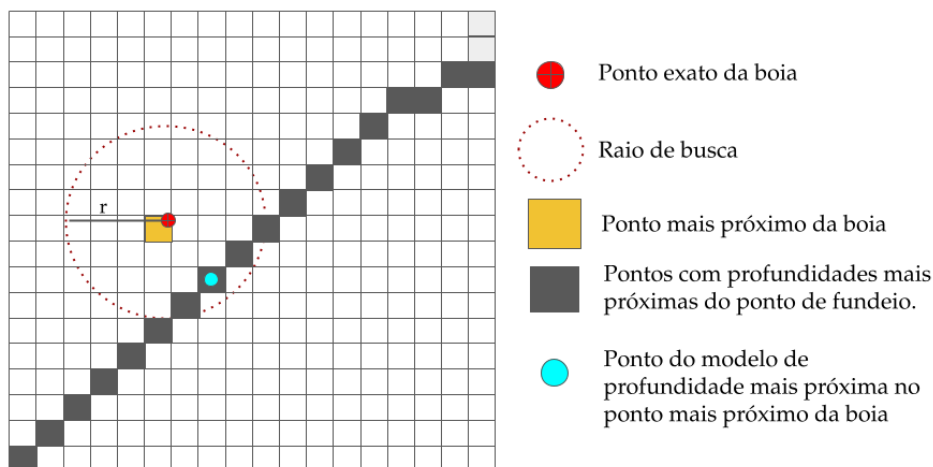
$$|H(j\omega)|^2 = \frac{1}{1 + (\frac{\omega}{\omega_c})^{2n}} \quad (2.1)$$

onde  $\omega_c$  é a frequência de corte e  $n$  o número de ordem do filtro.

Para a remoção dos sinais de maré dos dados observados de corrente, um filtro passa-baixa Butterworth foi aplicado aos dados com uma frequência de corte de 72 horas. Dessa forma, os componentes de alta frequência, típicos de oscilações de maré, foram atenuados, mantendo-se apenas a variabilidade de baixa frequência associada à circulação subinercial.

### 2.3.3 Análise da batimetria

Tendo em vista que os pontos amostrais são regiões de início da quebra da plataforma continental (200 m), é importante uma análise preliminar sobre a batimetria de cada modelo. É essencial que os pontos escolhidos para análise de cada modelo possuam uma profundidade semelhante à profundidade do ponto de coleta de cada boia, sendo mais importante essa semelhança do que a localização geográfica do ponto, pois as feições batimétricas influenciam diretamente na dinâmica e circulação local. Desta forma, os dados estáticos dos modelos também foram analisados. Nestes dados é possível verificar a batimetria para cada ponto de grade do modelo e, desta forma, identificar o ponto mais próximo da profundidade real dos dados observados (em um raio de vizinhos próximos do ponto colocalizado entre a boia e o modelo). A Figura 2.3 ilustra essa metodologia.



**Figura 2.3:** Esquema ilustrativo para a escolha do melhor ponto. O ponto em vermelho com uma cruz simboliza o ponto com as coordenadas exatas da boia sobre a grade do modelo. O ponto de grade, representado em amarelo, é o ponto do modelo mais próximo geograficamente do ponto da boia. Os pontos de grade em escala de cinza representam a isóbata (aproximadamente) de profundidade igual (ou mais próxima da) à profundidade da boia. O ponto de grade com um círculo em azul ciano representa o melhor ponto do modelo a ser usado para a comparação.

Além desta análise pontual, uma análise espacial também é realizada, verificando a diferença da batimetria de cada modelo com um modelo de batimetria de alta resolução, o *Earth TOPOgraphy* (ETOPO 2022), disponibilizado pelo *National Centers for Environmental Information* (NCEI). O ETOPO 2022 é a versão mais atual e com maior resolução dos modelos ETOPO, com uma resolução de 15 arco-segundos (NOAA National Centers for Environmental Information, 2022). Este modelo é desenvolvido a partir de uma grande variedade de dados como *lidar*, topografia (derivada de satélites) e conjuntos de dados globais e regionais de batimetria coletados por embarcações (NCEI, 2022).

Para a análise espacial, os dados do ETOPO são degradados para a mesma resolução de cada batimetria através de uma interpolação linear.

### 2.3.4 Profundidade da coluna d'água

Uma vez determinado o período de comparação, foi calculada a média de  $u$  e  $v$  da coluna d'água para cada conjunto de dados, considerando a profundidade limite de 75 m para a média (última célula do ADCP). A Tabela 2.5 mostra as profundidades consideradas de cada modelo. Os modelos que compõem o produto GREP são mostrados agrupados, pois possuem a mesma configuração de níveis. Considerando que os dados observacionais iniciam-se a partir de 5,5 m de profundidade, os níveis menores que esta profundidade de cada modelo não foram considerados.

**Tabela 2.5:** Profundidades consideradas para cada modelo.

Modelo	Profundidades	$n$
GLORYS12V1	[6,44; 7,92; 9,57; 11,40; 13,46; 15,81; 18,49; 21,59; 25,21; 29,44; 34,43; 40,34; 47,37; 55,76; 65,80; 77,85]	16
GLORYS2V4 FOAM OCAS5 C-GLORS	[5,14; 6,54; 8,09; 9,82; 11,77; 13,99; 16,52; 19,42; 22,75; 26,55; 30,87; 35,74; 41,18; 47,21; 53,85; 61,11; 69,02; 77,61]	18
BRAN2020	[7,5; 12,5; 17,51; 22,66; 28,16; 34,21; 40,95; 48,45; 56,71; 65,66; 75,16]	11

#### 2.3.4.1 Espessura de camada e integração da coluna d'água

Os níveis de profundidade do modelo representam, na verdade, a profundidade média de uma camada da coluna d'água, e como as camadas podem ter diferentes espessuras até o ponto mais profundo, é necessário realizar a integração da coluna d'água para se obter uma média ponderada da coluna inteira. No caso dos modelos ORAS5, GLORYS2V4, GLORYS12V1, FOAM e C-GLOR, os valores referentes a cada espessura dos pontos de profundidade estão disponíveis nos dados estáticos de cada modelo respectivo. Para o caso do modelo BRAN o valor de espessura de cada camada foi calculado considerando as profundidades intermediárias entre cada profundidade, sendo então a espessura da camada a

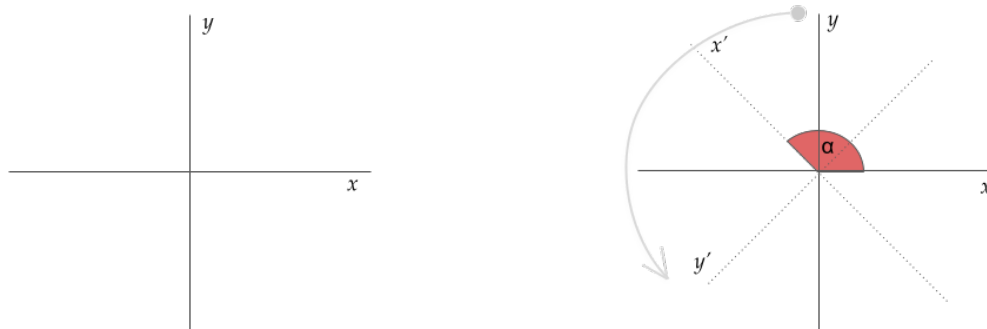
diferença entre as profundidades intermediárias consecutivas.

### 2.3.5 Rotação do sistema de coordenadas - componentes *along-shore* e *cross-shore* da velocidade

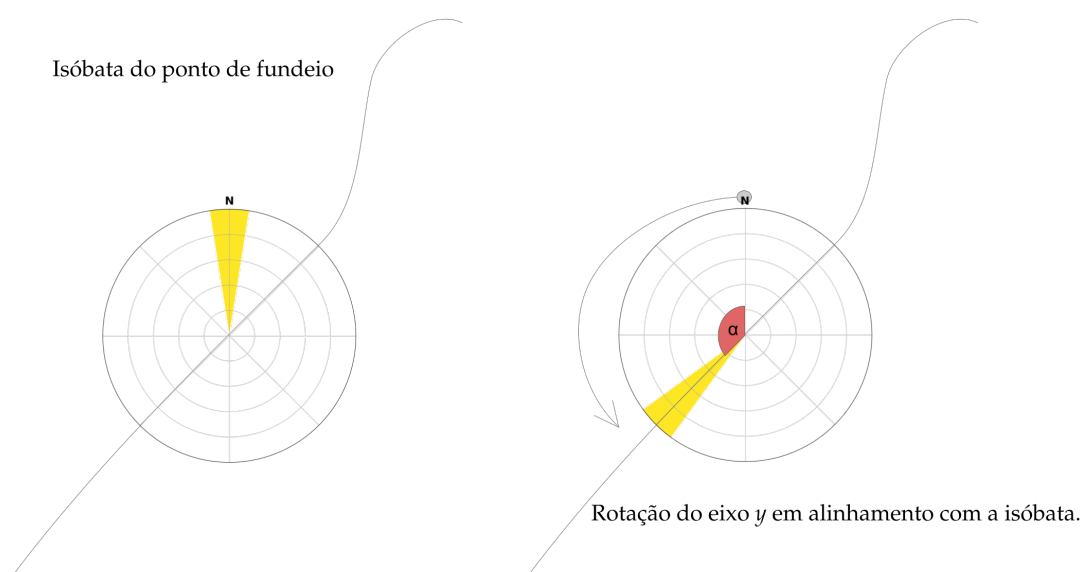
Para uma comparação mais precisa entre os modelos e os valores observados, as componentes zonal ( $u$ ) e meridional ( $v$ ) dos valores de corrente foram rotacionados para o eixo paralelo à isóbata da profundidade de cada boia. A transformação é dada por

$$\begin{cases} u' = u \cos \alpha + v \sin \alpha \\ v' = v \cos \alpha - u \sin \alpha \end{cases} \quad (2.2)$$

onde  $\alpha$  é o ângulo de inclinação da isóbata em relação ao norte geográfico. A figura X ilustra essa transformação. Desta forma, a componente de corrente paralela à costa ( $v'$  - *along-shore*) é evidenciada, em detrimento da componente transversal ( $x'$  - *cross-shore*). O valor de  $\alpha$  é constante para todos os dados em cada local, tanto para os modelos quanto para os observados, sendo  $\alpha$  a angulação da isóbata determinada pelos dados do ETOPO. A Figura 2.4a ilustra a rotação com o destaque para os graus de rotação,  $\alpha$ . A Figura 2.4b ilustra a aplicação da rotação de acordo com a isóbata da profundidade em que a boia esteve localizada.



(a) Esquema de rotação do eixo de coordenadas.

(b) Esquema de rotação de acordo com a isóbata. O eixo  $y$  é rotacionado até que fique alinhado com a isóbata do ponto de fundeio.**Figura 2.4:** Esquemas de rotação demonstrando o conceito teórico (2.4a) e prático (2.4b).

### 2.3.6 Métricas estatísticas

A avaliação de cada modelo perante os dados observados será feita a partir do conjunto de métricas estatísticas descritas nesta seção. Para cada métrica, é explicado o seu significado para a interpretação assim como sua equação. Além das métricas, também é apresentado o diagrama de Taylor (Taylor, 2001), uma importante ferramenta visual comumente usada em estudos oceanográficos e climatológicos, sendo possível comparar as métricas de vários modelos em relação aos dados observados em um único diagrama.

### 2.3.6.1 Viés

O Viés (*BIAS*) é a média da diferença dos resíduos (entre resultados modelados e dados observados). É uma métrica importante para avaliar se o modelo subestima (<0) ou superestima (>0) os valores reais. Seu cálculo se dá por:

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i), \quad (2.3)$$

em que  $\hat{y}_i$  representa o resultado do modelo e  $y_i$  o dado observado.

### 2.3.6.2 Correlação de Pearson

A correlação de Pearson é um dos métodos mais comuns para comparação entre duas variáveis numéricas. Ela mede a força da relação dentre as duas variáveis. Seu valor varia de -1 a 1, em que 1 representa correlação total das variáveis e -1 correlação total com fases opostas. Valores próximos de 0 significam a não correlação. Seu cálculo é dado por:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (2.4)$$

em que  $x_i$  representa os valores observados e  $\bar{x}$  a média destes valores, tal como  $y_i$  os valores do modelo e  $\bar{y}$  a média destes valores.

### 2.3.6.3 Raiz do erro quadrático médio - RMSE

A raiz do erro quadrático médio (*Root Mean Square Error* - RMSE) é o desvio padrão dos resíduos, mostrando o quão distantes os valores modelados estão dos valores observados, sendo uma boa métrica para medir a acurácia do modelo. Seu cálculo é dado por:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}, \quad (2.5)$$

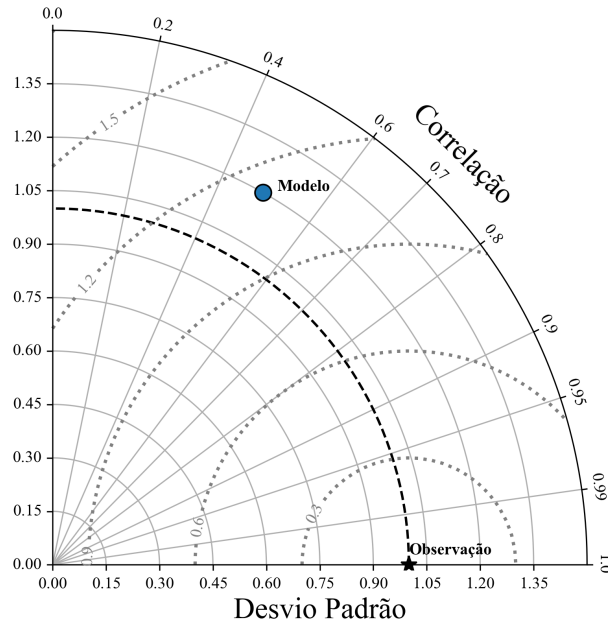
em que  $y_i$  é o valor observado e  $\hat{y}_i$  o valor modelado. A sua unidade é a mesma dos valores analisados e quanto menor o  $RMSE$ , melhor avaliado o modelo.

#### 2.3.6.4 Diagrama de Taylor

O diagrama de Taylor (Taylor, 2001) é um artifício visual muito utilizado para a avaliação de modelos em relação aos valores observados de uma variável, resumindo algumas métricas estatísticas dentro de um único diagrama. As métricas utilizadas são a correlação,  $CRMSE$  (*Centered Root Mean Square Error*) e o desvio padrão. A Figura 2.5 ilustra este diagrama com uma breve explicação de sua interpretação. O  $CRMSE$  é usado neste caso, pois diferentemente do  $RMSE$ , ele não considera o viés sistemático entre as séries, focando apenas nas diferenças de padrão e variabilidade entre os dados observados e modelados, ou seja, o deslocamento médio das séries não influencia no seu valor. A relação geométrica entre as três métricas, que possibilita a construção do diagrama, é demonstrada em maiores detalhes em Taylor (2001). O  $CRMSE$  é definido por:

$$CRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x}) - (y_i - \bar{y})]^2}{n}}, \quad (2.6)$$

onde  $x_i$  é o valor observado,  $\bar{x}$  a média dos valores observados,  $y_i$  o valor modelado e  $\bar{y}$  a média dos valores modelados. Quanto menor o  $CRMSE$ , maior a concordância entre a variabilidade e o padrão da série temporal do modelo e dos dados observados.



**Figura 2.5:** Diagrama de Taylor. A distância radial da origem (0,0) é proporcional ao desvio padrão da referência. O CRMSE entre o modelo e a observação é dado pela distância proporcional entre o centro da radial cinza pontilhada e o ponto do modelo, sendo a unidade a mesma do desvio padrão. Por fim, a correlação entre o modelo e a observação é dada pela posição azimutal do modelo. Neste exemplo, o ponto "Modelo" teria  $r = 0,50$ ,  $\sigma = 1,2$  e  $CRMSE = 1,1$  quando comparado com a "Observação". Adaptado de Taylor (2001).

### 2.3.6.5 Skill Score

Para uma comparação geral dos modelos analisados e poder identificar os melhores que representam a realidade, considerando a variância e correlação de cada um, é importante uma métrica para esta avaliação. O *skill score* é uma métrica usada para compreender o quão próximo dos valores observados um modelo está. O "skill" provém de "skillful model", ou "modelo habilidoso", que se refere ao quão bom um modelo é habilidoso para a representação da realidade (esta representada por dados observados). O *skill score* é definido como

$$S = \frac{4(1 + R)}{\left(\hat{\sigma}_f + \frac{1}{\hat{\sigma}_f}\right)^2 (1 + R_0)}, \tag{2.7}$$

onde  $R$  é a correlação do modelo em relação à observação,  $R_0$  é a máxima correlação possível e  $\hat{\sigma}_f$  é a variância do modelo Taylor (2001). À medida que a variância do modelo

se aproxima da variância observada e  $R$  de  $R_0$ ,  $S$  se aproxima de 1. Quanto mais próximo de 1, mais realista é considerado o modelo, e quanto mais distante, menos realista. Para a aplicação da equação neste estudo, foi considerado o parâmetro  $R_0 = 1$ .

# Capítulo 3

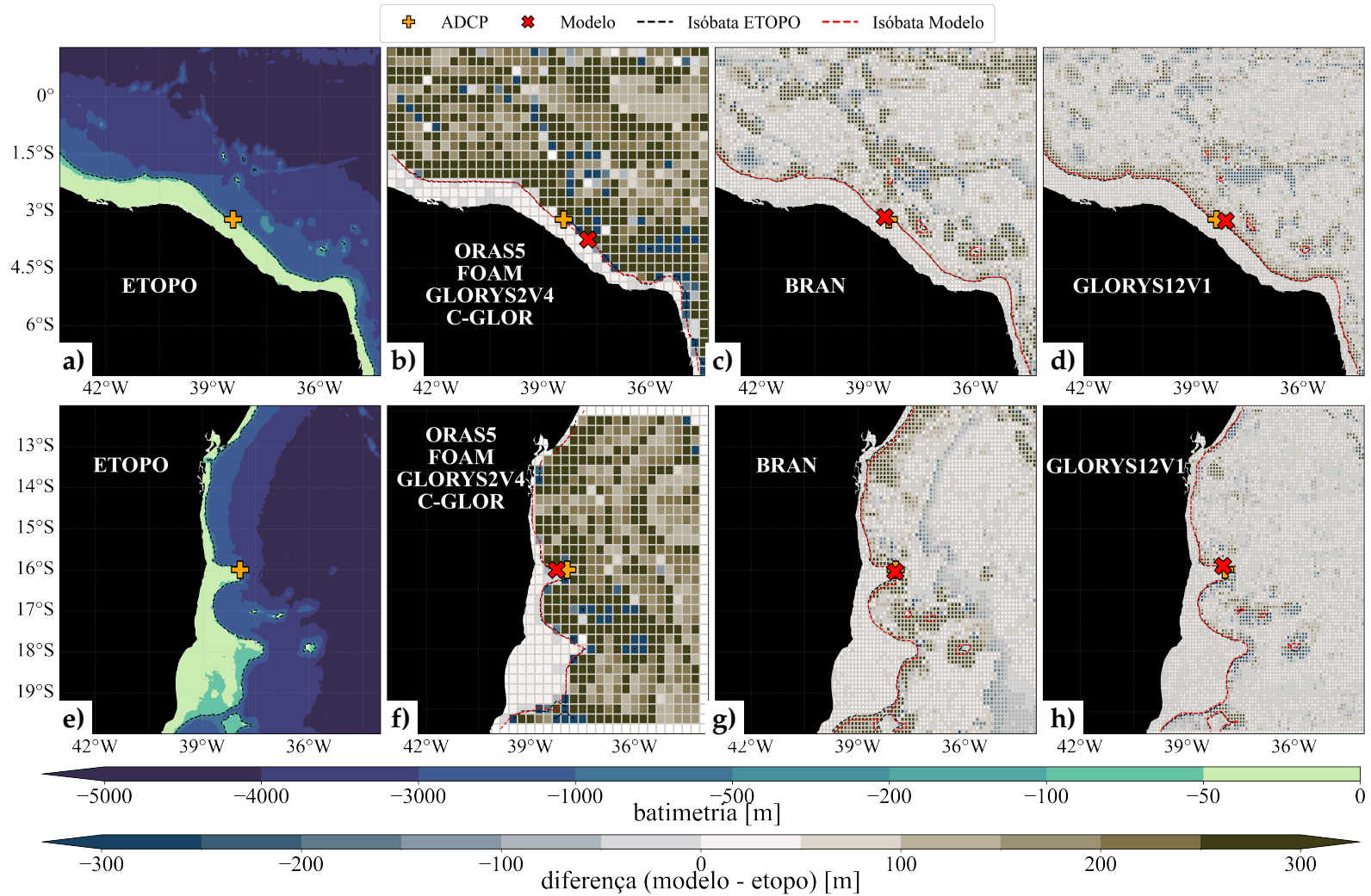
## Resultados

Neste capítulo são apresentados os principais resultados das análises realizadas de acordo com os objetivos específicos deste trabalho. Inicialmente, na seção 3.1, são mostrados os resultados das análises de batimetria de cada modelo para cada região da coleta dos dados. A seguir, na seção 3.2, são mostradas as rosas de corrente de cada modelo, assim como as dos dados observados (ADCP) de cada boia e também as análises da climatologia, através de rosas de correntes, para cada um dos modelos em cada ponto. Na seção 3.3, os diagramas de Taylor para cada ponto são mostrados e por fim, na seção 3.4, uma tabela resumo com as métricas estatísticas usadas neste estudo. Em cada seção, a ordem das análises inicia do ponto mais ao norte (Fortaleza) até o mais ao sul (Rio Grande) dos locais analisados neste estudo.

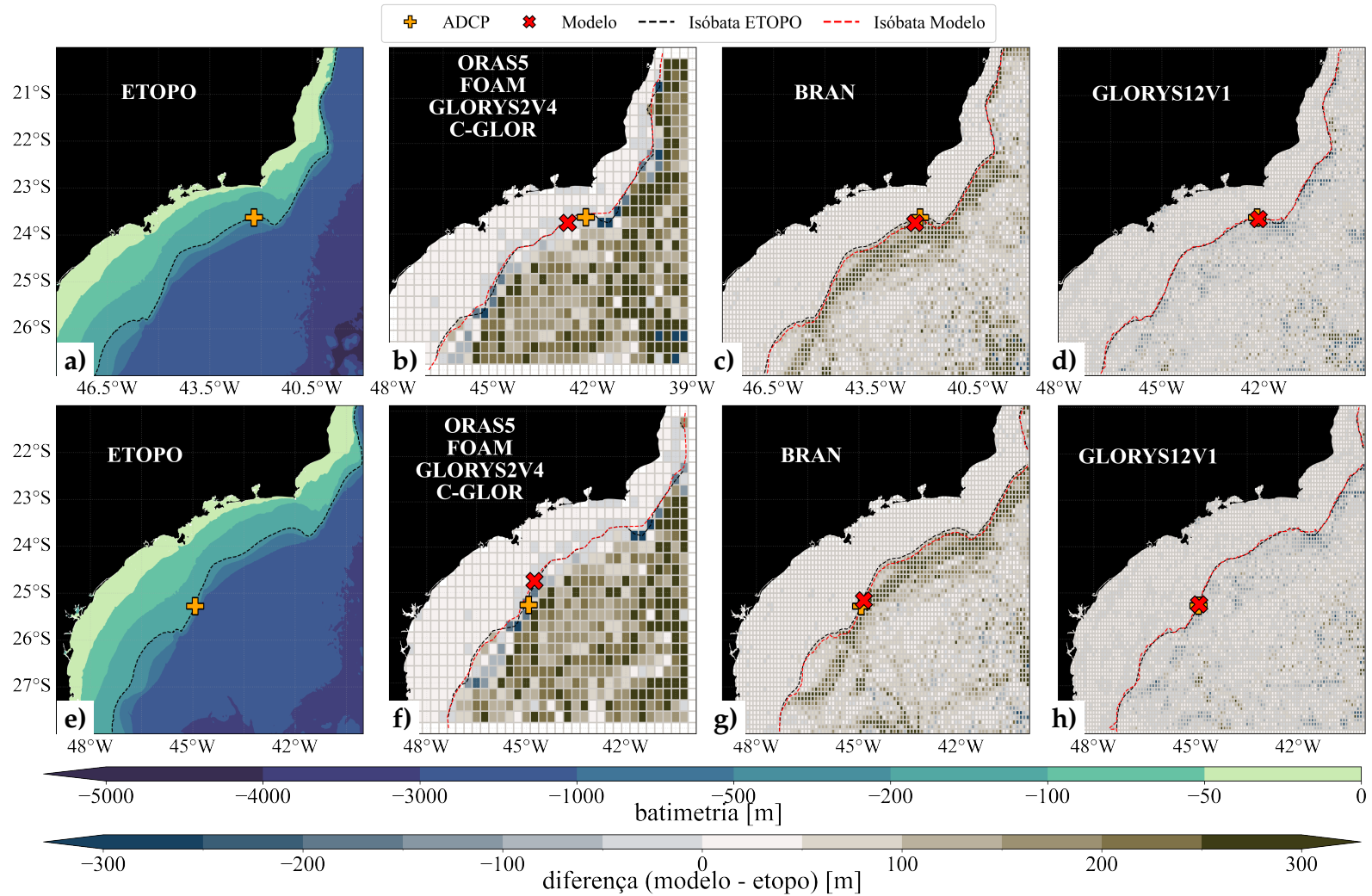
### 3.1 Avaliação da batimetria

As Figuras de 3.1 a 3.3 mostram as batimetrias representadas pelo modelo ETOPO na sua resolução original, considerado neste estudo um modelo de batimetria de referência, e também a diferença entre as batimetrias de cada modelo e a referência degradada para a resolução de cada modelo de reanálise. Em todas as figuras, os subgráficos (a) e (e) mostram

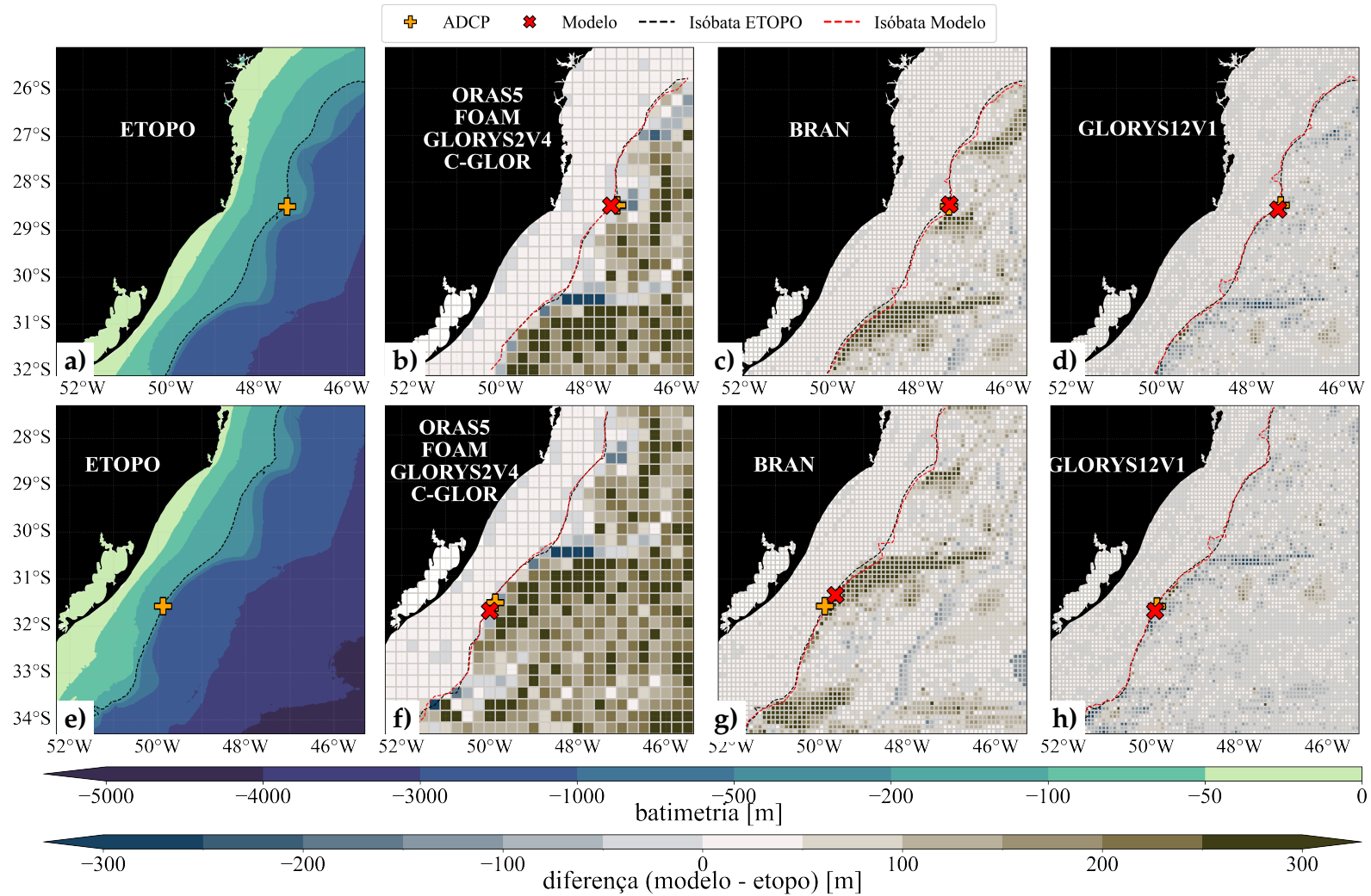
a batimetria ETOPO na resolução original ( $0,016^\circ$ ) para a região especificada na figura. Já nas subfiguras (b) e (f), é mostrada a diferença da batimetria dos modelos de  $0,25^\circ$  e do modelo de referência, da mesma forma nas subfiguras (c) e (g) (diferença para o modelo BRAN de  $0,10^\circ$ ) e (d) e (h) (diferença para o modelo GLORYS12V1 de  $0,08^\circ$ ).



**Figura 3.1:** Batimetrias de referência (ETOPO) e as diferenças entre as batimetrias dos modelos e a de referência para as regiões de Fortaleza (a - d) e Porto Seguro (e - h). A diferença negativa, em tons de azul, mostra os pontos da grade em que a profundidade é mais funda quando comparada ao ETOPO ((a) e (e)). De maneira contrária, a diferença positiva, em tons de marrom, mostra os pontos em que essa profundidade é mais rasa do que o modelo de referência. Os pontos amostrais são evidenciados com o símbolo '+' amarelo, enquanto os pontos usados para analisar os dados dos modelos são mostrados com o símbolo 'x' vermelho. A isóbata da profundidade de coleta também é destacada (tracejada em preto - ETOPO e em vermelho - modelo). Para o ponto de Fortaleza, a profundidade em que a boia esteve fundeada é de 287 m, já para Porto Seguro, 249 m.



**Figura 3.2:** Batimetrias de referência (ETOPO) e as diferenças entre as batimetrias dos modelos e a de referência para as regiões de Cabo Frio (a - d) e Santos (e - h). A diferença negativa, em tons de azul, mostra os pontos da grade em que a profundidade é mais funda quando comparada ao ETOPO ((a) e (e)). De maneira contrária, a diferença positiva, em tons de marrom, mostra os pontos em que essa profundidade é mais rasa do que o modelo de referência. Os pontos amostrais são evidenciados com o símbolo '+' amarelo, enquanto os pontos usados para analisar os dados dos modelos são mostrados com um 'x' vermelho. A isóbata da profundidade de coleta também é destacada (tracejada em preto considerando o modelo ETOPO e em vermelho para a batimetria do modelo). Para o ponto de Cabo Frio, a profundidade em que a boia esteve fundeada é de 222 m, já para Santos, 203 m.



**Figura 3.3:** Batimetrias de referência (ETOPO) e as diferenças entre as batimetrias dos modelos e a de referência para as regiões de Itajaí (a - d) e Rio Grande (e - h). A diferença negativa, em tons de azul, mostra os pontos da grade em que a profundidade é mais funda quando comparada ao ETOPO ((a) e (e)). De maneira contrária, a diferença positiva, em tons de marrom, mostra os pontos em que essa profundidade é mais rasa do que o modelo de referência. Os pontos amostrais são evidenciados com o símbolo '+' amarelo, enquanto os pontos usados para analisar os dados dos modelos são mostrados com o símbolo 'x' vermelho. A isóbata da profundidade de coleta também é destacada (tracejada em preto para o modelo ETOPO e em vermelho para a batimetria do modelo). Para o ponto de Itajaí, a profundidade em que a boia esteve fundeada é de 204 m, já para Rio Grande, 202 m.

De maneira geral, todos os modelos mostram representar bem a plataforma continental (profundidades até 200 m) em todas as regiões, sendo possível observar tanto o padrão das isóbatas quanto a diferença em torno de 0 m e as isóbatas semelhantes para a profundidade do ponto amostral (subfiguras b, c, d, f, g, h).

Outro ponto em comum em todas as regiões é a predominância de uma batimetria mais rasa em regiões profundas ( $> 1000$  m) nos modelos de menor resolução ( $0,25^\circ$ , ORAS5, FOAM, GLORYS2V4 e C-GLOR), especialmente nas regiões em que a quebra de plataforma é mais abrupta, como no caso das regiões de Fortaleza (Fig. 3.1b) e Porto Seguro (Fig. 3.1f). Além disso, para esses mesmos modelos nestas regiões, nota-se que a quebra da plataforma é menos abrupta, o que mostra a limitação de uma resolução mais grosseira em regiões com um grande gradiente topográfico. Outra notável limitação desta resolução é a incapacidade de representar feições costeiras de menor escala, como ilhas e promontórios, o que pode ser observado nas Figuras 3.1.(b,c,d) (Fortaleza) e 3.1.(f,g,h) (Porto Seguro), onde é possível visualizar pontos da grade em tons de azul nos mesmos pontos em que há tais feições e ou elevações nas batimetria de referência (3.1(a,e), ou seja, a batimetria do modelo representa essas localidades com uma profundidade superior à referência.

Em Fortaleza, nota-se a distância entre o ponto da boia e o ponto analisado dos modelos de  $0,25^\circ$  (Fig. 3.1.b). Isso se deve à grande variação de profundidade entre os pontos próximos da boia, variando de 50 m para 734 m de profundidade nos pontos de grade adjacentes. O ponto analisado para o modelo possui uma profundidade de 286 m, a mais próxima da profundidade de coleta (287 m). Para os modelos de maior resolução (BRAN ( $0,10^\circ$ ) e GLORYS12V1 ( $0,08^\circ$ )) esta limitação já não é observada, assim como a quebra da plataforma também se aproxima do modelo de referência. No entorno dos pontos usados para análise, o modelo BRAN apresenta menor diferença de profundidade (em relação ao ETOPO) quando comparado ao modelo GLORYS12V1, porém em ambos os modelos há uma predominância de profundidades mais rasas em zonas específicas do talude.

Para as demais regiões, a quebra de plataforma é mais suave. A batimetria do modelo

BRAN apresenta ser, no geral, mais rasa na quebra da plataforma, enquanto a batimetria do GLORYS12V1 mostra maior concordância com a batimetria do ETOPO.

## 3.2 Avaliação das rosas de corrente

Nas Figuras 3.4 a 3.14, são mostradas as rosas de corrente para cada ponto analisado neste estudo, representando a média vertical das profundidades (calculadas conforme descrito na seção 2.3.4). As subfiguras (a) mostram as rosas para os dados observados, seguidas das rosas para ORAS5 (b), C-GLOR (c), FOAM (d), GLORYS2V4 (e), GLORYS12V1 (f) e BRAN (g). As rosas são compostas por 24 setores direcionais, ou seja, cada setor representa um arco de 15°. Para cada localidade, as faixas de intensidade assim como os intervalos de frequência são padronizadas para todas as rosas daquela localidade, de acordo com a melhor representação dos resultados. As faixas de intensidade e intervalos variam de local para local. Além disso, nas subfiguras (i) são mostradas as séries temporais da componente paralela à costa de cada modelo, assim como das observações pelo ADCP, de acordo com a metodologia descrita na seção 2.3.5. O valor de  $\alpha$  para a rotação em cada localidade está descrito na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1:** Ângulos referentes à isóbata de cada boia em relação à componente  $v$ .

Ponto	$\alpha$
Fortaleza	50
Porto Seguro	39
Cabo Frio	100
Santos	145
Itajaí	180
Rio Grande	153

Para uma melhor apresentação dos resultados, as análises serão descritas e interpretadas ponto a ponto, descrevendo os dados observados e destacando as principais semelhan-

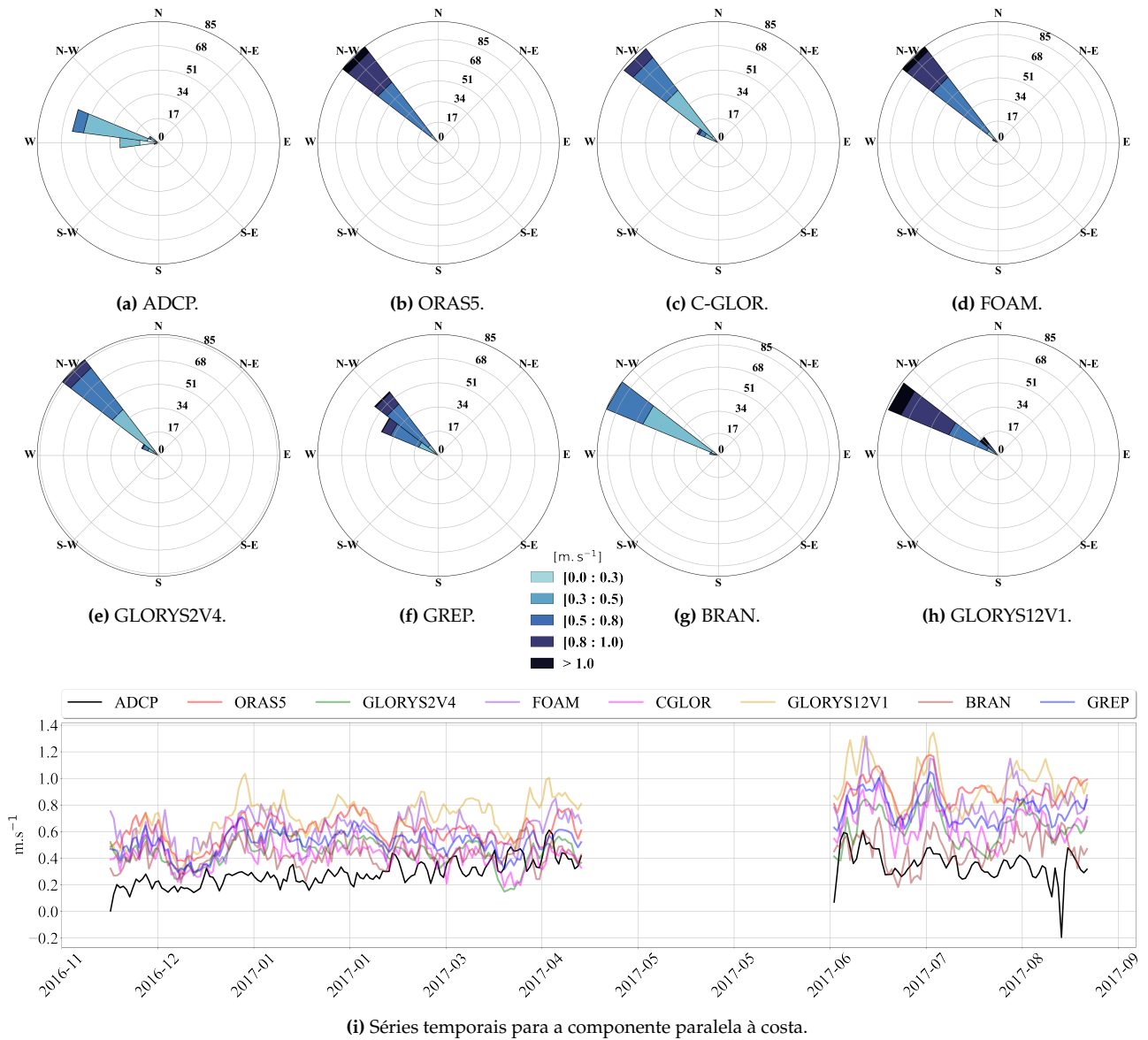
ças e diferenças dentre os modelos, de acordo com a região. Também será mostrada a análise da climatologia dos modelos para cada um dos pontos, destacando as principais diferenças entre o período analisado e a sua caracterização pela climatologia. Para uma comparação direta com a análise do período de dados coletados, a climatologia para cada ponto foi elaborada considerando apenas os dias do ano em que houve coleta de dados de corrente. Ao final desta seção, uma análise geral é feita.

### 3.2.1 Ponto de Fortaleza

Os dados observados em Fortaleza (Fig. 3.4a) mostram uma predominância de corrente no sentido entre oeste-noroeste (WNW) e noroeste (NW) em mais de 65% das observações, com intensidades predominante entre 0,3 e 0,5  $m.s^{-1}$ , chegando em até 0,8  $m.s^{-1}$ , em acordo com a descrição das correntes superficiais desta região descrita por Talley et al. (2011), podendo chegar até 0,9  $m.s^{-1}$  na superfície e 0,2  $m.s^{-1}$  em 200 m de profundidade. O restante das observações possuem uma direção para oeste (W) com o mesmo padrão de intensidade. Os modelos, de maneira geral, apresentam predominância de sentido para noroeste (NW) em praticamente 100% das ocorrências, com exceção do modelo GLORYS12V1 (Fig. 3.4h) e BRAN (Fig. 3.4g), que se aproximam mais do sentido observado pelo ADCP, predominantemente para WNW. O modelo GREP (Fig. 3.4f) foi o único a apresentar uma maior variabilidade na direção, com  $\approx 55\%$  das ocorrências no sentido NW e o restante entre NW e WNW. Analisando as intensidades apresentadas por cada um, todos os modelos, com exceção do BRAN, superestimaram a velocidade observada, com valores superiores à 0,8  $m.s^{-1}$ , com algumas ocorrências ultrapassando a faixa de 1  $m.s^{-1}$ . O BRAN, por sua vez, mostrou uma concordância maior com as observações, com cerca de 60% apresentando valores entre 0,3 e 0,5  $m.s^{-1}$ , e o restante entre 0,5 e 0,8  $m.s^{-1}$ .

Essas diferenças na intensidade ficam mais evidentes ao analisar a Figura 3.4i, em que todos os modelos mostram valores de intensidade superiores aos dados observados, sendo o modelo BRAN (série de tonalidade marrom) mais próximo aos valores do ADCP (série

de cor preta). Nota-se que a série mais distante da observada é a do modelo GLORYS12V1 (verde-terra), além disso, em algumas ocasiões é possível notar uma oposição de fase, ou seja, quando a intensidade de corrente observada diminui, a do GLORYS12V1 aumenta, ocorrendo também o oposto. Apesar dessas diferenças de intensidade, todos os modelos mostram variabilidade semelhante à da observação.

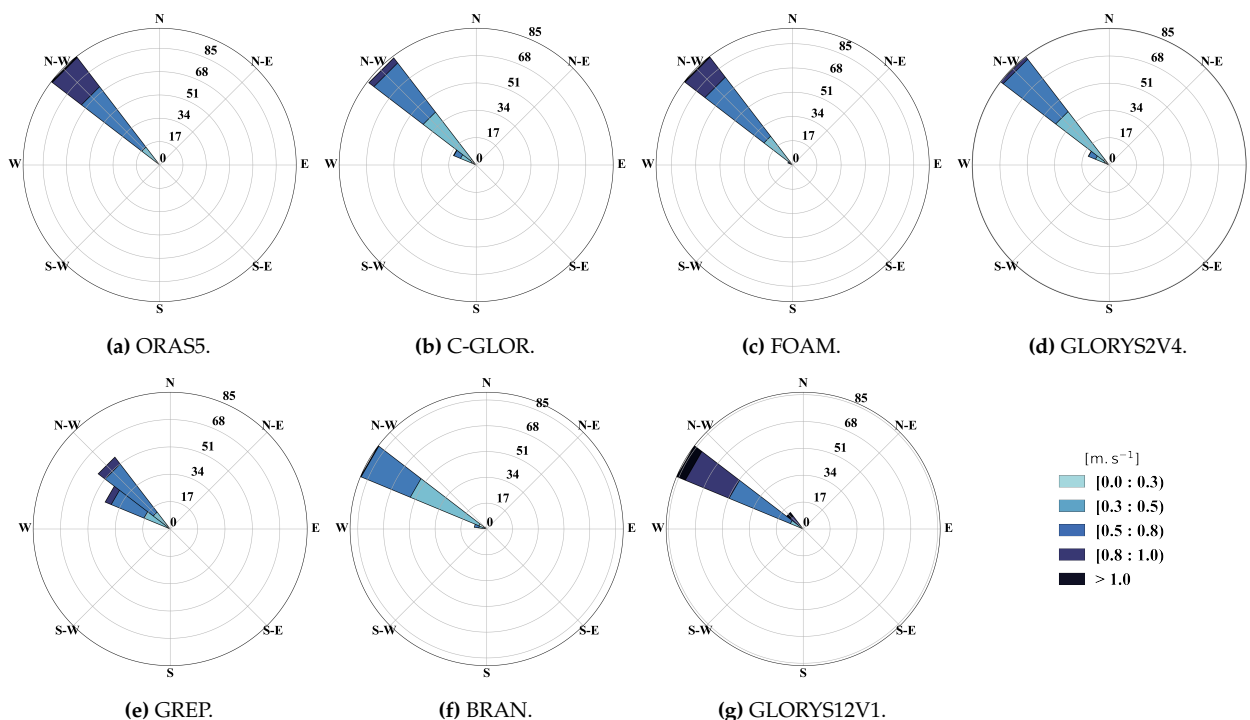


(i) Séries temporais para a componente paralela à costa.

**Figura 3.4:** Rosas de correntes para os dados da boia de Fortaleza (Fig. 1.1) em (a) e para os modelos de reanálise em (b) - (h), para o período de 16/11/2018 à 19/09/2019. Em (i), as séries temporais para as componentes paralelas à costa.

As climatologias dos modelos (Fig. 3.5) mostram o mesmo padrão das rosas do perí-

odo em questão analisado, tanto em aspectos direcionais quanto de velocidades de corrente.



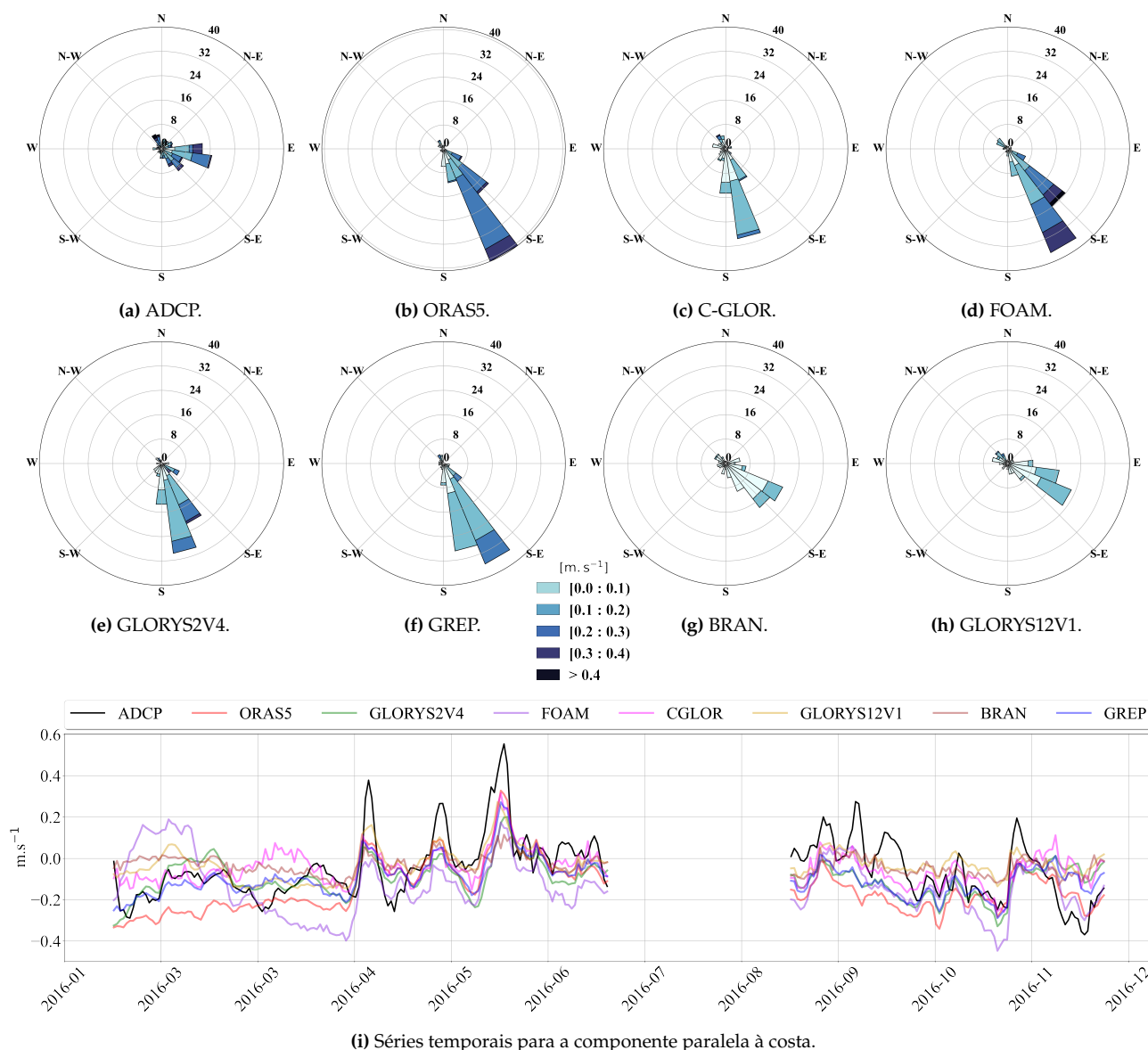
**Figura 3.5:** Climatologia dos modelos para o ponto de Fortaleza (Figs. 3.1(a-d)). A climatologia apresentada para cada modelo corresponde ao período completo de dados disponível para cada um deles, conforme detalhado na Tabela 2.2.

### 3.2.2 Ponto de Porto Seguro

O sentido de corrente observado para o ponto de Porto Seguro (Fig. 3.6a) mostra uma variação; de maneira predominante, cerca de 16% das observações, a corrente tem sentido entre leste (E) e lés-sudeste (ESE) e 10% para E. O restante da variabilidade está no eixo sudeste (SE) e noroeste (NW), ilustrando uma inversão no sentido da corrente. A intensidade média neste ponto predomina entre 0,1 e 0,3  $m \cdot s^{-1}$ , com velocidade máxima de até 0,4  $m \cdot s^{-1}$ . A isóbata do ponto exato do fundeio da boia possui sentido SE-NW, um dos eixos de direção de corrente observados, conforme apresentado na Tabela 3.1.

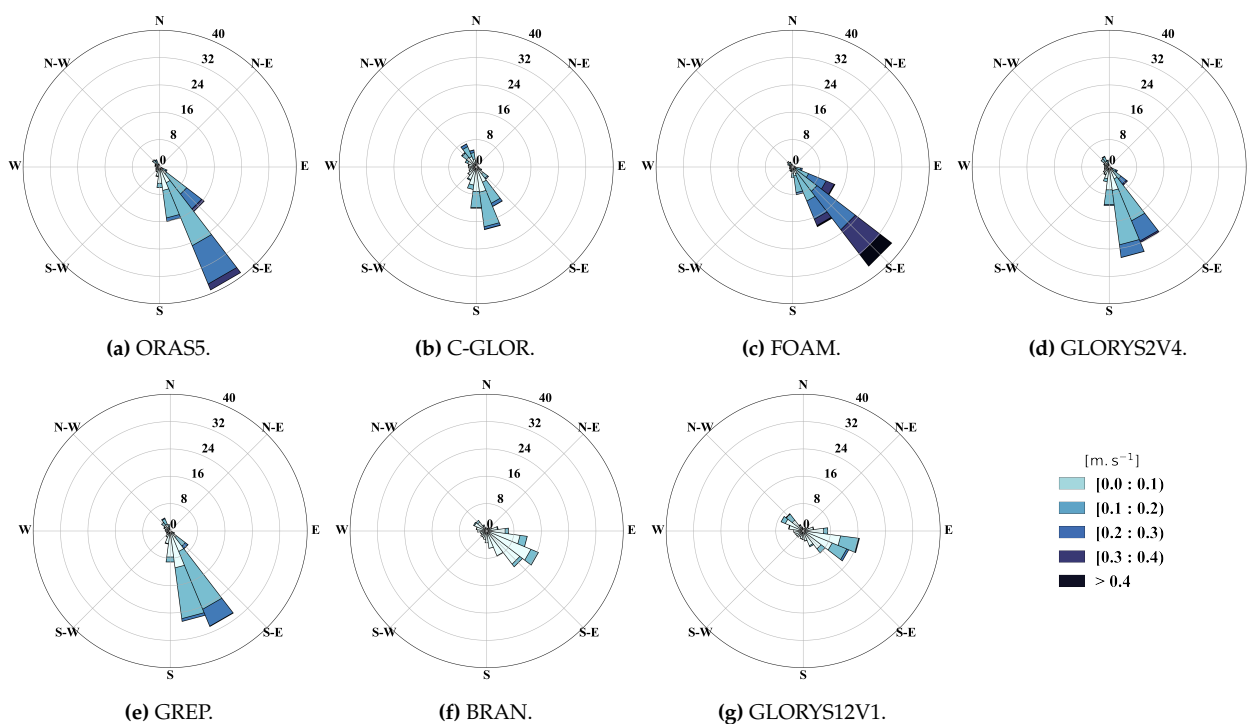
Ao observar as rosas de corrente dos modelos (Fig. 3.6), nota-se o mesmo padrão de inversão de correntes, em torno do eixo NW e SE. Os modelos ORAS5 (Fig. 3.6b) e FOAM (Fig. 3.6d) mostram padrões semelhantes entre eles, com a predominância da direção em

torno de SSE, com uma pequena ocorrência no sentido oposto. A intensidade para ambos também são semelhantes, porém o modelo ORAS5 apresenta média superior (entre 0,2 e 0,3  $m.s^{-1}$ ) quando comparado ao FOAM (entre 0,1 e 0,3  $m.s^{-1}$ ). Ambos apresentam velocidades máxima superiores à 0,4  $m.s^{-1}$ . Do forma análoga, os modelos C-GLOR (Fig. 3.6c) e GLORYS2V4 (Fig. 3.6e) também apresentam semelhanças, com o sentido de corrente predominante mais ao sul (entre S e SSE), com velocidades menores predominando, em média entre 0,1 e 0,2  $m.s^{-1}$ . O modelo por conjunto GREP (Fig. 3.6f) apresenta sentido para SSE, com velocidades médias entre 0,1 e 0,3  $m.s^{-1}$ . Por fim, os modelos GLORYS12V1 (Fig. 3.6h) e BRAN (Fig. 3.6g) apresentaram maior variabilidade, ambos com sentido predominante em torno de SE. Dentre todos os modelos, esses dois apresentaram as menores velocidades médias, entre 0,0 e 0,1  $m.s^{-1}$ . Na Figura 3.6i é possível observar que todos os modelos reproduzem o aumento ou redução na intensidade de acordo com os dados observados, porém com amplitudes diferentes. Destaca-se o modelo ORAS5 (linha azul), que apresentou valores muito próximos aos observados, principalmente no período entre fevereiro e abril de 2016 e outubro e novembro do mesmo ano. Nota-se também picos na velocidade de corrente observada pelo ADCP (linha preta), atingindo velocidades superiores à 0,5  $m.s^{-1}$  (entre maio e junho de 2016).



**Figura 3.6:** Rosas de correntes para os dados da boia de Porto Seguro (Fig. 1.1) em (a) e para os modelos de reanálise em (b) - (h), para o período de 16/02/2016 à 19/12/2016. Em (i), as séries temporais para as componentes paralelas à costa.

Observando as climatologias para cada modelo (Fig. 3.7), nota-se que o padrão da rosa muito similar para o período em questão analisado, tanto em direção quanto nas faixas de velocidades. Contudo, a climatologia para o modelo FOAM (Fig. 3.7c) mostra uma mudança na direção predominante, de SSE (Fig. 3.6d) para SE. Todos os modelos também apresentam uma maior variabilidade na direção, mostrando a alta dinâmica desta região.



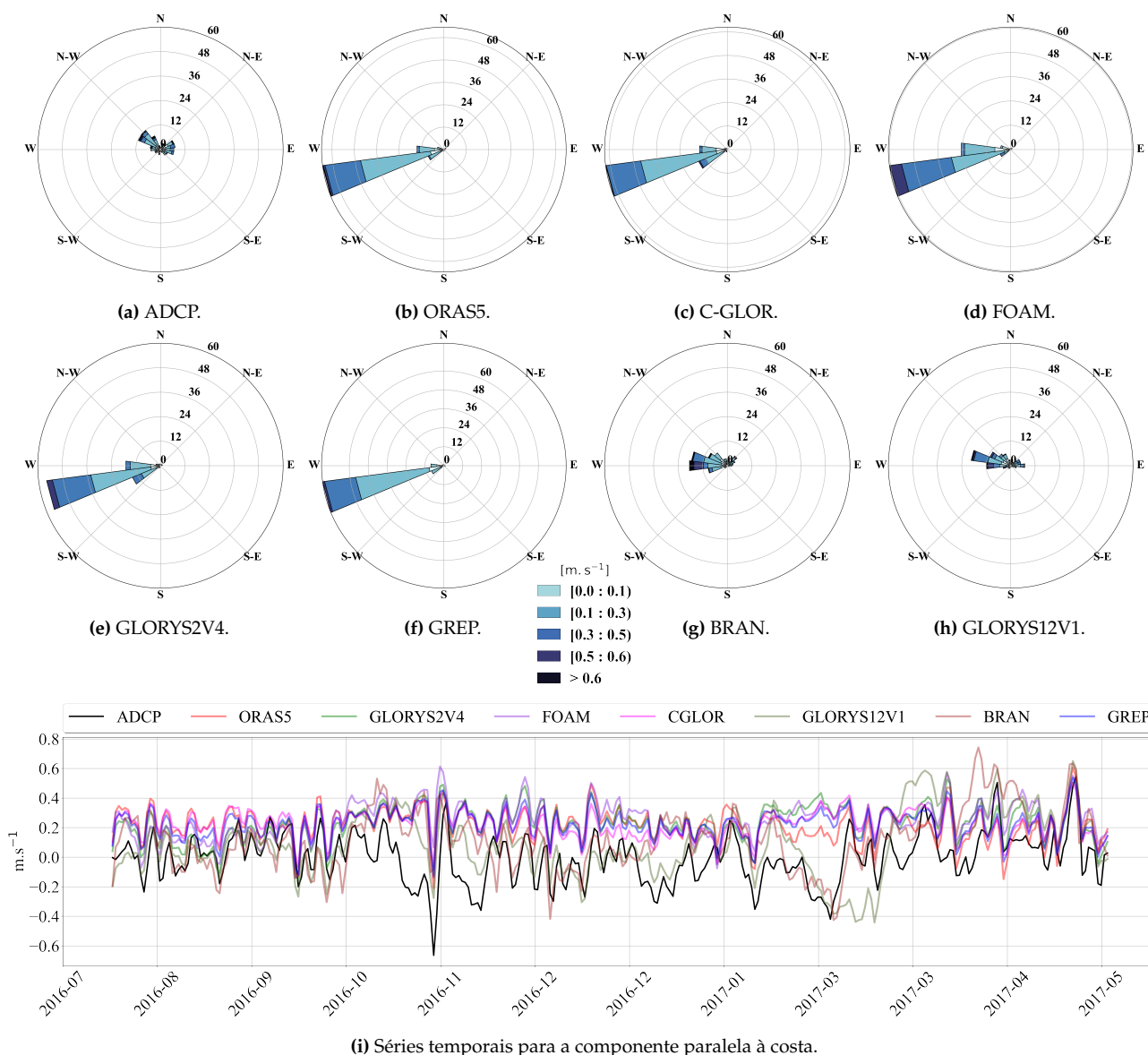
**Figura 3.7:** Climatologias dos modelos para o ponto de Porto Seguro (Figs. 3.1(e-h)). A climatologia apresentada para cada modelo corresponde ao período completo de dados disponível para cada um deles, conforme detalhado na Tabela 2.2.

### 3.2.3 Ponto de Cabo Frio

Assim como Porto Seguro, a corrente observada em Cabo Frio (Fig. 3.8a) apresenta variabilidade na sua direção, apresentando dois sentidos principais, primeiramente para NW ( $\approx 12\%$  das observações) e entre NW e WNW ( $\approx 12\%$ ). De maneira menos frequente, há também direções variando entre leste e nordeste ( $\approx 15\%$  de todas as observações). As velocidades observadas variam entre  $0,1$  e  $0,5 m \cdot s^{-1}$  (Fig. 3.8i), predominando velocidades de até  $0,3 m \cdot s^{-1}$ .

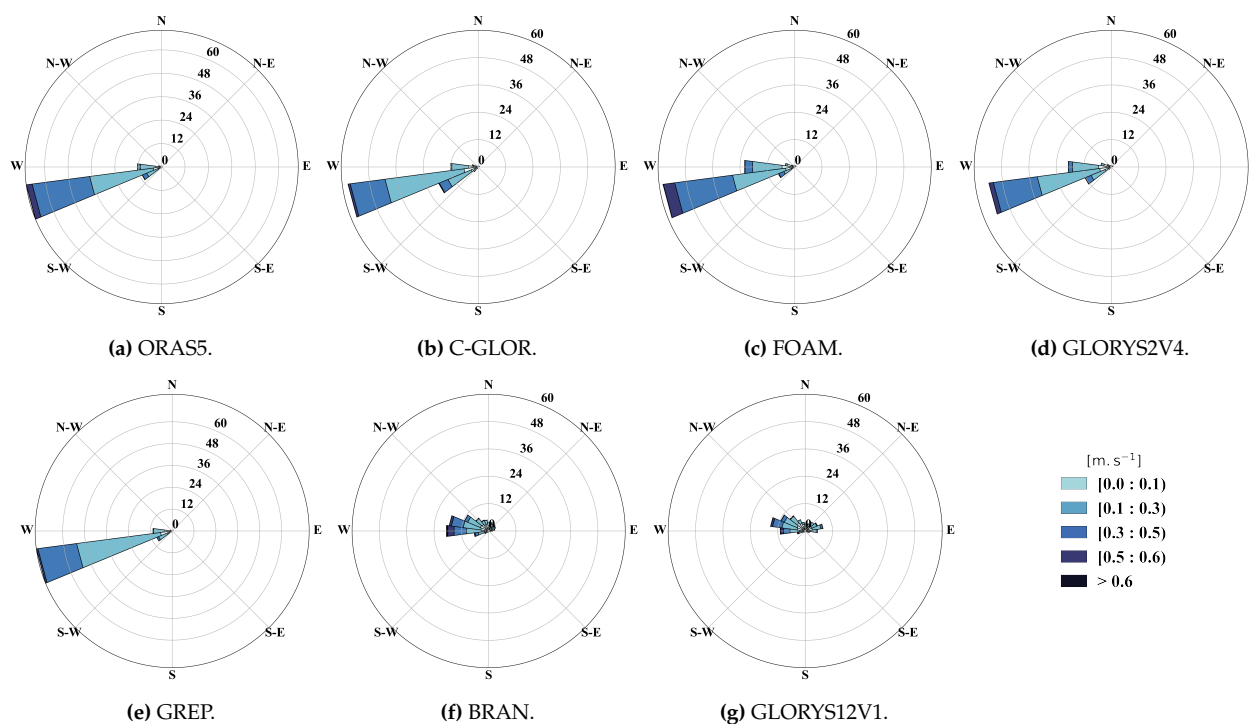
Entre os modelos de menor resolução, os padrões encontrados nas rosas são muito semelhantes (ORAS5 - Fig.3.8b, C-GLOR - Fig.3.8c, FOAM - Fig.3.8d, GLORYS2V4 - Fig.3.8e, GREP - Fig.3.8f), com o sentido predominante entre W e WSW (em mais de 50% em todos os modelos). Dentre as variações, com exceção do GREP, todos apresentam uma variação no sentido para W. Em todos os casos, a velocidade de corrente varia entre  $0,1$  e  $0,5 m \cdot s^{-1}$ ,

predominando velocidades de até  $0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Os modelos GLORYS12V1 (Fig. 3.8h) e BRAN (Fig. 3.8g), por outro lado, mostraram uma variabilidade tal qual os dados observados, com direções predominantes entre W e WNW (GLORYS12V1,  $\approx 20\%$ ) e W (BRAN,  $\approx 18\%$ ). Ambos os modelos mostram variação na direção em todo o quadrante entre W e N, e em menor frequência, para o quadrante N-E. Na Figura 3.8i é possível observar essas variações, assim como a inversão no sentido de corrente. Nota-se que nos momentos em que a corrente sofre a inversão (série ADCP, linha preta), os modelos GLORYS12V1 e BRAN conseguem reproduzi-la, já os outros modelos não apresentam tais características. Essas ocorrências são mais evidentes no período próximo de novembro de 2016 e entre janeiro e março de 2017. Também é notável a superestimação na velocidade por parte dos modelos, principalmente dos de menor resolução.



**Figura 3.8:** Rosas de correntes para os dados da boia de Cabo Frio (Fig. 1.1) em (a) e para os modelos de reanálise em (b) - (h), para o período de 20/07/2016 à 01/06/2017. Em (i), as séries temporais para as componentes paralelas à costa.

A climatologia para cada modelo (Fig. 3.9) destacou o mesmo padrão de rosa apresentado para o período analisado, tanto em direção quanto nas faixas de velocidade. Isso mostra que, apesar do dinamismo observado neste local, os padrões de corrente nos modelos são semelhantes ao longo dos anos.



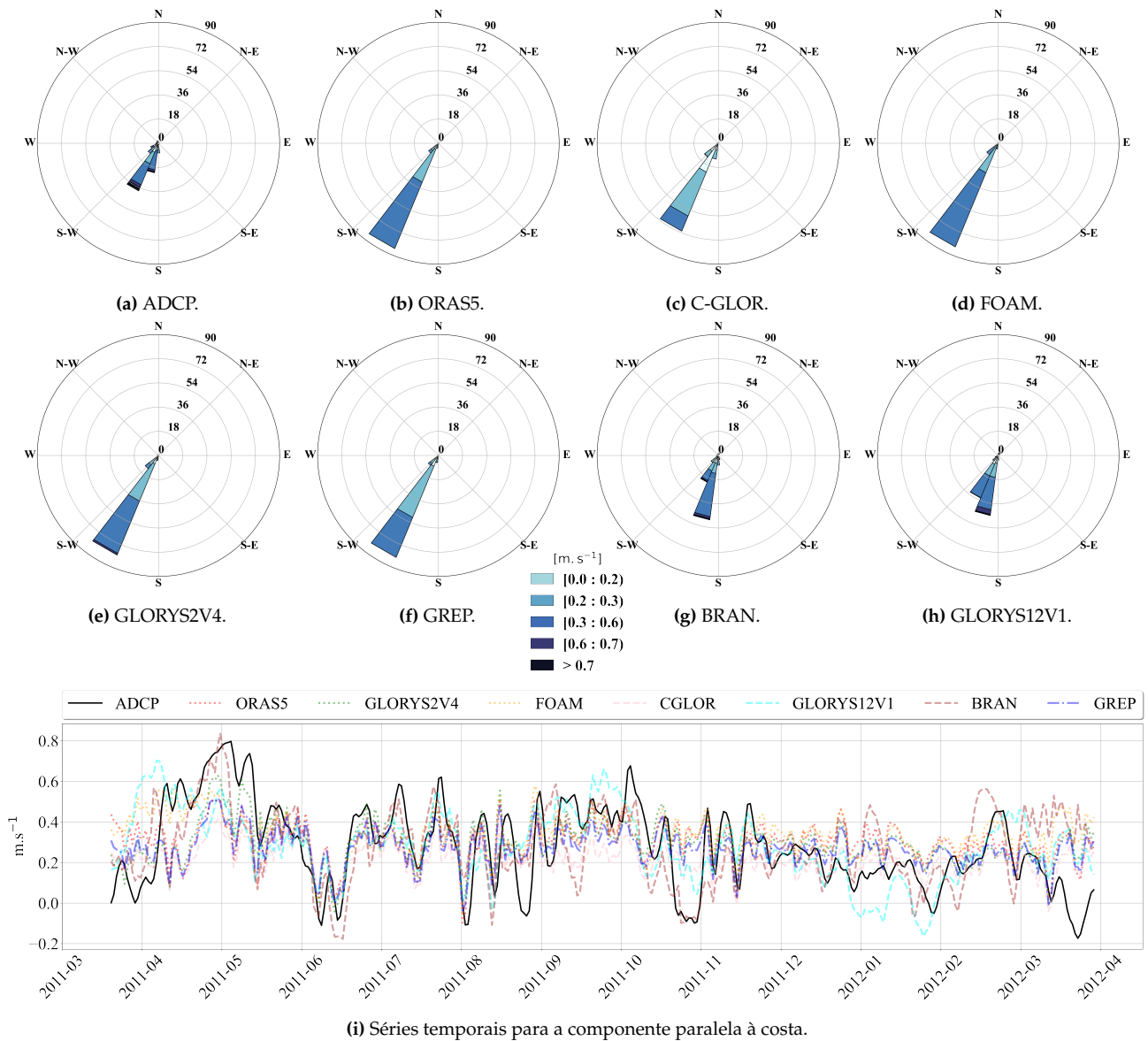
**Figura 3.9:** Climatologias dos modelos para o ponto de Cabo Frio (Figs. 3.2(a-d)). A climatologia apresentada para cada modelo corresponde ao período completo de dados disponível para cada um deles, conforme detalhado na Tabela 2.2.

### 3.2.4 Ponto de Santos

Em Santos (Fig. 3.10), a corrente observada (Fig. 3.10a) apresentou sentido predominante entre SW e sul-sudoeste (SSW) para cerca de 38% das observações e cerca de 20% entre SSW e S. O restante das observações variou entre S e W. O sentido de corrente predominante condiz com a orientação da isóbata de 200 m (Fig. 3.2e), profundidade em que a boia esteve fundeada. Já a intensidade da corrente mostrou valores predominantes entre 0,3 e 0,6  $m.s^{-1}$ , em algumas ocasiões entre 0,6 e 0,7  $m.s^{-1}$ , atingindo velocidades máximas superiores à 0,7  $m.s^{-1}$ .

Os modelos mostraram padrões semelhantes no sentido, com menor variabilidade, principalmente os de resolução inferior (ORAS5 - Fig. 3.10b, C-GLOR - Fig. 3.10c, FOAM - Fig. 3.10d, GLORYS2V4 - Fig. 3.10e, GREP - Fig. 3.10f), com o sentido predominantemente entre WSW e SW, tal qual a predominância da corrente observada pelo ADCP. Já o modelos

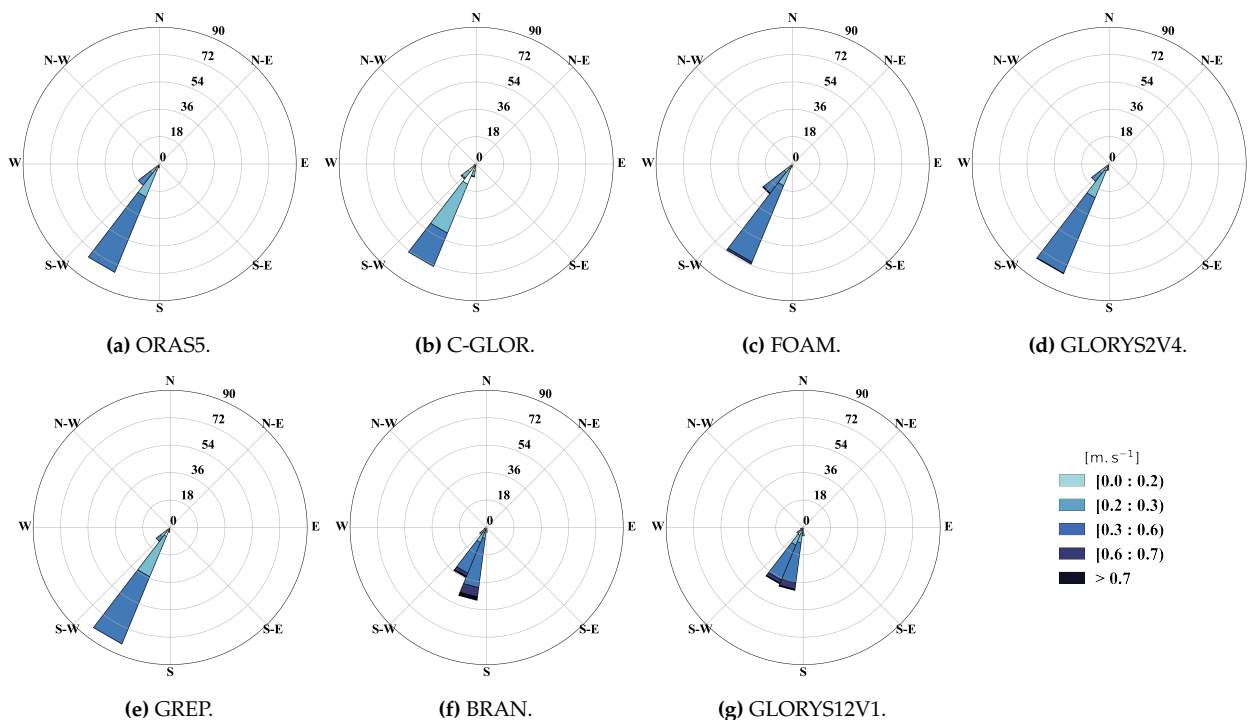
modelos GLORYS12V1 (Fig. 3.10h) e BRAN (Fig. 3.10g) apresentaram maior variabilidade, variando entre SSW e S ( $\approx 45\%$  - GLORYS12V1,  $\approx 50\%$  - BRAN). Já para intensidade, os modelos apresentaram faixas semelhantes às observações, com destaque para o GLORYS12V1 e o BRAN, em que, ao contrário dos demais, atingiram picos de velocidades iguais ao observado (superiores à  $0,7 \text{ m.s}^{-1}$ ). Na comparação das séries (Fig. 3.10i), é possível observar tais semelhanças na intensidade entre os modelos e a observação. No período próximo a maio de 2011, é possível observar o pico de intensidade para os valores observados, acompanhados do modelo GLORYS12V1 e BRAN, com intensidade próxima a  $0,8 \text{ m.s}^{-1}$ . Destaca-se também o modelo BRAN no período entre outubro e novembro de 2011, em que somente ele conseguiu reproduzir a corrente observada com precisão.



**Figura 3.10:** Rosas de correntes para os dados da boia de Santos (Fig.1.1) em (a) e para os modelos de reanálise em (b) - (h), para o período de 12/04/2011 à 15/05/2012. Em (i), as séries temporais para as componentes paralelas à costa.

Analisando no aspecto da climatologia (Fig. 3.11), os modelos de menor resolução apresentaram padrões semelhantes ao observado para o período amostral (ORAS5 - Fig. 3.11a, C-GLOR - Fig. 3.11b, FOAM - Fig. 3.11c, GLORYS2V4 - Fig. 3.11d, GREP - Fig. 3.11e). Já os modelos de maior resolução (BRAN - Fig. 3.11f e GLORYS12V1 - Fig. 3.11g) apresentam um variação suave no sentido, predominando ainda os observados nas Figuras 3.10g e 3.10h, mas com uma frequência maior para sentido à SW. As faixas de velocidades

mostram os mesmos padrões para o período analisado.

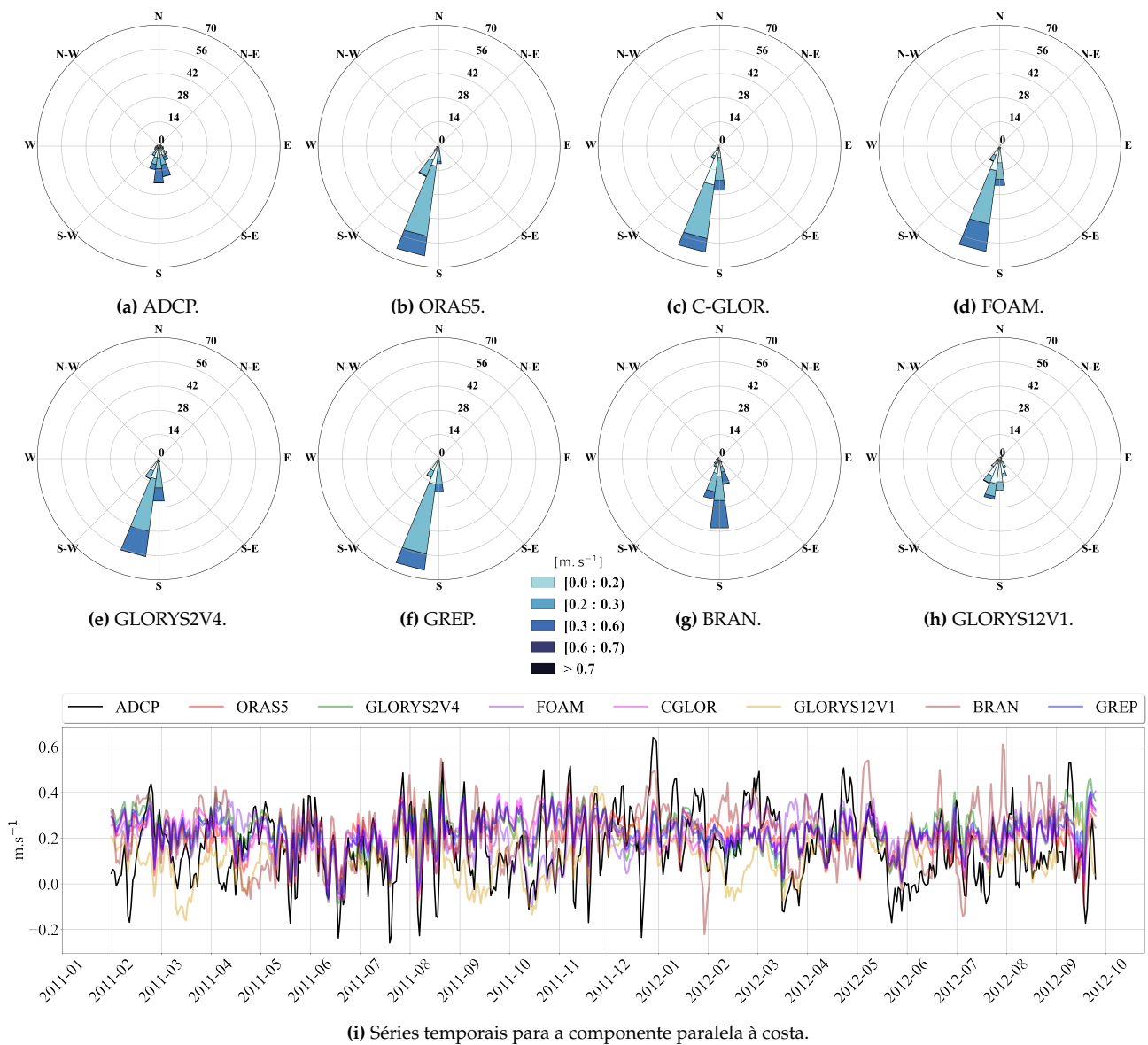


**Figura 3.11:** Climatologias dos modelos para o ponto de Santos (Figs. 3.2(e-h)). A climatologia apresentada para cada modelo corresponde ao período completo de dados disponível para cada um deles, conforme detalhado na Tabela 2.2.

### 3.2.5 Ponto de Itajaí

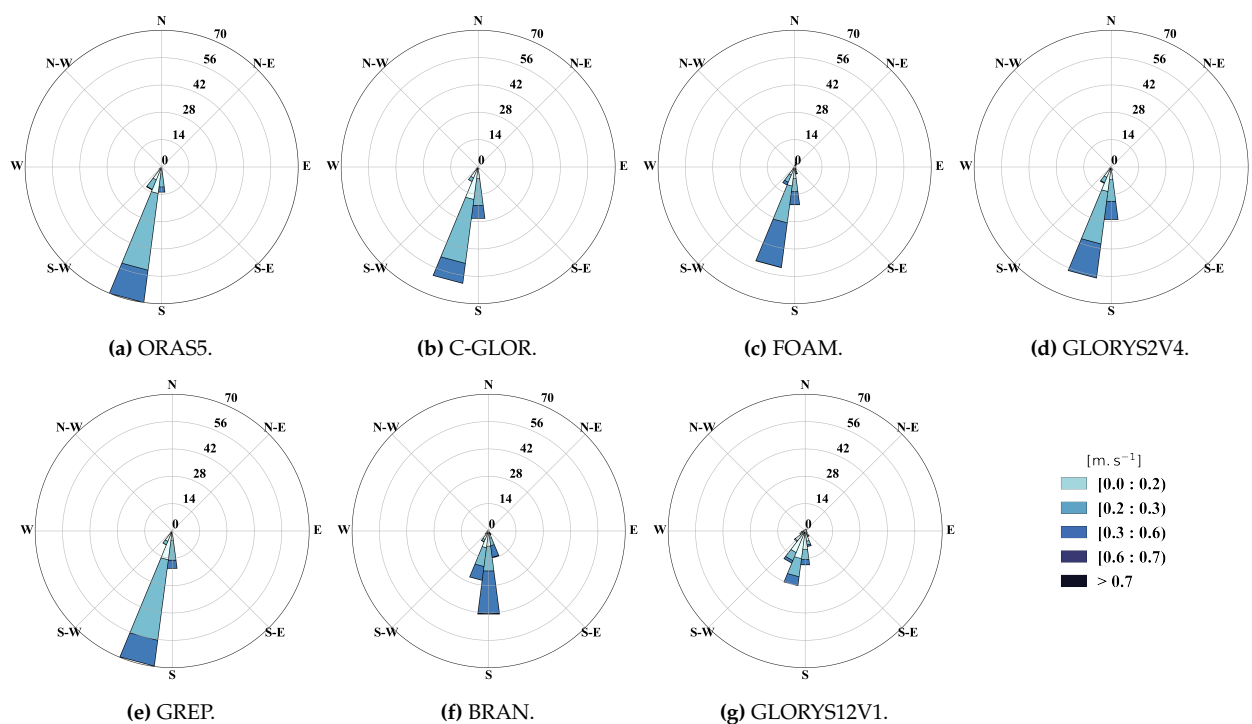
A corrente no ponto de Itajaí (Fig. 3.12) foi observada com seu sentido predominante para o S em cerca de  $22^\circ$  das observações, com uma variabilidade em torno deste eixo, com intensidades entre  $0,3$  e  $0,6 \text{ m.s}^{-1}$ , atingindo máxima velocidade observada acima de  $0,6 \text{ m.s}^{-1}$  (Fig. 3.12a). O ponto em que a boia esteve fundeada é próxima à região em que a isóbata tem uma mudança de angulação (Fig 3.3a), onde à norte da isóbata seu ângulo é em torno de  $90^\circ$  (sentido N-S), e logo após ao ponto da boia, a isóbata passa a ter uma angulação em relação ao norte de cerca de  $145^\circ$  (passando à ter sentido SW-NE). Considerando que a predominância de corrente foi para S, o ângulo considerado para rotacionar os eixos paralelo e transversal à costa foi de  $180^\circ$  (Tabela 3.1). Silveira et al. (2000) descreveu a CB com uma intensidade média de  $0,5 \text{ m.s}^{-1}$  na região de  $28^\circ\text{S}$ , que mostra concordância dos valores observados pelo ADCP.

Com exceção do modelo BRAN (Figura 3.12g), todos os modelos mostraram sentido predominante para SWS, seguido para S. O modelo GLORYS12V1 (Fig. 3.12h) mostrou maior variabilidade dentre todas as reanálises. O modelo BRAN foi o único que apresentou a corrente com sentido predominante para o S. Em relação às velocidades, novamente o BRAN foi o que melhor se aproximou das velocidades observadas pelo ADCP, com os outros modelos subestimando a intensidade, com valores predominantes entre 0,2 e 0,3  $m.s^{-1}$ . Na Figura 3.12i é possível observar que o BRAN apresentou as maiores amplitudes de intensidade, tal qual os dados observados, com todos os outros modelos mostrando velocidades entre  $\approx 0$  e 0,4  $m.s^{-1}$ .



**Figura 3.12:** Rosas de correntes para os dados da boia de Itajaí (Fig. 1.1) em (a) e para os modelos de reanálise em (b) - (h), para o período de 17/02/2011 à 03/10/2012. Em (i), as séries temporais para as componentes paralelas à costa.

Em relação as climatologias (Fig. 3.13), todos os modelos mostraram o mesmo padrão de dados de corrente, tanto em sentido quanto em intensidade, inclusive em variabilidade, não havendo diferenças notáveis entre a climatologia e o período analisado para cada modelo.



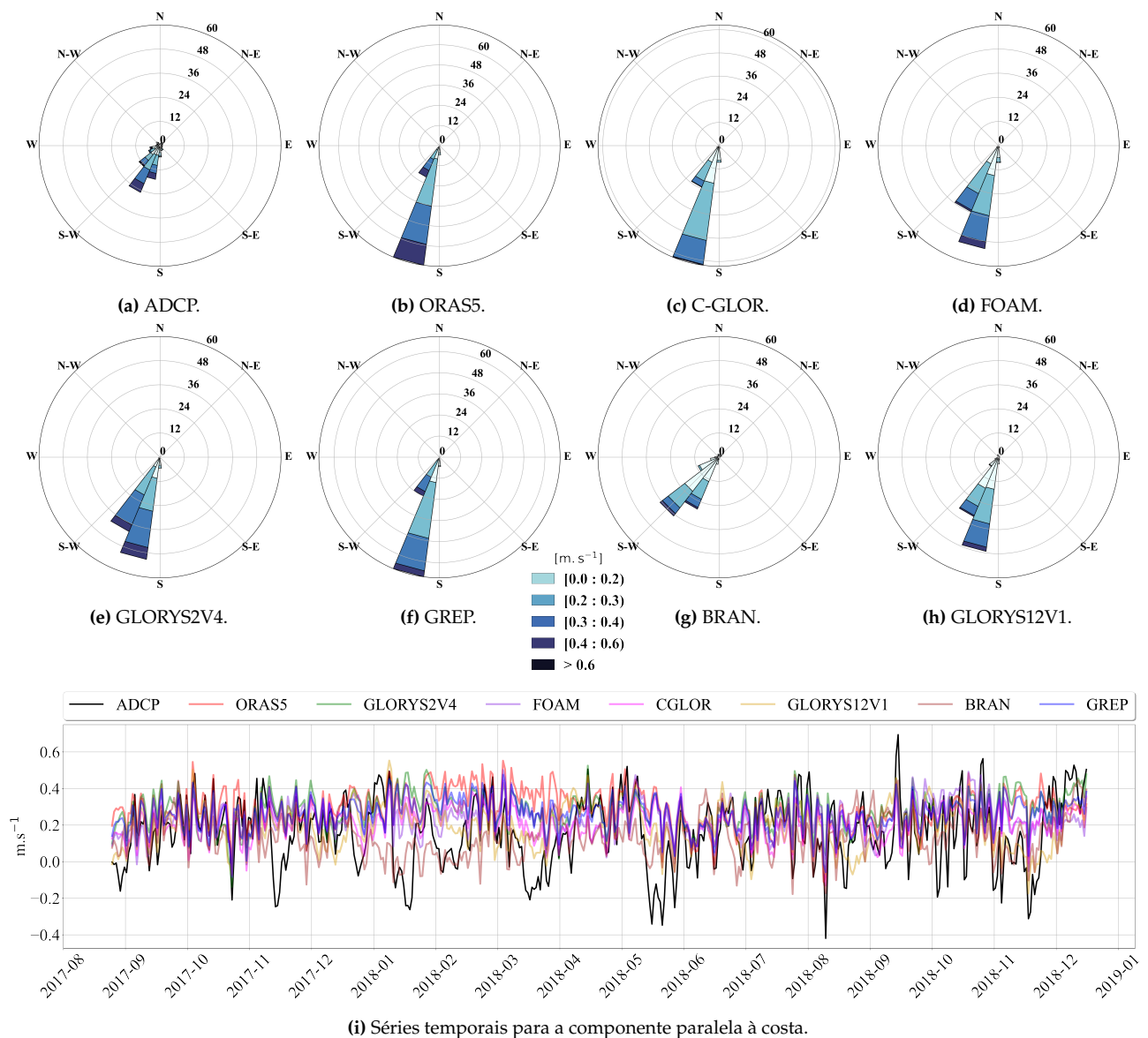
**Figura 3.13:** Climatologias dos modelos para o ponto de Itajaí (Figs. 3.3(a-d)). A climatologia apresentada para cada modelo corresponde ao período completo de dados disponível para cada um deles, conforme detalhado na Tabela 2.2.

### 3.2.6 Ponto de Rio Grande

Em Rio Grande (Fig. 3.14), a corrente observada mostrou predominância de sentido entre SWS e SW ( $\approx 25\%$  das observações), com variabilidade entre S e SSW (Fig. 3.14a). Assim como em outros pontos, a direção predominante de corrente tem a mesma angulação da isóbata em que a boia foi fundeada (Fig. 3.3e). A velocidade de corrente também possui uma alta variação, de 0,2 a 0,6  $m.s^{-1}$ . Nota-se também, pela sua rosa e pela série temporal (Fig. 3.14i, linha preta), que há alguns momentos de inversões no sinal de corrente, atingindo até 0,4  $m.s^{-1}$  para a direção oposta. Na metade de setembro de 2018, nota-se um pico em sua intensidade, ultrapassando o valor de 0,6  $m.s^{-1}$ .

Analisando os modelos, assim como em Santos, todos os modelos com exceção do BRAN (Fig. 3.14g) apresentaram o mesmo sentido predominante, entre SWS e S (Figs. 3.14b, 3.14c, 3.14d, 3.14e, 3.14f, 3.14h). É possível observar também um segundo sentido predo-

minante nestes modelos, entre SW e SWS (sentido predominante dos dados observados). Para esta direção, o modelo GLORYS2V4 (Fig. 3.14e) mostrou maior predominância quando comparado com os outros, e o ORAS5 (Fig. 3.14b) menor frequência. Já o modelo BRAN mostrou direção predominante para SW em cerca de 36% dos dados e aproximadamente 25% dos dados para a mesma direção dos dados observados. Já para os valores de velocidade, o modelo C-GLOR mostrou os menores valores dentre os modelos, que, por sua vez, também subestimam os valores dos dados observados, com uma faixa de predominância maior para velocidades entre 0,2 e 0,4  $m.s^{-1}$ . Destaca-se nesse aspecto o modelo ORAS5, que apresentou valores máximos próximos aos observados (Fig. 3.14i, linha laranja). É interessante observar sobre a mudança de direção citada nos dados observados, os modelos BRAN e em menor grau, GLORYS12V1, foram capazes de reproduzir a inversão de direção (entre janeiro e março de 2018, agosto e setembro de 2018, novembro e dezembro de 2018), diferentemente dos outros modelos, que não mostram sinais inversos em sua velocidade.

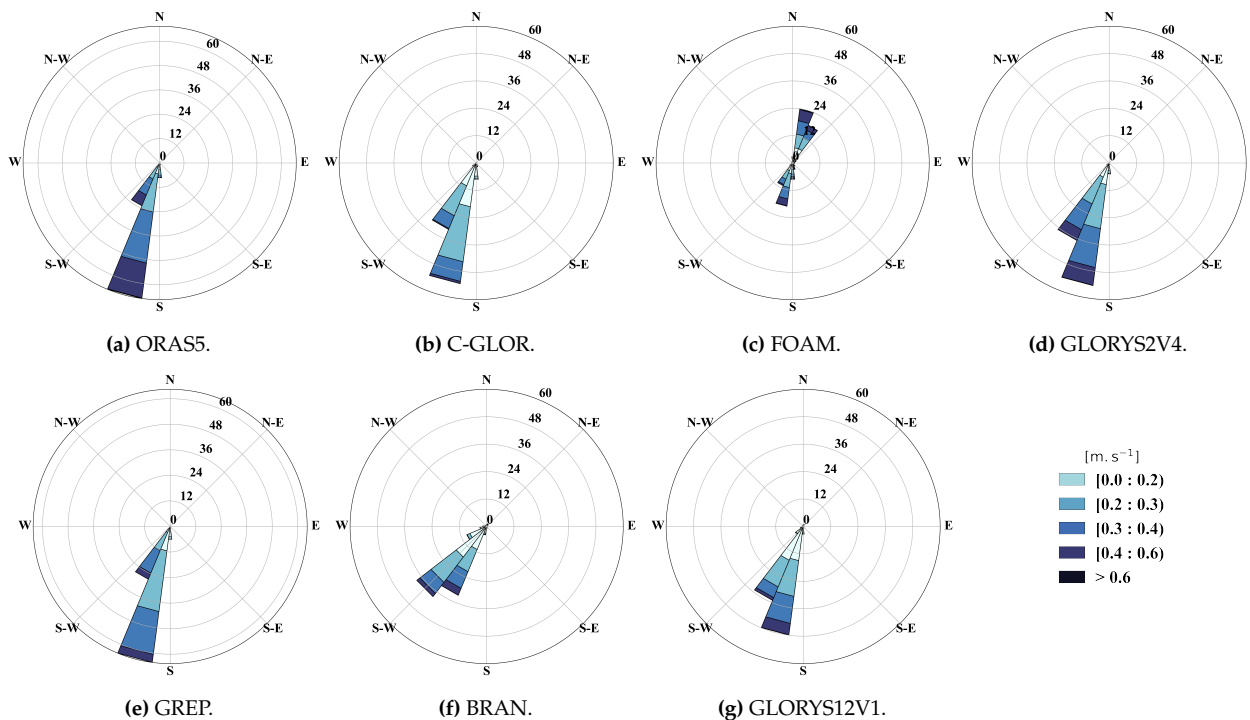


(i) Séries temporais para a componente paralela à costa.

**Figura 3.14:** Rosas de correntes para os dados da boia de Rio Grande (Fig. 1.1) em (a) e para os modelos de reanálise em (b) - (h), para o período de 15/09/2017 à 30/12/2018. Em (i), as séries temporais para as componentes paralelas à costa.

De maneira semelhante à Itajaí, as climatologias dos modelos em Rio Grande (Fig. 3.15) mostram o mesmo padrão de direção e velocidade para quase todos os modelos, com exceção do modelo FOAM (Fig. 3.15c), que apresenta valores de direção predominantemente opostos aos valores observados, aos do modelo para o mesmo período e das demais climatologias. Considerando os outros resultados, e especialmente a dinâmica local da região, infere-se a existência de possíveis inconsistências no modelo ao longo da sua série

histórica para este ponto em específico.



**Figura 3.15:** Climatologias dos modelos para o ponto de Rio Grande (Figs. 3.3(e-h)). A climatologia apresentada para cada modelo corresponde ao período completo de dados disponível para cada um deles, conforme detalhado na Tabela 2.2.

### 3.3 Digramas de Taylor

Para sumarizar as comparações entre os dados de reanálise e as observações, os digramas de Taylor referentes às componentes paralelas à costa estão dispostos na Figura 3.16. Para a construção dos diagramas, os valores de cada conjunto de dados (observados e modelos) foram normalizados pelo desvio padrão dos dados observados, desta maneira, as observações ficam sempre localizadas no eixo  $x$  com o desvio padrão igual a 1. A direção dos marcadores dos modelos (triângulos) indica o viés em relação aos dados observados (se o modelo superestima (triângulo para cima) ou subestima (triângulo para baixo)). Maiores detalhes para a interpretação deste diagrama estão descritos na seção 2.3.6.4.

Uma característica comum para quase todos os pontos analisados (Figs. 3.16a, 3.16c, 3.16d, 3.16e, 3.16f), com exceção para o ponto de Porto Seguro (Fig. 3.16b), é o agrupa-

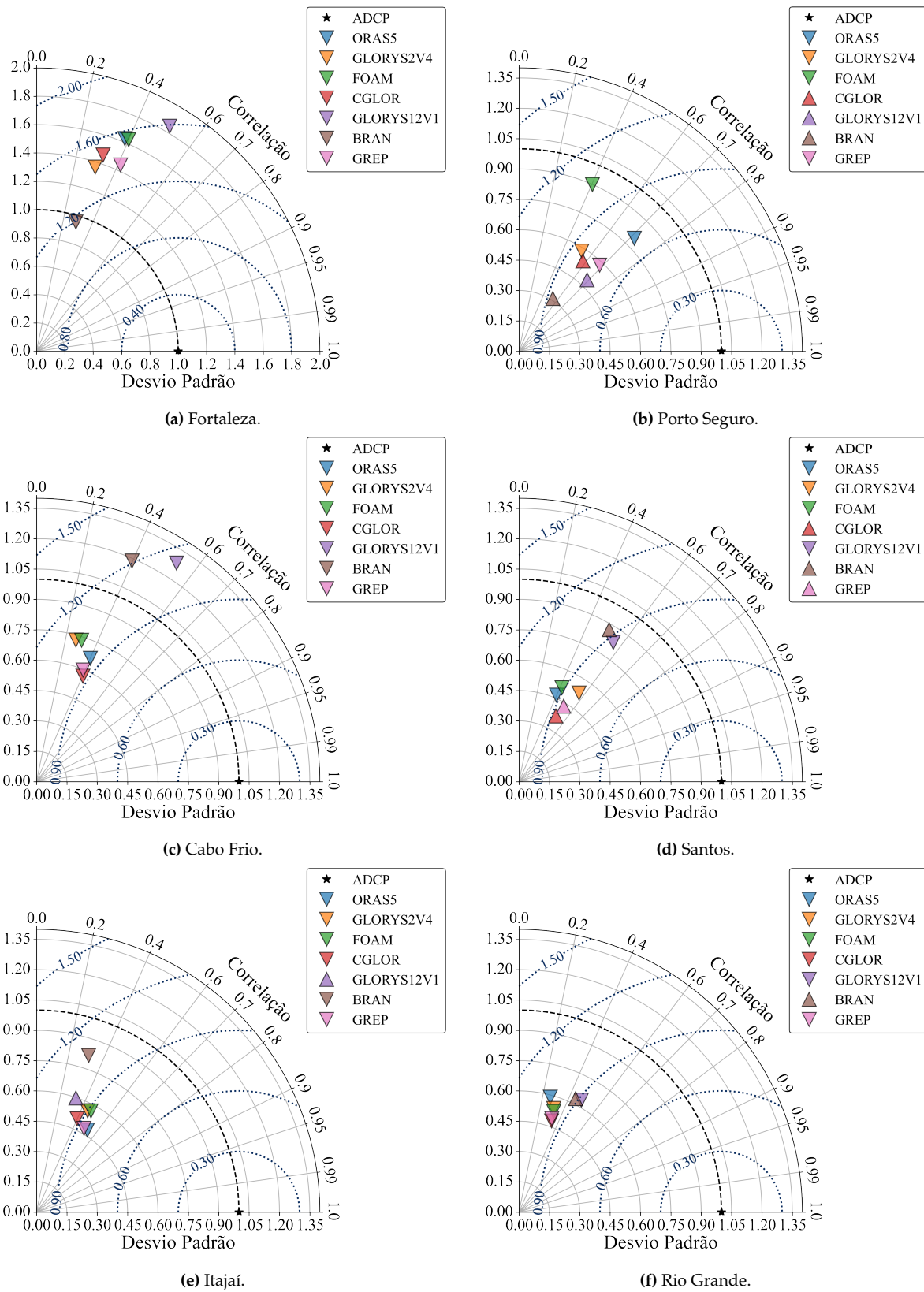
mento dos modelos de mesma resolução (ORAS5, C-GLOR, GLORYS2V4, FOAM e GREP), o que mostra que estes possuem performance semelhante para essas localidades. No caso do modelo por conjunto GREP isso sempre será esperado, visto que ele é composto pelos produtos ORAS5, GLORYS2V4 e C-GLOR. Em Porto Seguro, destaca-se o modelo ORAS5 não só possuir a melhor correlação ( $r = 0,71$ ), como ter um desvio padrão próximo aos dados de referência ( $\sigma = 0,80$ ) e menor CRMSE ( $CRMSE \approx 0,70$ ), o que mostra este modelo como o mais próximo dos dados observados. Outro modelo em destaque neste caso é o FOAM, que, apesar de não estar entre os melhores, mostrou possuir o desvio padrão mais próximo da referência ( $\sigma = 0,90$ ), o que mostra ser o melhor em representar a variabilidade da corrente neste ponto. Analisando as rosas de corrente na Figura 3.6, percebe-se que apesar dos modelos com maior resolução (GLORYS12V1 (Fig. 3.6h) e BRAN (Fig. 3.6h)) apresentarem uma rosa mais semelhante à dos dados observados (em relação à distribuição dos setores de direção), ambas possuem intensidades de correntes inferiores (intensidade máxima menor que  $0,2 \text{ m.s}^{-1}$ ) à observação, que apresentou valores superiores à  $0,4 \text{ m.s}^{-1}$ ). Já para os modelos ORAS5 (Fig. 3.6b) e FOAM (Fig. 3.6d), a intensidade de corrente mostrou-se superior quando comparada com todos os outros modelos, apresentando valores mais próximos dos observados (Fig. 3.6i).

Nas demais localidades, o modelo GLORYS12V1 apresentou melhor correlação em Fortaleza (Fig. 3.16a,  $r = 0,51$ ), Cabo Frio (Fig. 3.16c,  $r = 0,54$ ), Santos (Fig. 3.16d,  $r = 0,56$ ) e Rio Grande (Fig. 3.16f,  $r = 0,54$ ). Em Santos, porém, o modelo apresentou a mesma correlação do que o modelo GLORYS2V4, apresentando um melhor desvio padrão ( $\sigma = 0,83$ ) em uma comparação direta entre os dois.

Em Itajaí (Figura 3.16e), o modelo ORAS5 destaca-se novamente com a melhor correlação dentre os modelos ( $r = 0,56$ ), apresentando também o melhor CRMSE ( $CRMSE \approx 0,80$ ). De maneira contrária as outras localidades, o modelo GLORYS12V1 apresentou uma das piores correlações neste ponto ( $r = 0,33$ ), melhor apenas que o modelo BRAN ( $r = 0,32$ ). É interessante observar que os modelos com melhores resoluções apresentaram, de maneira

geral, as piores métricas quando comparados aos resultados dos demais modelos e valores observados. Ressalta-se, porém, que todos os modelos nesta localidade apresentaram resultados, em média, inferiores quando comparados à sua performance em outras localidades, destacando-se apenas o modelo BRAN com  $\sigma = 0,82$ , mostrando uma variabilidade de corrente mais próxima dos valores observados. Analisando a rosa de corrente para este ponto (Fig. 3.12), nota-se que de fato quase todos os modelos possuem uma direção predominante para sul-sudoeste (SSO), diferente da predominância para sul (S) nos dados observados (Fig. 3.12a), com exceção do modelo BRAN (Fig. 3.12g), que possui a mesma predominância e variabilidade semelhante em direção e intensidade.

Em Rio Grande (Fig. 3.16f), nota-se que todos os modelos estão concentrados na mesma área do diagrama, o que ilustra que os modelos apresentaram resultados semelhantes em todas as métricas avaliadas para esta localidade.



**Figura 3.16:** Diagramas de Taylor para as componentes paralelas à costa dos dados observados e modelados. Todos os dados foram normalizados pelo desvio padrão dos dados observados, desta forma o desvio padrão dos valores observados fica centrado em DP = 1 no eixo x.

### 3.4 Resumo - Métricas Estatísticas

A Tabela 3.2 mostra as métricas utilizadas neste estudo para cada ponto e respectivos modelos, tanto para a componente paralela à costa (na tabela, variável *along*), quanto para a transversal à costa (na tabela, variável *cross*). Os resultados para cada métrica foram obtidos usando os dados absolutos de cada série (sem a normalização aplicada na seção anterior, 3.3). Os modelos que possuem o melhor resultado dentre os outros para uma determinada métrica estão destacados em tom de verde. Da mesma maneira, aqueles que possuem o pior resultado destacam-se em tom de vermelho. Nos casos de valores iguais, ambos são destacados. Também é feita uma comparação dos dados do modelo por conjunto GREP com os mesmos modelos que o compõem (ORAS5, GLORYS2V4, C-GLOR), sendo que se o GREP apresentar um resultado superior aos demais, o valor é sublinhado de verde. Caso a métrica do GREP seja a pior, é sublinhada em vermelho. Para a análise do desvio padrão, o desvio padrão das componentes observadas é dado como referência para cada componente e localidade. Nota-se que, devido à transformação de coordenadas (rotação para o eixo paralelo à costa), os valores da componente transversal tendem a apresentar resultados inferiores quando comparados aos da componente paralela, ou até mesmo não apresentar correlações com as observações (como no caso do modelo ORAS5 e C-GLOR, na componente transversal em Fortaleza).

Analisando o quadro geral, ou seja, todas as métricas em todos os pontos analisados, os modelos GLORYS12V1 e BRAN mostraram os melhores resultados, enquanto o modelo ORAS5 e C-GLOR mostraram as piores métricas, embora haja exceções, já destacadas na análise com os diagramas de Taylor. É importante salientar que, apesar dos destaques na tabela apontarem os melhores (verde) e piores (vermelho) resultados para uma determinada métrica de avaliação e ponto, valores muito semelhantes são observados entre os modelos, muitas vezes com diferença de apenas 0,01 na sua métrica. Observa-se essa situação principalmente nos modelos de menor resolução. Outro ponto de destaque na análise da ta-

bela refere-se ao *Skill Score*, que permite identificar o modelo mais "habilidoso" ao considerar simultaneamente diferentes métricas de desempenho. Por exemplo, em Fortaleza, na análise da componente paralela à costa, o modelo GLORYS12V1 apresenta a melhor correlação ( $r = 0,51$ ), no entanto, para as demais métricas, esse modelo exibe o pior desempenho, incluindo o menor *Skill Score* ( $S = 0,53$ ). Da mesma forma, o modelo BRAN, que apresentou a pior correlação neste ponto ( $r = 0,29$ ), mostrou o melhor *Skill Score* dentre todos os modelos ( $S = 0,64$ ), além dos melhores valores para as outras métricas.

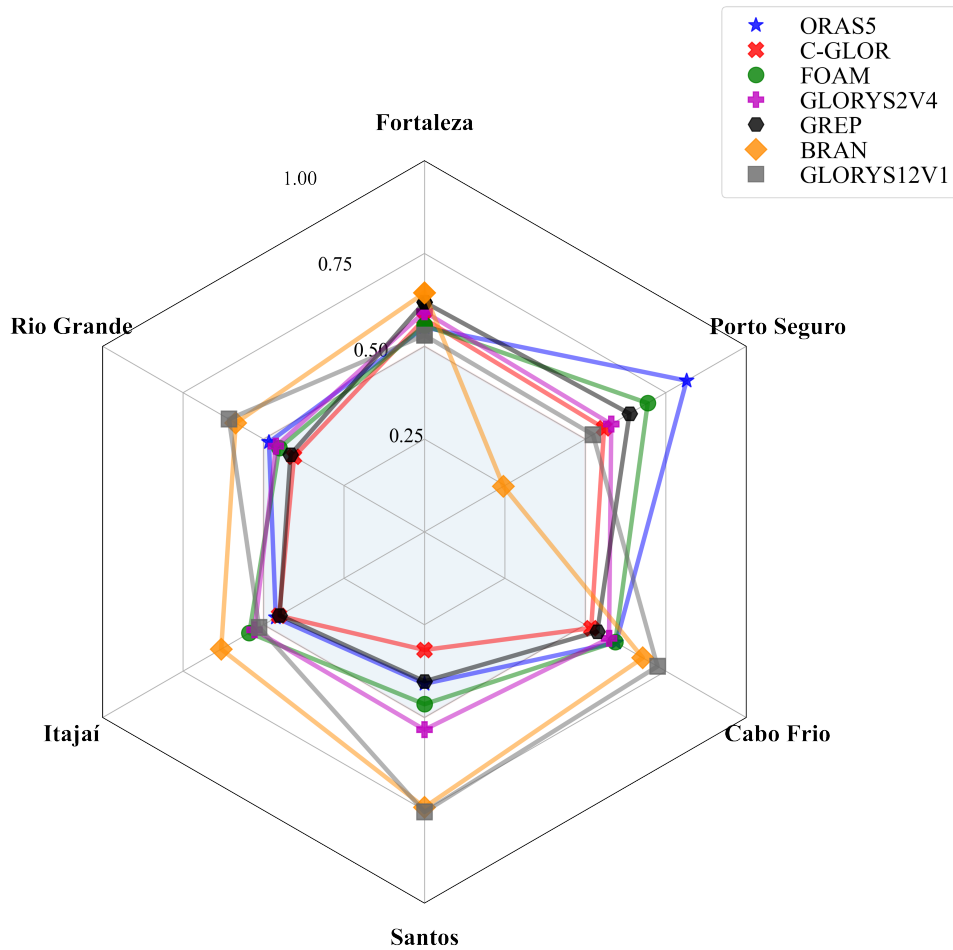
Ponto	Comp.	Métrica	ORAS5	C-GLOR	GLORYS2V4	GREP	FOAM	GLORYS12V1	BRAN
FO (n = 228)	cross	r	0,00	0,00	0,01	<u>0,11</u>	-0,02	-0,01	0,17
		bias [m.s <sup>-1</sup> ]	0,20	0,17	0,17	<u>0,14</u>	0,20	0,10	0,07
		RMSE [m.s <sup>-1</sup> ]	0,21	0,18	0,18	<u>0,15</u>	0,20	0,12	0,09
		DP(σ=0,05) [m.s <sup>-1</sup> ]	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04
		Skill(S)	0,19	0,31	0,28	<u>0,34</u>	0,36	0,39	0,55
	along	r	0,38	0,32	0,30	<u>0,41</u>	0,40	0,51	0,29
		bias [m.s <sup>-1</sup> ]	0,40	0,20	0,20	0,30	0,37	0,48	0,14
		RMSE [m.s <sup>-1</sup> ]	0,44	0,25	0,25	0,33	0,41	0,51	0,18
		DP(σ=0,10) [m.s <sup>-1</sup> ]	0,18	0,16	0,15	0,16	0,18	0,20	0,10
		Skill(S)	0,55	0,57	0,59	<u>0,62</u>	0,56	0,53	0,64
PS (n = 252)	cross	r	-0,08	-0,06	0,45	0,18	0,20	0,31	-0,14
		bias [m.s <sup>-1</sup> ]	-0,07	-0,08	-0,09	-0,08	-0,07	-0,04	-0,05
		RMSE [m.s <sup>-1</sup> ]	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,09	0,10
		DP(σ=0,07) [m.s <sup>-1</sup> ]	0,04	0,04	0,04	<u>0,02</u>	0,04	0,04	0,02
		Skill(S)	0,29	0,27	0,48	<u>0,19</u>	0,35	0,40	0,12
	along	r	0,71	0,58	0,53	0,68	0,40	0,69	0,54
		bias [m.s <sup>-1</sup> ]	-0,10	0,00	-0,05	-0,05	-0,08	0,02	0,02
		RMSE [m.s <sup>-1</sup> ]	0,14	0,12	0,14	0,12	0,18	0,12	0,13
		DP(σ=0,15) [m.s <sup>-1</sup> ]	0,12	0,08	0,09	0,09	0,14	0,07	0,05
		Skill(S)	0,81	0,56	0,58	0,64	0,69	0,52	0,25
CF (n = 317)	cross	r	-0,15	-0,08	-0,33	-0,30	-0,49	0,53	0,35
		bias [m.s <sup>-1</sup> ]	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,09	-0,01	-0,01
		RMSE [m.s <sup>-1</sup> ]	0,18	0,18	0,19	0,18	0,18	0,12	0,13
		DP(σ=0,14) [m.s <sup>-1</sup> ]	0,03	0,04	0,04	<u>0,02</u>	0,04	0,09	0,07
		Skill(S)	0,09	0,12	0,10	<u>0,04</u>	0,07	0,67	0,43
	along	r	0,40	0,40	0,27	0,38	0,30	0,54	0,40
		bias [m.s <sup>-1</sup> ]	0,22	0,23	0,23	0,23	0,25	0,10	0,13
		RMSE [m.s <sup>-1</sup> ]	0,28	0,28	0,29	0,28	0,31	0,21	0,24
		DP(σ=0,17) [m.s <sup>-1</sup> ]	0,11	0,10	0,12	0,10	0,12	0,21	0,20
		Skill(S)	0,60	0,52	0,57	0,54	0,59	0,72	0,68
SA (n = 370)	cross	r	0,06	0,25	0,33	0,25	0,16	0,23	0,27
		bias [m.s <sup>-1</sup> ]	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	-0,03	-0,04
		RMSE [m.s <sup>-1</sup> ]	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,11	0,12
		DP(σ=0,09) [m.s <sup>-1</sup> ]	0,02	0,03	0,03	<u>0,02</u>	<u>0,02</u>	0,07	0,08
		Skill(S)	0,12	0,18	0,20	0,13	0,15	0,58	0,63
	along	r	0,40	0,49	0,56	0,51	0,42	0,56	0,51
		bias [m.s <sup>-1</sup> ]	0,03	-0,07	0,02	<u>-0,01</u>	0,06	0,00	0,00
		RMSE [m.s <sup>-1</sup> ]	0,19	0,19	0,17	0,18	0,20	0,18	0,19
		DP(σ=0,20) [m.s <sup>-1</sup> ]	0,10	0,08	0,11	0,09	0,11	0,17	0,18
		Skill(S)	0,41	0,32	0,53	0,40	0,46	0,75	0,74

Ponto	Var.	Métrica	ORAS5	C-GLOR	GLORYS2V4	GREP	FOAM	GLORYS12V1	BRAN
IT (n = 595)	cross	r	0,10	0,14	0,19	0,17	0,09	0,15	0,25
		bias [m.s <sup>-1</sup> ]	0,08	0,06	0,07	0,07	0,06	0,04	0,03
		RMSE [m.s <sup>-1</sup> ]	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09
		DP(σ=0,07) [m.s <sup>-1</sup> ]	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,06	0,06
		Skill(S)	0,24	0,21	0,35	0,23	0,34	0,52	0,58
	along	r	0,53	0,40	0,45	0,49	0,47	0,33	0,32
		bias [m.s <sup>-1</sup> ]	0,06	0,05	0,07	0,06	0,06	-0,03	0,06
		RMSE [m.s <sup>-1</sup> ]	0,14	0,15	0,16	0,15	0,15	0,16	0,18
		DP(σ=0,16) [m.s <sup>-1</sup> ]	0,07	0,08	0,09	0,07	0,09	0,09	0,13
		Skill(S)	0,46	0,45	0,53	0,45	0,54	0,51	0,63
RG (n = 472)	cross	r	-0,04	-0,01	0,15	0,05	0,14	0,02	0,13
		bias [m.s <sup>-1</sup> ]	-0,06	-0,05	-0,05	-0,06	-0,05	-0,04	0,01
		RMSE [m.s <sup>-1</sup> ]	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09
		DP(σ=0,08) [m.s <sup>-1</sup> ]	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03
		Skill(S)	0,15	0,18	0,23	0,11	0,25	0,20	0,26
	along	r	0,26	0,34	0,32	0,33	0,32	0,49	0,45
		bias [m.s <sup>-1</sup> ]	0,13	0,05	0,11	0,10	0,08	0,03	-0,01
		RMSE [m.s <sup>-1</sup> ]	0,23	0,18	0,21	0,20	0,20	0,17	0,17
		DP(σ=0,19) [m.s <sup>-1</sup> ]	0,11	0,09	0,10	0,09	0,10	0,12	0,12
		Skill(S)	0,48	0,41	0,46	0,42	0,45	0,61	0,59

**Tabela 3.2:** Resultados das métricas de comparação para cada modelo (FO - Fortaleza, PS - Porto Seguro, CF - Cabo Frio, SA - Santos, IT - Itajaí, RG - Rio Grande). Os valores dos desvios padrão das observações são mostrados em cada componente para cada localidade para referência de comparação. São destacados em tom de verde o melhor resultado dentre os modelos para a métrica avaliada, assim como destacados em tom de vermelho o modelo com o pior resultado. Para o modelo por conjunto GREP, o resultado é sublinhado em verde quando a sua métrica mostrou-se superior aos modelos GLORYS2V4, C-GLOR e ORAS5. Da mesma maneira, encontra-se sublinhado em vermelho quando apresenta o pior resultado.

A Figura 3.17 resume os *skill's* de cada modelo para cada localidade analisada neste estudo, sendo possível notar algumas semelhanças entre os modelos. Inicialmente, os modelos com a menor resolução estão na mesma faixa de *skill* em quase todas os pontos, com exceção em Porto Seguro, que apresenta um padrão inverso dos outros pontos; os modelos com maior *skill* são os de menor resolução, primeiramente o ORAS5 ( $S = 0,81$ ), que além de apresentar o melhor *skill* para este ponto, apresenta o melhor *skill* dentre todos os pontos e modelos. O FOAM também se destaca em Porto Seguro, apresentando  $S = 0,69$ , se destacando também em uma visão global. Em seguida, apresentando *scores* próximos, estão GREP ( $S = 0,64$ ), GLORYS2V4 ( $S = 0,58$ ), C-GLOR ( $S = 0,56$ ) e GLORYS12V1 ( $S = 0,52$ ).

Por fim, o modelo BRAN apresenta não só o pior *score* para este ponto, como também o pior entre todos os pontos ( $S = 0,25$ ).



**Figura 3.17:** Gráfico de Radar ilustrando o *skill score* para cada modelo, em cada ponto analisado para a componente paralela à costa. O centro do hexágono representa  $S = 0$ , enquanto cada vértice representa  $S = 1$  para o ponto sinalizado.

## Capítulo 4

### Conclusões

Este trabalho teve o intuito de avaliar a performance de seis modelos de reanálises e um modelo por conjunto, no campo de correntes, em regiões distintas da costa brasileira. Com a coleta de dados *in situ* por ADCP's instalados em boias do Programa Nacional de Boias (PNBOIA), este estudo conseguiu realizar a avaliação dos modelos para seis localidades diferentes, sempre próximas à isóbata de 200 m. Os dados obtidos com o PNBOIA foram submetidos inicialmente a testes de controle de qualidade baseados no QARTOD (2019), corrigidos para o norte verdadeiro e então o sinal de maré removido (filtro passa-baixa *butterworth* de 72 horas (Roberts & Roberts, 1978)) e calculada a média da coluna d'água. Para os modelos de reanálise, inicialmente buscou-se avaliar a batimetria de cada modelo com o intuito de escolher o ponto com a profundidade mais próxima do ponto em que a boia esteve instalada. Além disso, uma análise espacial da batimetria foi realizada, em comparação com a do modelo de batimetria de alta resolução ETOPO (0,016°), buscando avaliar possíveis influências no campo de corrente, assim como limitações de representação da plataforma/quebra da plataforma devido à resolução de cada modelo. Para a análise dos resultados, foi adotada uma rotação de eixos, de forma a melhor capturar a variabilidade das correntes ao longo da sua componente de maior variabilidade, orientada ao longo da componente paralela à quebra da plataforma.

Até onde se tem conhecimento, este é um dos primeiros estudos que analisam o desempenho de reanálises oceânicas no campo de correntes, frente a dados observados, em regiões na margem continental brasileira. Neste contexto, esse trabalho fornece uma contribuição inédita para o melhor entendimento do desempenho dos modelos para cada uma das regiões analisadas.

Do ponto de vista das análises de batimetrias dos modelos, verifica-se que as regiões que possuem uma quebra de plataforma mais suave são melhor representadas do que em regiões com uma quebra mais abrupta, como é o caso das regiões de Fortaleza e Porto Seguro. Além disso, nestes mesmos pontos, destaca-se também a limitação para a representação de pequenas ilhas e promontórios, especialmente nos modelos de menor resolução. Apesar disso, os modelos de menor resolução e com maiores diferenças de batimetria mostram os melhores resultados (primeiramente ORAS5, em segundo FOAM), enquanto modelos com maior resolução espacial e batimetria melhor representada mostraram os piores resultados para este ponto. Isso sugere que não necessariamente um modelo com maior resolução espacial terá melhor performance ou, por possuir maior resolução, será sempre o modelo mais apropriado para o uso em estudos e compreensão de uma região.

No quesito do desempenho dos modelos, no geral, os resultados deste estudo indicam que, embora nenhum modelo tenha apresentado desempenho superior em absolutamente todos os cenários avaliados, os modelos BRAN e GLORYS12V1 se destacaram de forma consistente em relação aos demais. Conforme mostrado na Tabela 3.2, foram analisados, ao todo, 60 parâmetros (6 localidades, 5 métricas para 2 componentes), sendo que desta totalidade o BRAN se destacou com o melhor resultado em 29 ocasiões (48,3% do total), seguido do modelo GLORYS12V1, apresentando as melhores métricas em 25 casos (41,7%). Houve 7 ocorrências em que ambos mostraram os melhores valores de maneira simultânea. De maneira contrária, foram poucos os casos em que os modelos mostraram o pior desempenho na métrica avaliada, sendo 7 ocasiões para o BRAN (11,7%) e 4 para o GLORYS12V1 (7%). A Figura 3.17 ilustra essa situação, com o destaque notável destes mode-

los em 3 localidades frente aos demais: Cabo Frio ( $S_{BRAN} = 0,68$ ,  $S_{GLORYS12V1} = 0,72$ ), Santos ( $S_{BRAN} = 0,74$ ,  $S_{GLORYS12V1} = 0,75$ ) e Rio Grande ( $S_{BRAN} = 0,59$ ,  $S_{GLORYS12V1} = 0,61$ ). Em outras 2 com destaque maior ao modelo BRAN (Fortaleza -  $S_{BRAN} = 0,64$  e Itajaí -  $S_{BRAN} = 0,63$ ).

Diferentemente do proposto por Gounou et al. (2023), que apresenta o modelo por conjunto GREP como um produto com potencial de fornecer informações mais precisas quando comparado à dados observados, o modelo apresentou resultados superiores aos outros modelos que o compõe apenas em Fortaleza ( $S = 0,62$  e  $r = 0,41$ ) e um dos melhores RMSE em Porto Seguro ( $RMSE = 0,12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), nos demais pontos, apresentou resultados intermediários ou até mesmo pior do que os modelos que o originam.

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que, no geral, o modelo BRAN pode ser o mais apropriado para estudos ou projetos que necessitam entender ou utilizar o campo de correntes da região, considerando que tal região possua uma batimetria mais regular e com poucas feições morfológicas. Já para regiões com a plataforma caracterizada por maior complexidade morfológica e menor uniformidade no alinhamento das isóbatas na quebra da plataforma continental, tal como a região de Porto Seguro, recomenda-se uma avaliação prévia dentre os modelos disponíveis e suas diferenças.

O fato de o BRAN mostrar ser uma das melhores escolhas de modelo, com as devidas ressalvas mencionadas, revela um resultado de certa forma peculiar, pois este modelo não possui a maior resolução espacial, a componente oceânica é australiana e a forçante atmosférica é japonesa. Naturalmente, tais modelos, apesar de globais, são desenvolvidos com foco nesta região do globo, então a performance superior deste produto de reanálise frente aos demais, na região de estudo deste trabalho, merece certo destaque.

Em suma, este estudo mostrou não somente o desempenho dos modelos de reanálises oceânicas em relação a dados observados no campo de correntes, bem como a influência da batimetria nestes produtos. Porém, outros componentes destes modelos podem ser estuda-

dos em maiores detalhes em estudos futuros, como, por exemplo, as forçantes atmosféricas de cada modelo e como cada uma representa o campo de ventos e fenômenos atmosféricos que afetam a circulação superficial. Por fim, apesar da viabilidade das análises realizadas com os dados disponíveis, ficou evidente a lacuna espacial e temporal nos sistemas de observação ao longo da margem continental brasileira, sendo imperativos maiores investimentos e recursos para os programas de monitoramento e observação dos oceanos no Brasil.

# Bibliografía

- Amaya, D. J., Alexander, M. A., Scott, J. D., & Jacox, M. G. (2023). An evaluation of high-resolution ocean reanalyses in the California current system. *Progress in Oceanography*, 210, 102951. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2022.102951>
- Balmaseda, M., Hernandez, F., Storto, A., Palmer, M., Alves, O., Shi, L., Smith, G., Toyoda, T., Valdivieso, M., Barnier, B., Behringer, D., Boyer, T., Chang, Y.-S., Chepurin, G., Ferry, N., Forget, G., Fujii, Y., Good, S., Guinehut, S., ... Gaillard, F. (2015). The Ocean Reanalyses Intercomparison Project (ORA-IP). *Journal of Operational Oceanography*, 8(sup1), s80–s97. <https://doi.org/10.1080/1755876x.2015.1022329>
- Blockley, E. W., Martin, M. J., McLaren, A. J., Ryan, A. G., Waters, J., Lea, D. J., Mirouze, I., Peterson, K. A., Sellar, A., & Storkey, D. (2014). Recent development of the Met Office operational ocean forecasting system: an overview and assessment of the new Global FOAM forecasts. *Geoscientific Model Development*, 7(6), 2613–2638. <https://doi.org/10.5194/gmd-7-2613-2014>
- Castillo-Trujillo, A. C., Kwon, Y.-O., Fratantoni, P., Chen, K., Seo, H., Alexander, M. A., & Saba, V. S. (2023). An evaluation of eight global ocean reanalyses for the Northeast U.S. Continental shelf. *Progress in Oceanography*, 219, 103126. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2023.103126>
- Chamberlain, M. A., Oke, P. R., Brassington, G., Sandery, P., Divakaran, P., & Fiedler, R. (2021a). Multiscale data assimilation in the Bluelink ocean reanalysis (BRAN). *Ocean Modelling*, 166, 101849. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2021.101849>

- Chamberlain, M. A., Oke, P. R., Fiedler, R. A. S., Beggs, H. M., Brassington, G. B., & Divakaran, P. (2021b). Next generation of Bluelink ocean reanalysis with multiscale data assimilation: BRAN2020. *Earth System Science Data*, 13(12), 5663–5688. <https://doi.org/10.5194/essd-13-5663-2021>
- Chi, L., Wolfe, C. L., & Hameed, S. (2018). Intercomparison of the Gulf Stream in ocean reanalyses: 19932010. *Ocean Modelling*, 125, 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2018.02.008>
- Cirano, M., Mata, M. M., Campos, E. J., & Deiró, N. F. (2006). A circulação oceânica de larga-escala na região oeste do Atlântico Sul com base no modelo de circulação Global OCCAM. *Revista Brasileira de Geofísica*, 24(2), 209–230. <https://doi.org/10.1590/s0102-261x2006000200005>
- de Souza, J. M. A. C., Couto, P., Soutelino, R., & Roughan, M. (2021). Evaluation of four global ocean reanalysis products for New Zealand waters A guide for regional ocean modelling. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 55(1), 132–155. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/00288330.2020.1713179>
- de Freitas Assad, L. P., Toste, R., Böck, C. S., Nehme, D. M., Sancho, L., Soares, A. E., & Landau, L. (2020). Ocean climatology at Brazilian Equatorial Margin: A numerical approach. *Journal of Computational Science*, 44, 101159. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jocs.2020.101159>
- Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M. A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A. C. M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A. J., ... Vitart, F. (2011). The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137(656), 553–597. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/qj.828>
- Divakaran, P., Brassington, G., Ryan, A., Regnier, C., Spindler, T., Mehra, A., Hernandez, F., Smith, G., Liu, Y., & Davidson, F. (2015). GODAE OceanView Inter-comparison for

- the Australian Region. *Journal of Operational Oceanography*, 8(sup1), s112–s126. <https://doi.org/10.1080/1755876x.2015.1022333>
- Drévilion, M., Fernandez, E., & Lellouche, J.-M. (2022). *Product User Manual For the Global Ocean Physical Multi Year product GLOBAL\_MULTIYEAR\_PHY\_001\_030*. Versão 1.4. Mercator-Ocean.
- Garric, G., & Parent, L. (2018, abril 10). *Product User Manual For Global Ocean Reanalysis Products GLOBAL-REANALYSIS-PHY-001-025*. Versão 4.1. Mercator-Ocean.
- Gould, J., Sloyan, B., & Visbeck, M. (2013). In Situ Ocean Observations. Em *Ocean Circulation and Climate - A 21st Century Perspective* (pp. 59–81). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-391851-2.00003-9>
- Gounou, A., Drévilion, M., & Clavier, M. (2023). *Product User Manual Global Ocean Reanalysis Product GLOBAL-REANALYSIS-PHY-001-031*. Versão 1.1. Mercator-Ocean.
- Grassl, H. (2001). Chapter 1.1 Climate and oceans. Em *Ocean Circulation and Climate - Observing and Modelling the Global Ocean* (pp. 3–9). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/s0074-6142\(01\)80108-x](https://doi.org/10.1016/s0074-6142(01)80108-x)
- Karspeck, A. R., Stammer, D., Köhl, A., Danabasoglu, G., Balmaseda, M., Smith, D. M., Fujii, Y., Zhang, S., Giese, B., Tsujino, H., & Rosati, A. (2017). Comparison of the Atlantic meridional overturning circulation between 1960 and 2007 in six ocean reanalysis products. *Climate Dynamics*, 49, 957–982. <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2787-7>
- Kobayashi, S., Ota, Y., Harada, Y., Ebata, A., Moriya, M., Onoda, H., Onogi, K., Kamahori, H., Kobayashi, C., Endo, H., Miyaoka, K., & Takahashi, K. (2015). The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 93(1), 5–48. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2015-001>
- Lellouche, J.-M., Eric, G., Romain, B.-B., Gilles, G., Angélique, M., Marie, D., Clément, B., Mathieu, H., Olivier, L. G., Charly, R., Tony, C., Charles-Emmanuel, T., Florent, G., Giovanni, R., Mounir, B., Yann, D., & Pierre-Yves, L. T. (2021). The Copernicus Global 1/12° Oceanic and Sea Ice GLORYS12 Reanalysis. *Frontiers in Earth Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.698876>

- Madec, G., Bell, M., Benshila, R., Blaker, A., Boudrallé-Badie, R., Bricaud, C., Bruciaferri, D., Carneiro, D., Castrillo, M., Calvert, D., Chanut, J., Clementi, E., Coward, A., de Lavergne, C., Dobricic, S., Epicoco, I., Éthé, C., Fiedler, E., Ford, D., ... Wilson, C. (2024). NEMO Ocean Engine Reference Manual. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14515373>
- Manley, J. E. (2008). Unmanned surface vehicles, 15 years of development. *OCEANS 2008, 2008-Supplement*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/OCEANS.2008.5289429>
- Marinha do Brasil. (s.d.). *marinha.mil.br* (rel. téc.). <https://www.marinha.mil.br/chm/sites/www.marinha.mil.br.chm/files/u1947/pnt-pnboia.pdf> (Acessado em: 18/11/23).
- Mill, G. N., da Costa, V. S., Lima, N. D., Gabioux, M., Guerra, L. A. A., & Paiva, A. M. (2015). Northward migration of Cape São Tomé rings, Brazil. *Continental Shelf Research*, 106, 27–37. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.csr.2015.06.010>
- Müller, T. J., Ikeda, Y., Zangenberg, N., & Nonato, L. V. (1998). Direct measurements of western boundary currents off Brazil between 20°S and 28°S. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 103(C3), 5429–5437. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/97JC03529>
- NCEI. (2022). *ETOPO 2022 15 Arc-Second Global Relief Model*. [https://data.noaa.gov/metadata/view/page?xml=NOAA/NESDIS/NGDC/MGG/DEM//iso/xml/etopo\\_2022.xml&view=getDataView&header=none](https://data.noaa.gov/metadata/view/page?xml=NOAA/NESDIS/NGDC/MGG/DEM//iso/xml/etopo_2022.xml&view=getDataView&header=none) (Acessado em: 04 de Novembro de 2023).
- NOAA National Centers for Environmental Information. (2022). *ETOPO 2022 15 Arc-Second Global Relief Model*. <https://doi.org/10.25921/fd45-gt74> (Acessado em: 08 de Novembro de 2023).
- OECD. (2016). *The Ocean Economy in 2030* [Acessado em: 01/02/24]. [https://read.oecd-ilibrary.org/economics/the-ocean-economy-in-2030\\_9789264251724-en#page25](https://read.oecd-ilibrary.org/economics/the-ocean-economy-in-2030_9789264251724-en#page25)
- Oke, P. R., Brassington, G. B., Cummings, J., Martin, M., & Hernandez, F. (2012). GODAE inter-comparisons in the Tasman and Coral Seas. *Journal of Operational Oceanography*, 5(2), 11–24. <https://doi.org/10.1080/1755876x.2012.11020135>

- Oke, P. R., Griffin, D. A., Schiller, A., Matear, R. J., Fiedler, R., Mansbridge, J., Lenton, A., Cahill, M., Chamberlain, M. A., & Ridgway, K. (2013). Evaluation of a near-global eddy-resolving ocean model. *Geoscientific Model Development*, 6(3), 591–615. <https://doi.org/10.5194/gmd-6-591-2013>
- Oke, P., Larnicol, G., Jones, E., Kourafalou, V., Sperrevik, A., Carse, F., Tanajura, C., Mourre, B., Tonani, M., Brassington, G., Henaff, M. L., Jr., G. H., Atlas, R., Moore, A., Edwards, C., Martin, M., Sellar, A., Alvarez, A., Mey, P. D., & Iskandarani, M. (2015). Assessing the impact of observations on ocean forecasts and reanalyses: Part 2, Regional applications. *Journal of Operational Oceanography*, 8(sup1), s63–s79. <https://doi.org/10.1080/1755876X.2015.1022080>
- Paduan, J. D., & Washburn, L. (2013). High-Frequency Radar Observations of Ocean Surface Currents. *Annual Review of Marine Science*, 5, 115–136. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-121211-172315>
- Palmer, M. D., Roberts, C. D., Balmaseda, M., Chang, Y.-S., Chepurin, G., Ferry, N., Fujii, Y., Good, S. A., Guinehut, S., Haines, K., Hernandez, F., Köhl, A., Lee, T., Martin, M. J., Masina, S., Masuda, S., Peterson, K. A., Storto, A., Toyoda, T., ... Xue, Y. (2017). Ocean heat content variability and change in an ensemble of ocean reanalyses. *Climate Dynamics*, 49, 909–930. <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2801-0>
- Peterson, R. G., & Stramma, L. (1991). Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. *Progress in Oceanography*, 26(1), 1–73. [https://doi.org/10.1016/0079-6611\(91\)90006-8](https://doi.org/10.1016/0079-6611(91)90006-8)
- PNBOIA. (2022). *Vandalismo - PNBOIA: Relatório Técnico* (rel. téc.). Programa Nacional de Boias (PNBOIA), Centro de Hidrografia da Marinha. Rio de Janeiro, Brasil. [https://www.marinha.mil.br/chm/sites/www.marinha.mil.br.chm/files/u1947/vandalismo\\_-\\_pnboia.pdf](https://www.marinha.mil.br/chm/sites/www.marinha.mil.br.chm/files/u1947/vandalismo_-_pnboia.pdf) (Acessado em: 30 de Julho de 2023).
- PNBOIA. (2023). *PNBOIA: Histórico*. <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-goos-brasil/pnboia?qt-pnboia=3#qt-pnboia> (Acessado em: 04 de Julho de 2023).

- QARTOD. (2019). *Manual for Real-Time Quality Control of In-Situ Current Observations - A Guide to Quality Control and Quality Assurance of Acoustic Doppler Current Profiler Observation*. Versão 2.1. QARTOD.
- Roberts, J., & Roberts, T. D. (1978). Use of the Butterworth low-pass filter for oceanographic data. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 83(C11), 5510–5514. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/JC083iC11p05510>
- Robinson, I. S. (2010). *Discovering the Ocean from Space: The unique applications of satellite oceanography*. Springer.
- Roemmich, D., Team, A. S., & Team. (2009). Argo: The Challenge of Continuing 10 Years of Progress. *Oceanography*, 22(3), 46–55. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2009.65>
- Rudnick, D. L., Davis, R. E., Eriksen, C. C., Fratantoni, D. M., & Perry, M. J. (2004). Underwater Gliders for Ocean Research. *Marine Technology Society Journal*, 38(2), 73–84. <https://doi.org/10.4031/002533204787522703>
- Russo, C. S., Veitch, J., Carr, M., Fearon, G., & Whittle, C. (2022). An Intercomparison of Global Reanalysis Products for Southern Africa's Major Oceanographic Features. *Frontiers in Marine Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.837906>
- Ryan, A., Regnier, C., Divakaran, P., Spindler, T., Mehra, A., Smith, G., Davidson, F., Hernandez, F., Maksymczuk, J., & Liu, Y. (2015). GODAE OceanView Class 4 forecast verification framework: global ocean inter-comparison. *Journal of Operational Oceanography*, 8(sup1), s98–s111. <https://doi.org/10.1080/1755876X.2015.1022330>
- Signorini, S. R. (1978). On the circulation and the volume transport of the Brazil Current between the Cape of São Tomé and Guanabara Bay. *Deep Sea Research*, 25(5), 481–490. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0146-6291\(78\)90556-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0146-6291(78)90556-8)
- Silveira, I. C. A., de Miranda, L. B., & Brown, W. S. (1994). On the origins of the North Brazil Current. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 99(C11), 22501–22512. <https://doi.org/10.1029/94jc01776>

- Silveira, I. C. A., Schmidt, A. C. K., Campos, E. J. D., de Godoi, S. S., & Ikeda, Y. (2000). A corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. *Revista Brasileira de Oceanografia*, 48(2), 171–183. <https://doi.org/10.1590/s1413-77392000000200008>
- Stocker, T. F. (2013). The Ocean as a Component of the Climate System. Em *Ocean Circulation and Climate - A 21st Century Perspective* (pp. 3–30). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-391851-2.00001-5>
- Storto, A., & Masina, S. (2016). C-GLORSv5: an improved multipurpose global ocean eddy-permitting physical reanalysis. *Earth System Science Data*, 8(2), 679–696. <https://doi.org/10.5194/essd-8-679-2016>
- Storto, A. (2016). Variational quality control of hydrographic profile data with non-Gaussian errors for global ocean variational data assimilation systems. *Ocean Modelling*, 104, 226–241. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2016.06.011>
- Storto, A., Alvera-Azcárate, A., Balmaseda, M. A., Barth, A., Chevallier, M., Counillon, F., Domingues, C. M., Drevillon, M., Drillet, Y., Forget, G., Garric, G., Haines, K., Hernandez, F., Iovino, D., Jackson, L. C., Lellouche, J.-M., Masina, S., Mayer, M., Oke, P. R., ... Zuo, H. (2019). Ocean Reanalyses: Recent Advances and Unsolved Challenges. *Frontiers in Marine Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00418>
- Storto, A., Masina, S., Balmaseda, M., Guinehut, S., Xue, Y., Szekely, T., Fukumori, I., Forget, G., Chang, Y.-S., Good, S. A., Köhl, A., Vernieres, G., Ferry, N., Peterson, K. A., Behringer, D., Ishii, M., Masuda, S., Fujii, Y., Toyoda, T., ... Wang, X. (2017). Steric sea level variability (19932010) in an ensemble of ocean reanalyses and objective analyses. *Climate Dynamics*, 49, 709–729. <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2554-9>
- Stramma, L., & England, M. (1999). On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 104(C9), 20863–20883. <https://doi.org/10.1029/1999jc900139>
- Talley, L. D., Pickard, G. L., Emery, W. J., & Swift, J. H. (2011). Introduction to descriptive physical oceanography. Em *Descriptive Physical Oceanography* (pp. 1–6). Elsevier.

- Taylor, K. E. (2001). Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106(D7), 7183–7192. <https://doi.org/10.1029/2000jd900719>
- Teng, C.-C., Cucullu, S., McArthur, S., Kohler, C., Burnett, B., & Bernard, L. (2009). Buoy vandalism experienced by NOAA National Data Buoy Center. *OCEANS 2009*, 1–8. <https://doi.org/10.23919/OCEANS.2009.5422389>
- Tomczak, M., & Godfrey, J. S. (1994). Regional oceanography: an introduction. *Oceanographic Literature Review*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:128717720>
- Toyoda, T., Fujii, Y., Kuragano, T., Kamachi, M., Ishikawa, Y., Masuda, S., Sato, K., Awaji, T., Hernandez, F., Ferry, N., Guinehut, S., Martin, M. J., Peterson, K. A., Good, S. A., Valdivieso, M., Haines, K., Storto, A., Masina, S., Köhl, A., ... Lee, T. (2017). Inter-comparison and validation of the mixed layer depth fields of global ocean syntheses. *Climate Dynamics*, 49, 753–773. <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2637-7>
- Valdivieso, M., Haines, K., Balmaseda, M., Chang, Y.-S., Drevillon, M., Ferry, N., Fujii, Y., Köhl, A., Storto, A., Toyoda, T., Wang, X., Waters, J., Xue, Y., Yin, Y., Barnier, B., Hernandez, F., Kumar, A., Lee, T., Masina, S., & Peterson, K. A. (2017). An assessment of air-sea heat fluxes from ocean and coupled reanalyses. *Climate Dynamics*, 49, 983–1008. <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2843-3>
- Zuo, H., Alonso-Balmaseda, M., Mogensen, K., & Tietsche, S. (2018). OCEAN5: The ECMWF Ocean Reanalysis System and its Real-Time analysis component. <https://doi.org/10.21957/la2v0442>

# Apêndice A

## Testes de Controle de Qualidade

### A.1 Controle de Qualidade - ADCP

Os testes de controle de qualidade implementados, assim como a descrição, regras e parâmetros usados, estão descritos nas tabelas a seguir.

**Tabela A.1:** Testes e *flags* do teste de velocidade de corrente.

Teste de Velocidade de Corrente		
Este teste verifica por altos valores de velocidade não realísticos em cada profundidade ( <i>i</i> ). O valor máximo <i>SPD<sub>MAX</sub></i> deve ser definido baseado na dinâmica da região em que o ADCP está instalado.		
Flags	Condição	Regra
<i>Fail</i> = 4	N/A	N/A
<i>Suspect</i> = 3	Se a velocidade de corrente [ <i>CSPD</i> ( <i>i</i> )] excede o limite razoável <i>SPD<sub>MAX</sub></i> , o dado é considerado suspeito.	<i>se CSPD</i> ( <i>i</i> ) > <i>SPD<sub>MAX</sub></i> , <i>flag</i> = 3
<i>Pass</i> = 1	Se a velocidade de corrente [ <i>CSPD</i> ( <i>i</i> )] é menor ou igual ao <i>SPD<sub>MAX</sub></i> , o dado é considerado válido.	<i>se CSPD</i> ( <i>i</i> ) ≤ <i>SPD<sub>MAX</sub></i> , <i>flag</i> = 1
<i>SPD<sub>MAX</sub></i> = 2 m/s		

**Tabela A.2:** Testes e *flags* do teste de continuidade.

<b>Teste de Direção de Corrente</b>		
Teste para verificar se os valores de direção de corrente estão dentro do intervalo de 0° (DIR_MIN) e 360° (DIR_MAX), inclusive.		
<b>Flags</b>	<b>Condição</b>	<b>Regra</b>
<i>Fail</i> = 4	Se a direção de corrente <i>CDIR</i> for menor que 0.00° ou maior que 360°, a medição é considerada inválida.	<i>se</i> $CDIR(i) < 0$ ou $CDIR(i) > 360$ , <i>flag</i> = 4
<i>Suspect</i> = 3	N/A	N/A
<i>Pass</i> = 1	Valores que não atingiram nenhum limite de repetição sucessiva.	<i>se</i> $CDIR(i) > 0$ e $CDIR(i) \leq 360$ , <i>flag</i> = 1
<i>DIR_MIN</i> = 0°; <i>DIR_MAX</i> = 360°		

**Tabela A.3:** Testes e *flags* do teste de continuidade.

<b>Teste de Continuidade</b>		
Teste para checar se as observações não mudam ao longo do tempo. O teste compara a observação presente ( <i>PO<sub>n</sub></i> ) com um número ( <i>REP_CNT_FAIL</i> ou <i>REP_CNT_SUSPECT</i> ) de observações anteriores. <i>PO<sub>n</sub></i> será marcada se possuir o mesmo valor que nas observações anteriores com uma tolerância <i>EPS</i> para permitir erros de arredondamento.		
<b>Flags</b>	<b>Condição</b>	<b>Regra</b>
<i>Fail</i> = 4	Um valor idêntico foi observado pelo menos <i>REP_CNT_FAIL</i> vezes sucessivamente.	<i>se</i> $all(abs(PO-[PO:PO-REP_CNT_FAIL]) < EPS)$ , <i>flag</i> = 4
<i>Suspect</i> = 3	Um valor idêntico foi observado menos que <i>REP_CNT_FAIL</i> vezes, mas pelo menos <i>REP_CNT_SUSPECT</i> sucessivamente.	<i>se</i> $all(abs(PO-[PO:PO-REP_CNT_SUSPECT]) < EPS) \& not(all(abs(PO-[PO:PO-REP_CNT_FAIL]) < EPS))$ , <i>flag</i> = 3
<i>Pass</i> = 1	Valores que não atingiram nenhum limite de repetição sucessiva.	N/A
<i>REP_CNT_SUSPECT</i> = 3; <i>REP_CNT_FAIL</i> = 5		

Tabela A.4: Testes e *flags* do teste de taxa de mudança em  $u$  e  $v$ .

Teste de Taxa de Mudança em $u$ e $v$		
<p>Teste para verificar se há mudança nos valores recentes de <math>u</math> e <math>v</math> estão dentro de um limite aceitável. A diferença entre os valores mais recentes das componentes <math>(u, v)_n</math> são comparados aos valores anteriores, <math>(u, v)_{n-1}</math>. Se a taxa excede o limite de taxa definido, o dado é considerado suspeito ou falho. O teste é aplicado à cada profundidade de bin (<math>i</math>).</p>		
Flags	Condição	Regra
<i>Fail</i> = 4	Se o valor absoluto da diferença $u(i, n) - u(i, n-1)$ ou $v(i, n) - v(i, n-1)$ exceder o limite $RC\_VEL\_FAIL$ , os valores de direção e velocidade desta profundidade são consideradas falhos.	$se\ abs[u(i,n) - (u,n-1)]\ or\ abs[v(i,n) - v(i, n-1)] \geq RC\_VEL\_FAIL, flag = 4$
<i>Suspect</i> = 3	Se o valor absoluto da diferença $u(i, n) - u(i, n-1)$ ou $v(i, n) - v(i, n-1)$ exceder o limite $RC\_VEL\_SUSPECT$ , os valores de direção e velocidade desta profundidade são consideradas suspeitos.	$se\ abs[u(i,n) - (u,n-1)]\ or\ abs[v(i,n) - v(i, n-1)] \geq RC\_VEL\_SUSPECT\ and < RC\_VEL\_FAIL, flag = 3$
<i>Pass</i> = 1	Se o valor absoluto da diferença $u(i, n) - u(i, n-1)$ ou $v(i, n) - v(i, n-1)$ for menor que o limite $RC\_VEL\_FAIL$ , os valores de direção e velocidade desta profundidade são consideradas válidos.	$se\ abs[u(i,n) - (u,n-1)]\ and\ abs[v(i,n) - v(i, n-1)] \leq RC\_VEL\_SUSPECT, flag = 1$
$RC\_VEL\_SUSPECT = 0,5\ m.s^{-1}; RC\_VEL\_FAIL = 1,0\ m.s^{-1}$		

Tabela A.5: Testes e flags do teste de spikes.

Teste de spike em u e v		
<p>Teste que checa se os valores de <math>\mathbf{u}, \mathbf{v}</math> (<math>n - 1</math>) excedem limiares relativos aos valores adjacentes da série temporal. O teste verifica valores únicos de spikes até o ponto <math>n-1</math>. Os spikes que consistem em mais de um único ponto adacente são mais difíceis de capturar, mas o valor inicial pode ser catalogado com uma flag pelo teste de taxa de mudança. Este teste se aplica a cada profundidade do bin (<math>i</math>).</p> <p>O teste de spike consiste na definição de dois valores de limite, <math>uv\_SPIKE\_FAIL</math> e <math>uv\_SPIKE\_SUSPECT</math>. É calculada a média dos pontos adjacentes, <math>\mathbf{u}(n_{-2}</math> e <math>n_0</math>), para então formar uma referência de spike, <math>u\_SPIKE\_REF</math>, assim como a média dos pontos adjacentes <math>\mathbf{v}(n_{-2}</math> e <math>n_0</math>) formam a referência <math>v\_SPIKE\_REF</math>. Aqui, apenas dados que passaram nos testes anteriores são considerados para o cálculo dos valores de referência, sendo assim, na ausência de valores adjacentes, os valores mais anteriores devem ser utilizados.</p>		
Flags	Condição	Regra
<i>Fail</i> = 4	Se o valor absoluto da diferença $\mathbf{u}(i, n-1) - u\_SPIKE\_REF$ ou $\mathbf{v}(i, n-1) - v\_SPIKE\_REF$ exceder o limite $uv\_SPIKE\_FAIL$ , os valores de direção e velocidade desta profundidade são consideradas falhos.	$se\ abs[u(i, n - 1) - u\_SPK\_REF]$ $or\ abs[v(i, n - 1) - v\_SPK\_REF] \geq$ $uv\_SPK\_FAIL, flag = 4$
<i>Suspect</i> = 3	Se o valor absoluto da diferença $\mathbf{u}(i, n-1) - u\_SPIKE\_REF$ ou $\mathbf{v}(i, n-1) - v\_SPIKE\_REF$ exceder o limite $uv\_SPIKE\_SUSPECT$ , os valores de direção e velocidade desta profundidade são consideradas suspeitos.	$se\ abs[u(i, n - 1) - u\_SPK\_REF]$ $or\ abs[v(i, n - 1) - v\_SPK\_REF]$ $\geq uv\_SPK\_SUSPECT\ and <$ $uv\_SPK\_FAIL, flag = 3$
<i>Pass</i> = 1	Se o valor absoluto da diferença $\mathbf{u}(i, n-1) - u\_SPIKE\_REF$ ou $\mathbf{v}(i, n-1) - v\_SPIKE\_REF$ estiverem abaixo do limite $uv\_SPIKE\_SUSPECT$ , os valores de direção e velocidade desta profundidade são consideradas como válidas.	$se\ abs[u(i, n - 1) - u\_SPK\_REF]$ $and\ abs[v(i, n - 1) - v\_SPK\_REF]$ $< uv\_SPK\_SUSPECT, flag = 1$
$uv\_SPK\_SUSPECT = 0,5\ m.s^{-1}; uv\_SPK\_FAIL = 1,0\ m.s^{-1}$		

**Tabela A.6:** Testes e *flags* do teste de gradiente de corrente.

<b>Teste de Gradiente de Corrente</b>		
É esperado que a velocidade (CSPD) / direção (CDIR) de corrente mude a uma taxa gradual com a profundidade.		
Flags	Condição	Regra
<i>Fail</i> = 4	Se a diferença de velocidade/direção de corrente entre a profundidade $i$ e $i-1$ , (CSPD/CDIR( $i$ ) e CSPD/CDIR( $i-1$ ), exceder o limite definido, CSPDDIF/CDIRDIF, o dado é considerado inválido.	$se \quad abs[CSPD/CDIR(i) - CSPD/CDIR(i-1)] > CSPDDIF/CDIRDIF, flag = 4$
<i>Suspect</i> = 3	N/A	N/A
<i>Pass</i> = 1	Se a diferença de velocidade de corrente entre a profundidade $i$ e $i-1$ , (CSPD/CDIR( $i$ ) e CSPD/CDIR( $i-1$ ), for menor ou igual ao limite definido, CSPDDIF/CDIRDIF, o dado é considerado válido.	$se \quad abs[CSPD/CDIR(i) - CSPD/CDIR(i-1)] \leq CSPDDIF/CDIRDIF, flag = 1$
$CSPDDIF = 0,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}; CDIRDIF = 30^\circ$		