

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS  
(CFM)  
COORDENADORIA ESPECIAL DE OCEANOGRAFIA (OCN)  
CURSO DE OCEANOGRAFIA

Nandara de Bortoli

**VALIDAÇÃO DE UM MODELO NUMÉRICO DE CIRCULAÇÃO OCEÂNICA  
DE ALTA RESOLUÇÃO PARA O OCEANO ATLÂNTICO SUDOESTE**

Florianópolis, SC - Brasil

2021

Nandara de Bortoli

VALIDAÇÃO DE UM MODELO NUMÉRICO DE CIRCULAÇÃO OCEÂNICA DE  
ALTA RESOLUÇÃO NO OCEANO ATLÂNTICO SUDOESTE

Trabalho de Conclusão do  
Curso de Graduação em Oceanografia do Centro de Ciências  
Físicas e Matemáticas da Universidade Federal de Santa  
Catarina como requisito para a obtenção do Título de Bacharel  
em Oceanografia.

Orientador: Antonio Fernando Härter Fetter Filho  
Co-orientadora: Antônia Pamela Yhaohannah de Lima

Florianópolis, SC - Brasil

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

de Bortoli, Nandara  
Validação de um Modelo Numérico de Circulação Oceânica de  
Alta Resolução para o Oceano Atlântico Sudoeste / Nandara  
de Bortoli ; orientador, Antonio Fernando Härter Fetter  
Filho, coorientador, Antônia Pamela Ysachannah de Lima,  
2021.  
75 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências  
Físicas e Matemáticas, Graduação em Oceanografia,  
Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Oceanografia. 2. Atlântico Sudoeste. 3. Modelo  
Numérico. 4. Validação. 5. Ciclo Sazonal. I. Härter Fetter  
Filho, Antonio Fernando . II. Ysachannah de Lima, Antônia  
Pamela . III. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Graduação em Oceanografia. IV. Título.

Nandara de Bortoli

Validação de um Modelo Numérico de Circulação Oceânica de Alta Resolução para o  
Oceano Atlântico Sudoeste

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de  
Oceanógrafa e aprovado em sua forma final pelo Curso de Oceanografia

Florianópolis, 28 de abril de 2021

---

Prof. Felipe Mendonça Pimenta, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Antonio F. H. Fetter, Dr.  
Orientador  
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Renato Ramos Silva, Dr.  
Avaliador  
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Luís Felipe Mendonça, Dr.  
Avaliador  
Instituição Universidade Federal da Bahia

“... quando se tem um barco nas mãos, que obedece a cada um dos dedos, e um oceano em cada direção, sonhar é perder tempo. É melhor tomar um caminho.” – Amyr Klink

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha filha, Lívia, que nasceu na reta final de faculdade, e viveu junto de mim todos os dias de execução deste trabalho, trazendo um significado maior para todo caminho que já percorri e que percorrerei como Oceanógrafa.

Ao meu companheiro, melhor amigo, Alisson, que me deu muita força, acreditando nos meus sonhos, sendo meu ombro amigo e meu maior alicerce nos momentos difíceis e por compartilhar momentos de muita felicidade. Você tornou tudo mais simples, obrigado por estar sempre aqui e ter aceitado a aventura de viver e alçar voos comigo.

Aos meus pais, que desde o início me apoiaram, acreditando em mim, mesmo que inicialmente não entendiam meu sonho nesta profissão, mas da mesma forma me ajudaram a trilhar o meu caminho, me amparando e fornecendo todo suporte necessário para esta etapa de minha vida, obrigado por serem minha família.

Aos meus professores, que passaram o conhecimento adquirido de longos anos de muito trabalho, de muitos ensinamentos durante toda a graduação, não só como educadores, mas também como amigos. Um agradecimento especial a Profa. Juliana Leonel, Profa. Alessandra Fonseca, Profa. Marinez Scherer, Prof. Felipe Pimenta, Prof. Pedro Pereira, Prof. Leonardo Rohrig, sou muitíssimo grata por terem sido compreensíveis comigo durante a gestação, vocês tornaram possível minha continuidade nos estudos naquele momento.

Ao meu orientador Prof. Dr. Antonio Fetter e co-orientadora Ms. Antônia Pamela Yhaohannah de Lima, pelos ensinamentos, conversas, ajudas e puxões de orelha. Vocês foram essenciais para este trabalho acontecer, serei eternamente grata por iniciar minha trajetória com a orientação de vocês.

Agradeço também pela oportunidade de aprendizado nestes três anos no Laboratório de Dinâmica dos Oceanos junto aos meus colegas e parceiros de café, onde pude crescer como pessoa e acadêmica através das trocas e aprendizados diários, me preparando para os novos desafios como profissional.

## RESUMO

Compreender os processos dinâmicos dos oceanos e seu papel no equilíbrio do clima no Planeta Terra são de extrema importância. As correntes oceânicas possuem a função de transportar calor, assim como o oceano realiza trocas com a atmosfera, onde em superfície as correntes são predominantemente forçadas pelos ventos e em subsuperfície pelas diferenças de densidade das massas d'água, chamada de circulação termohalina. Para realizar os estudos em torno da circulação oceânica são necessários dados medidos em campo, no entanto, expedições a bordo de cruzeiros oceanográficos são de alto custo operacional e financeiro. Dentro deste contexto, os modelos numéricos são ferramentas essenciais e complementares aos dados coletados in-situ, a fim de representar cenários mais próximos do real. Para atingir representações realísticas, os modelos devem ser validados e calibrados com dados de sensoriamento remoto e climatológicos. O objetivo deste Trabalho de Conclusão de Curso consiste em validar um Modelo Numérico de Alta Resolução na porção Sudoeste do Atlântico Sul utilizando dados de sensoriamento remoto e coletados por flutuadores, analisando também os padrões do campo médio e do ciclo sazonal na região para as variáveis de temperatura, salinidade e elevação superficial.

**Palavras-chave:** Atlântico-Sudoeste. Validação. Sensoriamento-Remoto. Climatologia.

## **ABSTRACT**

Understanding the dynamic processes of the oceans and their role in balancing the climate on Planet Earth are extremely important. Ocean currents have a function of transporting heat, just as the ocean exchanges with the atmosphere, where on the surface like currents they are predominantly forced by the winds and subsurface by the differences in density of the water bodies, called the thermohaline circulation. In order to carry out studies on ocean circulation, data measured in the field is made available, however, expeditions on board oceanographic cruises are of high operational and financial cost. Within this context, numerical models are essential and complementary tools to the data collected in-situ, in order to represent the scenarios closest to the real. To achieve realistic representations, the models must be validated and calibrated with remote sensing and climatological data. The objective of this Course Conclusion Work is to validate a High Resolution Numerical Model in the Southwest portion of the South Atlantic using data from remote sensing and collected by floats, also analyzing the patterns of the average field and the seasonal cycle in the region for the variables Temperature, salinity and surface elevation.

**Keywords:** Atlantic-Southwest. Validation. Remote sensing. Climatology.

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 – Mapa da área de estudo representando a batimetria, localização de transectos para seções latitudinais de temperatura e salinidade (SEC-1 em 27°S, SEC-2 em 30°S e SEC-3 em 33°S) e as isóbatas de 500m, 1500m e 2500m. O plano batimétrico utilizado foi a partir do sistema ETOPO2v2 (Dados de alívio global em grade de 2 minutos).....26

Figura 2 – Batimetria do modelo com representação do aninhamento das grades para o domínio de 1/12° e 1/36° (quadrado em rosa) do modelo ROMS\_AGRIF na região da Lagoa dos Patos (DPL) e o Rio da Prata (RdP), indicados pelas setas em cinza. A série temporal representa a descarga mensal de DPL e RdP para o período de 1992–2012. Na superfície, o modelo é forçado pelos fluxos médios de três dias do ERA-Interim. Como potencial de maré, são incluídos 8 componentes de maré (M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1) .....32

Figura 3 – Temperatura (°C) média para o campo médio superficial. Letras a e c representam a média do Modelo para o período de 1993–2015 e 2002– 2015, respectivamente. Letras b e d representam o GHRSSST (1993– 2015) e ARGO (2002–2015), respectivamente.....36

Figura 4 – Representação de Viés para o campo médio superficial de temperatura (°C), dos dados do Modelo–GHRSSST, período de 1993–2015 (a) e Modelo–ARGO, 2002– 2015 (b). .....37

Figura 5 – Salinidade (PSU) média para o campo médio superficial. Letras a e c representam o Modelo para o período de 2011–2015 e 2002–2015, respectivamente. Letras b e d representam o AQUARIUS (2011–2015) e ARGO (2002–2015), respectivamente.....38

Figura 6 – Representação de Viés para campo médio superficial de salinidade (PSU), dos dados do Modelo– AQUARIUS, período de 2011–2015 (c) e modelo–ARGO, 2002–2015 (b). .....39

Figura 7 – Elevação superficial (m) para o campo médio. Letras a e b representam Modelo e DUACS respectivamente, para o período de 1993–2015. ....40

Figura 8 – Representação de Viés para campo médio de elevação superficial para Modelo–DUACS, no período de 1993–2015.....	41
Figura 9 – Temperatura (°C) média para o ciclo sazonal superficial. Letras a, b, e, f, i, j, m e n representam a média do Modelo e GHRSSST respectivamente, para o período de 1993–2015. As letras c, d, g, h, k, l, o e p representam o Modelo e ARGO, respectivamente para o período de 2002–2015. Letras a, b, c e d representam o verão, letras e, f, g e h representam o outono, letras i, j, k e l representam o inverno e letras m, n, o e p representam a primavera.....	42
Figura 10 – Representação de viés para campo superficial de temperatura, dos dados do Modelo–GHRSSST, período de 1993–2015 (a, c, e, g) e Modelo–ARGO, 2002–2015 (b, d, f, h) para o ciclo sazonal: Letras a e b representam o Verão, letras c e d o Outono, letras e, f para o Inverno e as letras g e h a Primavera.....	43
Figura 11 – Salinidade (PSU) média para o ciclo sazonal superficial. As letras c, d, g, h, k, l, o e p representam o Modelo e ARGO, respectivamente para o período de 2002–2015. Letras a, b, c e d representam o verão, letras e, f, g e h representam o outono, letras i, j, k e l representam o inverno e letras m, n, o e p representam a primavera.....	44
Figura 12 – Representação de Viés para campo superficial de salinidade (PSU), para Modelo–AQUARIUS, período de 2011–2015 (a, c, e, g) e Modelo–ARGO, 2002–2015 (b, d, f, h) para o ciclo sazonal: : Letras a e b representam o Verão, letras c e d o Outono, letras e, f para o Inverno e as letras g e h a Primavera.....	45
Figura 13 - Elevação superficial (m) média para o ciclo sazonal. Primeira e segunda coluna representam a média do Modelo e DUACS respectivamente, para o período de 1993-2015. As Letras a e b representam o Verão, letras c e d o Outono, letras e, f para o Inverno e as letras g e h a Primavera.....	46
Figura 14–Representação de Viés para elevação superficial para Modelo–DUACS, no período de 1993–2015. Letra a representa o Verão, letra b o Outono, letra c o Inverno e a letra d a Primavera.....	47

Figura 15– Variabilidade sazonal dos dados do MODELO (coluna 1) e ARGO (coluna 2), para médias do período de 2002–2015, representado em perfis verticais de temperatura (°C; ordenada) em relação a salinidade (PSU; abcissa) para todo o campo da área de estudo (55°O–40°O / 20°S–35°S). Em laranja, é representado o verão, em azul é representado o outono, em verde é representado o inverno e em amarelo é representado a primavera.....50

Figura 16 – Seções latitudinais de temperatura média (C°) em 27°S, para dados do Modelo (Coluna 1) e dados do ARGO (Coluna 2) para o período de 2002–2015, onde Profundidade (m; ordenada), Longitude (°O; abcissa). As Letras a e b representam o Verão, letras c e d o Outono, letras e, f para o Inverno e as letras g e h a Primavera. As linhas pontilhadas mostram as linhas de densidade potencial de interface entre Água Superficial e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (25,7kg.m-3), entre ACAS e Água Intermediária Antártica (AIA) (26,8kg.m-3), e entre AIA e Água Profunda do Atlântico Norte (27,5kg.m-3).....51

Figura 17 – Representação de Viés para Seções latitudinais de temperatura média (C°) em 27°S, para dados do Modelo - ARGO para o período de 2002–2015, onde Profundidade (m; ordenada), Longitude (°O; abcissa). A Letra a representa o Verão, letra b o Outono, letra c o Inverno e a letra d a Primavera. As linhas pontilhadas mostram as linhas de densidade potencial de interface entre Água Superficial e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (25,7kg.m-3), entre ACAS e Água Intermediária Antártica (AIA) (26,8kg.m-3), e entre AIA e Água Profunda do Atlântico Norte (27,5kg.m-3).....52

Figura 18 – Seções latitudinais de temperatura média (C°) em 30°S, para dados do Modelo (Coluna 1) e dados do ARGO (Coluna 2) para o período de 2002–2015, onde Profundidade (m; ordenada), Longitude (°O; abcissa). As Letras a e b representam o Verão, letras c e d o Outono, letras e, f para o Inverno e as letras g e h a Primavera. As linhas pontilhadas mostram as linhas de densidade potencial de interface entre Água Superficial e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (25,7kg.m-3), entre ACAS e Água Intermediária Antártica (AIA) (26,8kg.m-3), e entre AIA e Água Profunda do Atlântico Norte (27,5kg.m-3).....53

Figura 19 – Representação de Viés para Seções latitudinais de temperatura média (C°) em 30°S, para dados do Modelo - ARGO para o período de 2002–2015, onde Profundidade (m; ordenada), Longitude (°O; abcissa). Letra a representa o Verão, letra b o Outono, letra c o Inverno e a letra d a Primavera. As linhas pontilhadas mostram as linhas de densidade potencial

de interface entre Água Superficial e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (25,7kg.m-3), entre ACAS e Água Intermediária Antártica (AIA) (26,8kg.m-3), e entre AIA e Água Profunda do Atlântico Norte (27,5kg.m-3).....54

Figura 20 – Seções latitudinais de temperatura média (C°) em 33°S , para dados do Modelo (Coluna 1) e dados do ARGO (Coluna 2) para o período de 2002–2015, onde Profundidade (m; ordenada), Longitude (°O; abcissa). As Letras a e b representam o Verão, letras c e d o Outono, letras e, f para o Inverno e as letras g e h a Primavera. As linhas pontilhadas mostram as linhas de densidade potencial de interface entre Água Superficial e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (25,7kg.m-3), entre ACAS e Água Intermediária Antártica (AIA) (26,8kg.m-3), e entre AIA e Água Profunda do Atlântico Norte (27,5kg.m-3).....55

Figura 21 – Representação de viés para seções latitudinais de temperatura média (C°) em 33°S, para dados do Modelo - ARGO para o período de 2002–2015, onde Profundidade (m; ordenada), Longitude (°O; abcissa). Letra a representa o Verão, letra b o Outono, letra c o Inverno e a letra d a Primavera. As linhas pontilhadas mostram as linhas de densidade potencial de interface entre Água Superficial e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (25,7kg.m-3), entre ACAS e Água Intermediária Antártica (AIA) (26,8kg.m-3), e entre AIA e Água Profunda do Atlântico Norte (27,5kg.m-3).....56

Figura 22 – Seções latitudinais de salinidade média (PSU) em 27°S , para dados do Modelo (Coluna 1) e dados do ARGO (Coluna 2) para o período de 2002–2015, onde onde Profundidade (m; ordenada), Longitude (°O; abcissa). As Letras a e b representam o Verão, letras c e d o Outono, letras e, f para o Inverno e as letras g e h a Primavera. As linhas pontilhadas mostram as linhas de densidade potencial de interface entre Água Superficial e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (25,7kg.m-3), entre ACAS e Água Intermediária Antártica (AIA) (26,8kg.m-3), e entre AIA e Água Profunda do Atlântico Norte (27,5kg.m-3).....57

Figura 23 – Representação de Viés para Seções latitudinais de salinidade média (PSU) em 27°S, para dados do Modelo - ARGO para o período de 2002–2015, onde Profundidade (m; ordenada), Longitude (°O; abcissa). Letra a representa o Verão, letra b o Outono, letra c o Inverno e a letra d a Primavera. As linhas pontilhadas mostram as linhas de densidade potencial de interface entre Água Superficial e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (25,7kg.m-3),

entre ACAS e Água Intermediária Antártica (AIA) (26,8kg.m-3), e entre AIA e Água Profunda do Atlântico Norte (27,5kg.m-3).....58

Figura 24 – Seções latitudinais de salinidade média (PSU) em 30°S, para dados do Modelo (Coluna 1) e dados do ARGO (Coluna 2) para o período de 2002–2015, onde Profundidade (m; ordenada), Longitude (°O; abcissa). As Letras a e b representam o Verão, letras c e d o Outono, letras e, f para o Inverno e as letras g e h a Primavera. As linhas pontilhadas mostram as linhas de densidade potencial de interface entre Água Superficial e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (25,7kg.m-3), entre ACAS e Água Intermediária Antártica (AIA) (26,8kg.m-3), e entre AIA e Água Profunda do Atlântico Norte (27,5kg.m-3).....59

Figura 25 – Representação de Viés para Seções latitudinais de salinidade média (PSU) em 30°S, para dados do Modelo - ARGO para o período de 2002–2015, onde Profundidade (m; ordenada), Longitude (°O; abcissa). Letra a representa o Verão, letra b o Outono, letra c o Inverno e a letra d a Primavera. As linhas pontilhadas mostram as linhas de densidade potencial de interface entre Água Superficial e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (25,7kg.m-3), entre ACAS e Água Intermediária Antártica (AIA) (26,8kg.m-3), e entre AIA e Água Profunda do Atlântico Norte (27,5kg.m-3).....60

Figura 26 – Seções latitudinais de salinidade média (PSU) em 33°S, para dados do Modelo (Coluna 1) e dados do ARGO (Coluna 2) para o período de 2002–2015, onde Profundidade (m; ordenada), Longitude (°O; abcissa). As Letras a e b representam o Verão, letras c e d o Outono, letras e, f para o Inverno e as letras g e h a Primavera. As linhas pontilhadas mostram as linhas de densidade potencial de interface entre Água Superficial e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (25,7kg.m-3), entre ACAS e Água Intermediária Antártica (AIA) (26,8kg.m-3), e entre AIA e Água Profunda do Atlântico Norte (27,5kg.m-3).....61

Figura 27 – Representação de Viés para Seções latitudinais de salinidade média (PSU) em 33°S, para dados do Modelo – ARGO para o período de 2002–2015, onde Profundidade (m; ordenada), Longitude (°O; abcissa). Letra a representa o Verão, letra b o Outono, letra c o Inverno e a letra d a Primavera. As linhas pontilhadas mostram as linhas de densidade potencial de interface entre Água Superficial e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (25,7kg.m-3), entre ACAS e Água Intermediária Antártica (AIA) (26,8kg.m-3), e entre AIA e Água Profunda do Atlântico Norte (27,5kg.m-3).....62

Figura 28 – Representação da profundidade de interface entre Água de Superfície e Água Central do Atlântico Sul, para os dados do MODELO (coluna 1) e ARGO (coluna 2), durante o período de 2002–2015. As letras a e b representam o Verão, letras c e d o Outono, e, f representam o Inverno e g e h a Primavera.....64

Figura 29 – Representação de Viés para profundidade de interface entre Água de Superfície e Água Central do Atlântico Sul, para os dados do MODELO–ARGO, durante o período de 2002–2015. A letra a representa o Verão, letra b representa o Outono, letra c representa o Inverno e d representa a Primavera.....65

Figura 30 – Representação da profundidade de interface entre Água Central do Atlântico Sul e Água Intermediária Antártica, para os dados do MODELO (coluna 1) e ARGO (coluna 2), durante o período de 2002–2015. As letras a e b representam o Verão, letras c e d o Outono, e, f representam o Inverno e g e h a Primavera.....66

Figura 31 – Representação de Viés para profundidade de interface entre Água Central do Atlântico Sul e Água Intermediária Antártica, para os dados do MODELO–ARGO, durante o período de 2002–2015. A letra a representa o Verão, letra b representa o Outono, letra c representa o Inverno e d representa a Primavera.....67

Figura 32 – Representação da profundidade de interface entre Água Intermediária Antártica e Água Profunda do Atlântico Norte, para os dados do MODELO (coluna 1) e ARGO (coluna 2), durante o período de 2002–2015. As letras a e b representam o Verão, letras c e d o Outono, e, f representam o Inverno e g e h a Primavera.....68

Figura 33 – Representação de Viés para profundidade de interface entre Água Intermediária Antártica e Água Profunda do Atlântico Norte, para os dados do MODELO (coluna 1) e ARGO (coluna 2), durante o período de 2002–2015. A letra a representa o Verão, letra b representa o Outono, letra c representa o Inverno e d representa a Primavera.....69

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Representação da raiz do erro quadrático médio para temperatura (°C), salinidade (PSU) e elevação superficial (m) do campo médio, dos dados do Modelo em comparação ao GHRSSST, AQUARIUS, DUACS e ARGO.....41

Tabela 2 – Representação da raiz do erro quadrático médio para temperatura (°C), salinidade (PSU) e elevação superficial (m) do ciclo sazonal, dos dados do modelo em comparação ao GHRSSST, ao AQUARIUS, ao DUACS e ao ARGO.....48

Tabela 3 - Representação da raiz do erro quadrático médio para temperatura (°C) e salinidade (PSU) para seção latitudinal em 27, 30–33°S, dos dados do Modelo em comparação ao ARGO.  
.....63

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ACAS – Água Central do Atlântico Sul

AFA – Água de Fundo Antártica

AIA – Água Intermediária Antártica

APAN – Água Profunda do Atlântico Norte

ASAP – Água Subantártica de Plataforma

ASTP – Água Subtropical de Plataforma

ASAS – Alta Subtropical do Atlântico Sul

AS – Água de Superfície

AT – Água Tropical

BO – Bacia Oceânica

C3S – Serviços de Mudanças Climáticas do Copernicus

CA – Corrente das Agulhas

CAS – Corrente do Atlântico Sul

CB – Corrente do Brasil

CBe – Corrente de Benguela

CBM – Confluência Brasil Malvinas

CCA – Corrente Circumpolar Antártica

CCB – Corrente Costeira do Brasil

CCL – Corrente de Contorno Leste

CCO – Corrente de Contorno Oeste

CCP – Corrente de Contorno Oeste Profunda

CLA – Camada Limite Atmosférica

CM – Corrente das Malvinas

CMEMS – Serviços de Monitoramento do Ambiente Marinho do Copernicus

CNB – Corrente Norte do Brasil

COG – Circulação Oceânica Global

CSE – Corrente Sul Equatorial

CTD – Condutividade, temperatura e profundidade

DUACS – Sistema de Unificação de Dados e Combinação de Altimetro

FSTP – Frente Subtropical de Plataforma

GHR SST – Grupo de Temperatura Superficial de Alta Resolução

GSAS – Giro Subtropical do Atlântico Sul

ISAS – Sistema de Análise In-Situ

LP – Lagoa dos Patos

LPO – Laboratório de Pesquisa dos Oceanos

MSAP – Massa d'Água Subantártica de Plataforma

MSTP – Massa d'Água Subtropical de Plataforma

PODAAC – Laboratório de Propulsão a Jato da NASA

PRP – Pluma do Rio da Prata

RMSE – Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio

RP – Rio da Prata

ROMS – Sistema Regional de Modelagem Oceânica

ROMS\_AGRIF – Versão do ROMS

SCB – Sistema Corrente do Brasil

sSEC – Ramo Sul da Corrente Sul Equatorial

SO-ARGO – Serviços de Observação ARGO

SODA – Modelo Simples de Assimilação de Dados do Oceano

VA – Vazamento das Agulhas

Validação de um Modelo Numérico de Circulação Oceânica de Alta Resolução para o  
Oceano Atlântico Sudoeste

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>20</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>24</b>
<b>2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>25</b>
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>25</b>
<b>3.1 ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>25</b>
3.1.1 CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA NO ATLÂNTICO SUDOESTE .....	26
3.1.2 CIRCULAÇÃO OCEÂNICA NO ATLÂNTICO SUDOESTE.....	28
<b>3.2 DESCRIÇÃO DO MODELO .....</b>	<b>30</b>
<b>3.3 CONFIGURAÇÃO DO EXPERIMENTO NUMÉRICO .....</b>	<b>31</b>
<b>3.4 BASE DE DADOS .....</b>	<b>32</b>
<b>3.5 PROCESSAMENTO .....</b>	<b>34</b>
<b>3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....</b>	<b>34</b>
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>35</b>
<b>4.1 ANÁLISE DE CAMPO MÉDIO SUPERFICIAL.....</b>	<b>35</b>
<b>4.3 ANÁLISE DE CICLO SAZONAL VERTICAL .....</b>	<b>48</b>
<b>4.4 CICLO SAZONAL DE SEÇÕES LATITUDINAIS .....</b>	<b>50</b>
<b>4.5 CICLO SAZONAL DE INTERFACES DE MASSAS D'ÁGUA.....</b>	<b>64</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>70</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>72</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

Os oceanos cobrem 70% da superfície terrestre e possuem alta capacidade de armazenamento térmico, e, portanto, é fundamental para o equilíbrio climático do Planeta

Terra. O maior controle do gradiente de temperatura acontece pelas trocas de calor entre oceano e atmosfera e pelo transporte de calor efetuado pelas correntes marinhas (SOUZA *et al.*, 2011). As correntes oceânicas são caracterizadas por diferenças de temperatura, salinidade e densidade, gerando variações em escalas temporais da ordem de dias a meses e variações em escalas espaciais de dezenas a centenas de quilômetros (GODOI, 2005).

A circulação superficial dos oceanos é predominantemente forçada pelos ventos, que produzem uma tensão de cisalhamento na superfície, formando a camada de Ekman. A convergência/divergência dentro da camada de Ekman, chamado de Bombeamento de Ekman, provoca o rebaixamento/levantamento da piconclina, gerando assim os gradientes de pressão que sustentam o fluxo geostrófico (TALLEY, 2002). Em maiores profundidades, a circulação é dirigida por gradiente de densidade de massas d'água formadas em altas latitudes. O somatório da circulação dirigida pelo vento e a circulação termohalina formam a chamada Circulação Oceânica Global (COG). Pode-se dizer que a circulação termohalina origina-se através de escoamento vertical de águas mais densas para profundidades médias e para o fundo do oceano, somado ao escoamento horizontal que percorre grandes distâncias (MARTINS, 1984).

Entre os oceanos acontecem trocas de massas d'água, onde o Oceano Atlântico Norte, Mar de Weddell e bacias oceânicas (BO) adjacentes se conectam através do Oceano Atlântico Sul (GAN *et al.*, 1998). Em cada bacia oceânica, nas regiões subtropicais, são formados grandes giros anticiclônicos, chamados de giros subtropicais, circulando no sentido horário no Hemisfério Norte e anti-horário no Hemisfério Sul (CCL). As correntes de contorno oeste (CCO) se localizam na borda oeste das BO e leste dos continentes, são mais profundas, estreitas e rápidas, transportando águas quentes do equador em direção aos polos. Entretanto, as correntes de contorno leste (CCL) são rasas, largas e lentas, dirigindo águas frias dos polos em direção ao equador (GARRISON, 2010).

No Oceano Atlântico Sul, o Giro Subtropical do Atlântico Sul (GSAS), um giro anticiclônico é composto pela Corrente do Brasil (CB) ao longo da costa leste do Brasil, pela Corrente do Atlântico Sul (CAS) na porção sul do GSAS, pela Corrente de Benguela (CBe) na porção leste do GSAS e pela Corrente Equatorial na porção norte do GSAS. A CBe, localizada na costa oeste do continente africano, escoar para noroeste, onde se transforma no

ramo sul da Corrente Sul Equatorial (sSEC), responsável pela formação da borda norte do giro subtropical (STRAMMA; PETERSON, 1990; GONI *et al.*, 2011).

A Corrente Circumpolar Antártica (CCA), após cruzar a Passagem de Drake, divide-se em dois braços: parte da CCA se direciona para norte, próximo da quebra da plataforma continental Argentina, originando a Corrente das Malvinas (CM); o outro braço, correspondente a Frente Polar, escoia em direção NE-L. O Sistema da Corrente do Brasil (SCB) colide com a CM em aproximadamente em 36°S–38°S, a colisão dessas duas correntes forma uma das regiões mais ricas em atividades de mesoescala dos oceanos, a Confluência Brasil-Malvinas (CBM) (LEGECKIS; GORDON, 1982). Estudos feitos sobre a tendência de deriva sazonal da CBM utilizando modelo de alta resolução demonstraram boa performance quando comparados a dados de sensoriamento remoto de temperatura, salinidade e elevação superficial do oceano (COMBES; MATANO, 2014). A Corrente das Agulhas (CA), presente na costa leste da África, sofre retroflexão para a porção sul do continente africano. As instabilidades geradas são responsáveis por injetar uma grande quantidade de águas superficiais e intermediárias do Oceano Índico no Atlântico Sul através de meandros, processo chamado de Vazamento da Agulhas (VA) (RAE *et al.*, 1992). Os vórtices migram na direção oeste no Atlântico Sul, aumentando a intensidade da Circulação de Revolvimento do Atlântico Sul, que retorna para o Atlântico Norte compensando a produção e exportação da Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) (GORDON, 1986; GUERRA *et al.*, 2018).

A Plataforma Continental Sul do Brasil, na margem do denominado Oceano Atlântico Sudoeste, é a área de maior produtividade pesqueira da costa brasileira, por efeito de correlação de massas d'água com ciclo de vida do pescado (MENDONÇA *et al.*, 2016), principalmente pela ressurgência da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e variabilidade do SCB, que modula períodos favoráveis à pesca.

Entre o Cabo de Santa Marta (28°S) e Chuí (33°S) a morfologia da plataforma continental é larga, 120km de largura ao norte aumentando gradativamente até atingir 380km na latitude 32°S (MARTINS; URIEN, 2005). A margem é considerada passiva, com a quebra da plataforma com baixa declividade relativa, variando de 60m a 180m de profundidade, em média 20m.km<sup>-1</sup> (ZEMBRUSCKI *et al.*, 1972; MARTINS; URIEN, 2005; MENDONÇA *et al.*, 2016). A drenagem continental é um fator importante nesta localidade, pela presença do Rio da Prata (RP) e da Lagoa dos Patos (LP), com 22.000m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> e 3.000m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> respectivamente.

A Pluma do Rio da Prata (PRP) é descrita como uma massa de água fria, com salinidade menor que 33,4 presente na plataforma continental Argentina que, por ação dos ventos de SE, a pluma é dirigida para norte, denominada como Massa d'Água Subantártica de Plataforma (MSAP) (PIOLA; GORDON, 1989). A MSAP encontra-se com a Massa d'Água Subtropical de Plataforma (MSTP) (alimentada pela CB) que, devido às diferenças de temperatura e salinidade entre as massas d'água, forma-se a Frente Subtropical de Plataforma (FSP) (PIOLA *et al.*, 2008). Durante o inverno a pluma superficial formada pela descarga do RP atinge até 1000km ao norte da desembocadura misturando-se com a MSTP e formando uma corrente costeira sazonal com fluxo ao norte do RP, chamada de Corrente Costeira do Brasil (CCB). A CCB é forçada por ventos de S/SE, descarga do RP e LP, o que indica o papel importante do RP na circulação local e para a inserção de carbono no oceano (DEGENS, 1991; MENDONÇA, 2017; PIOLA *et al.*, 2005).

É de suma importância compreender os padrões de circulação do Atlântico Sul por ser o um dos agentes de controle climático, para entender os padrões e mudanças na circulação marinha e pelo caráter econômico, onde os recursos marinhos são amplamente explorados (GARZOLLI; MATANO, 2011). Em caráter regional, Pezzi & Cavalcanti (2000) citaram a importância da denominada "formação dipolo" do Atlântico Norte e Atlântico Sul como reguladores de períodos chuvosos ou secos no Nordeste brasileiro.

Dentro deste contexto, modelos numéricos de alta resolução constituem uma ferramenta poderosa para a compreensão da dinâmica dos oceanos. Apesar das conhecidas limitações de modelos numéricos, eles possibilitam a análise de processos com altas resoluções espacial e temporal, a um custo impossível de ser alcançado com programas observacionais. Além disso, modelos numéricos bem ajustados, possibilitam a aplicação de sistemas de monitoramento mais eficientes, e sistemas de monitoramento bem desenhados permitem uma melhor calibração dos modelos numéricos. Desta forma, modelagem numérica e sistemas de medições em campo, são ferramentas complementares, que se retroalimentam, possibilitando assim a melhoria simultânea de ambos os sistemas.

Modelos numéricos são boas ferramentas para estudar os oceanos, principalmente em regiões onde dados observados são escassos (GEORGE *et al.*, 2014), contudo os mesmos exigem validação para afirmar se correspondem à realidade, sendo necessário o uso de dados

observados, como elevação superficial, temperatura e salinidade. Estudos anteriores que avaliaram a variabilidade sazonal e forçantes que predominam a circulação na Plataforma da Patagônia utilizando o modelo ROMS\_AGRIF (*Regional Ocean Modeling System*) com duas grades aninhadas (grade "pai" de 1/4° e grade "filho" de 1/12°) apresentaram boa concordância com dados de sensoriamento remoto de temperatura superficial do mar, salinidade superficial e elevação superficial (COMBES; MATANO, 2018). Palma *et al.* (2008) analisaram a circulação na Plataforma do Atlântico Sudoeste em resposta às forçantes locais e *offshore*, onde seus resultados mostraram a CM, ventos, maré e descarga de água menos salina do estreito de Magalhães como os principais fatores que regem a circulação na plataforma.

Guerrero *et al.* (2014) observou que a salinidade no Oceano Atlântico Sudoeste comporta-se em flutuações sazonais e que é fortemente influenciado pela descarga do RP, onde a pluma se retrai na primavera e verão até 32°S, se expandindo até *offshore* e chegando à quebra da plataforma, enquanto que no outono e inverno a pluma se espalha para nordeste ao largo da costa do Uruguai e Sul do Brasil até 28°S.

Este trabalho de conclusão de curso visa avaliar o desempenho de um modelo numérico de alta resolução de circulação oceânica do Atlântico Sudoeste de 1/36° de resolução, investigar a variabilidade sazonal a partir de análise de dados *in situ* e dados de sensoriamento remoto, análise de campo médio superficial, seções latitudinais e localização de interface de massa d'água, aferindo-se assim a acurácia do modelo.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVOS GERAIS**

Avaliação do desempenho de um modelo numérico de circulação oceânica de alta resolução aplicado à região do Oceano Atlântico Sudoeste através de comparações com dados de sensoriamento remoto e *in situ* de temperatura, salinidade e elevação superficial do mar.

## 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos foram:

- Avaliar a capacidade de representação do modelo para temperatura, salinidade e elevação superficial no Oceano Atlântico Sudoeste por análises de padrões sazonais e de campo médio através de comparações com dados medidos *in situ* e de sensoriamento remoto.
- Comparar os resultados do modelo com observações através de diagramas T-S para identificar a representação das massas d'água.
- Identificar as massas d'água presentes na região e observar a representação das mesmas pelos resultados do modelo.
- Analisar a posição (profundidade) de interface entre as massas d'água, permitindo a análise de desempenho do modelo em representar padrões de densidade observados no Oceano Atlântico Sudoeste.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

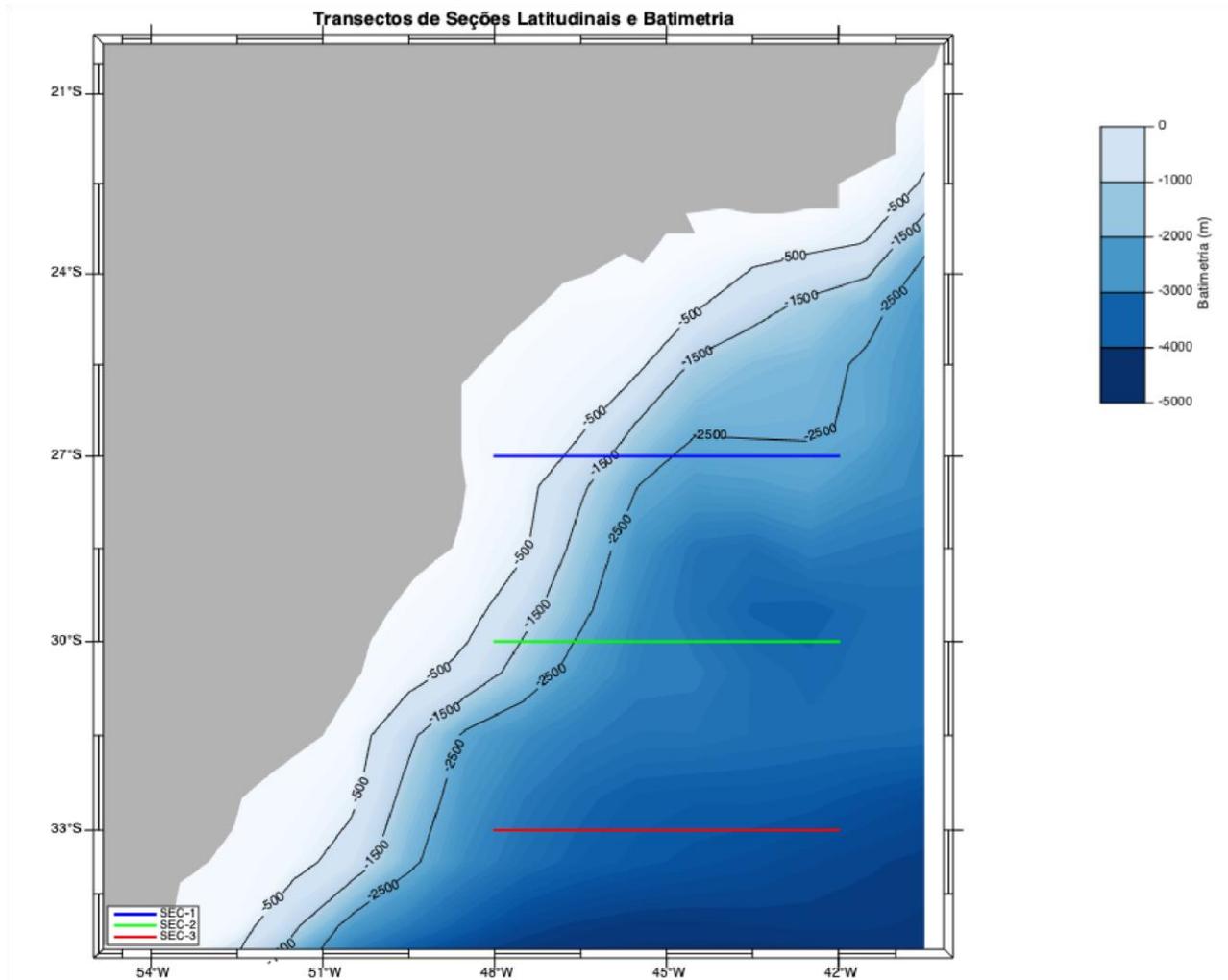
### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a região de plataforma e oceano profundo (*offshore*) na costa do Uruguai e sul do Brasil, entre latitudes de 20°S e 35°S e longitudes de 40°O e 55°O, porção sudoeste do Oceano Atlântico Sul. Os dados de saída do modelo numérico de alta resolução abrangem a região da Confluência Brasil-Malvinas, da porção norte do Rio da Prata e da Lagoa dos Patos, agentes estes importantes para compreensão da circulação, variações de temperatura, salinidade e altimetria local.

Figura 1 – Mapa da área de estudo representando a batimetria, localização de transectos para seções latitudinais de temperatura e salinidade (SEC-1 em 27°S, SEC-2 em 30°S e SEC-3 em 33°S) e as isóbatas de 500m, 1500m e

2500m . O plano batimétrico utilizado foi a partir do sistema ETOPO2v2 (Dados de alívio global em grade de 2 minutos).

Fonte: A Autora.



### 3.1.1 CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA NO ATLÂNTICO SUDOESTE

O eixo de rotação da Terra não é perpendicular ao plano orbital da Terra em torno do Sol. Essa inclinação gera o aquecimento irregular da superfície terrestre, produzindo assim as quatro estações conhecidas ao longo do ano. O aquecimento desigual gera um gradiente térmico que por sua vez produz um gradiente de pressão.

O ar tende a fluir de centros de alta pressão para os centros de baixa pressão, no entanto devido a rotação da Terra essas partículas são defletidas para a direita da velocidade da partícula no hemisfério norte e para a esquerda da direção da partícula no hemisfério sul, formando assim giros ciclônicos e anticiclônicos. A área de interface oceano-atmosfera varia de espessura de acordo com a tensão de cisalhamento entre as superfícies, que diminui com a

altitude, chamada de Camada Limite Atmosférica (CLA) (FOKEN, 2008). A circulação atmosférica no Oceano Atlântico Sul é definida por um giro anticiclônico associado ao centro de alta pressão semi-permanente na região subtropical. Este padrão de circulação está intrinsecamente associado às células de Hadley e de Ferrel, chamado de Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), influenciando diretamente no clima das regiões sul e sudeste do Brasil durante as estações de inverno e verão austral (VIANELLO; MAIA, 1986).

Os ventos divergem em superfície na fronteira das duas células (~30°S), fluindo para leste. Na costa oeste do Oceano Atlântico, Sul, os ventos variam sazonalmente, entretanto existe maior predominância de ventos de NE de intensidade média ou baixa na região sul, que está relacionado ao deslocamento latitudinal da ASAS (DEGOLA, 2013; GOMES; FREITAS, 2018).

Um fator importante para a região do Atlântico Sudoeste são as passagens de massas de ar frias provenientes do Polo Sul, que cruzam o Uruguai em direção ao oceano (MENDONÇA *et al.*, 2016). Em estudos anteriores (WALLACE *et al.*, 1989) foi proposto que a desestabilização da camada limite ocorre pelos ventos (massas de ar) impulsionados de grandes latitudes sobre a superfície do mar quente, condição na qual a CB está submetida, explicando a razão de ventos intensos sobre a mesma. Regime de ventos fortes surgem por alterações das condições de mistura turbulenta correspondente a força de Coriolis desequilibrada próximo à frente térmica, ocorrendo o acoplamento oceano-atmosfera em latitudes médias (CAMARGO *et al.*, 2013). As trocas de calor entre superfícies influenciam na variação de temperatura do ar ou superfície do mar, ocasionando instabilidade nos níveis de pressão sobre o oceano (balanço hidrostático) e ventos superficiais se deslocando em sentido a menores níveis de pressão (MENDONÇA, 2017).

### 3.1.2 CIRCULAÇÃO OCEÂNICA NO ATLÂNTICO SUDOESTE

Os oceanos desempenham um papel fundamental no controle climático do planeta, equilibrando o gradiente térmico entre polos e equador através do transporte de calor gerado pelas correntes oceânicas, que são principalmente dirigidas pelo vento. As características que diferem as correntes entre si são a densidade, a temperatura e a salinidade, onde o transporte pode variar em escalas de dias a meses e de dezenas a centenas de quilômetros.

A circulação oceânica na costa brasileira é caracterizada por correntes de contorno oeste (CCO), oriundas do Giro Subtropical Oceano Atlântico Sul (GSAS). As CCO são definidas por fluxos estreitos, intensos e quentes, onde a CB está enquadrada, escoando de 15°S até 38°S. A Corrente Sul Equatorial (CSE) sofre bifurcação próximo a costa leste brasileira, em direção sul se torna a CB e para norte em 10°S, a Corrente Norte do Brasil (CNB). Entretanto, a CB não é definida como rápida (25Sv–40Sv) se comparada com a Corrente das Malvinas (CM) (40Sv–70Sv) ou a Corrente do Golfo (CG) (60Sv–80Sv) (ROSSBY *et al.*, 2010).

O SCB inicia seu escoamento ao sul de 10°S escoando até região de Convergência Subtropical (SILVEIRA *et al.*, 2000), sentido S-SE, caracterizado pela presença de Água Tropical (AT) e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) entre superfície e níveis picnoclínicos, fluindo para sudoeste (STRAMMA; ENGLAND, 1999; LIMA *et al.*, 2016). Sob esta camada superficial entre 400m–1200m a Corrente de Contorno Intermediária (CCI) transporta Água Intermediária Antártica (AIA) na direção N-NE (EVANS; SIGNORINI, 1985). Abaixo destas correntes, sobre o talude inferior, escoam a APAN, transportada para sul pela Corrente de Contorno Oeste Profunda (CCP), sob ação de um fluxo relativamente lento (STOW *et al.*, 2002; ZEMBA, 1991; GODOI, 2005). Em profundidades maiores que 3500m, a circulação é dominada pela presença da Água de Fundo Antártica (AFA) (STOW *et al.*, 2002), que associada às demais massas d'água e correntes anteriormente citadas, constituem o Sistema Corrente do Brasil (SCB). Ao longo da CB, vórtices se desprendem, principalmente em locais com mudança abrupta da linha de costa e gradiente topográfico, como região de Cabo Frio e Cabo de Santa Marta (CAMPOS *et al.*, 2000).

A CM, formada a partir do braço da Corrente Circumpolar Antártica, dirige-se em sentido norte paralelamente à plataforma Argentina (MATANO *et al.*, 2010). Em 38°S, CM

converge com CB, formando a Confluência Brasil-Malvinas (CBM). Na plataforma continental interna ao sul do Brasil a circulação também é dirigida por fatores locais, como a descarga continental do Rio da Prata (RP) e da Laguna dos Patos (LP) que tornam as águas superficiais menos salinas do que o entorno (PIOLA; GORDON, 1989), com vazão de  $22.000\text{m}^3.\text{s}^{-1}$  e  $2.000\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ , respectivamente. No inverno, os ventos de sul propiciam que a pluma de água doce se estenda até 1000km da desembocadura do RP, entretanto, na primavera e verão a retração da pluma ocorre pela menor vazão e ventos de nordeste (MULLER *et al.*, 2008).

Encontram-se duas massas d'água primordiais na plataforma continental sul brasileira, a Água Subantártica de Plataforma (ASAP) de baixa salinidade e fria, originada da plataforma da Patagônia e Água Subtropical de Plataforma (ASTP) salina e quente, formada a partir de intrusões laterais de Águas tropicais da CB na plataforma continental em latitudes menores (PIOLA *et al.*, 2000; MENDONÇA, 2017). Estas massas d'água possuem características termohalinas diferentes e sentidos opostos, de modo que o encontro das mesmas permita a formação da Frente Subtropical de Plataforma (FSTP), localizada na latitude de  $33^{\circ}\text{S}$ , delimitando a plataforma continental sudoeste em porção norte caracterizada por águas tropicais (quente e salina) e sul por subantárticas (fria e pouco salina) (PIOLA *et al.*, 2000).

A ASAP cobre a porção de  $40^{\circ}\text{S}$  da plataforma continental e encontra Águas da Pluma do Rio da Prata, formando uma corrente costeira com sentido oposto a CB, de caráter sazonal, denominada de Corrente Costeira do Brasil (CCB) (SOUZA; ROBINSON, 2004). Souza e Robinson (2004) descreveram que a CCB é governada pelos ventos locais e pela descarga continental do RP e LP, também alimentada pelas águas frias da CBM e por processos de mistura lateral da ASTP e CB, permitindo um perfil termohalino singular sobre a plataforma continental ao sul do Brasil e Uruguai.

Nas regiões do Cabo Frio e Cabo de Santa Marta a circulação da plataforma interna é dominada pelos ventos, principalmente de NE (mais intensos na primavera e menos no outono), ambiente propício para fenômenos de ressurgência, onde a intrusão da ACAS em subsuperfície injeta águas ricas em nutrientes (LOPES, 2006), já na plataforma média e externa observa-se em  $15^{\circ}\text{S}$  um jato costeiro oposto a CB, quando associado a ACAS, a distribuição horizontal das propriedades da termohalina aproximadamente 300m a corrente escoar em sentidos opostos, devido a bifurcação em sentidos divergentes ao longo da região costeira (CIRANO *et al.*, 2006).

Os vórtices anticiclônicos e ciclônicos estão associados a instabilidade em mesoescala da Corrente do Brasil, que podem ser desconectados do eixo principal da corrente gerando a formação de anéis que são transportados *offshore*, aprisionando águas com propriedades físicas diferentes daquelas presentes no seu entorno (MANO *et al.*, 2009). Segundo Campos, Gonçalves e Ikeda (1995), a formação dos meandros é dada pelos gradientes topográficos e mudança brusca na linha de costa. Entretanto, processos de instabilidade baroclínica ocorrentes na Corrente do Brasil em cisalhamento com a CCI são responsáveis pela formação e aumento dos vórtices, existindo transferência de energia potencial do escoamento para os campos de vórtices gerados (MANO *et al.* 2009).

Sabe-se que a presença de vórtices e meandros da Corrente do Brasil na região de Cabo Frio sejam um dos influenciadores na intrusão da ACAS na região sudeste do Brasil, junto com a mudança no regime de ventos e também a presença do fenômeno de ressurgência costeira (LOPES, 2006).

### 3.2 DESCRIÇÃO DO MODELO

O Sistema Regional de Modelagem Oceânica (ROMS) (SHCHEPETKIN, A.; MCWILLIAMS, J. C., 2005) é um modelo tridimensional, de superfície livre, hidrostático, de diferenças finitas e coordenadas curvilíneas ortogonais que resolvem as equações primitivas em uma grade C de Arakawa. Na vertical, o modelo utiliza 40 níveis em coordenadas sigma, acompanhando o terreno, evitando assim a perda de resolução na região costeira (SONG; HAIDVOGEL, 1994). A superfície livre no ROMS utiliza como método de integração a opção avançada no tempo de forma explícita (discretizar o espaço contínuo e calculando o estado do sistema em tempo posterior em relação ao tempo atual) com intervalo de tempo muito menor. A difusão vertical implícita (também discretiza o espaço contínuo, entretanto calcula o estado do sistema resolvendo uma equação que envolve o passo de tempo atual e posterior), é disponível para profundidade de água rasa ou onde convecção é parametrizada pela difusividade vertical local aumentada e/ou viscosidade (HAIDVOGEL *et al.*, 2000). Na simulação analisada neste estudo, foi utilizado o ROMS\_AGRIF (versão do ROMS citada no item 3.3).

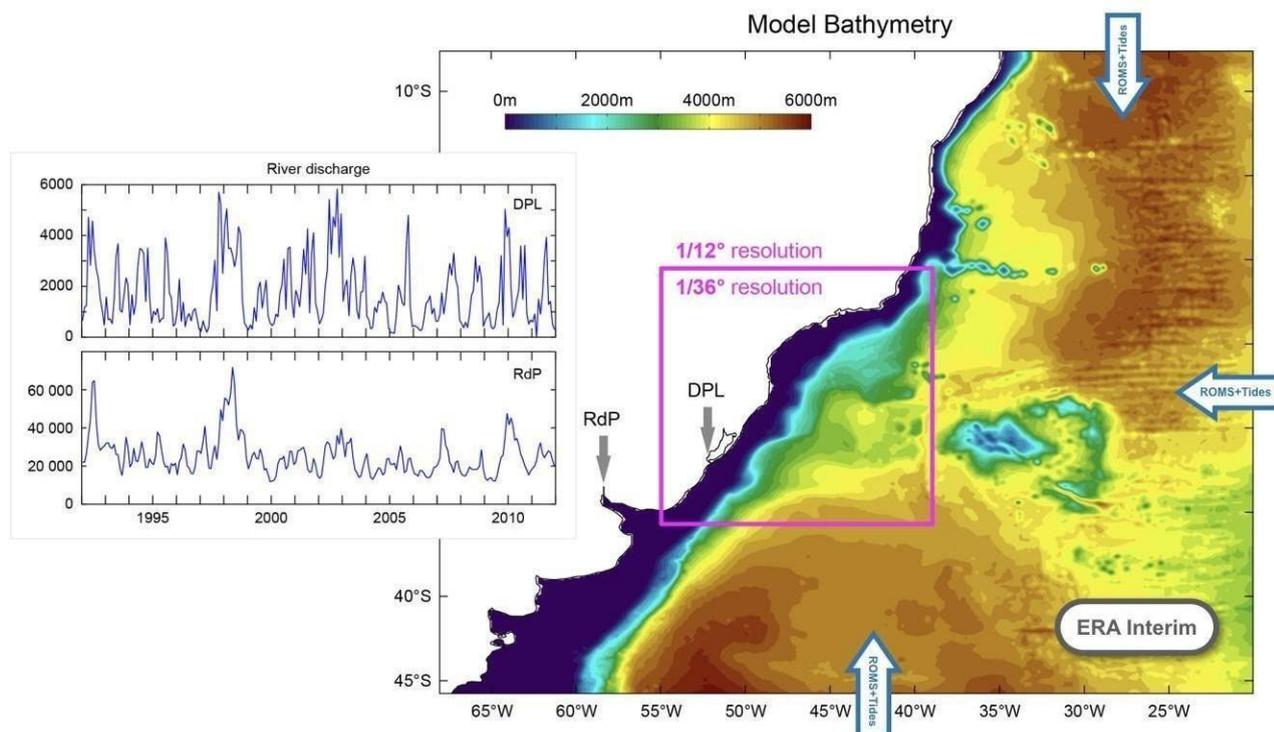
### 3.3 CONFIGURAÇÃO DO EXPERIMENTO NUMÉRICO

O modelo consiste em três grades (Fig. 2) aninhadas em modo bidirecional da versão ROMS\_AGRIF (<http://roms.mpl.ird.fr/>; SHCHEPETKIN; MCWILLIAMS, 2005), com 40 níveis verticais: a primeira grade de resolução grosseira ( $1/4^\circ$ ) (grade "pai") abrange todo o hemisfério sul, se estendendo até  $15,2^\circ\text{N}$ ; a grade aninhada (grade "filho") possui resolução horizontal de  $1/12^\circ$  cobrindo todo o Oceano Atlântico Sul e uma terceira grade de alta resolução ( $1/36^\circ$ , corresponde a  $\sim 3\text{km}$ ) aninhada na filho (COMBES; MATANO, 2018), esta última corresponde a área de estudo (Fig. 1).

O *Simple Ocean Data Assimilation Model* (SODA; CARLTON; GIESE, 2008), promoveu as condições oceânicas de contorno para a borda ao norte da grade pai e para a condição inicial. Em superfície, o modelo foi forçado por médias de três dias de fluxos de campos atmosféricos disponibilizado pelo Era-Interim (DEE *et al.*, 2011) para o período de 1979-2012. No processo de execução do modelo, a grade "pai" foi forçada durante 10 anos e na configuração pai/filho foram integrados 5 anos adicionais com as mesmas médias mensais de forçantes climatológicas.

A grade de alta resolução foi forçada com 8 componentes de marés astronômicas (M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1), que foram introduzidas como potencial de maré nas equações de conservação de momento do modelo e forçante de volume de descarga mensal do Rio da Prata ( $22.000\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ ) e Lagoa dos Patos ( $2.000\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ ).

Figura 2 – Batimetria do modelo com representação do aninhamento das grades para o domínio de  $1/12^\circ$  e  $1/36^\circ$  (quadrado em rosa) do modelo ROMS\_AGRIF na região da Lagoa dos Patos (DPL) e o Rio da Prata (RdP), indicados pelas setas em cinza. A série temporal representa a descarga mensal de DPL e RdP para o período de 1992–2012. Na superfície, o modelo é forçado pelos fluxos médios de três dias do ERA-Interim. Como potencial de maré, são incluídos 8 componentes de maré (M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1).



Fonte: COMBES; MATANO (2018).

### 3.4 BASE DE DADOS

Ao selecionar dados climatológicos para validação do modelo numérico foi considerado a resolução espacial para representar eventos de mesoescala e resolução temporal com período correspondente aos dados de saída.

Os dados oceanográficos climatológicos utilizados neste estudo são produtos desenvolvidos e mantidos pelo *Laboratoire de Physique des Océans* (LPO) no *Argo Observing Service* (SO-ARGO). *In Situ Analysis System* (ISAS) é uma ferramenta que sintetiza os dados de temperatura e salinidade dos derivadores ARGO em uma grade de resolução espacial horizontal de  $1/2^\circ$  e 152 níveis verticais através de interpolação, onde a

profundidade máxima que os derivadores atingem é de 2000m. Ademais, os dados do ARGO são assimilados com dados de CTD, XBT, boias e fundeios, onde os dados são disponibilizados em médias sazonais. A última atualização do ISAS, chamado de ISAS15, compreende o período de 2002–2015, foram computados com ISAS-Versão 7, utilizando como referência os dados de climatologia ISAS13 (GAILLARD *et al.*, 2016).

Os dados de sensoriamento remoto foram obtidos através da plataforma do *Jet Propulsion Laboratory - California Institute of Technology* (PODAAC) da NASA. Na missão AQUARIUS, dados de salinidade foram coletados no período de ago/2011–jun/ 2015, versão 5 dos dados orbitais, com nível de processamento L3, resolução temporal mensal e resolução espacial global de 1°. A cobertura global da órbita do satélite ocorre em 7 dias, com 4 ciclos por mês.

Dados de sensoriamento remoto para temperatura utilizados neste estudo foram do *The Group for High Resolution Sea Surface Temperature* (GHRSSST). São dados de alta resolução, nível 4 de processamento para aplicações em curto, médio e longo prazo em escala de tempo para representação climática de temperatura na superfície oceânica, disponível para o período de 1993–2015, sendo que a resolução espacial do dado é 1/6° e a resolução temporal é diária.

O *Data Unification and Altimeter Combination System* (DUACS) é um sistema de processamento do (CNES/CLS) que disponibiliza produtos de elevação superficial do mar. O DUACS é usado pelos serviços *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS) e *Climate Change Service* (C3S) do programa *E.U. Copernicus*. O DUACS processa dados de todos altímetros das missões: Jason-3, Sentinel-3A, HY-2A, Saral/ AltiKa, Cryosat-2, Jason-2, Jason-1, T/P, ENVISAT, GFO, ERS 1/2, combinando-os e computando em grades de resolução horizontal 1/4° e temporal de 1 dia, nível 4 de processamento, cobertura global e para o período de 1993–presente (utilizado somente de 1993–2015 neste trabalho).

### 3.5 PROCESSAMENTO

Os dados de sensoriamento remoto (AQUARIUS e GHRSSST), dos derivadores ARGO e do modelo numérico foram analisados por estimativas de médias sazonais e campos médios para todo período de estudo. Os campos sazonais foram estimados para os períodos de verão (janeiro, fevereiro e março), outono (abril, maio, junho), inverno (julho, agosto, setembro) e primavera (outubro, novembro e dezembro). Para comparação, os dados foram interpolados: a resolução horizontal utilizada foi de 1° (AQUARIUS) e vertical 1/2° (ARGO), com 40 níveis de profundidade (Modelo). O método de interpolação utilizado foi o “mais próximo” (em inglês, *nearest*), onde o valor interpolado em relação a um ponto de consulta torna-se o valor do ponto de grade mais próximo.

Para identificação de massas d’água foram construídos diagramas T-S para toda região de estudo, com intuito de representar graficamente a equação de estado da água do mar, em função da temperatura potencial e da salinidade, permitindo avaliar a distribuição das mesmas no oceano. Adicionalmente, seções longitudinais nas latitudes de 27°S (42–48°O), 30°S (42–48°O) e 33°S (42–48°O) foram construídas para identificação da estrutura termohalina, nomeados de SEC-1, SEC-2 e SEC-3, respectivamente (Fig. 1).

Também, foi possível identificar a posição das interfaces de massas d’água através de valores de densidade potencial ( $\sigma$ ) que estivessem associados ao limite entre elas.

A densidade foi calculada pelos dados de temperatura e salinidade e os índices foram os mesmos utilizados no estudo de PEREIRA *et al.*, (2014) para o Oceano Atlântico Sul, assumindo os valores de  $\sigma=25,7\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  que separa a AT da ACAS,  $\sigma=26,8\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  entre ACAS e AIA e  $\sigma=27,5\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  para interface entre AIA e APAN.

### 3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a análise de desempenho do modelo numérico de circulação oceânica de alta resolução, os dados de satélite e das climatologias foram comparados com os resultados do modelo. Para tanto, duas métricas foram escolhidas: o Viés (eq. 1) e a Raiz Quadrada do Erro

Quadrático Médio (eq. 2). Foi escolhido para comparar as diferenças entre os campos horizontais e perfis verticais entre os dados selecionados para o estudo

(Viés) e calcular a extensão de quanto os dados variam da mesma (RMSE)

O erro sistemático (Viés) é calculado entre as diferenças das médias dos resultados, seguindo a equação 1:

$$Viés(x) = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \quad (1)$$

A Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio (RMSE, em inglês), possui dimensão igual à dos valores observados. O valor representa o desvio médio entre os dados, cálculo realizado pela equação 2:

$$RMSE(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2)$$

## 4 RESULTADOS

Com objetivo de apresentar os resultados de maneira ordenada, os resultados foram organizados em formatos de tópicos: primeiramente são apresentados campos em superfície, e em seguida análise vertical.

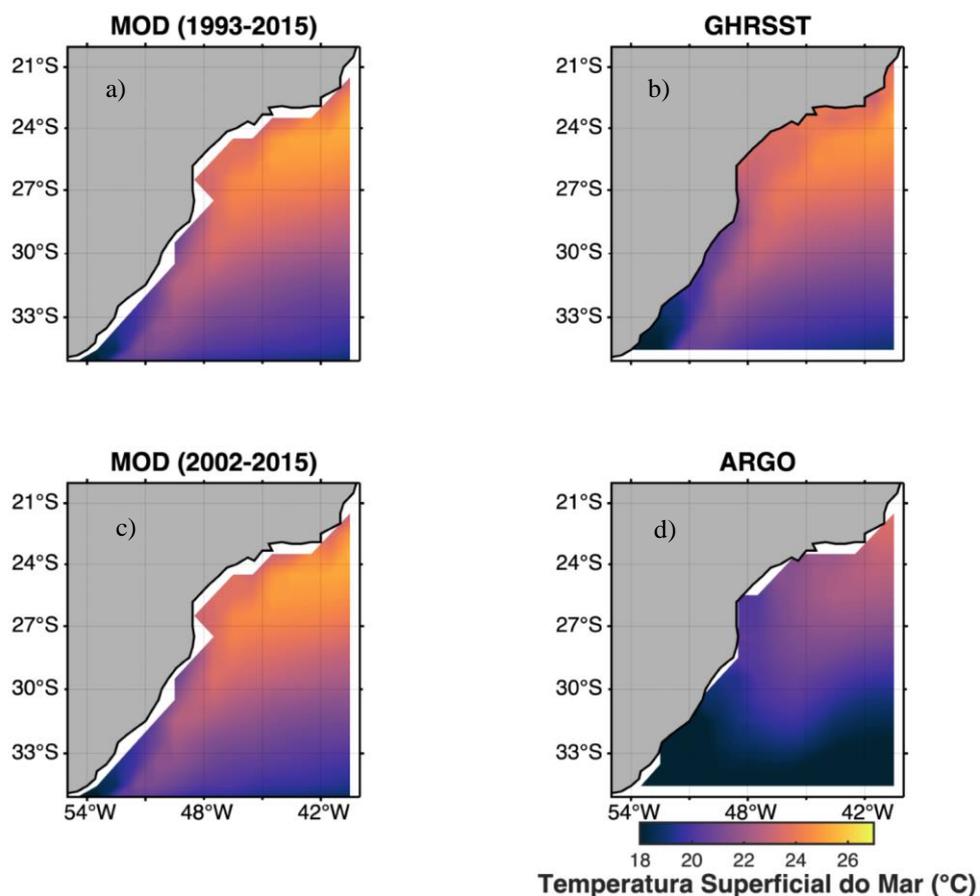
### 4.1 ANÁLISE DE CAMPO MÉDIO SUPERFICIAL

A temperatura do campo médio superficial do Modelo no período de 1993-2015, mostrou-se semelhante ao GHRSSST. Como esperado, as temperaturas mais quentes encontram-se ao norte da região de estudo, aproximadamente 27°C. O GHRSSST se mostrou relativamente mais frio entre 22–26°S (Fig.4, b), entretanto, sua distribuição pelo campo

mostrou-se concordar com o modelo. Próximo de 33–35°S e 52– 54°O, a temperatura não ultrapassou o limiar de 20°C, observado no modelo e GHRSSST, assim como o trajeto da Corrente do Brasil, identificado pela água superficial quente ao sul da área de estudo, local onde comumente é caracterizado por águas gélidas da região.

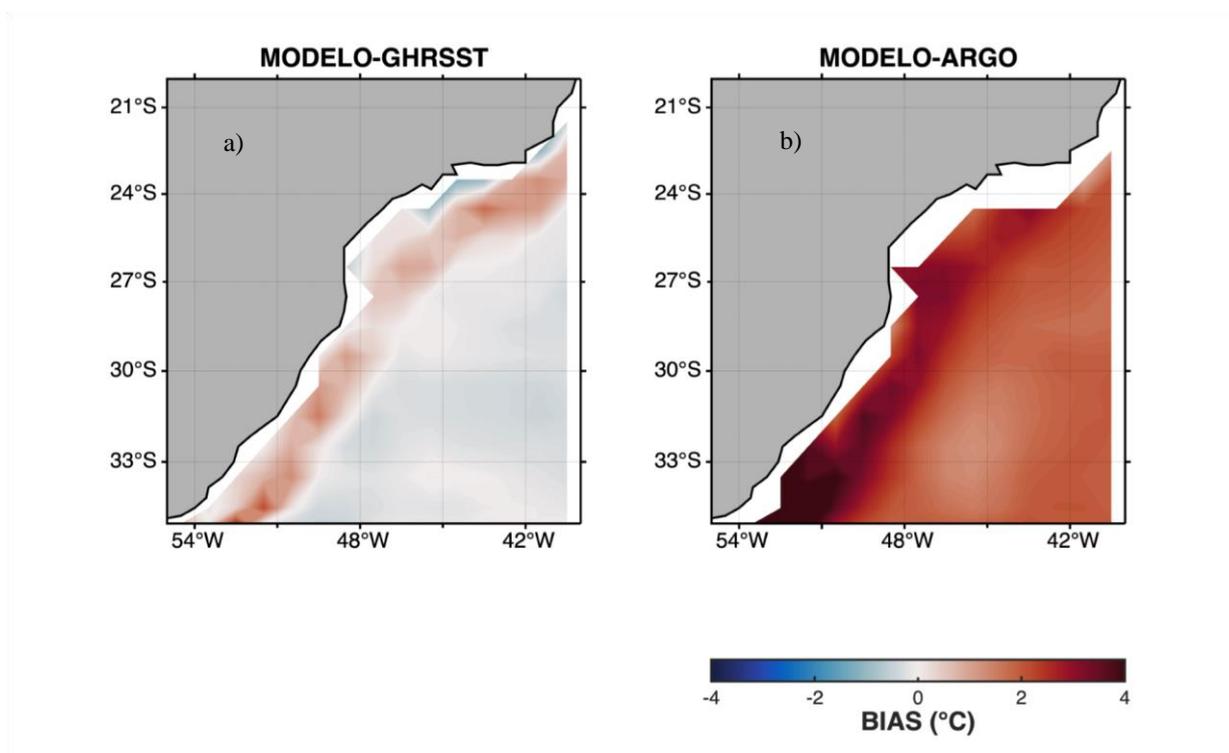
Em comparação ao ARGO, a média do campo superficial para temperatura do modelo (2002–2015) (Fig. 3, b) foi mais quente para toda área, com diferenças significativas. Enquanto as temperaturas ao norte do modelo atingiram 27°C, no ARGO não se aproximou de 24°C. Em adição, outra diferença notável é a não observação da Corrente do Brasil no campo médio do ARGO.

Figura 3 – Temperatura (°C) média para o campo médio superficial. Letras a e c representam a média do Modelo para o período de 1993–2015 e 2002– 2015, respectivamente. Letras b e d representam o GHRSSST (1993– 2015) e ARGO (2002–2015), respectivamente.



O cálculo do viés (Fig. 4) para temperatura superficial do campo médio demonstrou o que era esperado pelas observações feitas nos campos médios do Modelo, GHRSSST e ARGO. O viés para Modelo–GHRSSST (Fig. 4; a) obteve-se valores satisfatórios, onde o Modelo manteve-se mais quente para toda região de trajeto da CB, com diferenças máximas de 2,65°C, e para o restante do campo o Modelo obteve temperaturas mais frias, com máxima de -1,21°C. A comparação do Modelo-ARGO (Fig. 4, b) a diferença máxima atingiu 5,78°C entre 33–35°S e 51–54°O, enquanto as mínimas foram observadas entre 44–47°O e 32–34°S. Diferente do campo médio do ARGO, na representação de Viés na área de estudo, pode ser observado que a maior diferença entre Modelo–ARGO encontra-se na CB em relação ao todo.

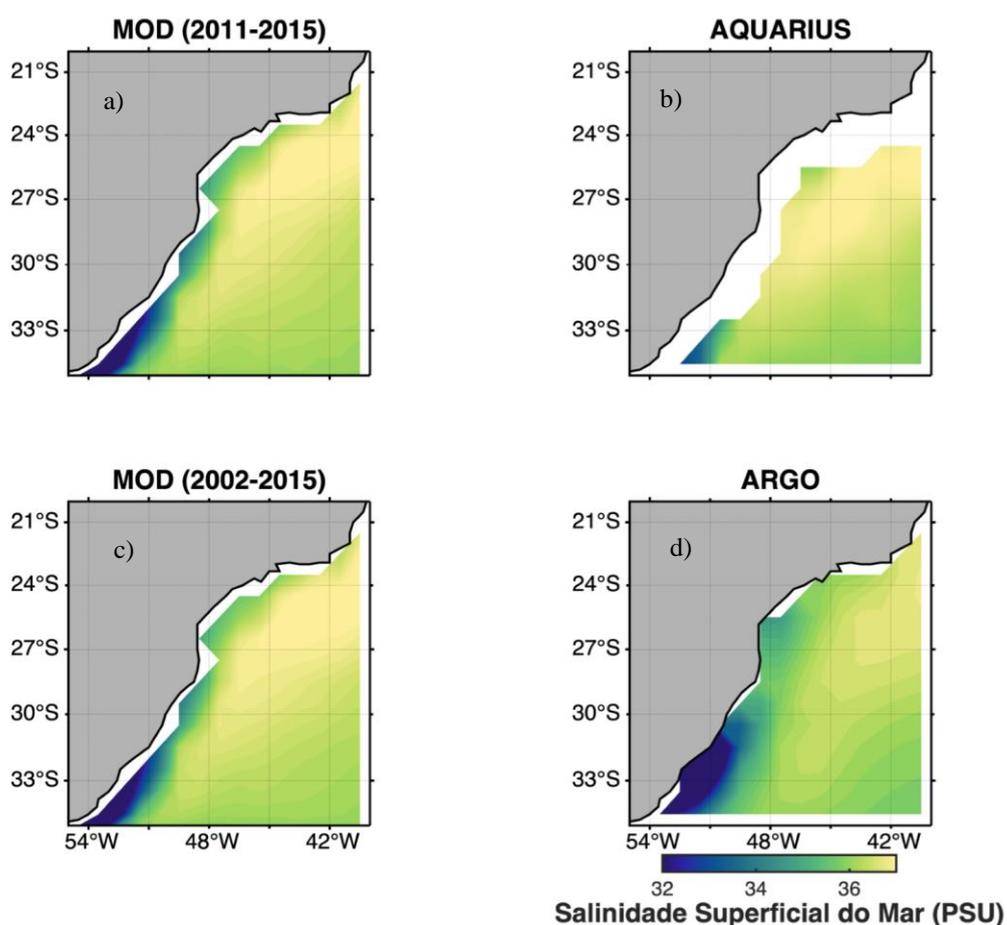
Figura 4 – Representação de Viés para o campo médio superficial de temperatura (°C), dos dados do Modelo–GHRSSST, período de 1993–2015 (a) e Modelo–ARGO, 2002–2015 (b).



Nos dados de salinidade para o campo médio superficial do modelo no período de 2011–2015 (Fig. 5; a) ao sul da área de estudo em 33–35°S e 52–54°O, próximo da desembocadura do Rio da Prata, observou-se águas menos salinas para todo o campo, concordando com o que era esperado, enquanto que ao norte o valor de salinidade 37PSU foi

detectada devido uma alta taxa de evaporação, superando a taxa de precipitação local. A mesma conformação é observada no AQUARIUS (Fig. 5, b), apesar da limitação de dados próximos à costa. A distribuição de salinidade do Modelo concordou com o AQUARIUS, assim como o Modelo (2002–2015) também concordou com o ARGO, embora sua salinidade para o campo se demonstrou relativamente mais alta para toda a região. A extensão de águas menos salinas ao sul no ARGO é maior do que foi apresentado pelo Modelo, onde mostra a maior discordância de salinidade.

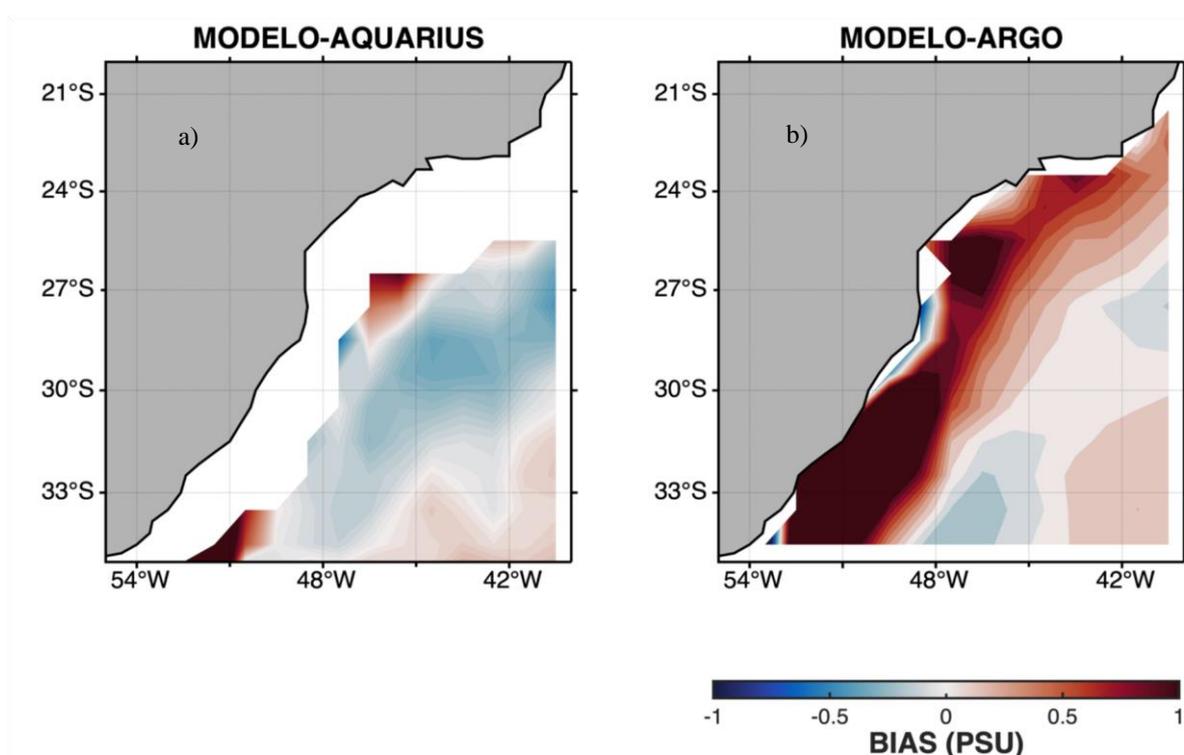
Figura 5 – Salinidade (PSU) média para o campo médio superficial. Letras a e c representam o Modelo para o período de 2011–2015 e 2002–2015, respectivamente. Letras b e d representam o AQUARIUS (2011–2015) e ARGO (2002–2015), respectivamente.



A representação de Viés para salinidade variou consideravelmente, contudo os valores permaneceram em grande parte do campo entre -1 e 1PSU, somente para o Modelo ARGO houve um pico de salinidade de 9,29PSU ao sul, onde extensão de águas menos salinas do

ARGO ao sul foi maior que o Modelo. Para Modelo–AQUARIUS, na mesma região observou-se as maiores diferenças, atingindo 2,48PSU de máxima. No geral, o Modelo divergiu em proximidades à costa em relação a climatologia e sensoriamento remoto, enquanto que em *offshore* as diferenças foram menos significativas.

Figura 6 – Representação de Viés para campo médio superficial de salinidade (PSU), dos dados do Modelo–AQUARIUS, período de 2011–2015 (c) e modelo–ARGO, 2002–2015 (b).

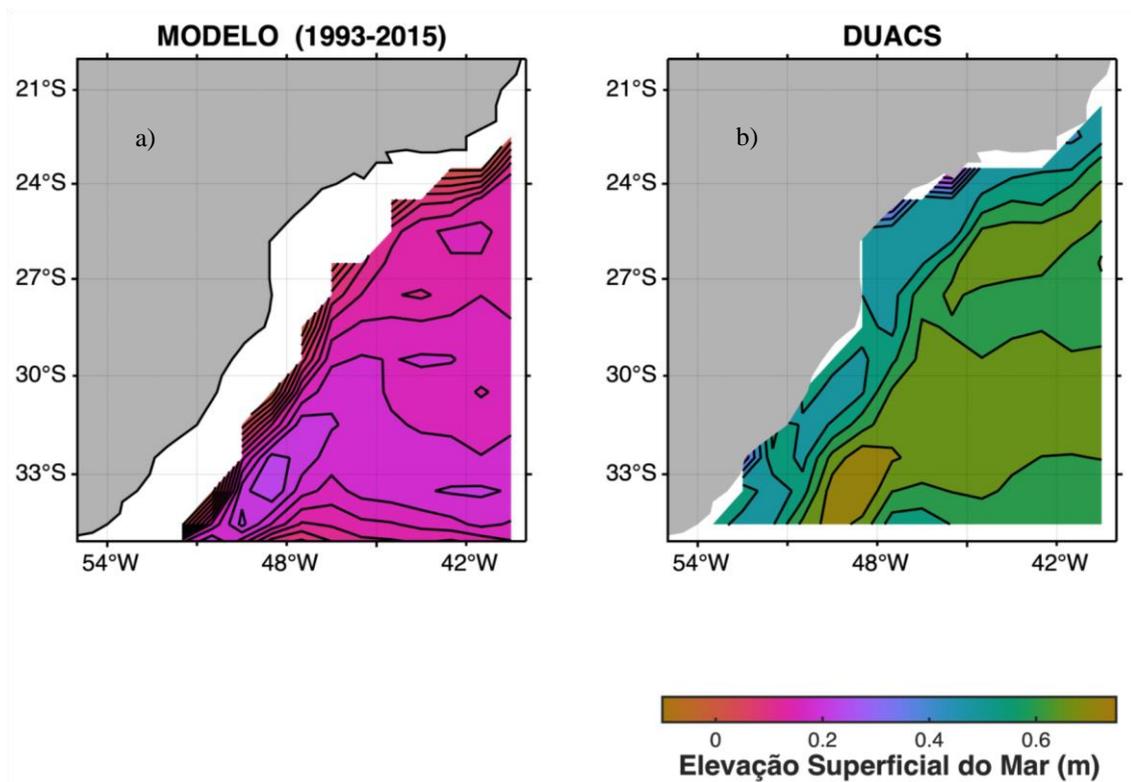


A elevação superficial do campo médio do Modelo (Fig. 7, a) apresentou máxima de 0,3m em 33°S e 49°O enquanto o DUACS (Fig. 7, b) atingiu 0,75m no mesmo local. As mínimas e máximas observadas para o Modelo e sensoriamento remoto estão de acordo em distribuição, entretanto as elevações superficiais do DUACS são quase duas vezes maiores que o Modelo de modo geral.

Esta afirmação concorda com os resultados do cálculo de Viés (Fig. 8), onde a elevação superficial do Modelo foi menor em todo campo com diferença máxima de -0,59m e a mínima de -0,13m. Diferente do observado na salinidade e temperatura, as maiores divergências de

valores não foram próximas à costa, as maiores divergências foram entre 42–45°O e 26–28°S e entre 33–35°S e 48–50°O.

Figura 7 – Elevação superficial (m) para o campo médio. Letras a e b representam Modelo e DUACS respectivamente, para o período de 1993–2015.



A Raiz do Erro Quadrático Médio (Tabela 1) para o Modelo–ARGO apresentou maiores valores para temperatura e salinidade de 3,01°C e 2,28PSU, respectivamente. O menor valor foi para Modelo–DUACS de 0,45m, o resultado mais satisfatório dentre todos, embora o Modelo–GHRSSST e Modelo–AQUARIUS obtiveram também valores mais próximos do observado, de 0,70°C e 0,81PSU, respectivamente.

Figura 8 – Representação de Viés para campo médio de elevação superficial para Modelo–DUACS, no período de 1993–2015.

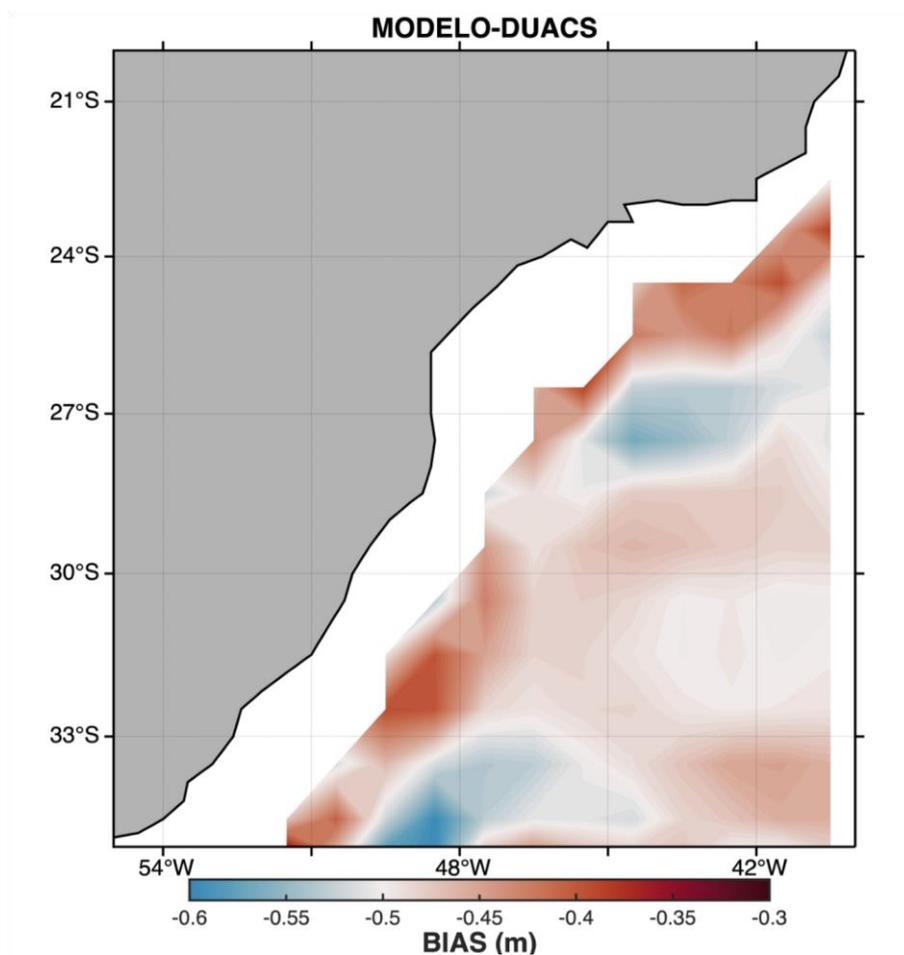


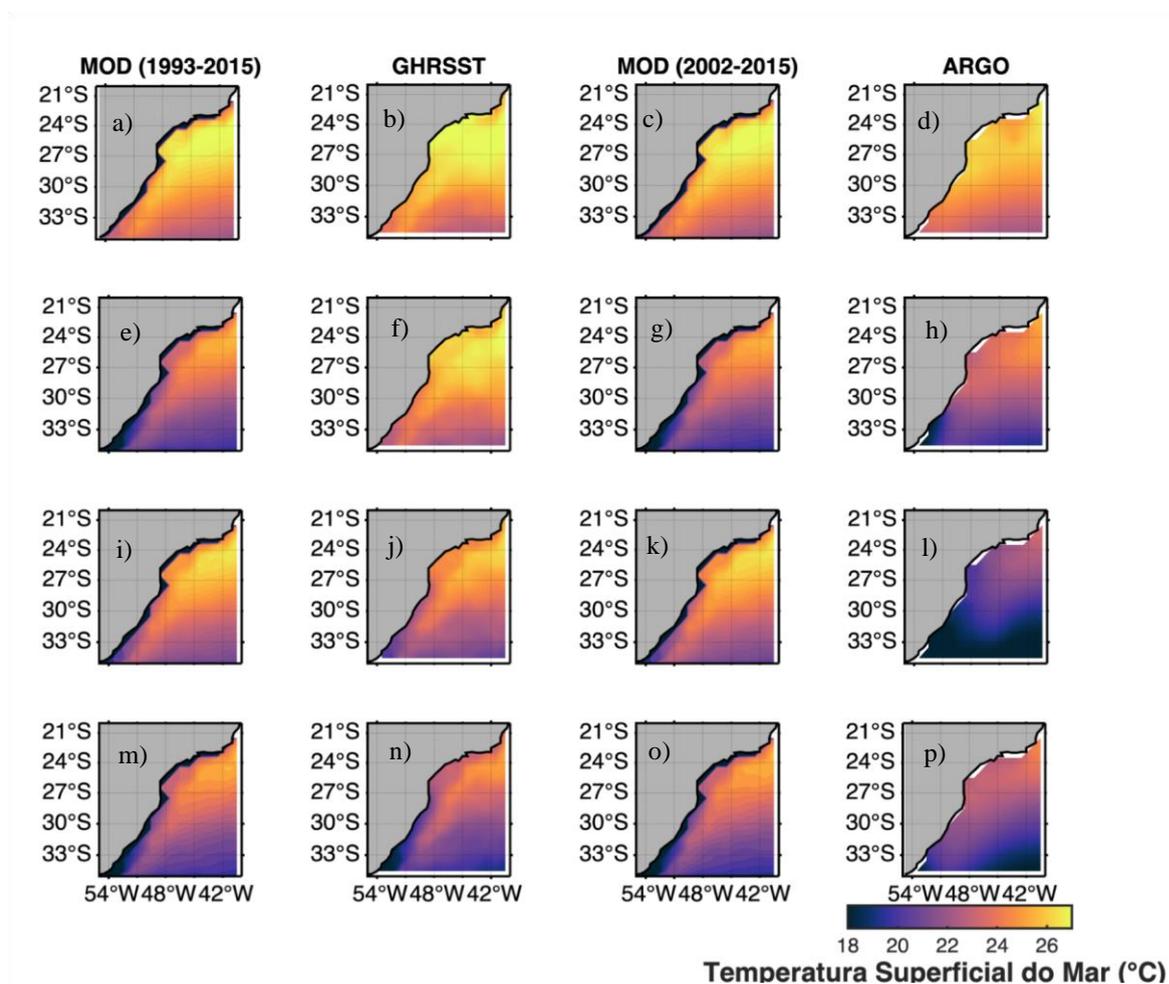
Tabela 1 – Representação da raiz do erro quadrático médio para temperatura (°C), salinidade (PSU) e elevação superficial (m) do campo médio, dos dados do Modelo em comparação ao GHRSSST, AQUARIUS, DUACS e ARGO.

<b>Parâmetro ARGO</b>	<b>GHRSSST</b>	<b>AQUARIUS</b>	<b>DUACS</b>	
<b>°C</b>	0,70	-	-	3,01
<b>PSU</b>	-	0,80	-	2,28
<b>m</b>	-	-	0,45	-

## 4.2 ANÁLISE DO CICLO SAZONAL SUPERFICIAL

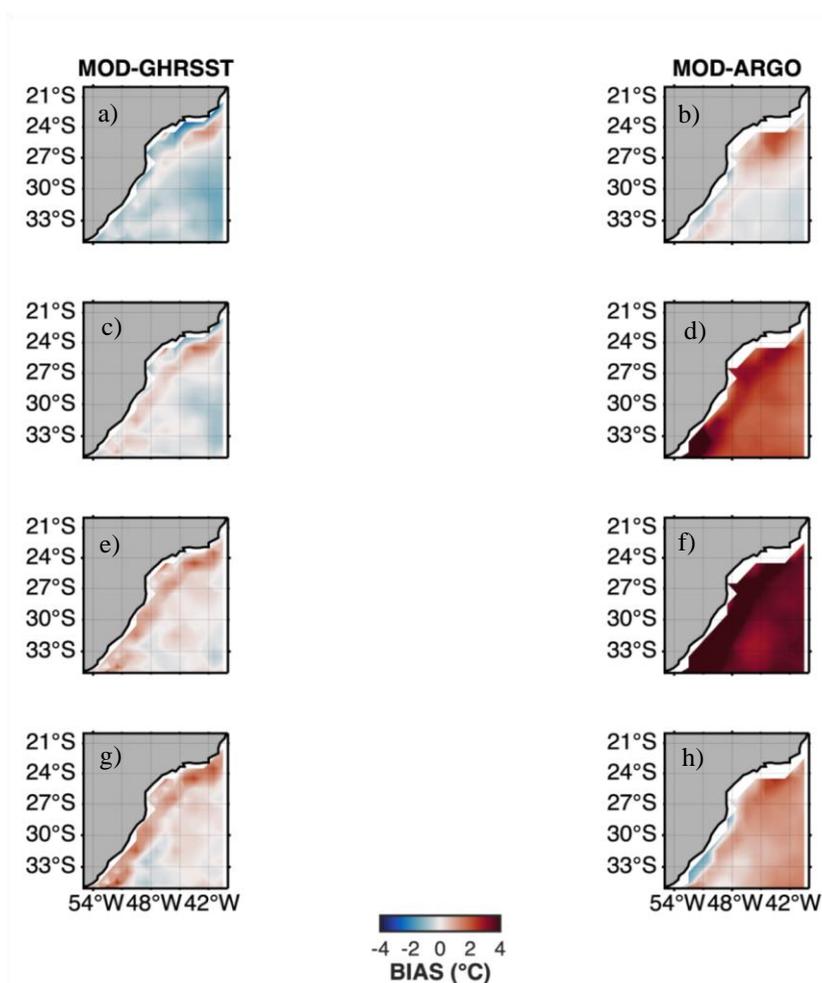
Durante o verão, o Modelo mostrou-se mais quente comparado ao GHRSSST e ao ARGO, principalmente no contorno costeiro, analisado em períodos correspondentes ao sensoriamento remoto (Fig. 9; a) e *in situ* (Fig. 9; c), seguindo-se o mesmo padrão para salinidade (Fig. 11; a). No outono (Fig. 9; e, f, g e h), o Modelo apresentou-se com temperaturas baixas em relação ao GHRSSST para todo o campo, notavelmente ao sul de 30°S.

Figura 9 – Temperatura (°C) média para o ciclo sazonal superficial. Letras a, b, e, f, i, j, m e n representam a média do Modelo e GHRSSST respectivamente, para o período de 1993–2015. As letras c, d, g, h, k, l, o e p representam o Modelo e ARGO, respectivamente para o período de 2002–2015. Letras a, b, c e d representam o verão, letras e, f, g e h representam o outono, letras i, j, k e l representam o inverno e letras m, n, o e p representam a primavera.



A salinidade foi maior em relação ao ARGO e ao AQUARIUS, mantendo características semelhantes de distribuição superficial (mais salino ao norte, menos ao sul) (Fig 12, letras e, g). No outono, o ARGO (Fig. 9; h) demonstrou ser mais frio para todo campo analisado, chegando a 4°C de diferença (Fig. 10). No inverno e na primavera (Fig. 9; i e m), a temperatura apresentada pelo Modelo corroborou com o GHRSSST, observando-se diferenças diminutas.

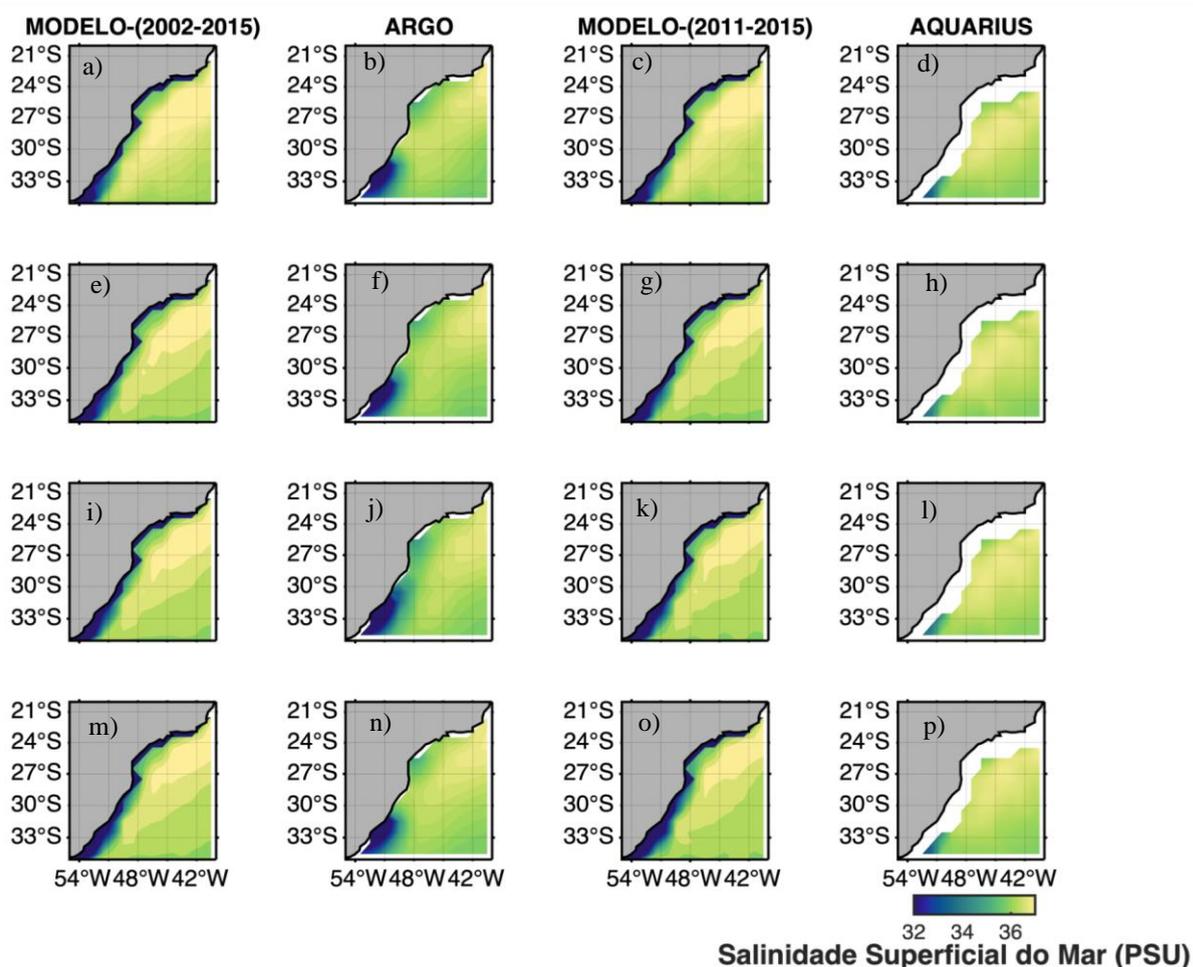
Figura 10 – Representação de viés para campo superficial de temperatura, dos dados do Modelo–GHRSSST, período de 1993–2015 (a, c, e, g) e Modelo–ARGO, 2002–2015 (b, d, f, h) para o ciclo sazonal: Letras a e b representam o Verão, letras c e d o Outono, letras e, f para o Inverno e as letras g e h a Primavera.



Para a primavera (Fig. 9; p), o ARGO apresentou temperaturas aproximadas ao Modelo. Para as mesmas estações, a salinidade continua superior na borda continental, diferença representativa em comparação ao ARGO, exceto entre 28°S e 32°S para todo ciclo (Fig. 11; b, f, j e n).

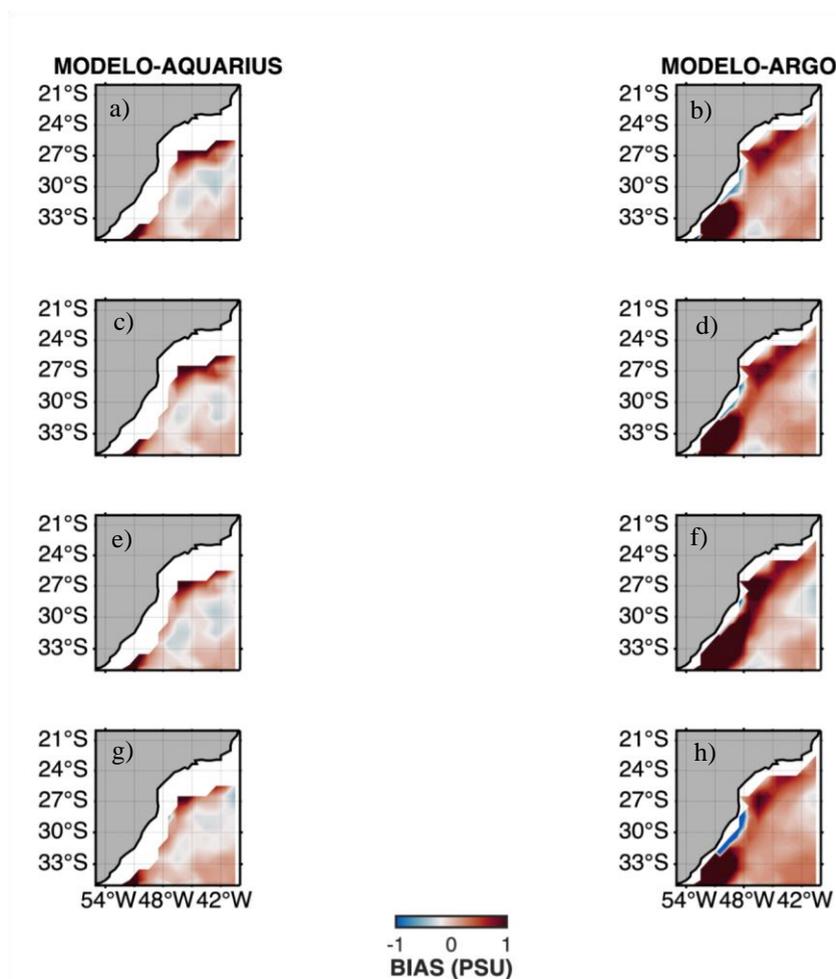
Em 35° S e 54° S (Fig. 9; outono, inverno e primavera), o deslocamento da Pluma do Rio da Prata aumentou com a intensificação dos ventos de SE, observado no Modelo, GHRSSST e ARGO. A elevação superficial do Modelo foi menor em relação ao DUACS (Fig. 14) por todo campo e todas estações, onde as elevações não se assemelham em metros de elevação, embora as máximas e mínimas para cada dado analisado sejam em regiões semelhantes.

Figura 11 – Salinidade (PSU) média para o ciclo sazonal superficial. As letras c, d, g, h, k, l, o e p representam o Modelo e ARGO, respectivamente para o período de 2002–2015. Letras a, b, c e d representam o verão, letras e, f, g e h representam o outono, letras i, j, k e l representam o inverno e letras m, n, o e p representam a primavera.



Dado a diferença de temperatura, salinidade e elevação superficial entre Modelo, ARGO (temperatura e salinidade), AQUARIUS (salinidade), DUACS (elevação superficial) e GHRSSST (temperatura), Viés (Figs. 11, 13, 15) e raiz do erro quadrático médio (Tabela 2) foram calculados e analisados. Para o viés, o Modelo apresentou-se mais quente (mais salino) na borda oeste, com exceção da primavera em relação ao ARGO, onde foi para a totalidade do campo, apenas em uma pequena faixa na borda oeste (28°S–35°S) a temperatura esteve relativamente menor.

Figura 12 – Representação de Viés para campo superficial de salinidade (PSU), para Modelo–AQUARIUS, período de 2011–2015 (a, c, e, g) e Modelo–ARGO, 2002–2015 (b, d, f, h) para o ciclo sazonal: : Letras a e b representam o Verão, letras c e d o Outono, letras e, f para o Inverno e as letras g e h a Primavera.



A temperatura apresentou máxima de 8,04°C em relação ao ARGO no inverno (salinidade 9,44PSU no verão), para o GHRSSST foi 3,77°C na primavera, AQUARIUS 2,82PSU na primavera e elevação superficial -0,64m no inverno, onde as maiores diferenças aconteceram em oceano fora de plataforma (*offshore*). A Raiz do Erro Quadrático Médio (Tab. 2) foi mais

representativo para a temperatura, principalmente em concordância ao ARGO, de 4,59°C no inverno.

Figura 13 - Elevação superficial (m) média para o ciclo sazonal. Primeira e segunda coluna representam a média do Modelo e DUACS respectivamente, para o período de 1993-2015. As Letras a e b representam o Verão, letras c e d o Outono, letras e, f para o Inverno e as letras g e h a Primavera.

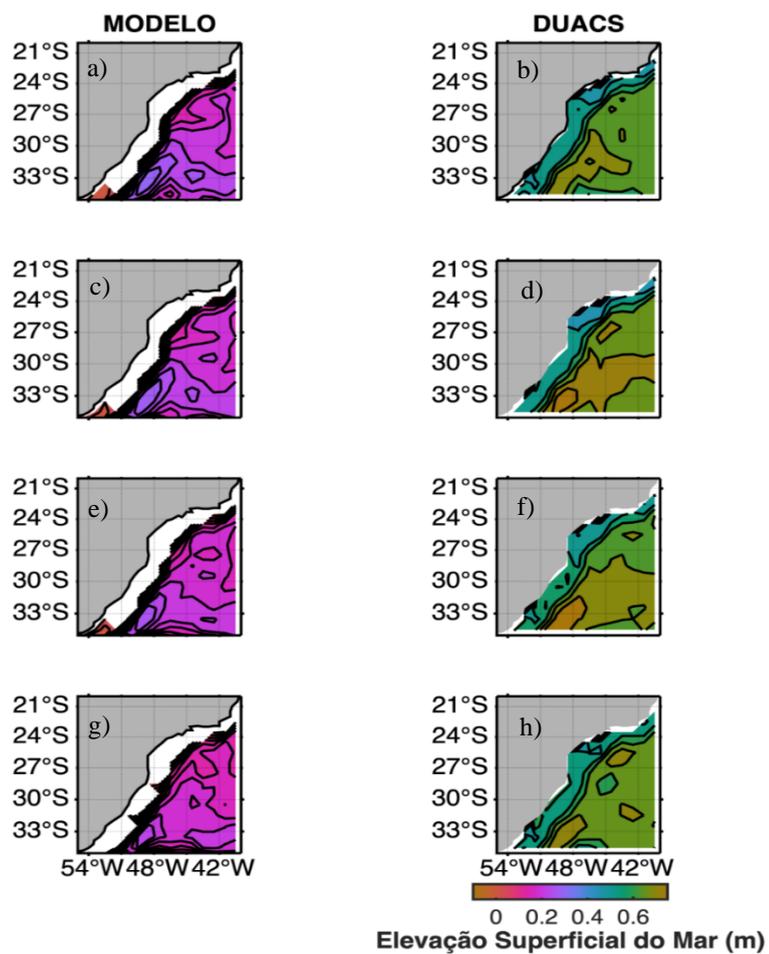


Figura 14–Representação de Viés para elevação superficial para Modelo–DUACS, no período de 1993–2015. Letra a representa o Verão, letra b o Outono, letra c o Inverno e a letra d a Primavera.

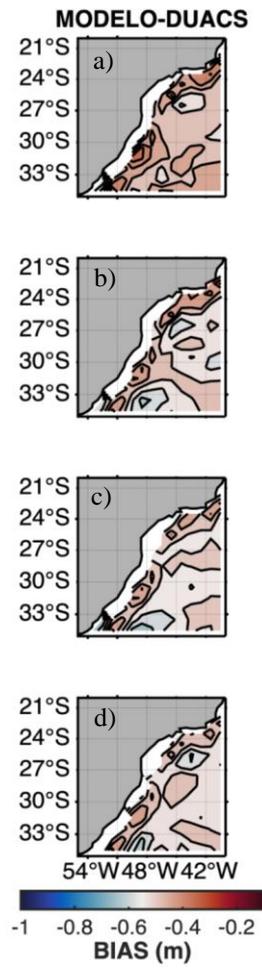


Tabela 2 – Representação da raiz do erro quadrático médio para temperatura (°C), salinidade (PSU) e elevação superficial (m) do ciclo sazonal, dos dados do modelo em comparação ao GHRSSST, ao AQUARIUS, ao DUACS e ao ARGO.

Parâmetro	Período	GHRSSST	AQUARIUS	DUACS	ARGO
°C	Verão	0,82	-	-	0,68
°C	Outono	0,61	-	-	2,98
°C	Inverno	0,80	-	-	4,59
°C	Primavera	1,02	-	-	1,15
PSU	Verão	-	0,99	-	2,33
PSU	Outono	-	0,82	-	2,18
PSU	Inverno	-	0,92	-	2,25
PSU	Primavera	-	1,10	-	1,59
m	Verão	-	-	0,43	-
m	Outono	-	-	0,47	-
m	Inverno	-	-	0,49	-
m	Primavera	-	-	0,47	-

#### 4.3 ANÁLISE DE CICLO SAZONAL VERTICAL

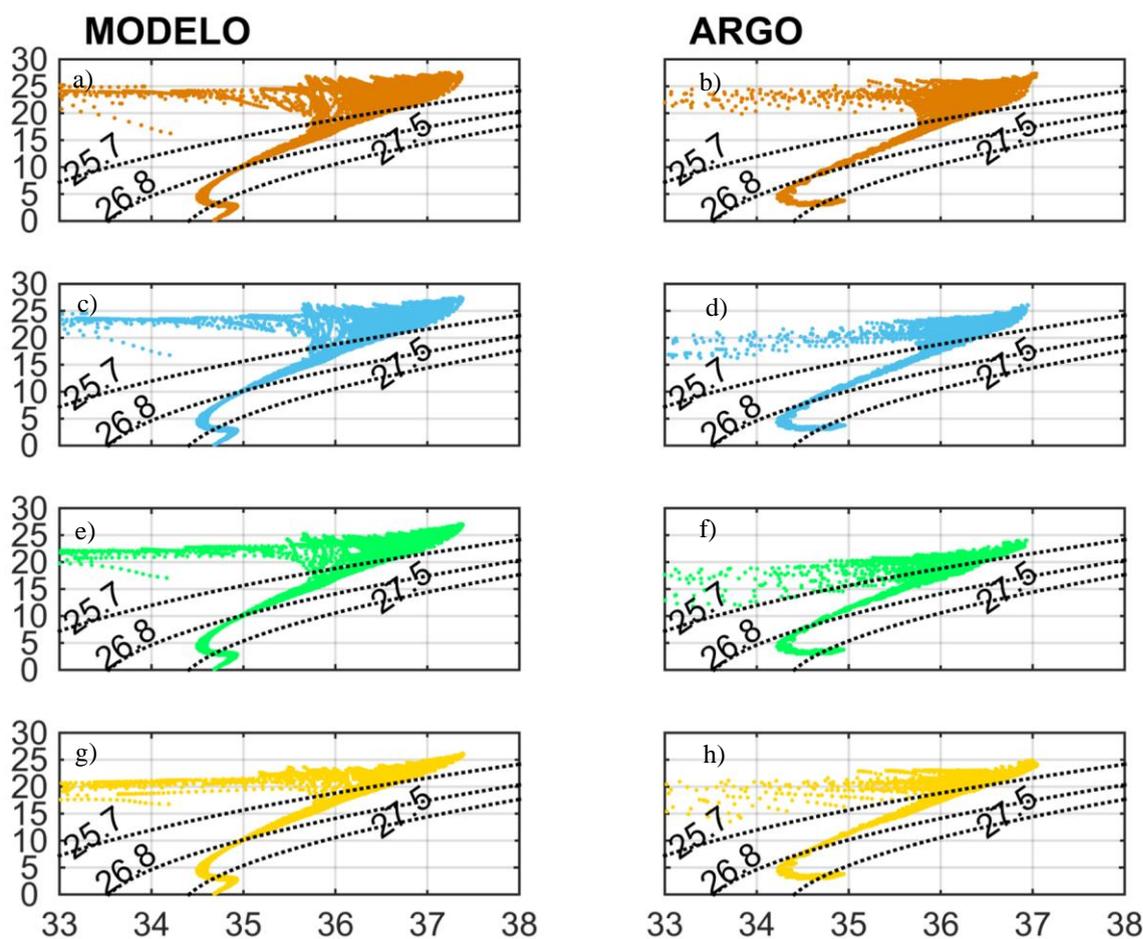
Após a realização das médias sazonais dos dados e interpolação, o processo de análise do ciclo sazonal vertical é caracterizado pela temperatura e salinidade representadas em um diagrama de dispersão T-S. A AS ( $\sigma < 25,7\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) esteve mais quente durante o verão para os dados modelados (Fig. 15, a), resfriando gradativamente ao longo das estações seguintes (Fig. 15, e, i, m). No Modelo o gradiente de temperatura manteve-se entre 15°C e 30°C, concentrando-se principalmente entre 20 e 25°C, um gradiente inferior em relação aos dados *in situ*, nos quais a mínima observada aproxima-se de 10°C no inverno (Fig. 16, f). Para a salinidade da AS esperava-se uma baixa durante toda variação sazonal ocasionado pela Pluma

do Rio da Prata e Laguna dos Patos, onde o gradiente de salinidade do Modelo (33–37,4PSU) foi maior em relação ao ARGO (33–37,05 PSU), entretanto a diferença de temperatura foi mais expressiva entre os dados, quando comparada a salinidade. Contudo, pode-se afirmar que a variação de salinidade (temperatura) da AS é maior no Modelo (ARGO).

A variação espacial da ACAS ( $25,7\text{kg}\cdot\text{m}^{-3} < \sigma \leq 26,8\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) para modelado e *in situ* apresentou pequenas diferenças, uma vez que a variação espacial para o dado do ARGO foi relativamente maior, embora esta massa d'água estivesse em configuração semelhante em ambos os dados. Foi observado uma diferença relevante na porção superior, que pode ser explicada pela interação oceano-atmosfera, onde os processos de troca acontecem pela AS e podem promover modificações na camada com maiores variações espaciais em comparação àquelas de maior profundidade.

A AIA ( $26,8\text{kg}\cdot\text{m}^{-3} < \sigma \leq 27,5\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) não apresentou variação sazonal em temperatura e salinidade, condição estável da massa d'água, contudo, *in situ* a salinidade observada foi menor em relação ao modelado. A APAN ( $\sigma > 27,5\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) esteve representada em perfil até profundidades maiores pelos dados do Modelo, pois ocorreu uma limitação de profundidade para os dados do ARGO, não possibilitando uma comparação apropriada.

Figura 15– Variabilidade sazonal dos dados do MODELO (coluna 1) e ARGO (coluna 2), para médias do período de 2002–2015, representado em perfis verticais de temperatura (°C; ordenada) em relação a salinidade (PSU; abcissa) para todo o campo da área de estudo (55°O–40°O / 20°S–35°S). Em laranja, é representado o verão, em azul é representado o outono, em verde é representado o inverno e em amarelo é representado a primavera.

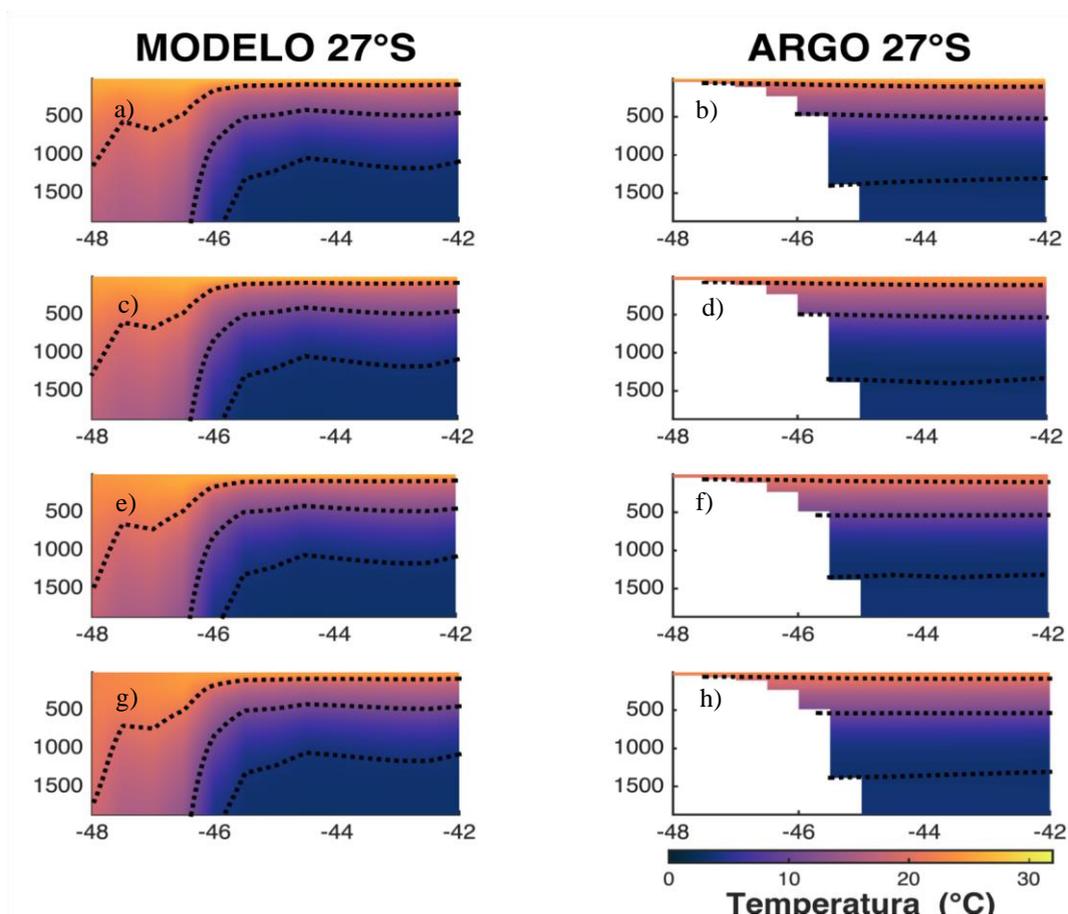


#### 4.4 CICLO SAZONAL DE SEÇÕES LATITUDINAIS

Os dados do modelo foram comparados ao ARGO somente em regiões correspondentes, devido a diferença de disponibilidade de dados em profundidade. A Água de Superfície, camada de mistura, em 27°S é estreita para todas estações, presente nas primeiras centenas de metros e demonstrou-se mais quente para o Modelo (Fig. 16). Neste transecto, a Água Intermediária Antártica mostrou maior diferença de espessura, aproximadamente 200m mais espessa para os dados analisados do ARGO (Fig. 16, b, d, f e h) em todos períodos sazonais, uma vez que a porção superior da AIA localizou-se na mesma profundidade que

o Modelo, aumentando os 200m na porção inferior, entre a AIA e APAN. Enquanto o Modelo mostrou uma Água Profunda do Atlântico Norte mais espessa atingindo 1800m de profundidade, para o qual a interface AIA/APAN esteve posicionada em 1200m. Entre as estações do ano, as diferenças foram pequenas ou não ocorreram.

Figura 16 – Seções latitudinais de temperatura média (C°) em 27°S, para dados do Modelo (Coluna 1) e dados do ARGO (Coluna 2) para o período de 2002–2015, onde Profundidade (m; ordenada), Longitude (°O; abcissa). As Letras a e b representam o Verão, letras c e d o Outono, letras e, f para o Inverno e as letras g e h a Primavera. As linhas pontilhadas mostram as linhas de densidade potencial de interface entre Água Superficial e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (25,7kg.m<sup>-3</sup>), entre ACAS e Água Intermediária Antártica (AIA) (26,8kg.m<sup>-3</sup>), e entre AIA e Água Profunda do Atlântico Norte (27,5kg.m<sup>-3</sup>).

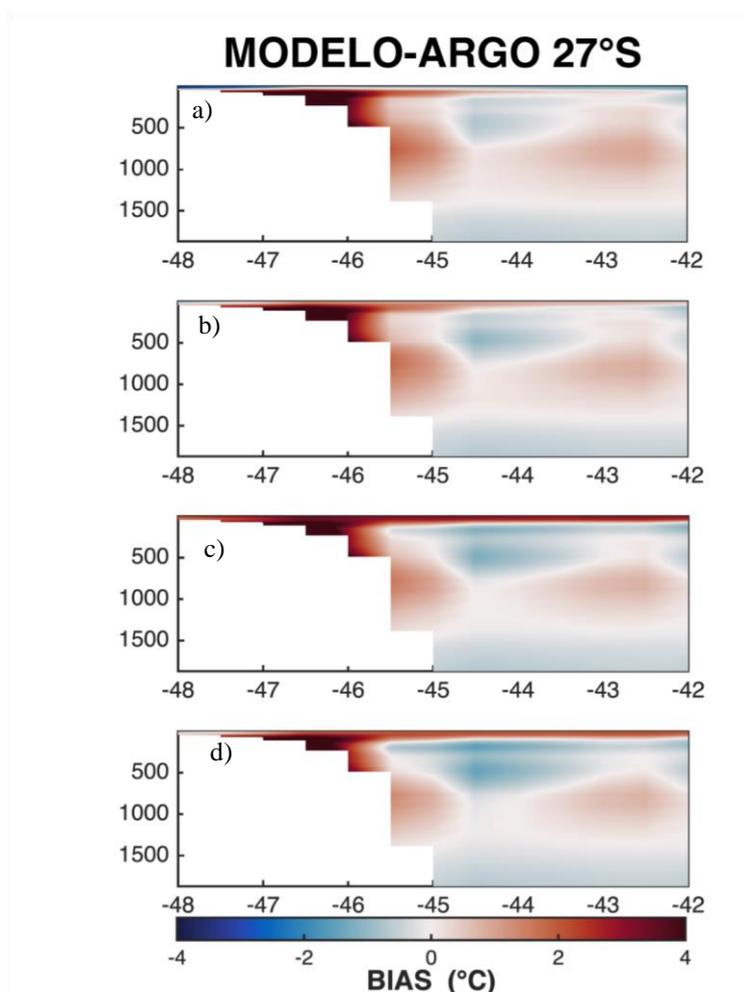


A ACAS nos dados *in situ* (Fig. 16; Col. 2) apresentou conformidade de maior proximidade da superfície entre 46–48°O e gradativamente sua profundidade aumentou no outro extremo do transecto, entre 42–44°O. O Modelo apresentou a ACAS mais uniforme na porção superior

da massa d'água e na porção inferior, entre 42–44°O, pode-se observar que esta região se localizou em maior profundidade, em média 50m mais funda.

Através do cálculo de viés (Fig. 17) observou-se que para superfície no verão o ARGO mostrou temperatura maior, a maior diferença foi de 1,05°C, no entanto a média do Viés do Modelo para a seção foi mais quente, com valores de 1,09°C na primavera, 2,53°C no inverno e 1,97°C no outono .

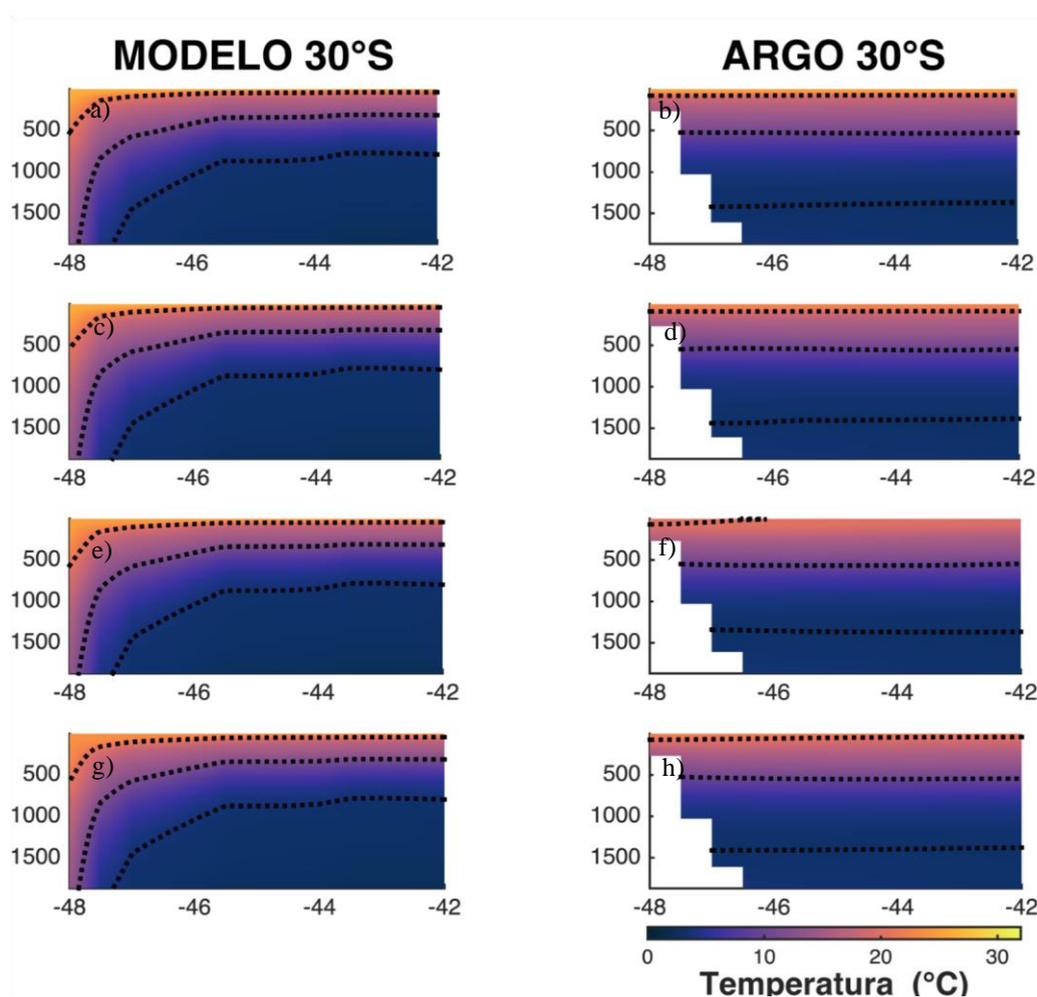
Figura 17 – Representação de Viés para Seções latitudinais de temperatura média (C°) em 27°S , para dados do Modelo - ARGO para o período de 2002–2015, onde Profundidade (m; ordenada), Longitude (°O; abcissa). A Letra a representa o Verão, letra b o Outono, letra c o Inverno e a letra d a Primavera. As linhas pontilhadas mostram as linhas de densidade potencial de interface entre Água Superficial e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (25,7kg.m<sup>-3</sup>), entre ACAS e Água Intermediária Antártica (AIA) (26,8kg.m<sup>-3</sup>), e entre AIA e Água Profunda do Atlântico Norte (27,5kg.m<sup>-3</sup>).



Próximo da Plataforma Continental, de 45,5°S a 47,5°S, a temperatura do Modelo foi notavelmente maior em relação aos dados de flutuadores, onde as diferenças máximas

ocorreram nesta região, chegando a  $8,13^{\circ}\text{C}$  maior, apesar de profundidades maiores predominarem temperaturas menores em relação ao ARGO (Fig. 17). Próximo a  $44^{\circ}\text{S}$ , entre 800–1200m, as diferenças de temperatura entre os dados foram ínfimas ou não existiram.

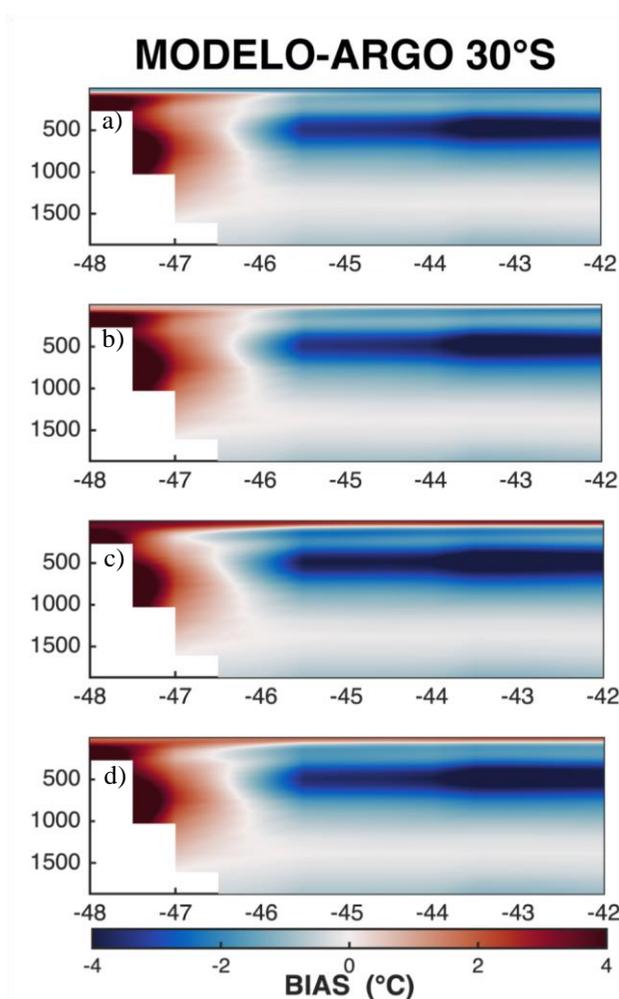
Figura 18 – Seções latitudinais de temperatura média ( $^{\circ}\text{C}$ ) em  $30^{\circ}\text{S}$ , para dados do Modelo (Coluna 1) e dados do ARGO (Coluna 2) para o período de 2002–2015, onde Profundidade (m; ordenada), Longitude ( $^{\circ}\text{O}$ ; abcissa). As Letras a e b representam o Verão, letras c e d o Outono, letras e, f para o Inverno e as letras g e h a Primavera. As linhas pontilhadas mostram as linhas de densidade potencial de interface entre Água Superficial e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) ( $25,7\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), entre ACAS e Água Intermediária Antártica (AIA) ( $26,8\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), e entre AIA e Água Profunda do Atlântico Norte ( $27,5\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ).



A AS em  $30^{\circ}\text{S}$  esteve em uma camada superficial estreita em relação à  $27^{\circ}\text{S}$  (Fig. 18), o que é esperado para latitudes maiores (mais próximas aos pólos) pela diminuição da temperatura atmosférica e do mar. A espessura da APAN no Modelo foi consideravelmente maior em relação ao ARGO, em média de 400m de diferença, embora a ACAS e AIA nos dados medidos

foram mais espessas. No verão, outono e inverno a ACAS esteve 100m mais espessa, no inverno sua espessura aumentou 200m, e a AIA foi observada aproximadamente 500m mais espessa em relação ao Modelo. As variações sazonais foram notáveis em superfície, para profundidades maiores as diferenças foram pouco expressivas.

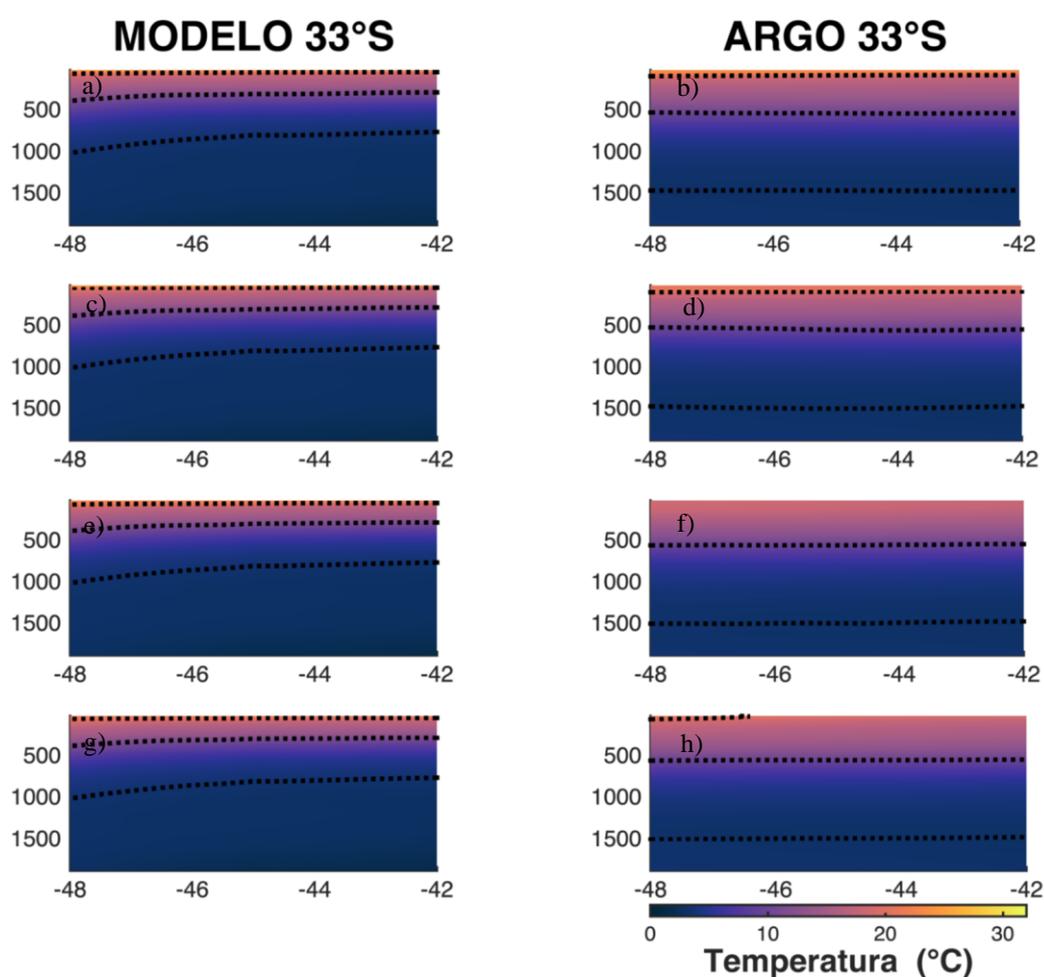
Figura 19 – Representação de Viés para Seções latitudinais de temperatura média (C°) em 30°S, para dados do Modelo - ARGO para o período de 2002–2015, onde Profundidade (m; ordenada), Longitude (°O; abcissa). Letra a representa o Verão, letra b o Outono, letra c o Inverno e a letra d a Primavera. As linhas pontilhadas mostram as linhas de densidade potencial de interface entre Água Superficial e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (25,7kg.m<sup>-3</sup>), entre ACAS e Água Intermediária Antártica (AIA) (26,8kg.m<sup>-3</sup>), e entre AIA e Água Profunda do Atlântico Norte (27,5kg.m<sup>-3</sup>).



O Viés de 30°S (Fig. 19) mostrou que predominantemente, em subsuperfície até a profundidade de 800m, o Modelo mostrou gradiente de temperatura inferior ao ARGO entre 42–46°S. Em superfície, com exceção do verão (painel linha 1), o Modelo denotou temperaturas superiores aos medidos *in situ*. Próximo à costa, o dado modelado permanece mais quente assim como

em 27°S (Fig. 17). Diferenças diminutas aconteceram (média de 0,22°C) em profundidades de 1000–1600m (Fig. 19).

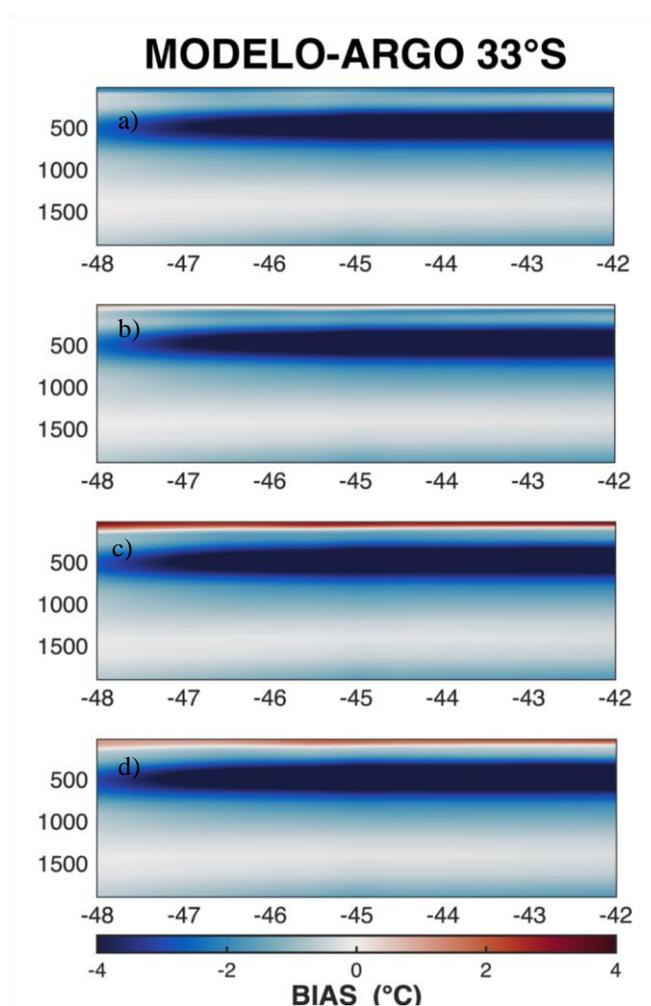
Figura 20 – Seções latitudinais de temperatura média (C°) em 33°S, para dados do Modelo (Coluna 1) e dados do ARGO (Coluna 2) para o período de 2002–2015, onde Profundidade (m; ordenada), Longitude (°O; abcissa). As Letras a e b representam o Verão, letras c e d o Outono, letras e, f para o Inverno e as letras g e h a Primavera. As linhas pontilhadas mostram as linhas de densidade potencial de interface entre Água Superficial e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (25,7kg.m<sup>-3</sup>), entre ACAS e Água Intermediária Antártica (AIA) (26,8kg.m<sup>-3</sup>), e entre AIA e Água Profunda do Atlântico Norte (27,5kg.m<sup>-3</sup>).



A AS em 33°S permaneceu nas primeiras dezenas de metros em superfície, diminuindo sua espessura conforme aumentou as latitudes. No inverno do ARGO (Fig. 20; f) esta massa d'água não existiu, o mesmo pode ser observado na primavera para dados medidos pelos flutuadores (Fig. 20; h), sua presença esteve presente mais próximo a região costeira enquanto em oceano

aberto não pode ser observada. As temperaturas em superfície foram menores em relação às latitudes inferiores (27–30°S), estendendo-se para temperaturas inferiores na ACAS, que esteve mais próximo a superfície. No Modelo, a ACAS (profundidade máxima 400m) esteve menos espessa em comparação ao ARGO (máxima 600m).

Figura 21 – Representação de viés para seções latitudinais de temperatura média (C°) em 33°S, para dados do Modelo - ARGO para o período de 2002–2015, onde Profundidade (m; ordenada), Longitude (°O; abcissa). Letra a representa o Verão, letra b o Outono, letra c o Inverno e a letra d a Primavera. As linhas pontilhadas mostram as linhas de densidade potencial de interface entre Água Superficial e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (25,7kg.m<sup>-3</sup>), entre ACAS e Água Intermediária Antártica (AIA) (26,8kg.m<sup>-3</sup>), e entre AIA e Água Profunda do Atlântico Norte (27,5kg.m<sup>-3</sup>).

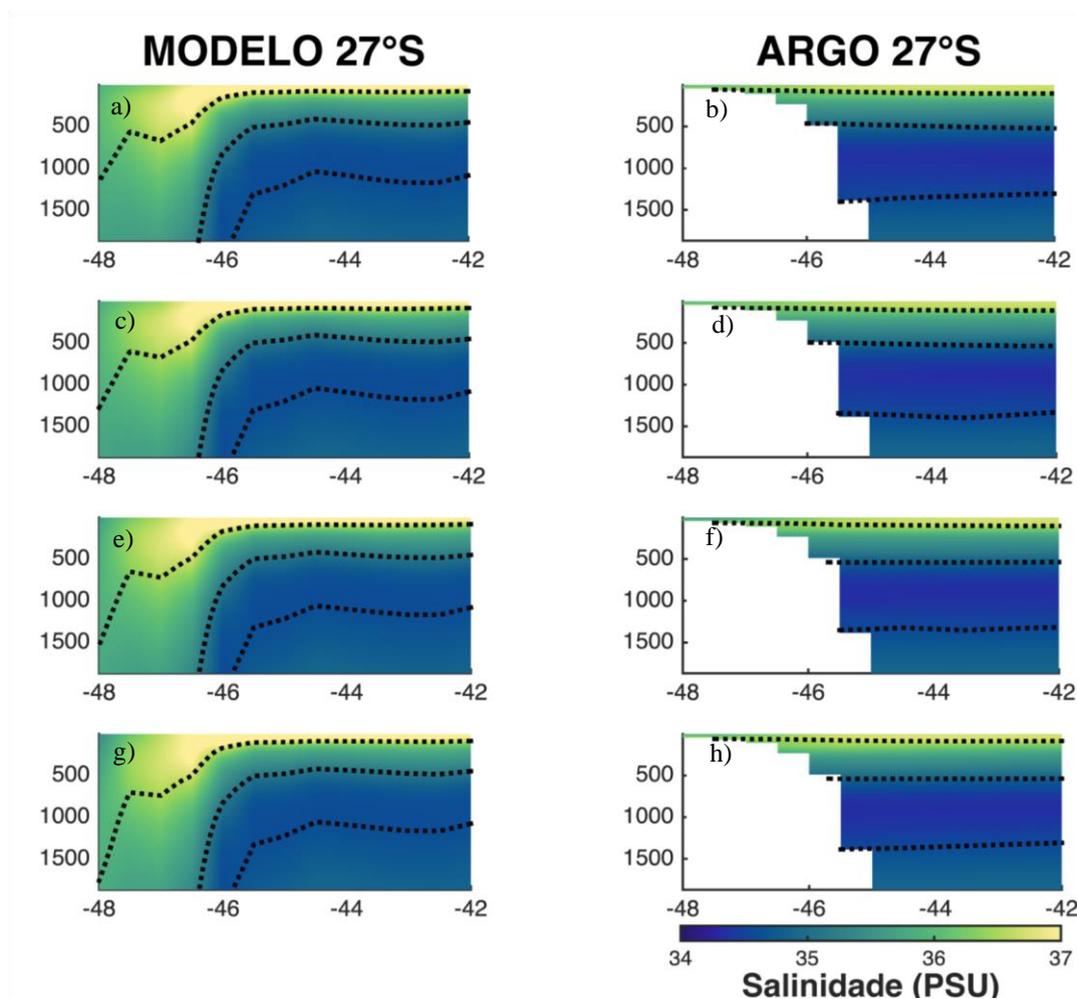


A AIA apresentou diferenças consideráveis entre os dados analisados (Fig. 20), variação de posição e espessura. No Modelo, a espessura foi de 600m e suas posições na porção superior foi em 400m e na porção inferior entre 900–1000m, entretanto, no ARGO a espessura foi de aproximadamente 1000m, onde posição superior esteve em 500m e a inferior em 1500m.

Ademais, a APAN no Modelo mostrou espessura de aproximadamente 800m entre 46–48°S e 900m de 42–46°S, enquanto para o ARGO a espessura foi de 300m.

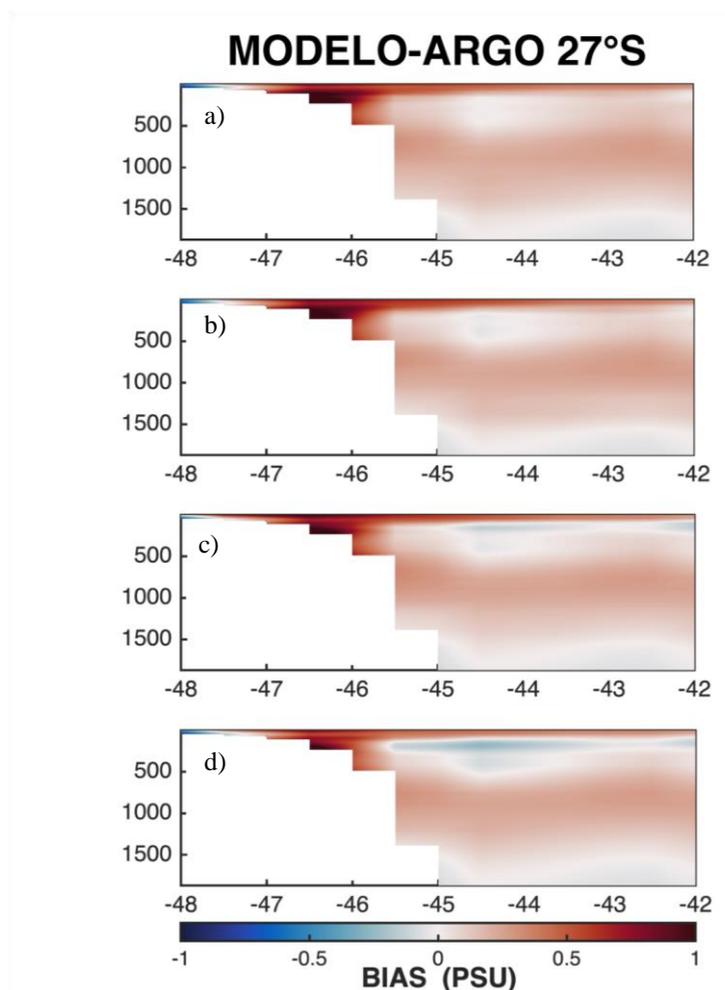
As diferenças de temperatura em 33°S foram maiores para o ARGO, somente em superfície no inverno (Fig. 20; c) e na primavera (Fig. 20; e) onde o Modelo mostrou temperaturas mais elevadas em comparação aos dados medidos.

Figura 22 – Seções latitudinais de salinidade média (PSU) em 27°S, para dados do Modelo (Coluna 1) e dados do ARGO (Coluna 2) para o período de 2002–2015, onde Profundidade (m; ordenada), Longitude (°O; abcissa). As Letras a e b representam o Verão, letras c e d o Outono, letras e, f para o Inverno e as letras g e h a Primavera. As linhas pontilhadas mostram as linhas de densidade potencial de interface entre Água Superficial e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (25,7kg.m<sup>-3</sup>), entre ACAS e Água Intermediária Antártica (AIA) (26,8kg.m<sup>-3</sup>), e entre AIA e Água Profunda do Atlântico Norte (27,5kg.m<sup>-3</sup>).



De modo geral, diferenças consideráveis encontraram-se entre 400–800m de profundidade, região de interface entre ACAS–AIA. Em profundidades maiores as diferenças foram as menores para todas estações. A salinidade superficial em 27°S (Fig. 22) foi a máxima em todos painéis, enquanto a camada da AIA apresentou salinidade baixa. A tendência para todo campo é do Modelo (Fig. 22; a, c, e, g) ser mais salino que o ARGO (Fig. 22; b, d, f e h). Por fim, o oceano entre as longitudes 46,5–48°S mostrou ser mais salino da superfície até o fundo.

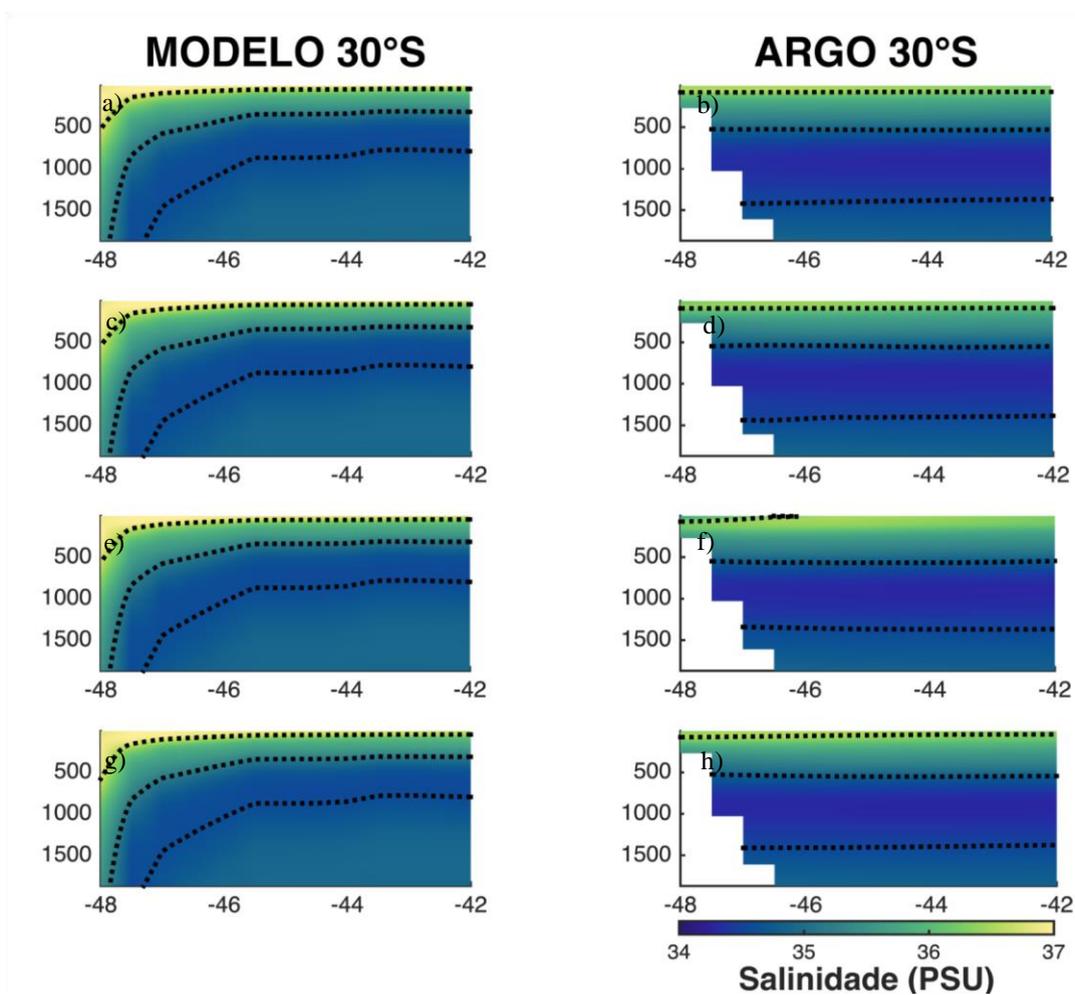
Figura 23 – Representação de Viés para Seções latitudinais de salinidade média (PSU) em 27°S , para dados do Modelo - ARGO para o período de 2002–2015, onde Profundidade (m; ordenada), Longitude (°O; abcissa). Letra a representa o Verão, letra b o Outono, letra c o Inverno e a letra d a Primavera. As linhas pontilhadas mostram as linhas de densidade potencial de interface entre Água Superficial e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (25,7kg.m<sup>-3</sup>), entre ACAS e Água Intermediária Antártica (AIA) (26,8kg.m<sup>-3</sup>), e entre AIA e Água Profunda do Atlântico Norte (27,5kg.m<sup>-3</sup>).



Para a seção latitudinal em 27°S foi observado pelo cálculo do Viés (Fig. 23) que um padrão foi estabelecido, onde o Modelo foi mais salino em comparação ao ARGO, apenas em uma faixa em subsuperfície no inverno e na primavera de 42–45°S onde os dados medidos apresentaram salinidade maior.

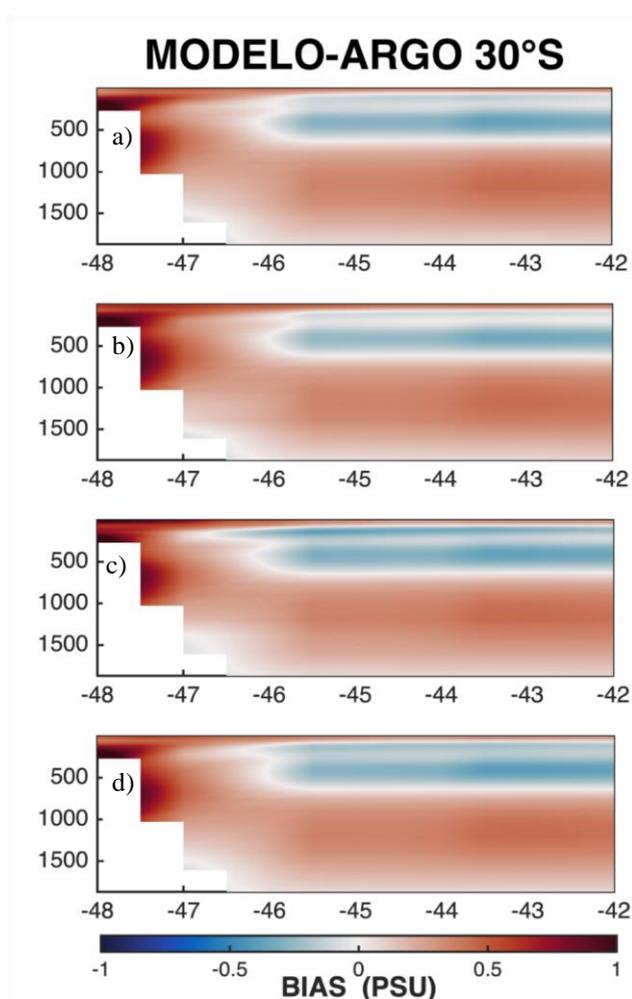
A salinidade em 30°S (Fig. 24), próximo da região costeira e em superfície reduziu a salinidade em ambos os dados analisados, embora a salinidade máxima esteja concentrada em superfície e na camada de mistura, em função da perda (evaporação) para atmosfera.

Figura 24 – Seções latitudinais de salinidade média (PSU) em 30°S, para dados do Modelo (Coluna 1) e dados do ARGO (Coluna 2) para o período de 2002–2015, onde Profundidade (m; ordenada), Longitude (°O; abcissa). As Letras a e b representam o Verão, letras c e d o Outono, letras e, f para o Inverno e as letras g e h a Primavera. As linhas pontilhadas mostram as linhas de densidade potencial de interface entre Água Superficial e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (25,7kg.m<sup>-3</sup>), entre ACAS e Água Intermediária Antártica (AIA) (26,8kg.m<sup>-3</sup>), e entre AIA e Água Profunda do Atlântico Norte (27,5kg.m<sup>-3</sup>).



O padrão de salinidade máxima em superfície é observado também em 27°S (Fig. 22) e 33°S (Fig. 26). O Modelo apresentou salinidade maior para toda seção, entretanto, a salinidade máxima na porção superior do ARGO foi mais espessa em relação ao dado modelado.

Figura 25 – Representação de Viés para Seções latitudinais de salinidade média (PSU) em 30°S, para dados do Modelo - ARGO para o período de 2002–2015, onde onde Profundidade (m; ordenada), Longitude (°O; abcissa). Letra a representa o Verão, letra b o Outono, letra c o Inverno e a letra d a Primavera. As linhas pontilhadas mostram as linhas de densidade potencial de interface entre Água Superficial e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (25,7kg.m<sup>-3</sup>), entre ACAS e Água Intermediária Antártica (AIA) (26,8kg.m<sup>-3</sup>), e entre AIA e Água Profunda do Atlântico Norte (27,5kg.m<sup>-3</sup>).

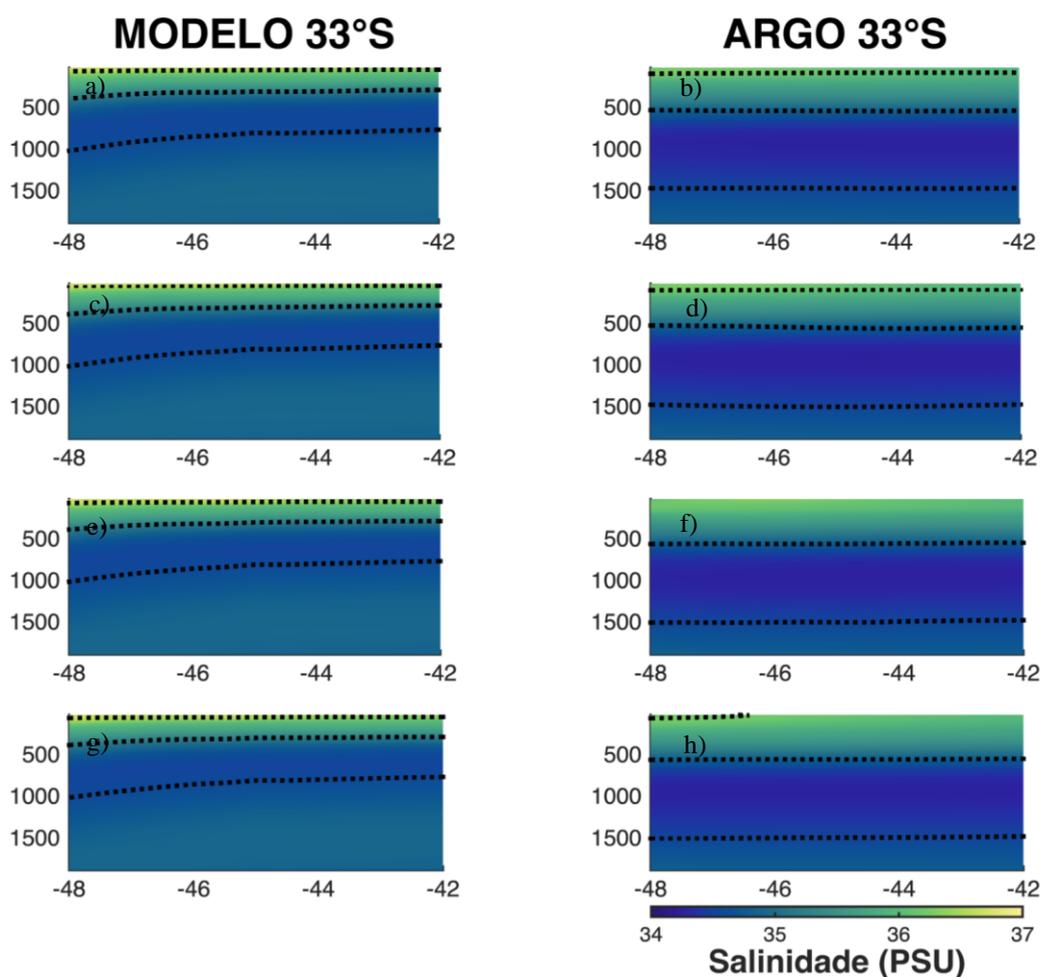


A camada em subsuperfície apresentou maior salinidade pelo ARGO, observada em 27°S (Fig. 23), para 30°S (Fig. 25), a diferença de salinidade entre o Modelo e ARGO foi expressiva, atingindo até 700m de profundidade. As diferenças de salinidade para a seção, de modo geral, foram maiores daquelas observadas na seção latitudinal mais ao norte, padrão que permanece

em todas as médias sazonais. A diferença que se destaca está próximo a região costeira, onde o Modelo se mostrou mais salino em comparação ao dado *in situ* para todas estações apresentadas nos painéis (Fig. 25).

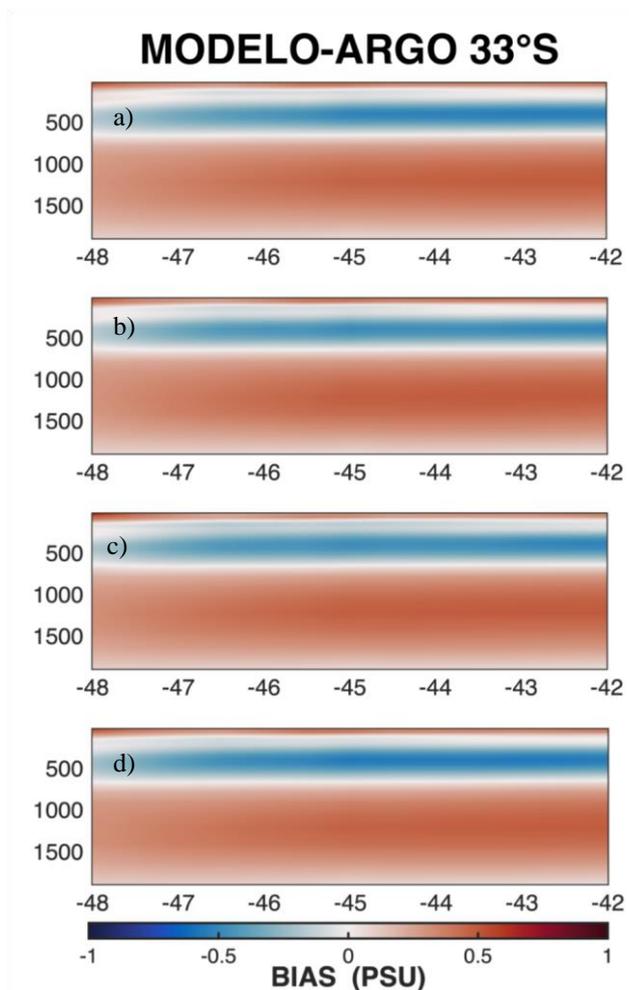
A salinidade em 33°S (Fig. 26) diminuiu em superfície e as massas d'água inferiores sofreram modificações pouco aparentes ou não sofreram nenhuma variação. Os dois grupos de dados analisados permaneceram com o mesmo padrão de variações espaciais, assim como o Modelo permaneceu mais salino em comparação ao ARGO.

Figura 26 – Seções latitudinais de salinidade média (PSU) em 33°S, para dados do Modelo (Coluna 1) e dados do ARGO (Coluna 2) para o período de 2002–2015, onde Profundidade (m; ordenada), Longitude (°O; abcissa). As Letras a e b representam o Verão, letras c e d o Outono, letras e, f para o Inverno e as letras g e h a Primavera. As linhas pontilhadas mostram as linhas de densidade potencial de interface entre Água Superficial e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (25,7kg.m<sup>-3</sup>), entre ACAS e Água Intermediária Antártica (AIA) (26,8kg.m<sup>-3</sup>), e entre AIA e Água Profunda do Atlântico Norte (27,5kg.m<sup>-3</sup>).



Os cálculos do Viés executados para 33°S (Fig. 27) mostraram que a camada em subsuperfície mais salina representada pelo ARGO estendeu-se até a longitude de 48°S. Analisando todas as demais seções, a predominância de maior salinidade continua sendo do Modelo. Foi analisado que as maiores diferenças aconteceram para a salinidade nas seções latitudinais, pois existiu maior concordância entre os dados de temperatura.

Figura 27 – Representação de Viés para Seções latitudinais de salinidade média (PSU) em 33°S, para dados do Modelo – ARGO para o período de 2002–2015, onde Profundidade (m; ordenada), Longitude (°O; abcissa). Letra a representa o Verão, letra b o Outono, letra c o Inverno e a letra d a Primavera. As linhas pontilhadas mostram as linhas de densidade potencial de interface entre Água Superficial e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (25,7kg.m<sup>-3</sup>), entre ACAS e Água Intermediária Antártica (AIA) (26,8kg.m<sup>-3</sup>), e entre AIA e Água Profunda do Atlântico Norte (27,5kg.m<sup>-3</sup>).



Os valores de temperatura para Raiz de Erro Quadrático Médio foram maiores que para salinidade. A representação da temperatura foi melhor em 27°S comparado às demais latitudes e a salinidade foi melhor representada em 33°S. De qualquer forma, foi citado anteriormente na análise da seção latitudinal de modo geral para salinidade, a latitude onde ocorreu menor concordância foi em 33°S, entretanto, as diferenças foram menos expressivas. A representação de menor qualidade para temperatura foi em 30°S no inverno (2,62°C) e para salinidade foi em 27°S também na estação de inverno (0,47PSU). A melhor representação de temperatura foi em 27°S no outono com valores de 1,71°C e para salinidade foi na primavera em 33°S com valores de 0,31PSU. De modo geral, o Modelo obteve melhor performance em relação ao ARGO para a salinidade, como pode ser visto na tabela 3.

Tabela 3 - Representação da raiz do erro quadrático médio para temperatura (°C) e salinidade (PSU) para seção latitudinal em 27, 30–33°S, dos dados do Modelo em comparação ao ARGO.

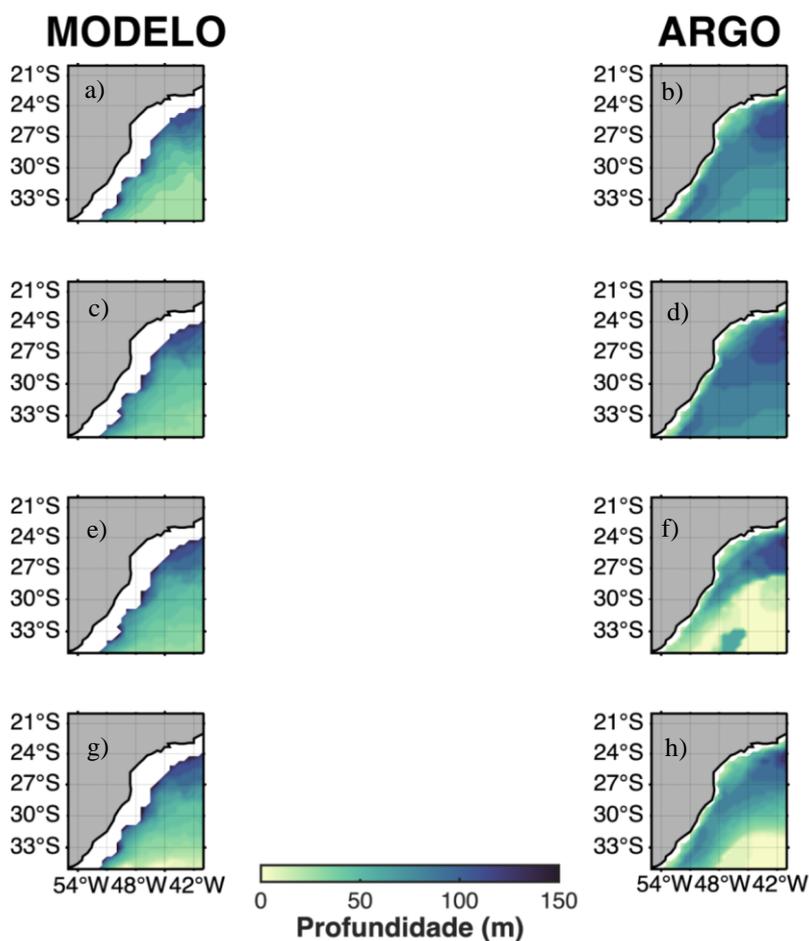
<b>Parâmetro</b>	<b>Período</b>	<b>27°S</b>	<b>30°S</b>	<b>33°S</b>
°C	Verão	2,04	2,21	2 , 21
°C	Outono	1,71	2,03	1 , 95
°C	Inverno	2,47	2,62	2 , 43
°C	Primavera	1,88	2,19	2 , 11
<b>PSU</b>	Verão	0,47	0,35	0 , 30
<b>PSU</b>	Outono	0,47	0,41	0 , 30
<b>PSU</b>	Inverno	0,47	0,44	0 , 29
<b>PSU</b>	Primavera	0,40	0,36	0 , 31

#### 4.5 CICLO SAZONAL DE INTERFACES DE MASSAS D'ÁGUA

Devido as diferenças de profundidade nas interfaces de massas d'água, pode-se avaliar onde a AS, ACAS e AIA alcançam para cada dado analisado e comparação entre os dados.

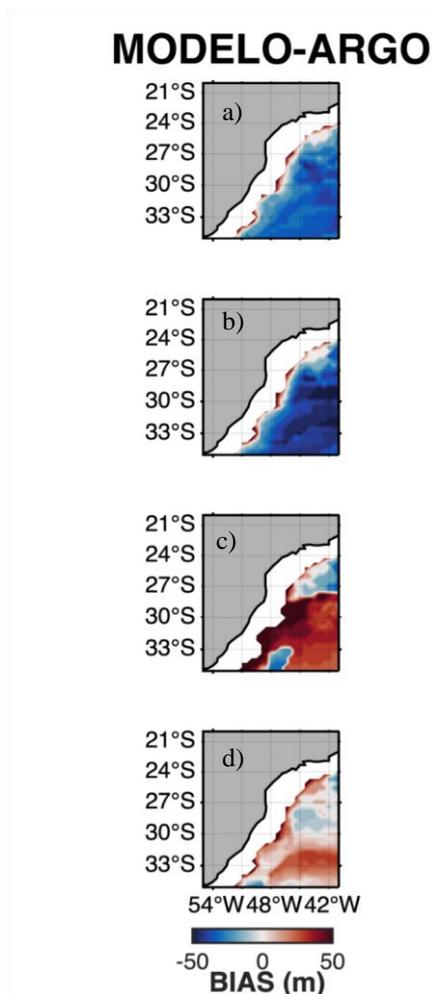
A camada superficial é ocupada pela AS (Fig. 28), nos dados do ARGO durante o inverno e a primavera (e, f, g e h) esta massa d'água não cobriu a região de 27– 35°S e 32– 35°S, respectivamente e no Modelo a AS esteve mais rasa.

Figura 28 – Representação da profundidade de interface entre Água de Superfície e Água Central do Atlântico Sul, para os dados do MODELO (coluna 1) e ARGO (coluna 2), durante o período de 2002–2015. As letras a e b representam o Verão, letras c e d o Outono, e, f representam o Inverno e g e h a Primavera.



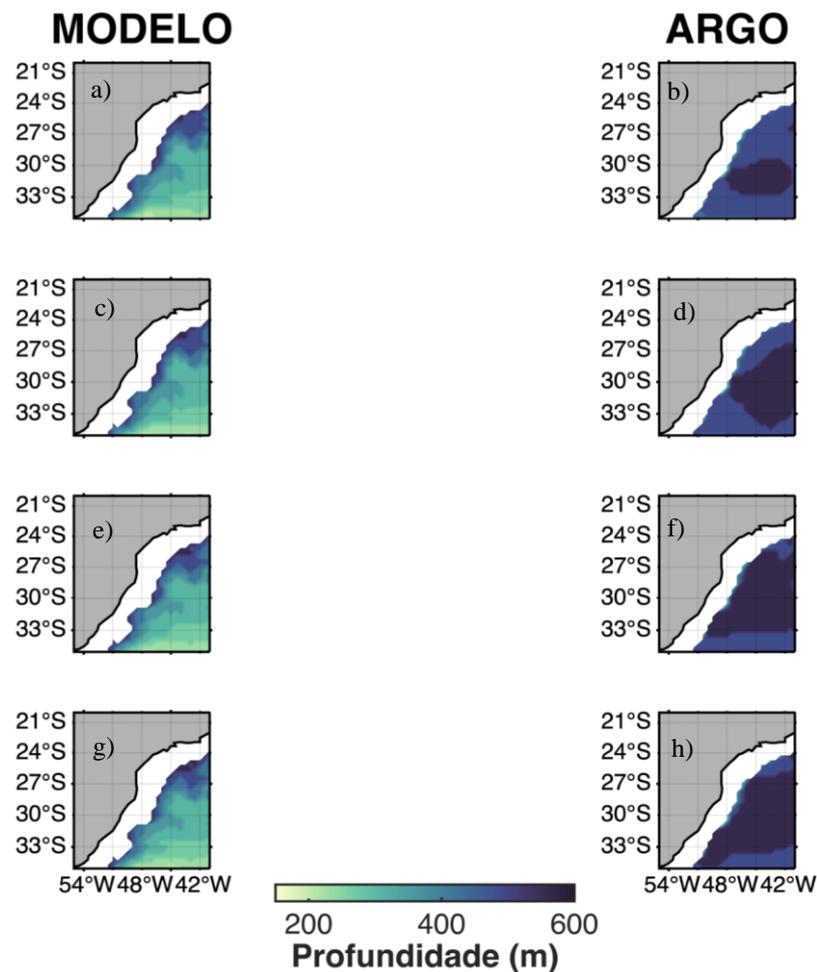
A variação de profundidade ocorreu entre 0–150m, onde as máximas observadas foram ao norte para todos os campos analisados. Algo notável é a diminuição de espessura quando avaliada a variação das estações, do verão (Fig. 28; a e b) para primavera (Fig. 28; g e h).

Figura 29 – Representação de Viés para profundidade de interface entre Água de Superfície e Água Central do Atlântico Sul, para os dados do MODELO–ARGO, durante o período de 2002–2015. A letra a representa o Verão, letra b representa o Outono, letra c representa o Inverno e d representa a Primavera.



O viés de profundidade entre os dados foi de -50–50m (Fig. 29), onde os valores negativos correspondem ao ARGO estar com valores de maior profundidade para interface que o Modelo e vice versa. No verão e no outono, a maior profundidade para a interface da AS foi representada pelo dado *in situ*, enquanto no inverno e na primavera o Modelo mostrou-se mais profundo. As maiores diferenças estavam na porção próxima a Plataforma Continental.

Figura 30 – Representação da profundidade de interface entre Água Central do Atlântico Sul e Água Intermediária Antártica, para os dados do MODELO (coluna 1) e ARGO (coluna 2), durante o período de 2002–2015. As letras a e b representam o Verão, letras c e d o Outono, e, f representam o Inverno e g e h a Primavera.



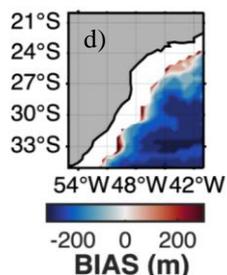
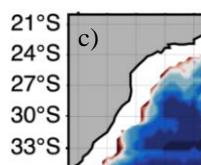
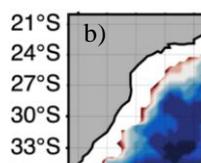
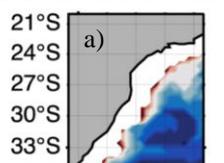
A interface entre a ACAS e a AIA esteve entre 200–600m (Fig. 30), o gradiente de variação de profundidade foi maior no Modelo em comparação aos dados medidos, contudo, a interface representada pelo ARGO esteve em profundidades maiores quando comparado aos dados modelados para toda região analisada. Pode-se observar que as diferenças foram maiores entre os dados do que foi representado pela interface AS–ACAS. A variabilidade sazonal para os dados do Modelo foi menor do que no ARGO, uma vez que para o segundo existe uma tendência de afundamento da interface ACAS–AIA com a passagem das estações.

As diferenças foram maiores na interface ACAS–AIA (Fig. 31) em relação à AS–ACAS, onde somente na fronteira com a Plataforma Continental o Modelo apresentou-se em maior profundidade, mas em oceano aberto o ARGO predominou em profundidades maiores,

sendo 200m de variação entre os dados analisados. Ao norte da área as diferenças foram as menores observadas.

Figura 31 – Representação de Viés para profundidade de interface entre Água Central do Atlântico Sul e Água Intermediária Antártica, para os dados do MODELO–ARGO, durante o período de 2002–2015. A letra a representa o Verão, letra b representa o Outono, letra c representa o Inverno e d representa a Primavera.

### MODELO-ARGO



Pode-se observar que na interface AIA–APAN (Fig. 32) ocorreram discordâncias consideráveis entre os dados. A região onde o Modelo mostrou menores profundidades concordam com as regiões onde o ARGO apresentou maiores profundidades, na porção sul da área de estudo. O ARGO permaneceu entre 1300–1600m, enquanto o Modelo permaneceu entre 700–1600m, embora a faixa onde o Modelo apresentou 1600m foi ao norte e próximo da Plataforma Continental. Pode-se observar que na interface AIA–APAN houve discordâncias consideráveis entre os dados.

Figura 32 – Representação da profundidade de interface entre Água Intermediária Antártica e Água Profunda do Atlântico Norte, para os dados do MODELO (coluna 1) e ARGO (coluna 2), durante o período de 2002– 2015. As letras a e b representam o Verão, letras c e d o Outono, e, f representam o Inverno e g e h a Primavera.

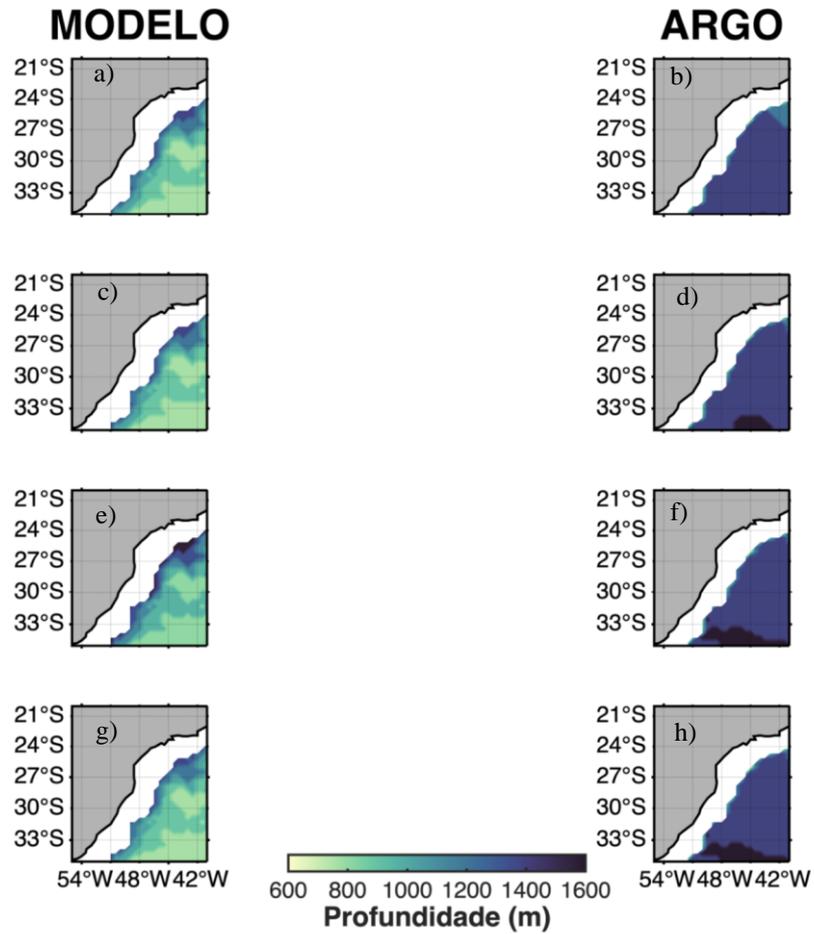
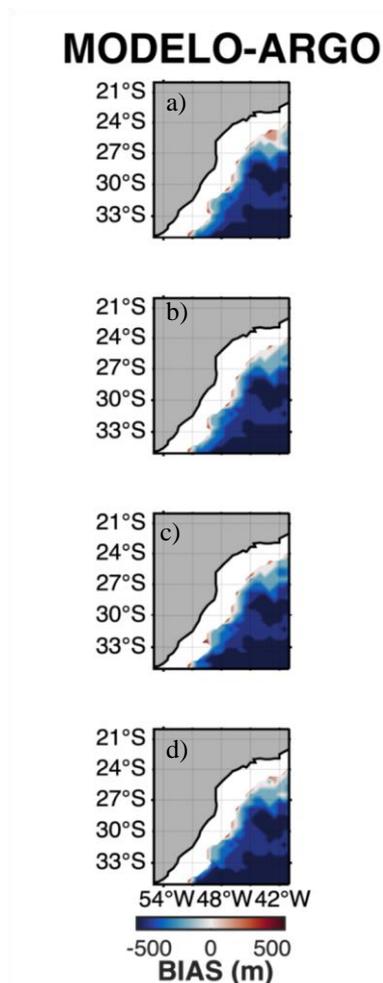


Figura 33 – Representação de Viés para profundidade de interface entre Água Intermediária Antártica e Água Profunda do Atlântico Norte, para os dados do MODELO (coluna 1) e ARGO (coluna 2), durante o período de 2002–2015. A letra a representa o Verão, letra b representa o Outono, letra c representa o Inverno e d representa a Primavera.



Na interface AIA–APAN (Fig. 33) a tendência do ARGO ser mais profundo em relação ao Modelo permaneceu, onde o mesmo foi observado em ACAS–AIA, entretanto, as diferenças apresentadas nesta interface foram maiores.

As variações entre os dados atingiram 500m de diferença. Ao sul da área de estudo foram as maiores diferenças, enquanto ao norte apresentaram-se as menores. Na fronteira com a Plataforma Continental, novamente o Modelo esteve mais profundo. Contudo, pode-se afirmar que a tendência de modo geral é que as interfaces apresentadas pelo Modelo são mais rasas que aquelas apresentadas pelo ARGO.

## 5 CONCLUSÃO

O modelo ROMS apresentou boa performance tanto em análises do campo médio quanto para o ciclo sazonal em superfície, entretanto, houve diferenças consideráveis para outono e inverno em relação ao ARGO. Sabe-se que ainda existem poucos dados fornecidos pelo ARGO nesta região, onde são utilizadas interpolações com outros dados disponíveis para obter-se estimativas das propriedades físicas do mar na área de estudo, o que mostrou temperaturas mais frias do que o esperado, concordando que dados de sensoriamento remoto corroboraram com o esperado para a análise.

De modo geral, pode-se observar que a temperatura para o modelo esteve mais quente, principalmente a entrada pela fronteira Norte da Corrente do Brasil, justificável pelo ajuste de temperatura feito na grade Pai nos dados de entrada. O mesmo pode ser observado para salinidade, onde os dados do modelo corroboram com os dados de sensoriamento, entretanto, a CB foi representada com salinidade maior em comparação ao AQUARIUS e ao ARGO no ciclo sazonal e no campo médio. Houve uma limitação de disponibilidade de dados do AQUARIUS próximo a costa, mas pode-se ter uma percepção de que o padrão de salinidade do modelo é maior.

Apesar dos campos sazonais de elevação superficial do Modelo e do DUACS não terem valores que concordam entre si, nas regiões onde acontecem as máximas e mínimas elevações os dados corroboram e também, a Raiz do Erro Quadrático Médio foi o menor em comparação a temperatura e a salinidade.

Nos diagramas de dispersão T-S as camadas de superfície e subsuperfície AS e ACAS, respectivamente, possuem mudanças mais expressivas por estarem em contato direto ou indireto com a atmosfera, variações observadas ao longo das estações, correspondem ao padrão de temperatura e salinidade esperado.

A maior dinâmica apresentada pela atmosfera, enquanto o oceano em profundidades permanece em maior isolamento sem realizar muitas trocas, mantém o ambiente em grandes profundidades com maior estabilidade em suas propriedades físicas. A salinidade baixa em superfície é explicada pela descarga do Rio da prata e Laguna dos patos, grandes influenciadores na dinâmica e formação de massa d'água de plataforma nesta região, mesmo

que não seja abordado nos resultados deste trabalho, já foi estudado e apresentado em diversos estudos anteriores (MENDONÇA, 2017; COMBES; MATANO, 2014). A APAN não foi analisada por existir limitação de profundidade promovida pelos dados do ARGO, que chegam em até 2000m de profundidade, contudo, esta massa d'água apresentou a feição esperada e já observada.

As seções latitudinais dos dados analisados apresentaram características semelhantes, contudo, as diferenças entre elas aumentaram com o avanço em latitudes superiores, observado em temperatura e salinidade. As explicações são a falta de flutuadores na região para obtenção de dados disponíveis medidos *in situ* pelo ARGO e também a Corrente do Brasil mais quente do que o esperado, dois fatores não concordantes que implicam em distinções importantes.

As interfaces apresentadas pelo Modelo foram mais rasas em relação ao ARGO, somente na primavera e no inverno a AS se apresentou mais profunda pelo Modelo. Esta caracterização é gerada pela temperatura no Modelo estar configurada mais quente daquelas medidas *in situ*, propiciando a formação de massas d'água de menores densidades. Lima (2020) analisou dados de reanálise do HYCOM e GLORYS em comparação aos dados do ARGO, observando divergências mais evidentes na distribuição das massas d'água nas bordas do OAS, variação sazonal pouco significativa da ACAS, localização da AIA em profundidades maiores em estações mais frias e a existência de variabilidade temporal e espacial no OAS, onde o mesmo padrão foi perceptível entre o Modelo e o ARGO para a região Sudoeste do OAS.

Calado *et al.* (2006) analisaram o padrão de dinâmica do SCB e ressurgência em Cabo Frio utilizando dados de sensoriamento remoto (AVHRR), dados de CTD e o modelo FORMS (*Feature-Oriented Regional Modeling System*). A faixa de temperatura (de 25 a 28°C) observada para a CB ao longo de 21 a 28°S, a área de estudo de Calado *et al.* (2006), corroborou com os dados analisados pelo Modelo e também o fenômeno de ressurgência em Cabo Frio as temperaturas foram entre 23 e 24°C. Os dados dos flutuadores do ARGO não compatibilizaram da mesma forma que o Modelo com os resultados do artigo (CALADO *et al.*, 2006).

Os resultados sugeriram que a utilização de um Modelo Numérico de Alta Resolução de Circulação Oceânica na região sudoeste do Atlântico Sul é de grande valia para a

comunidade acadêmica. Os dados de saída analisados neste trabalho demonstraram boa proximidade de valores e distribuição espacial aos dados de sensoriamento remoto e medidos *in situ*, verificando ser uma boa ferramenta para estudos na área. Uma configuração no modelo que demonstrou distinção dos dados de medições diretas e indiretas é a CB, que resultou em valores de temperatura superiores.

De modo geral, o modelo desenvolveu boa performance, modulou o clima da região e descreveu o comportamento das massas d'água e distribuição de temperatura *versus* salinidade no diagrama de dispersão T–S. A boa dinâmica demonstrada nos resultados é uma resposta para o desenvolvimento de mais estudos aprofundados a fim de aprimorar a configuração do modelo, permitindo que se possam gerar simulações futuras que representam o cenário mais próximo do real.

## REFERÊNCIAS

- CALADO, L.; GANGOPADHYAY, A.; SILVEIRA, I. C. A. A parametric model for the Brazil Current meanders and eddies off southeastern Brazil. **Geophysical Research Letters**, v. 33, 2006.
- CAMPOS, E. J. D.; VELHOTE, D.; DA SILVEIRA, I. C. A. Shelf break upwelling driven by Brazil Current Cyclonic Meanders. **Geophysical Research Letters**, v. 27, n. 6, p. 751–754, 2000.
- CARLTON, J.A.; GIESE, B.S. A reanalysis of ocean climate using Simple Ocean Data Assimilation (SODA). **Mon. Weather Rev.**, v. 136, p. 2999–3017, 2008.
- CIRANO, M.; MATA M. M.; CAMPOS, E. J. D.; DEIRÓ, N. F. R. A circulação oceânica de larga-escala na região oeste do Atlântico Sul com base no modelo de circulação global OCCAM. **Revista Brasileira de Geofísica**. v. 24, n.2, p. 209-230, mai. 2006.
- COMBES, V.; MATANO, R. P. A two-way nested simulation of the oceanic circulation in the Southwestern Atlantic. **Journal of Physical Research: Oceans**, Oregon, USA, v. 119, p. 731-756, 2014.
- COMBES, V.; MATANO, R. P. The Patagonian shelf circulation: Drivers and variability. **Progress In Oceanography**, [s.l.], v. 167, p.24-43, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pocean.2018.07.003>.
- DEE, D. P. *et al.* The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. **Quarterly Journal Of The Royal Meteorological Society**, [s.l.], v. 137, n. 656, p.553-597, abr. 2011. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/qj.828>.

DEGENS, E. T.; KEMPE, S.; RICHEY, J. E. **Biogeochemistry of Major World Rivers**. Scope Report 42, John Wiley and Sons, Chichester, 1991.

DEGOLA, T.S.D. Impactos e variabilidade do anticiclone subtropical do atlântico sul sobre o Brasil no clima presente e em cenários futuros. 92 f. Dissertação de Mestrado - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

EVANS, D.; SIGNORINI, S. R. Vertical structure of the Brazil Current, **Nature**, v. 315, p. 48-50, 1985.

GAILLARD, F. *et al.* In Situ-Based Reanalysis of the Global Ocean Temperature and Salinity with ISAS: Variability of the Heat Content and Steric Height. **Journal of Climate**, v. 29, p. 1305–1323, 2016.

GAN, J.; MYSAK, L. A.; STRAUB, D. N. Simulation of the South Atlantic Ocean Circulation and its seasonal variability. **Journal of Physical Research**, Montreal, Quebec, Canada, v. 103, n. C5, p. 10.241-10.251, 15 mai. 1998.

GARRISON, T. **Fundamentos em Oceanografia**. 4. ed. EUA: Cengage Learning, 2010.

GEORGE, M. S.; BERTINO, L.; JOHANNESSEN, O. M.; SAMUELSEN, A. Validation of a hybrid coordinate ocean model for the Indian Ocean. **Journal of Operational Oceanography**, p. 25-38, 2014.

GODOI, S. S. Dinâmica quase-geostrófica do Sistema Corrente do Brasil no embasamento de São Paulo. 157 f. Tese (Doutorado em Ciências, área de Oceanografia Física) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

GOMES, L. M. J.; FREITAS, A. C. V. Alterações na Circulação de Hadley Regional e na Alta Subtropical do Atlântico Sul em um cenário de Aquecimento Global. *In: ANUÁRIO DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS*, 2020, Rio de Janeiro.

GONI, G.; SCOTT, K.; GARZOLI, S.; OLSON, D. Dynamics of the Brazil-Malvinas Confluence based on inverted echo sounders and altimetry. **Journal of Geophysical Research**, v. 101, p. 16273-16290, 1996.

GORDON, A. L.; GREENGROVE, C. L. Geostrophic circulation of the Brazil-Falkland Confluence. **Deep Sea Research Part A**. Oceanographic Research Papers, v. 33, n. 5, p. 573– 585, 1986.

GUERRA, L. A. A.; PAIVA, A. M.; CHASSIGNET, E. P. On the translation of Agulhas rings to the western South Atlantic Ocean. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 139, p. 104–113, 2018.

GUERRERO, R. A.; PIOLA, A. R.; FENCO, H.; MATANO, R. P.; COMBES, V.; CHAO, Y.; JAMES, C.; PALMA, E. D.; SARACENO, M.; STRUB, P. T. The salinity signature of the cross-shelf exchanges in the Southwestern Atlantic Ocean: Satellite Observations.

**Journal of Geophysical Research: Oceans**, P. 7794-7810, 2014.

HAIDVOGEL, D. B. *et al.* Model evaluation experiments in the North Atlantic Basin: Simulations in nonlinear terrain-following coordinates. **Dynamic of Atmosphere and Oceans**, [s.l.], v. 32, p. 239-281, 3 fev. de 2000.

LEGECKIS, R.; GORDON, A. L. Satellite observations of the Brazil and Falkland Currents 1975 to 1976 and 1978. **Deep-Sea Research**, v. 29, p. 375-401, 1982.

LIMA, M. O. *et al.* An assessment of the Brazil Current baroclinic structure and variability near 22°S in distinct ocean forecasting and analysis systems. **Ocean Dynamics**, v. 66, n. 6–7, p. 893–916, 2016.

LIMA, A. P. Y. Avaliação da circulação superior do Atlântico Sul, baseada em medições diretas e modelos de circulação. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Oceanografia Física, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

LOPES, C.L. Variação espaço-temporal de Ictioplâncton e Condições Oceanográficas na região de Cabo Frio (RJ). 226 f. Tese (Doutorado) - Curso de Oceanografia Biológica, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MANO, M. F. *et al.* Energy flux to a cyclonic eddy off Cabo Frio, Brazil. **Journal of Physical Oceanography**, v. 39, n. 11, p. 2999-3010, 2009.

MARTINS, I. R. Aspectos da Oceanografia Física do Atlântico Sul. **Pesquisas em Geociências**, [S.L.], v. 16, n. 16, p. 76-90, 31 dez. 1984. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MARTINS, L. R.; URIEN, C. M.; MARTINS, I. R. Gênese dos Sedimentos da Plataforma Continental entre o Rio Grande do Sul (Brasil) e Tierra del Fuego (Argentina). **Gravel**, Porto Alegre, n.3, p. 85-102, nov. 2005.

MATANO, R. P.; PALMA, E. D.; PIOLA, A. R. The influence of the Brazil and Malvinas Currents on the Southwestern Atlantic Shelf circulation. **Ocean Science**, v. 6, p. 983–995, 2010.

MENDONÇA, L. F.; SOUZA, R. B.; ASEFF, C. R. C.; PEZZI, L. P.; MÖLLER, O. O.; ALVES, R. C.. Regional modeling of the water masses and circulation annual variability at the Southern Brazilian Continental Shelf. **Journal of Geophysical Research - Oceans**, v. 121, 2016.

MENDONÇA, L. F. Caracterização da frente Subtropical de Plataforma através do modelo acoplado oceano atmosfera (COAWST). 130 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

MÜLLER, T. *et al.* Direct measurements of western boundary currents off Brazil between 20°S and 28°S. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, p. 5429-5437, 1998.

PEREIRA, J. *et al.* The bifurcation of the Western Boundary Current System of the South Atlantic Ocean. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 32, n. 2, p. 241, 2014.

PEZZI, L. P.; CAVALCANTI, I. F. A. The relative importance of ENSO and tropical Atlantic sea surface temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: a numerical study. **Climate Dynamics**, v. 17, 205-212, 2001.

PIOLA, A. R.; GORDON, A. L. Intermediate waters in the Southwest South Atlantic. **DeepSea Research**, v. 36, n. 1, p.1-16, 1989.

PIOLA, A. R.; CAMPOS, E. J. D.; MÖLLER JR, O. O.; CHARO, M.; MARTINEZ, C. Subtropical Shelf Front off eastern South America. **Journal of Geophysical Research**, v. 105, p. 6565–6578, 2000.

PIOLA, A. R.; MATANO, R. P.; PALMA, E. D.; MÖLLER, O. JR.; CAMPOS, E. J. D. The influence of the Plata River discharge on the western South Atlantic Shelf. **Geophysical Research Letters**, v. 32, n. 1, p. 1-4, 2005.

PIOLA, A. R.; MÖLLER JR., O. O.; GUERRERO, R. A.; CAMPOS, E. J. D. Variability of the Subtropical Shelf front off eastern South America: winter 2003 and summer 2004. **Continental Shelf Research**, v. 28, p. 1639-1648, 2008.

SILVEIRA, I. C. A. *et al.* A corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 48, p. 171–183, 2000.

ROSSBY, T.; FLAG, C.; DONOHUE, K. On the variability of Gulf Stream transport from seasonal to decadal timescales. **Journal of Marine Research**, v. 63, p. 503-522, 2010.

SONG, Y.; HAIDVOGEL, D. B.. A semi-implicit ocean circulation model using a generalized topography-following coordinate system. **Journal of Computational Physics**, v. 115, p. 228-244, 1994.

SOUZA, J. M. A. C.; DE BOYER, C. M. G.; LE TRAON, P. Y. Comparison between three implementations of automatic identification algorithms for the quantification and characterization of mesoscale eddies in the South Atlantic Ocean. **Ocean Science**, Institut Francais de Recherche pour l'Exploitation de la Mer, Brest, France, v. 7, p. 317–334, 2011.

STOW, D. A. V. *et al.* Bottom currents, contourites and deep-sea sediment drifts: current state-of- the-art. **Geological Society, London, Memoirs**, [s.l.], v. 22, n. 1, p.7-20, 2002. Geological Society of London. <http://dx.doi.org/10.1144/gsl.mem.2002.022.01.02>.

STRAMMA, L. Geostrophic transport of the South Equatorial Current in the Atlantic. **Journal of Marine Research**, v. 49, n. 2, p. 281–294, 1991.

STRAMMA, L.; PETERSON, R. G. The South Atlantic Current. **Journal of Physical Oceanography**, v. 20, p. 846–859, 1990.

STRAMMA, L.; ENGLAND, M. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 104, n. C9, p. 20863–20883, 1999.

SHCHEPETKIN, A.; MCWILLIAMS, J. C.. The regional oceanic modeling system (ROMS): A split explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model. **Ocean Model**, v. 9, p. 347-404, 2005.

SOUZA, R. B.; ROBINSON, I. S. Lagrangian and satellite observations of the Brazilian Coastal Current. **Continental Shelf Research**, v. 24, p. 241-262, 2004.

TALLEY, L. D. Ocean Circulation. *In*: MUNN, R. E. **Encyclopedia of global environmental change**, 1. ed. New York: Wiley, 2002, p. 557-579.

VIANELLO, R.L.; MAIA, L.F.P.G. Estudo Preliminar da Climatologia Dinâmica do Estado de Minas Gerais. *In*: I CONGRESSO INTERAMERICANO DE METEOROLOGIA. Anais I, p. 185-194, 1986.

ZEMBA, J. C. The Structure and Transport of the Brazil Current between 27°S and 36°S. 160 f. Tese (Doutorado) - Curso de Oceanografia e Engenharia Oceânica, Massachusetts Institute Of Technology, Cambridge, 1991.

ZEMBRUSCKI, S.; BARRETO, T. H.; PALMA, J. C.; MILLIMAN, J. D.. Estudo preliminar das províncias geomorfológicas da margem continental Brasileira. Congresso Brasileiro de Geologia, 2, 187-209, 1972.