

Universidade Federal do Rio de Janeiro

**VARIABILIDADE DA CORRENTE DE
CONTORNO INTERMEDIÁRIA NA COSTA
LESTE/SUDESTE BRASILEIRA**

Sidney Rafael Gomes da Silva do Espírito Santo

2018

VARIABILIDADE DA CORRENTE DE CONTORNO INTERMEDIÁRIA NA COSTA LESTE/SUDESTE BRASILEIRA

Sidney Rafael Gomes da Silva do Espírito Santo

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

Orientador: Luiz Paulo de Freitas Assad

Rio de Janeiro
Outubro de 2018

VARIABILIDADE DA CORRENTE DE CONTORNO INTERMEDIÁRIA NA
COSTA LESTE/SUDESTE BRASILEIRA

Sidney Rafael Gomes da Silva do Espirito Santo

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DO CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (PPGM-IGEO-CCMN-UFRJ) COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM METEOROLOGIA.

Examinada por:

Dr. Luiz Paulo de Freitas Assad

Dra. Claudine Pereira Dereczynski

Dra. Ana Cristina Pinto de Almeida Palmeira

Dra. Carina Stefoni Bock

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

OUTUBRO DE 2018

Espirito Santo, Sidney Rafael Gomes da Silva
Variabilidade da Corrente de Contorno
Intermediária na Costa Leste/Sudeste Brasileira/
Sidney Rafael Gomes da Silva do Espirito Santo. –
Rio de Janeiro: UFRJ/PPGM/IGEO/CCMN, 2018.

XXII, 93 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Luiz Paulo de Freitas Assad.

Dissertação (Mestrado) –
UFRJ/PPGM/IGEO/CCMN Programa de Pós-
graduação Meteorologia, 2018.

Referências Bibliográficas: p. 72-77.

1- Corrente de Contorno Intermediária. 2. Costa
leste-sudeste do Brasil. 3. CMEMS. 4 Projeto Azul I.
Assad, Luiz Paulo de Freitas. II. Universidade
Federal do Rio de Janeiro, PPGM/IGEO/CCMN,
Programa de Pós-graduação em Meteorologia. III.
Título.

AGRADECIMENTOS

É difícil atribuir com o devido mérito, todos aqueles que contribuíram para minha caminhada profissional e pessoal. Mas, vamos tentar!

Primeiramente agradeço a Deus pelo fôlego da vida. Aliás, mesmo com todos os percalços, viver é uma dádiva.

Agradeço a minha vó Maria e a minha tia Rosineide, que lutaram por mim e não mediram esforços em me proporcionar oportunidades e vivências que estavam no alcance de suas possibilidades. Agradeço a minha mãe e ao meu pai por me apresentarem a este mundo tão diverso e enigmático. Ainda na família, sou grato pela companhia de meus irmãos Rodrigo e Maria Eduarda, e aos primos/irmãos Ana Clara e Igor.

Agradeço aos meus amigos, de forma geral, por me impulsionarem a ser uma pessoa melhor a cada dia.

Agradeço ao meu orientador Dr Luiz Paulo, por ser sempre solícito para atender minhas demandas. E claro, te agradeço por embarcar comigo no mundo incrível dos fluxos intermediários.

Agradeço ao programa de pós-graduação de meteorologia da UFRJ pelo apoio institucional. À CAPES, agradeço o apoio financeiro em parte deste trabalho.

Agradeço aos amigos do LOF, em especial o Douglas e o Ivenis. Os momentos que compartilhei com vocês foi muito prazeroso.

Agradeço aos amigos do IpQM, em especial o Dr William e a Msc Cátia. Sou grato por conviver com pessoas/profissionais singulares como vocês.

Por último, porém não menos importante. Agradeço a minha musa inspiradora, Barbara, minha esposa. Obrigado por toda sua compreensão e paciência.

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGM/IGEO/CCMN/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M. Sc.)

VARIABILIDADE DA CORRENTE DE CONTORNO INTERMEDIÁRIA NA COSTA LESTE/SUDESTE BRASILEIRA

Sidney Rafael Gomes da Silva do Espírito Santo

Outubro/2018

Orientador: Luiz Paulo de Freitas Assad

Programa de Pós-graduação em Meteorologia

O objetivo deste trabalho foi descrever a variabilidade da Corrente de Contorno Intermediária (CCI) na costa leste/sudeste brasileira, a partir de 10 anos de uma análise global oceânica disponibilizada pelo *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS). Secundariamente, perfiladores do Projeto Azul foram usados para retratar a circulação em nível intermediário. Os resultados indicaram maior variabilidade da CCI em 23°S, em relação a 21°S. Nesta seção, o transporte de volume da CCI foi mais intenso (média de $7,77 \pm 1,81$ Sv), sendo comparável a estimativas reportadas pela literatura. Por meio dos perfiladores, foi observado a origem da CCI em latitudes próxima de 28°S. Quanto à variabilidade temporal, acredita-se que seja principalmente interanual, com frequência de oscilação de dois anos. Esta escala de variabilidade pode ser associada ao El Niño – Oscilação Sul (ENOS). Contudo, é necessário expandir o período amostral para discussões mais detalhadas acerca das variabilidades interanuais e decadais.

Palavras chave: Corrente de Contorno Intermediária; Costa leste-sudeste do Brasil; CMEMS; Projeto Azul.

Abstract of Dissertation presented to PPGM/IGEO/CCMN/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

VARIABILITY OF INTERMEDIATE WATER BOUNDARY CURRENT IN
SOUTHEASTERN/EASTERN BRAZILIAN COAST

Sidney Rafael Gomes da Silva do Espirito Santo

October/2018

Advisors: Luiz Paulo de Freitas Assad

Department: Meteorology

The aim of this work was to describe the variability of the Intermediate Water Boundary Current (IWBC) on the east and southeast coast of Brazil, from 10 years global ocean analysis product provided by the Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS). Secondly, Project Azul profilers were used to portray circulation at the intermediate level. The results indicated greater variability in the IWBC 23 °S with respect to 21°. In this section, the volum transport of IWBC was more intense (mean of $7,77 \pm 1,81$ Sv), compared to estimates reported in the literature. Through the profilers, the origin of the IWBC was observed in latitudes near 28°S. As for the temporal variability, it is believed that it is mainly interannual, with oscillation frequency of two years. This scale of variability may be associated with El Niño - Southern Oscillation (ENSO). But, it is necessary to expand the sample period for discussions more detailed about interannual and decadal variabilities.

Key words: Intermediate Water Boundary Current; Southeastern and Eastern brazilian coast; CMEMS; Project Azul.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Esquema de circulação no oceano Atlântico Sul, entre 650-1050 metros de profundidade. Destaque para a área de estudo (retângulo vermelho) e a região de origem da Corrente de Contorno Intermediária, do inglês *IWBC* (círculo verde). Também são ilustrados a Corrente Sul Equatorial, do inglês *Return Current*, a Corrente do Atlântico Sul, do inglês *South Atlantic Current*, e a região da Confluência Brasil-Malvinas, do inglês *Confluence Zone*. Adaptado de Boebel et al. (1999). 3
- Figura 2 – Esquema da circulação em nível superficial proposto por Stramma & England (1999), adaptado. A Corrente de Benguela (*Benguela Current*), a Corrente Sul Equatorial (*SEC*), a Corrente do Brasil (*Brazil Current*), a Corrente do Atlântico Sul (*South Atlantic Current*) e a Corrente das Malvinas (*FC*) são exibidas. 6
- Figura 3 – Desenho esquemático do escoamento do sistema de correntes de contorno oeste ao longo da margem brasileira, proposto por Stramma & England (1999), e adaptado por Soutelino (2008). 7
- Figura 4 - Adaptação da seção de velocidade do transecto TRANSCOBRA (~23°S) de abril de 1983 de Silveira et al. (2004). A linhas em azul indicam os limites aproximados da AIA e ACS em 23°S. 9
- Figura 5 – Fluxo de perfiladores em nível intermediário. As linhas em vermelho indicam o fluxo para o norte, as linhas em amarelo retratam todo fluxo que é considerado CCI, enquanto as linhas em verde indicam a CB. Fonte: Legeais et al. (2013). 11
- Figura 6 – Representação do trem de onda gerado pela atividade de mesoescala na CB. Ênfase é dada ao Vórtice de Vitória (VV), Vórtice do Cabo de São Tomé (VCST) e o Vórtice de Cabo Frio (VCF). Os centros de alta e baixa pressão são indicados pelas letras A e B, respectivamente. Fonte: Calado (2006). 13
- Figura 7 – Padrão de onda de superfície associado ao escoamento da CB (seta azul) e em níveis subpicnoclínicos relativo ao escoamento CCI (seta vermelha). Fonte: Calado (2006). 14
- Figura 8 – Área de estudo situada entre as latitudes de 18°S e 30°S, e as longitudes de 050°O e 034°O. As cores indicam a batimetria da região (m) a partir da base etopo 2. As duas linhas pretas indicam a isobatimétrica de 100 e 200 metros. A região sombreada de cinza retrata o continente. 15
- Figura 9 – Desenho esquemático do ciclo efetuado por um perfilador. Fonte: Alves et al.(2015). 19
- Figura 10 - Trajetória dos 7 perfiladores que fluem a 600 metros de profundidade, retratada pelas linhas em azul. O ponto verde indica o início da trajetória, enquanto o ponto vermelho indica o fim da trajetória. A área sombreada retrata o continente e a linha preta indica a isobatimétrica de 800 metros. 20

Figura 11 - Trajetória dos 3 perfiladores que fluem a 1000 metros de profundidade, retratada pelas linhas em azul. O ponto verde indica o início da trajetória, enquanto o ponto vermelho indica o fim da trajetória. A área sombreada retrata o continente e a linha preta indica a isobatimétrica de 800 metros.	20
Figura 12 – Fluxograma das atividades realizadas.	21
Figura 13 – Desenho esquemático da resolução vertical do modelo.	22
Figura 14- Exemplo de DT para dados de precipitação, no qual a linha em azul indica a correlação, o arco de círculo preto indica o desvio padrão, o arco de círculo verde indica o RMS, os pontos vermelhos se referem ao produto modelado e o ponto lilás retrata a observação. Fonte: Taylor (2005).	24
Figura 15 – Campo médio de velocidade do GOUD-024, entre 750 e 900 metros de profundidade, no mês de abril de 2013. A linha rosa indica a seção de 23°S e a linha verde indica a seção de 21°S. A área sombreada retrata o continente e a linha azul indica a isobatimétrica de 800 metros.....	26
Figura 16 – Histograma da distância dos perfiladores em km para a isóbata de 800 metros, para todos perfiladores localizados até a isóbata de 3500 metros, cujo as velocidades fazem um ângulo menor que 30° com a isobatimétrica de 800 metros. Fonte: Legeais et al. (2013).....	27
Figura 17 – Esquema do eixo zonal do GOUD-024 (linha verde) e da seção zonal adotada em 21°S (linha azul).....	28
Figura 18 – Exemplo de EEO com dados de temperatura superficial do mar, onde os tons de cinza indicam a energia do sinal associado a cada frequência e tempo. Fonte: Torrence & Compo (1998).....	30
Figura 19 - DT de salinidade combinado. O ponto azul é referente à observação, enquanto o ponto em vermelho é o produto modelado.....	32
Figura 20 - DT de temperatura combinado. O ponto azul é referente à observação, enquanto o ponto em vermelho é o produto modelado.....	33
Figura 21 - DT de velocidade meridional combinado. O ponto azul é referente à observação, enquanto o ponto em vermelho é o produto modelado.....	34
Figura 22 - DT de velocidade zonal combinado. O ponto azul é referente à observação, enquanto o ponto em vermelho é o produto modelado.....	35
Figura 23 – Trajetória do flutuador 121 (em azul) com campo médio de velocidade modelada no fundo (rosa), entre 20/05/2014 e 31/07/2014. A) Posicionamento da trajetória do flutuador na área de estudo (retângulo vermelho). B) Destaque para a trajetória do flutuador 121 no Embaiamento de Tubarão. O ponto verde indica o início da trajetória e o ponto vermelho indica o fim da trajetória.....	38
Figura 24 - Trajetória do flutuador 131A (em azul) com campo médio de velocidade modelada no fundo (rosa), entre 09/04/2014 e 14/06/2014. A) Posicionamento da trajetória do flutuador na área de estudo (retângulo vermelho). B) Destaque para a trajetória do flutuador 131A no Largo de Cabo Frio. O ponto verde indica o início da trajetória e o ponto vermelho indica o fim da trajetória.	39

Figura 25 – Diagrama TS dos dados observados, para o trecho da CCI. A linha pontilhada superior representa a isopicnal de 26,9 ($\sigma-\theta=26.9$), já a linha pontilhada inferior representa a isopicnal de 27,53 ($\sigma-\theta=27,53$).....	40
Figura 26 – Série temporal mensal em 21°S. A) Transporte Meridional da CCI (Sv). B) Velocidade Meridional da CCI (m/s) . C) Coeficiente de Variação da velocidade meridional da CCI.....	42
Figura 27 - Série temporal mensal em 21°S. A) Temperatura (°C) da CCI. B) Coeficiente de Variação da temperatura da CCI. C) Salinidade da CCI. D) Coeficiente de Variação da salinidade da CCI.	43
Figura 28- Diagrama Hovmöller do transporte meridional integrado verticalmente (m^3/s) em 21°S, as linhas de contorno indicam transporte de 1Sv.	44
Figura 29 - Diagrama Hovmöller do coeficiente de variação do transporte meridional integrado verticalmente em 21°S, as linhas de contorno indicam CV de 0,5.	45
Figura 30 – Seção vertical de velocidade meridional da CCI em 21°S (m/s), no mês de março de 2010. A linha pontilhada superior representa a isopicnal de 26,9 ($\sigma-\theta=26.9$), já a linha pontilhada inferior representa a isopicnal de 27,53 ($\sigma-\theta=27,53$). A linha em negrito indica a região onde a velocidade da CCI é zero.	46
Figura 31 - Seção vertical de salinidade (A) e de temperatura (°C) (B) da CCI em 21°S, no mês de março de 2010. A linha pontilhada superior representa a isopicnal de 26,9 ($\sigma-\theta=26.9$), já a linha pontilhada inferior representa a isopicnal de 27,53 ($\sigma-\theta=27,53$).	47
Figura 32 – Seção vertical de velocidade meridional (m/s) (A) e de salinidade (B) da CCI em 21°S, no mês de junho de 2014. A linha pontilhada superior representa a isopicnal de 26,9 ($\sigma-\theta=26.9$), já a linha pontilhada inferior representa a isopicnal de 27,53 ($\sigma-\theta=27,53$).	48
Figura 33 – Seção vertical de velocidade meridional (m/s) da CCI em 21°S, no mês de abril de 2013. A linha pontilhada superior representa a isopicnal de 26,9 ($\sigma-\theta=26.9$), já a linha pontilhada inferior representa a isopicnal de 27,53 ($\sigma-\theta=27,53$).	49
Figura 34 – Esquema de circulação da CCI em parte da costa leste e sudeste brasileira. Fonte: Pimentel (2012).	50
Figura 35 – Série temporal mensal em 23°S. A) Transporte Meridional da CCI (Sv). B) Velocidade Meridional da CCI (m/s). C) Coeficiente de Variação da velocidade meridional da CCI.....	52
Figura 36 – Série temporal mensal em 23°S. A) Temperatura (°C) da CCI. B) Coeficiente de Variação da temperatura da CCI. C) Salinidade da CCI. D) Coeficiente de Variação da salinidade da CCI.	53
Figura 37 - Diagrama Hovmöller do transporte meridional integrado verticalmente (m^3/s) em 23°S, as linhas de contorno indicam transporte de 0 Sv.	54
Figura 38 - Diagrama Hovmöller do coeficiente de variação do transporte meridional integrado verticalmente em 23°S.....	55

Figura 39 - Seção vertical de velocidade meridional (m/s) da CCI em 23°S, no mês de maio de 2010. A linha pontilhada superior representa a isopicnal de 26,9 ($\sigma\text{-}\theta=26.9$), já a linha pontilhada inferior representa a isopicnal de 27,53 ($\sigma\text{-}\theta=27,53$).	56
Figura 40 - Seção vertical de velocidade meridional (m/s) da CCI em 23°S, no mês de maio de 2012. A linha pontilhada superior representa a isopicnal de 26,9 ($\sigma\text{-}\theta=26.9$), já a linha pontilhada inferior representa a isopicnal de 27,53 ($\sigma\text{-}\theta=27,53$).	57
Figura 41 – EEO (A) e EGO (B) da série de transporte meridional mensal em 21°S.	59
Figura 42 - Transporte médio mensal climatológico em 21°S, durante os 10 anos de análise.	60
Figura 43 - EEO (A) e EGO (B) da série de transporte meridional mensal em 23°S.	61
Figura 44 - Transporte médio mensal climatológico em 23°S, durante os 10 anos de análise.	62
Figura 45 – Campo de corrente mensal média resultante e salinidade mensal média, entre 750 e 900 metros, no período de março de 2010. Os vetores ilustram a corrente, enquanto as cores indicam a salinidade. A área sombreada de cinza indica o continente, a linha de contorno azul representa a isobatimétrica de 800 metros. As linhas em rosa indicam as seções de 21°S e 23°S.	64
Figura 46 – Campo de corrente mensal média resultante e salinidade mensal média, entre 750 e 900 metros, no período de junho de 2014. Os vetores ilustram a corrente, enquanto as cores indicam a salinidade. A área sombreada de cinza indica o continente, a linha de contorno azul representa a isobatimétrica de 800 metros. As linhas em rosa indicam as seções de 21°S e 23°S.	65
Figura 47 - Campo de corrente mensal média resultante e salinidade mensal média, entre 750 e 900 metros, no período de maio de 2010. Os vetores ilustram a corrente, enquanto as cores indicam a salinidade. A área sombreada de cinza indica o continente, a linha de contorno azul representa a isobatimétrica de 800 metros. As linhas em rosa indicam as seções de 21°S e 23°S.	66
Figura 48 - Campo de corrente mensal média resultante e salinidade mensal média, entre 750 e 900 metros, no período de maio de 2012. Os vetores ilustram a corrente, enquanto as cores indicam a salinidade. A área sombreada de cinza indica o continente, a linha de contorno azul representa a isobatimétrica de 800 metros. As linhas em rosa indicam as seções de 21°S e 23°S.	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estimativas de transporte de volume da CCI nas costas leste e sudeste do Brasil, adaptada de Pimentel 2012.	12
Tabela 2 – Informações dos perfiladores do Projeto Azul.	23
Tabela 3 – Classificação dos perfiladores em duas classes, a partir da correlação, RMS e desvio padrão.	33
Tabela 4 – Velocidade dos perfiladores em m/s a 1000 metros de profundidade.	36
Tabela 5 - Velocidade dos perfiladores em m/s a 600 metros de profundidade.	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACAS – Água Central do Atlântico Sul
ACI – Água Circumpolar Inferior
ACS – Água Circumpolar Superior
AIA - Água Intermediária Antártica
ANP – Agência Nacional do Petróleo
ASAS - Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul
AT – Água Tropical
APAN – Água Profunda do Atlântico Norte
CAS – Corrente do Atlântico Sul
CB – Corrente do Brasil
CCI – Corrente de Contorno Intermediária
CMEMS – *COPERNICUS Marine Environment Monitoring Service*
CNRS - Centro de Pesquisa Científica Nacional
CRMA – Célula de Revolvimento Meridional
CSE – Corrente Sul Equatorial
CTCI – Contra Corrente de Contorno Intermediária
CV – Coeficiente de Variação
CVT – Cadeia Vitória Trindade
DT – Diagrama de Taylor
EEO – Espectro de Energia da Ondaleta
EGO – Espectro Global da Ondaleta
ENOS – El niño – Oscilação Sul
ET – Embaiamento de Tubarão
GOUD-024 - *GLOBAL OCEAN 1/12° PHYSICS ANALYSIS AND FORECAST
UPDATED DAILY-001-024*
IBR - Isobatimétrica de Referência
IFREMER - Instituto de Pesquisa Francês para Exploração do Mar
IRD - Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento
METEO-FRANCE E SHOM - Serviço Hidrográfico e Oceanográfico da Marinha
Francesa
pd - *Parking Depth*

RMS – Raiz do Erro Médio Quadrático

TF – Transformada de Fourier

VCF – Vórtice de Cabo Frio

VCST – Vórtice de Cabo de São Tomé

VV – Vórtice de Vitória

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Massas d'água intermediárias	2
1.2	Motivação	3
1.3	OBJETIVOS	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1	Sistema Corrente do Brasil.....	5
2.2	Corrente de Contorno Intermediária	8
2.3	Atividade de Mesoescala.....	13
3	METODOLOGIA	15
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	15
3.2	o programa COPERNICUS	16
3.3	avaliação da base copernicus em representar a cci.....	18
3.3.1	PROJETO AZUL	18
3.3.2	Avaliação da base GOUD-024	19
3.3.3	CONTROLE DE QUALIDADE	21
3.3.4	Procedimentos realizados com o modelo.....	25
4	RESULTADOS.....	31
4.1	Análise de desempenho do GOUD-024	31
4.1.1	Estrutura de velocidade a partir dos perfiladores	35
4.1.2	Diagrama TS dos perfiladores.....	39
4.2	Variabilidade da CCI.....	40
4.2.1	Seção 21°S	40
4.2.2	Seção 23°S	50
4.2.3	Escala de variabilidade.....	57

5 CONCLUSÕES.....	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

1 INTRODUÇÃO

Os oceanos desempenham um papel fundamental no armazenamento e na redistribuição de calor no planeta e, conseqüentemente, no funcionamento do sistema climático. Em médias latitudes, a atmosfera transporta 3 PW^I, enquanto 2 PW são transportados pelos oceanos (TRENBERTH & CARON 2001). Trenberth et al. (2014), a partir de dados de análise, observaram que o estoque de calor dos oceanos equivale a 90% do balanço radiativo do topo da atmosfera. Quanto ao calor excedente nas regiões tropicais, os oceanos são capazes de transportar ao menos um terço desse para altas latitudes (HSIUNG 1985; KEITH 1995). Dong et al. (2009), com base em batitermógrafos em 35°S, detectaram uma correlação positiva entre o transporte de calor para o norte e a Célula de Revolvimento Meridional Atlântica (CRMA), onde um aumento de 1 Sv^{II} da CRMA equivale a 0,05 PW do transporte de calor para o norte.

O balanço de transporte relativo aos fluxos intermediários oceânicos é essencial nas trocas de calor da CRMA. Heras & Schlitzer (1999), a partir de estudos de modelagem numérica e conjunto de dados hidrográficos com série histórica, constataram que a circulação associada à Água Intermediária Antártica (AIA) consiste na maior contribuição da compensação associada à circulação da Água Profunda do Atlântico Norte exportada, tanto no oceano Pacífico como no oceano Atlântico. Para o oceano Atlântico, Schmid & Garzoli (2009), através da análise de dados oriundos da trajetória de perfiladores lagrangeanos em 35°S, determinaram que 16% do transporte para norte nessa latitude correspondem ao fluxo intermediário.

Neste trabalho, uma análise oceânica global oriunda do programa COPERNICUS Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) (Serviço de Monitoramento Ambiental Marinho Europeu) foi usada para investigar a variabilidade da Corrente de Contorno Intermediária (CCI) na costa leste/sudeste brasileira, entre o período de janeiro de 2007 e dezembro de 2016. A base numérica adotada possui resolução espacial de 1/12° e seus produtos são disponibilizados diariamente. Complementarmente, o

^I 1 petawatt = 10¹⁵ watts

^{II} 1 Sverdrup é a unidade de medida de transporte de volume equivalente a 10⁶ m³/s

desempenho dessa análise foi avaliado por meio de perfiladores lagrangeanos do projeto Azul.

1.1 MASSAS D'ÁGUA INTERMEDIÁRIAS

A Água Intermediária Antártica (AIA), caracterizada com o mínimo de salinidade no diagrama T-S (WUST 1935), e a Água Circumpolar Superior (ACS), definida como um massa d'água com alta concentração de silicatos (MEMERY et al., 2000), são massas d'água intermediárias. Tanto a AIA como a ACS se espalham pelo oceano Atlântico, juntando-se à circulação associada ao giro subtropical, que alcança a costa brasileira através da Corrente Sul Equatorial (CSE) (REID et al., 1977; REID et al., 1989; LIMA, 1997). Estudos mais recentes, realizados a partir de dados de perfiladores lagrangeanos indicam uma bifurcação da CSE próximo a 27°S (bifurcação de Santos), onde dois terços de seu volume fluem para sul juntando-se ao fluxo principal da corrente do Brasil (CB) e o volume restante flui para norte, dando origem a corrente de contorno intermediária (CCI) (BOEBEL et al., 1999; SCHIMD & GARZOLI, 2009; LEGEAIS et al., 2013)(Figura 1).

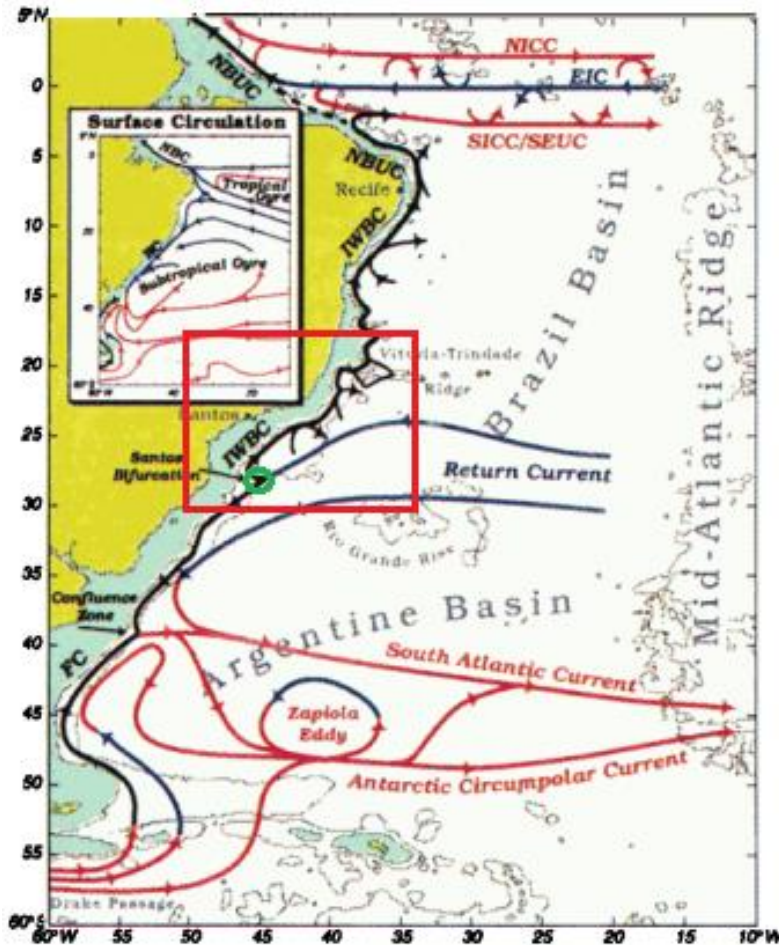


Figura 1 – Esquema de circulação no oceano Atlântico Sul, entre 650-1050 metros de profundidade. Destaque para a área de estudo (retângulo vermelho) e a região de origem da Corrente de Contorno Intermediária, do inglês *IWBC* (círculo verde). Também são ilustrados a Corrente Sul Equatorial, do inglês *Return Current*, a Corrente do Atlântico Sul, do inglês *South Atlantic Current*, e a região da Confluência Brasil-Malvinas, do inglês *Confluence Zone*. Adaptado de Boebel et al. (1999).

Pereira et al. (2014), alicerçados em modelagem numérica, relataram que a CSE em nível intermediário está mais deslocada para sul no meado do ano (meses de junho e julho), enquanto seu posicionamento mais ao norte ocorre no último bimestre do ano.

1.2 MOTIVAÇÃO

A região de estudo apresenta intensa atividade relativa à indústria de petróleo e gás, onde informações em profundidades intermediárias são fundamentais para o dimensionamento de estruturas, e para planos de contingências associados a potenciais vazamentos de óleo na região.

Além disso, há poucos trabalhos que abordem a circulação intermediária na costa sudeste/leste brasileira. Diversos pesquisadores calcularam a velocidade, espessura e o transporte da CCI, com ênfase em uma caracterização espacial, todavia, sem associações sazonais (BOEBEL et al., 1999; SCHMID et al., 2000; SILVEIRA et al., 2004; SCHMID & GARZOLI, 2009; LEGEAIS et al., 2013). Contudo, apenas no trabalho realizado por Pereira et al. (2014), ocorre um esforço para descrever eventuais sazonalidades do fluxo intermediário.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é investigar a variabilidade da CCI na costa leste/sudeste brasileira a partir da análise integrada entre dados oriundos de perfiladores e de resultados de um modelo numérico global de circulação oceânica.

Os objetivos específicos são:

- estimar o transporte da CCI na área de estudo;
- analisar a estrutura de velocidade da CCI e a estrutura termohalina das massas d'água por ela transportada;
- analisar a representatividade da CCI;
- identificar as escalas temporais associadas à variabilidade da CCI.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SISTEMA CORRENTE DO BRASIL

A circulação oceânica de grande escala presente nos trópicos e em regiões temperadas é forçada principalmente pelos giros subtropicais atmosféricos. Em todas as regiões subtropicais existem giros anticiclônicos, no Atlântico Sul esse giro é denominado Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Durante o verão o centro do ASAS está deslocado para leste e para sul em relação a sua posição no inverno.

O giro Subtropical oceânico do Atlântico Sul é constituído por quatro correntes, a saber: Corrente de Benguela, Corrente Sul Equatorial, Corrente do Brasil e a Corrente do Atlântico Sul. Em superfície, a corrente de Benguela origina-se em torno de 40°S e apresenta um fluxo essencialmente meridional para o norte. Quando o fluxo começa a se dirigir para o continente americano, a Corrente Sul Equatorial (CSE) se origina, sofrendo uma bifurcação próximo a costa brasileira, a qual dá origem a SubCorrente Norte do Brasil e a Corrente do Brasil (CB). A CB se desloca para sul até a região da confluência Brasil-Malvinas. Finalmente, a interação entre a CB e Corrente das Malvinas produz uma corrente para leste denominada Corrente do Atlântico Sul (CAS), fechando assim o giro subtropical do Atlântico Sul (STRAMMA & ENGLAND, 1999)(Figura 2).

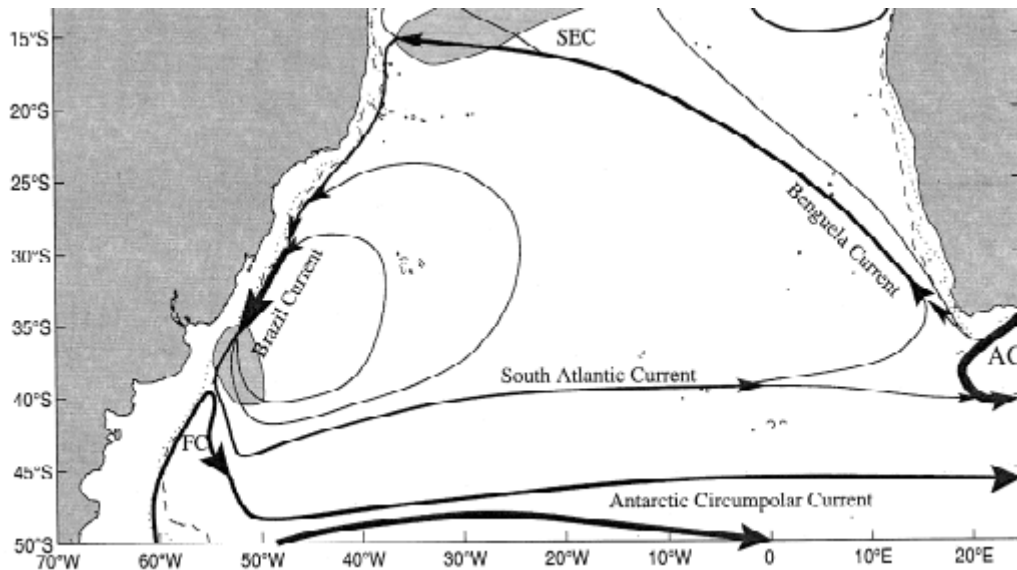


Figura 2 – Esquema da circulação em nível superficial proposto por Stramma & England (1999), adaptado. A Corrente de Benguela (*Benguela Current*), a Corrente Sul Equatorial (*SEC*), a Corrente do Brasil (*Brazil Current*), a Corrente do Atlântico Sul (*South Atlantic Current*) e a Corrente das Malvinas (*FC*) são exibidas.

Segundo Schmid et al. (2000) e Stramma & England (1999), os fluxos superficiais, centrais e intermediários são afetados em diferentes intensidades pelo giro atmosférico subtropical. A CSE, que se localiza no limite norte deste giro, próximo ao talude continental oeste do Atlântico Sul, dá origem a CB em nível superficial na latitude aproximada de 15°S, em níveis centrais a CB origina-se em 20°S, enquanto em nível intermediário esta corrente surge em 25°S aproximadamente (STRAMMA & ENGLAND, 1999; SOUTELINO, 2008). Entretanto, o fluxo profundo não sofre influência desse giro. Tal fluxo apresenta um escoamento essencialmente meridional ao longo da costa brasileira, com fluxos zonais mais significativos na região da Cadeia Vitória Trindade (CVT) (HOGG & OWENS, 1999; WEATHERLY et al., 2000)(Figura 3).

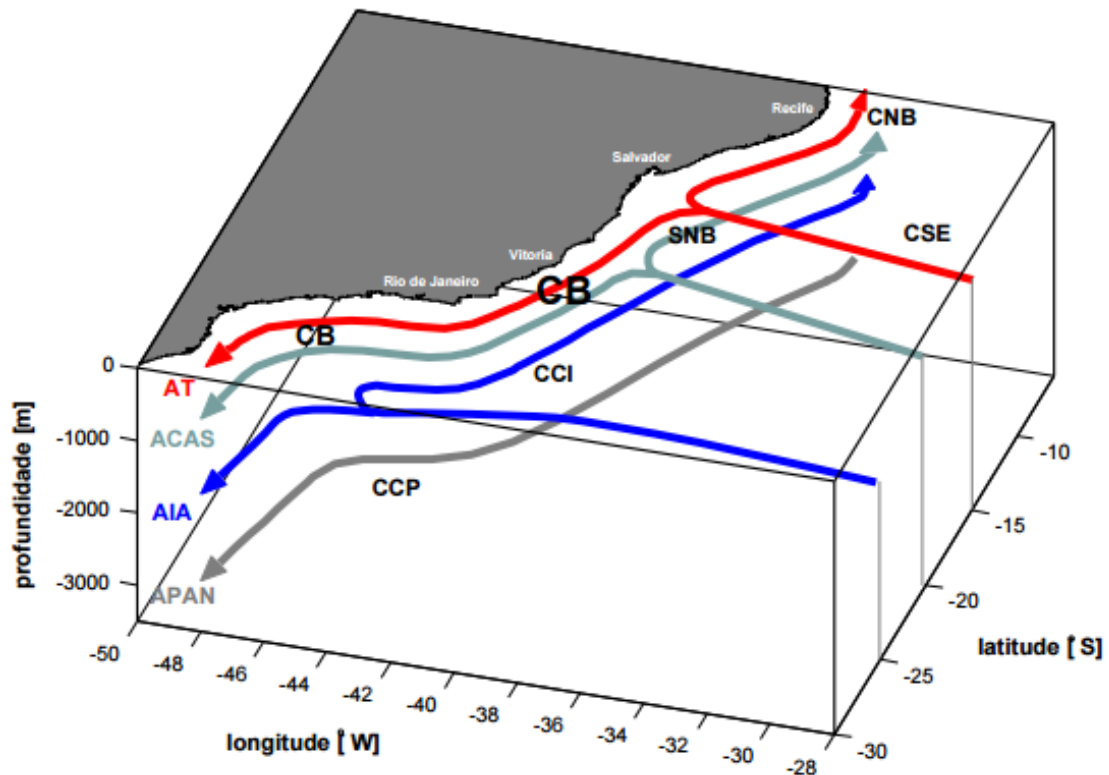


Figura 3 – Desenho esquemático do escoamento do sistema de correntes de contorno oeste ao longo da margem brasileira, proposto por Stramma & England (1999), e adaptado por Soutelino (2008).

É notório que a posição da bifurcação da CSE oscila sazonalmente em torno dos limites propostos por trabalhos clássicos de Stramma & England (1999). Rodrigues et al. (2007) e Pereira et al. (2014), alicerçados em modelagem numérica, relataram que a CSE em superfície está mais deslocada para o sul em julho. No verão esta corrente tem deslocamento máximo para o norte segundo Pereira et al. (2014), enquanto Rodrigues et al. (2007) observaram deslocamento máximo para norte em novembro. Para níveis intermediários, os resultados obtidos por Pereira et al. (2014) ainda seguem uma variabilidade próxima da sazonal (deslocamento máximo para norte no verão e deslocamento máximo para sul em julho). Contudo, Rodrigues et al. (2007) relataram máximo deslocamento da CSE para o norte nos meses de abril e outubro, e novamente no mês de julho foi observado o deslocamento máximo para sul da CSE.

Na borda oeste da costa leste/sudeste brasileira, desde a superfície até 3000 metros de profundidade, além da supracitada CB, a Corrente de contorno intermediária (CCI) e a Corrente de Contorno Profunda (CCP) constituem as

correntes que definem o sistema Corrente do Brasil (SCB) (SILVEIRA, 2007)(Figura 3). A partir da superfície até três quilômetros de profundidade, seis massas d'água são encontradas nesta região: Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA), Água Circumpolar Superior (ACS), Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) e Água Circumpolar Inferior (ACI).

Para a região leste e sudeste, a CB é relatada como fluxo médio para sul com espessura de aproximadamente 400 metros (SILVEIRA et al., 2000). Por meio de método geostrófico (movimento nulo em 1300 metros), Stramma (1989) relatou que a CB é capaz de transportar até 10,9 Sv para sul em 23°S. Entre 21°S e 24°S, através de compilação de outros estudos, Silveira (2007) encontrou um transporte médio de aproximadamente $-6,4 \pm 2,8$ Sv para este trecho. Já a velocidade máxima da CB, cujo valor foi de 0,83 m/s, foi registrada em 21°S, através de estudos numéricos de Silveira et al (2005).

Entre 1200 e 3800 metros de profundidade, Dengler et al. (2004) descobriram que a CCP transporta em média 25 Sv para sul em 11°S, atingindo velocidades de até 0,3 m/s em seu núcleo. Mais ao sul, através de fundeio, Weatherly et al. (2000) relataram um transporte médio de 39 ± 20 Sv em 18°S, com velocidades máximas próximas de 0,3 m/s.

2.2 CORRENTE DE CONTORNO INTERMEDIÁRIA

Em nível intermediário, duas massas d'água compõem a CCI (LIMA, 1997): a AIA, que é majoritariamente formada na passagem de Drake (YOU et al., 2003) e a ACS que também é formada nos entornos da passagem do Drake, produto da mistura da Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) e da Água Circumpolar (ACP) (STRAMMA & PETERSON, 1990). Inicialmente estas massas d'água fluem para norte, entrando no giro subtropical na região da confluência Brasil Malvinas. Segundo estudos recentes de Boebel et al. (1999), Schimd & Garzoli (2009) e Legeais et al. (2013), realizados a partir de perfiladores lagrangeanos, a CSE se bifurca em aproximadamente 27°S, próximo ao talude continental brasileiro (Figura 1), onde dois terços deste fluxo se dirige para sul e agrega-se a CB, e o um terço restante flui para norte

originando a Corrente de Contorno Intermediária.

De acordo com Boebel et al. (1999), a espessura da CCI é de aproximadamente 400 metros. Já Stramma & England (1999) relataram que a espessura média da corrente em nível intermediário no Atlântico Sul é de 700 metros. Silva (2013) a partir de perfiladores lagrangeanos, em um estudo limitado à costa leste/sudeste brasileira, também determinou que a espessura média do fluxo intermediário no talude continental entre 18-25°S é de 700 metros, contudo de 18-15°S o fluxo torna-se menos espesso, chegando a apresentar espessura de 550 metros. Em estudos para a bacia de Campos, Silveira et al. (2004) descreveram o fluxo da CCI com uma espessura de até 1200 metros, entretanto estes autores consideraram que a CCI transporta águas centrais e profunda (Figura 4). Enquanto os outros autores consideraram que a CCI transporta apenas massas d'águas intermediárias.

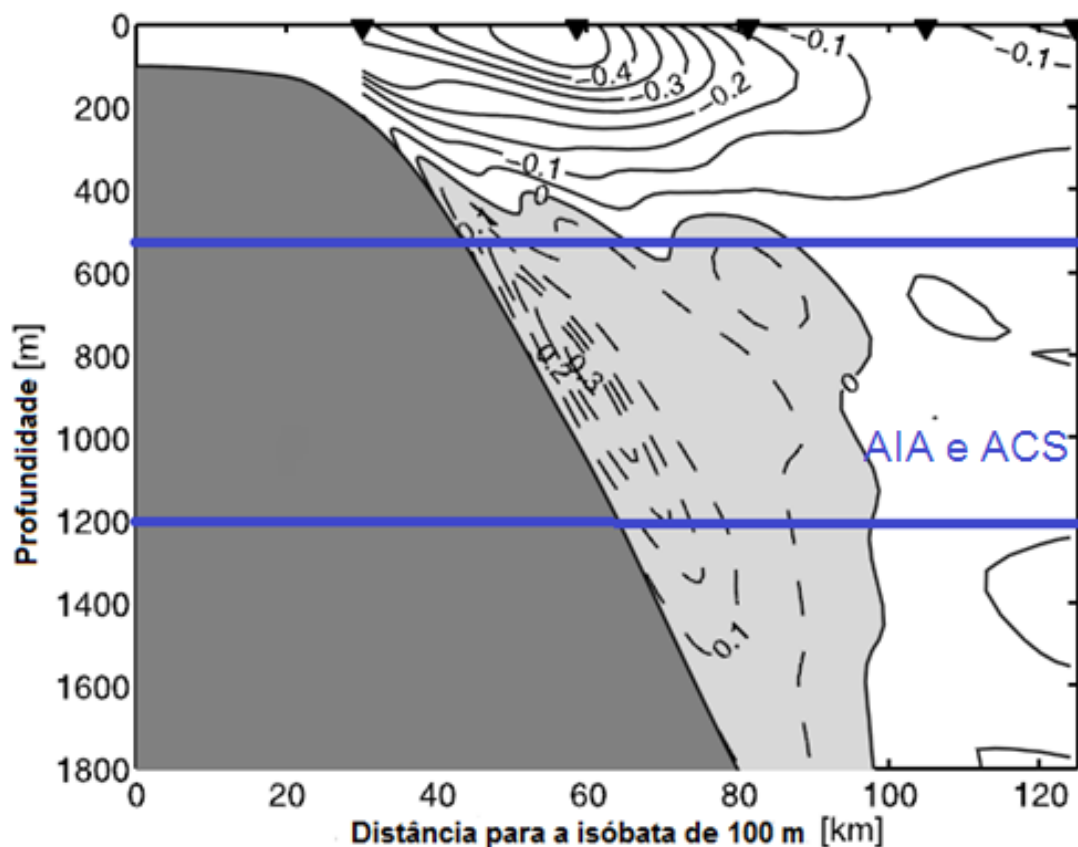


Figura 4 - Adaptação da seção de velocidade do transecto TRANSCOBRA (~23°S) de abril de 1983 de Silveira et al. (2004). A linhas em azul indicam os limites aproximados da AIA e ACS em 23°S.

Em regiões *offshore*, na porção ao sul da CVT, fluxos intermediários para oeste da ordem de 0,03-0,05 m/s dominam a região (BOEBEL et al., 1999; RIBONI et al., 2005) e, ao norte da CVT existe uma intensa atividade de mesoescala até 15°S (LEGEAIS et al., 2013), contudo Schmid & Garzoli (2009), a partir de perfiladores lagrangeanos, descrevem um fluxo médio para leste nesta região.

Ao surgir, o fluxo da CCI se fortalece até atingir a CVT, neste trecho esta corrente flui para norte sobre o talude continental com velocidades médias de até 0,3 m/s (EVANS & SIGNORINI, 1985; BOEBEL et al., 1999; LEGEIAS et al., 2013). Com base em perfiladores lagrangeanos, Legeias et al. (2013) estimaram velocidades individuais de até 0,5 m/s para o fluxo intermediário em 20,5°S. Em 23°S, através de perfiladores acústicos Pegasus, Evans & Signorini (1985) relataram velocidades médias de até 0,35 m/s. Por outro lado nesta mesma latitude, estudos mais recentes a partir de fundeios de Muller et al. (1998) e Silveira et al. (2008) em camadas intermediárias, encontram velocidades médias de 0,12 m/s e 0,22 m/s, respectivamente. Ao sul de 24°S, as velocidades médias em nível intermediário são estáveis, com valores variando de 0,1 a 0,15 m/s (LEGEIAS et al., 2013). Ainda há uma recirculação intermediária permanente/semi-permanente no Embaiamento de Tubarão que pode contribuir para a intensificação do fluxo da CCI em latitudes inferiores a 23°S (COSTA et al., 2016). Ao norte da CVT há fluxo setentrional conturbado no talude, com um decréscimo da velocidade para o norte até 18°S, entre 18°S e 15°S não há perfiladores para retratar a trajetória (LEGEIAS et al., 2013) (Figura 5). Em 18°S, estes autores encontraram o fluxo intermediário com velocidade média de 0,2 m/s, enquanto Weatherly et al. (2000), através de fundeio em 900 metros, relataram uma velocidade média de 0,1 m/s.

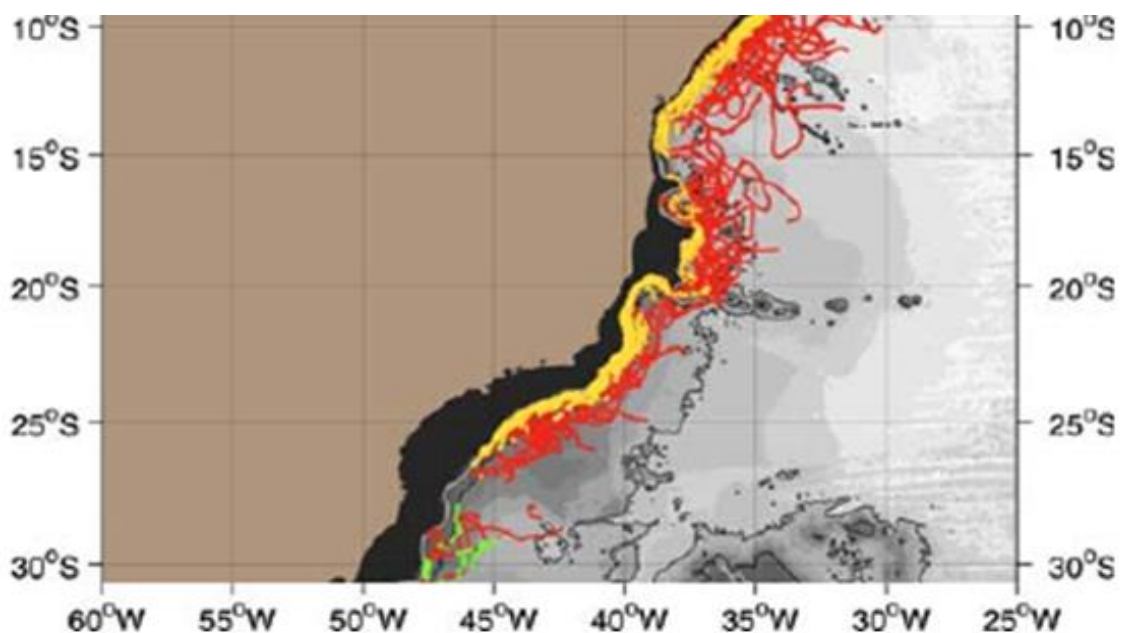


Figura 5 – Fluxo de perfiladores em nível intermediário. As linhas em vermelho indicam o fluxo para o norte, as linhas em amarelo retratam todo fluxo que é considerado CCI, enquanto as linhas em verde indicam a CB. Fonte: Legeais et al. (2013).

Na Tabela 1, inúmeras estimativas de transporte de volume da CCI na costa leste e sudeste brasileira são apresentadas. De uma forma genérica, a CCI se origina com transporte quase nulo (ZEMBA, 1991; BOEBEL et al., 1997). No entanto, estimativas recentes de Schmid & Garzoli (2009), a partir de perfiladores Argo, evidenciaram transporte de 2,2 Sv em 27°S. A média de transporte em 27°S foi de $0,7 \pm 1,4$ Sv, o desvio padrão superior à média evidencia a variabilidade associada à origem da CCI. Entre 22°S e 20°S, a corrente está mais intensa, onde Schmid & Garzoli (2009), Pimentel (2012) e Pereira et al. (2014) relataram transporte de ao menos 10 Sv neste trecho. Nesta região a estimativa de transporte média foi de $7,7 \pm 5$ Sv. Este desvio padrão elevado se deve às estimativas atípicas de Schmid & Garzoli (2009) em 22°S e Pimentel (2012) em 21°S, onde foram obtidos os transportes de 1 Sv e 16,7 Sv, respectivamente.

Ao norte de 20°S, excetuando-se as estimativas de transporte de Pimentel (2012) em 18°S, somente em 13°S as estimativas de transporte foram superiores a 10 Sv (estimativas maiores que 12 Sv reportadas por Pereira et al. (2014)), o que mostra o enfraquecimento da CCI depois de passar pela CVT, em consonância com relatos de Legeais et al. (2013).

Tabela 1 - Estimativas de transporte de volume da CCI nas costas leste e sudeste do Brasil, adaptada de Pimentel 2012.

Lat. (S)	Transp. (Sv)	Base de Dados	Método	Fonte
13°	1,0	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
13°	12,3	OCCAM	$\sigma_0 = 26.80-27.53$	PEREIRA <i>et al.</i> (2014)
13°	14,1	HYCOM	$\sigma_2 = 35.80-36.62$	PEREIRA <i>et al.</i> (2014)
14°	0,5	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
15°	-1,0	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
16°	-1,5	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
17°	0,5	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
18°	2,0	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
18°	15,8	Simulação do REMO	Salinidade 34,6	PIMENTEL (2012)
19°	1,0	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
19°	3,4	WOCE A19	$\sigma_0 = 27.00-27.35$	LEGEAIS <i>et al.</i> (2013)
19°	7,7	WOCE A9	Método dinâmico	SCHMID <i>et al.</i> (2000)
19°	8,8	Meteor 15/3	Modelo inverso	BOEBEL <i>et al.</i> (1997)
19°	~9	WOCE A9	Modelo inverso	SCHMID <i>et al.</i> (2000)
20°	10,0	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
20.7°	4,0	Meteor 15/1-2	$\sigma_0 = (27.00-27.35)$	SCHMID <i>et al.</i> (2000)
21°	5,0	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
21°	16,7	Simulação do REMO	Salinidade 34,6	PIMENTEL (2012)
21°	4,8	Meteor 15/1-2	Método dinâmico	BOEBEL <i>et al.</i> (1997)
22°	1,0	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
22°	10,9	OCCAM	$\sigma_0 = 26.80-27.53$	PEREIRA <i>et al.</i> (2014)
22°	9,1	HYCOM	$\sigma_2 = 35.80-36.62$	PEREIRA <i>et al.</i> (2014)
23°	-2,0	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
23°	~5	Oceanus 133	Modelo inverso	SCHMID <i>et al.</i> (2000)
23°	17,3	Simulação do REMO	Salinidade 34,6	PIMENTEL (2012)
24°	1,0	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
24°	2,9	Meteor 15/1-2	Método dinâmico	BOEBEL <i>et al.</i> (1997)
24°	~5	IGY	Modelo inverso	FU (1981)
24.3°	2,3	Meteor 15/1-2	$\sigma_0 = 27.00-27.35$	SCHMID <i>et al.</i> (2000)
25°	2,0	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
25°	3,0	Argo e Aviso	Método dinâmico	SCHMID <i>et al.</i> (2014)
26°	1,2	Meteor 15/3	Método dinâmico	BOEBEL <i>et al.</i> (1997)
26°	6,0	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
26°	4,5	Argo e Aviso	Método dinâmico	SCHMID <i>et al.</i> (2014)
27°	2,2	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
27°	0,5	Marathon/9	$\sigma_0 = 27.2$	ZEMBA (1991)
27°	-0,6	Marathon/9	1300 dbar	ZEMBA (1991)
27°	-0,8	Meteor 15/3	Método dinâmico	BOEBEL <i>et al.</i> (1997)
27°	2,0	Argo e Aviso	Método dinâmico	SCHMID <i>et al.</i> (2014)
27.1°	-1,4	Meteor 22/3	$\sigma_0 = 27.00-27.35$	SCHMID <i>et al.</i> (2000)

Pereira et al. (2014), através de modelos numéricos, observaram sazonalidade da CCI nas seções de 5°S e 13°S, sendo observado um transporte de volume mais intenso no inverno. Porém, nas seções de 22°S e 30°S, a sazonalidade foi menos clara. Estes autores descobriram que a origem da CCI (quando esta corrente foi constituída apenas de AIA), ao longo do ano oscilou de 35°S a 25°S, possivelmente contribuindo para o mascaramento da

sazonalidade em 22°S e 30°S. É importante ressaltar, que a CCI adotada por esses autores transportou águas centrais e intermediárias.

2.3 ATIVIDADE DE MESOESCALA

O meandramento da CB foi descrito pela primeira vez por Mascarenhas et al. (1971), onde estes autores observaram uma sequência de estruturas ciclônicas e anticiclônicas nas imediações do largo de Cabo Frio. A mudança da orientação da costa e o gradiente topográfico do fundo são os principais fatores que provocam o meandramento da CB, segundo Campos et al. (1995). Na Figura 6, são exibidas as três principais regiões para formação de vórtices e meandros: Vórtice de Vitória (VV) (20°S), Vórtice de Cabo de São Tomé (VCST) (22°S) e o Vórtice de Cabo Frio (VCF) (23°S).

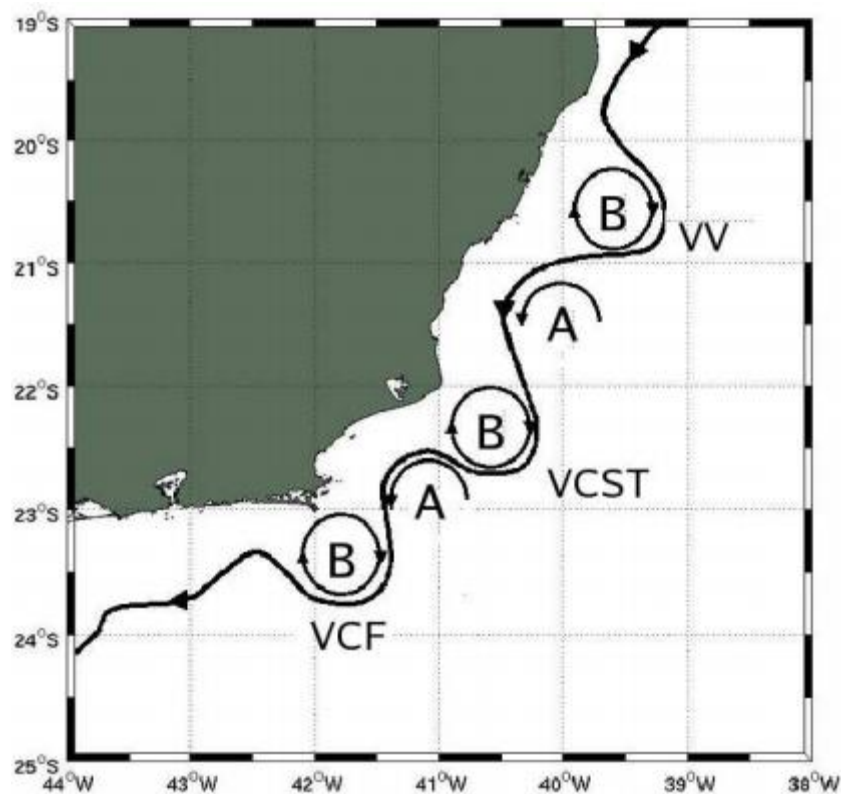


Figura 6 – Representação do trem de onda gerado pela atividade de mesoescala na CB. Ênfase é dada ao Vórtice de Vitória (VV), Vórtice do Cabo de São Tomé (VCST) e o Vórtice de Cabo Frio (VCF). Os centros de alta e baixa pressão são indicados pelas letras A e B, respectivamente. Fonte: Calado (2006).

Complementarmente, a partir de estudos numéricos, Calado (2001) reportou que o mecanismo primário de instabilidade na costa leste e sudeste está associado ao cisalhamento vertical de velocidade entres as CB e CCI, onde foi demonstrado que as inflexões das isobatimétricas nas redondezas de Cabo Frio e o Cabo de São Tomé podem posicionar os eixos da CB e CCI suavemente deslocados (Figura 7).

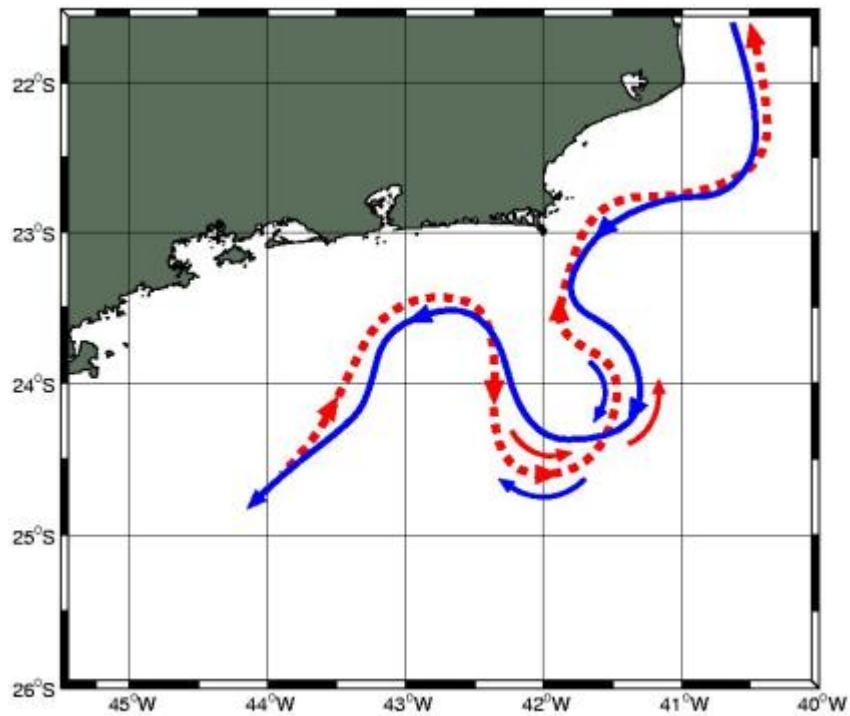


Figura 7 – Padrão de onda de superfície associado ao escoamento da CB (seta azul) e em níveis subpicnóclínicos relativo ao escoamento CCI (seta vermelha). Fonte: Calado (2006).

3 METODOLOGIA

A metodologia do presente estudo consiste na análise de dados hidrográficos e resultados de simulações numéricas para estudar a variabilidade associada ao escoamento da CCI. A seguir serão brevemente descritos: a área de estudo; a base de resultados numéricos utilizada; a base de dados observados utilizada; o controle de qualidade dos dados aplicado (avaliação da representatividade da base numérica) e; os procedimentos do tratamento dos produtos modelados.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange o litoral sudeste brasileiro e significativa parte do litoral leste do Brasil, segundo a classificação de Silveira (1964) e Cruz et al. (1985), onde estes autores dividem a costa brasileira a partir de critérios hidrológicos e geográficos. Ao norte a região é limitada em 18°S, meridionalmente se estende até 30°S. Longitudinalmente, a região está entre 050-034°O (Figura 8).

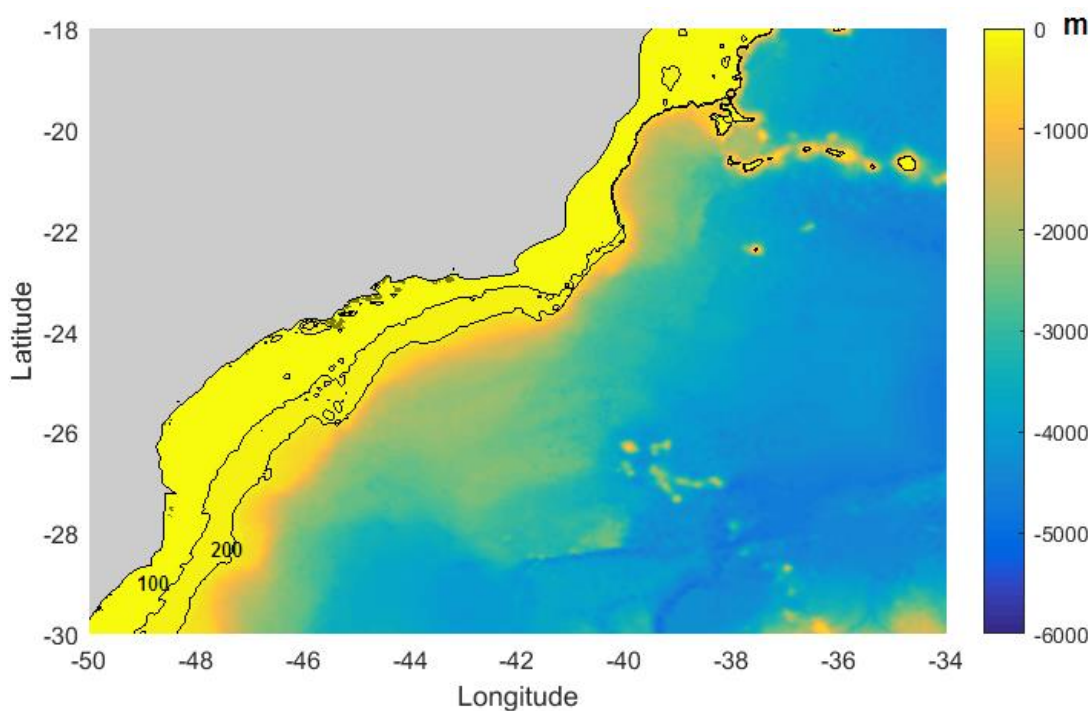


Figura 8 – Área de estudo situada entre as latitudes de 18°S e 30°S, e as longitudes de 050°O e 034°O. As cores indicam a batimetria da região (m) a partir da base etopo 2. As duas linhas pretas indicam a isobatimétrica de 100 e 200 metros. A região sombreada de cinza retrata o continente.

Esta região apresenta uma morfologia do assoalho oceânico diversa, com variação latitudinal da extensão da plataforma continental e mudança da orientação da linha de costa. A cidade de Arraial do Cabo-RJ, constitui um marco na mudança de orientação da linha de costa. Ao sul desta cidade a orientação da linha de costa é praticamente de oeste-leste (até a Ilha Bela-SP), enquanto ao norte de Arraial do Cabo, a orientação é de nordeste-sudoeste. Na região ao norte de Arraial do Cabo a plataforma continental é mais estreita, apresentando a quebra da plataforma em aproximadamente 80-100 metros, já ao sul desta cidade a quebra da plataforma ocorre entre 150-200 metros (CASTRO, 1996). Complementarmente, existe uma cadeia de montes submarinos na latitude da cidade de Vitória-ES, conhecida como Cadeia Vitória Trindade (CVT). A CVT apresenta dois montes emersos, a Ilha de Trindade e Ilha de Martim Vaz. No entanto, a CVT possui uma série de vales com profundidades superiores a 1500 metros (CASPEL, 2009).

3.2 O PROGRAMA COPERNICUS

O Copernicus é um programa espacial europeu para o estabelecimento da capacidade europeia de monitoramento e observação da Terra. Esse programa engloba três componentes: componente ESPACIAL, componente IN SITU e componente SERVIÇOS (COPERNICUS, 2018).

A componente SERVIÇO do Copernicus se subdivide em: monitoramento da Terra, gerenciamento de emergências, monitoramento marítimo, monitoramento atmosférico, segurança e mudanças climáticas. A componente monitoramento marítimo, conhecida como *COPERNICUS Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS) está em modo operacional, por meio do Mercator Ocean, que por sua vez, constitui-se em um centro francês para análise e previsão dos oceanos. Este centro é uma instituição privada financiada pelo CNRS (Centro de Pesquisa Científica Nacional), IFREMER (Instituto de Pesquisa Francês para Exploração do Mar), IRD (Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento), Meteo-France e SHOM (Serviço Hidrográfico e Oceanográfico da Marinha Francesa) (MERCATOR OCEAN, 2018). O Mercator Ocean coordenou o projeto MyOcean de 2009 a 2015, projeto piloto que deu lugar ao CMEMS no início de 2015 (COPERNICUS, 2018).

O GLOBAL OCEAN 1/12° PHYSICS ANALYSIS AND FORECAST UPDATED DAILY-001-024 (GOUD-024) foi o produto utilizado neste trabalho. Um dos produtos do CMEMS, o GOUD-024, apresenta resolução espacial horizontal de 1/12 grau (aproximadamente 9 quilômetros), resolução vertical de 50 níveis e resolução temporal diária. As grades horizontais e verticais da análise são interpoladas seguindo a grade C de Arakawa, esta grade representa os parâmetros vetoriais e os parâmetros escalares de forma alternada ao longo da grade.

O GOUD-024 contém previsão oceânica de 10 dias, com informações de temperatura, salinidade, elevação da superfície do mar, velocidade meridional e zonal da corrente, profundidade da camada de mistura e parâmetros relativos ao gelo marinho. A série temporal do GOUD-024 teve início em 27 de dezembro de 2006.

A base numérica adotada consiste em um sistema de previsão e análise global oceânica de alta resolução, que utiliza como base o modelo oceânico NEMO (versão 3.1) (MADEC et al., 2008). Os campos de forçantes atmosféricas são extraídos do Centro Europeu de Previsão de Tempo para Médio Alcance (da sigla em inglês ECMWF). A batimetria usada é um arranjo do ETOPO1 interpolado (AMANTE & EAKINS, 2009) e a base de dados GEBCO8 (BECKER et al., 2009). Os dados do ETOPO1 são usados em regiões mais profundas que 300 metros, enquanto o GEBCO8 é usado em regiões mais rasas que 200 metros, uma interpolação linear é realizada na camada entre 200 e 300 metros.

No que tange a assimilação de dados, o GOUD-024 assimila os seguintes dados: temperatura da superfície do mar do OSTIA CMEMS, concentração de gelo marinho CMEMS, anomalia de elevação da superfície CMEMS, topografia dinâmica média ajustada baseado no CNES-CLS13, climatologia WOA 2013 e perfis *in situ* da base de dados do CMEMS. Esta base de dados *in situ* possui os seguintes sistemas de observação: perfiladores Argos, embarcações de pesquisa, gliders, batitermógrafos, *moorings* superficiais, entre outros. Os dados de temperatura e salinidade do Argo são assimilados até 2000 metros de profundidade. Em profundidades superiores a 2000 metros, a climatologia WOA 2013 é assimilada.

3.3 AVALIAÇÃO DA BASE COPERNICUS EM REPRESENTAR A CCI

Como qualquer outro produto modelado, é preciso avaliar a habilidade do GOUD-024 de retratar o escoamento oceânico e a estrutura termohalina na região de estudo. Para atingir este fim, dados observacionais de perfiladores lagrangeanos do Projeto Azul (ALVES et al., 2015) foram utilizados. A seguir, será realizada uma breve apresentação do Projeto AZUL, dos sensores (perfiladores) que tiveram seus dados utilizados no presente estudo e a metodologia para avaliação dos resultados oriundos do programa COPERNICUS.

3.3.1 PROJETO AZUL

O projeto Azul foi um projeto piloto de observação oceânica para regiões *offshore* da Bacia de Santos, que iniciou sua operação em agosto de 2012 (ALVES et al., 2015). Este projeto foi financiado por uma empresa ligada à Indústria de Óleo e Gás, dentro do escopo do programa de pesquisa e desenvolvimento da Agência Nacional de Petróleo (ANP). A base de dados do projeto Azul compreende: dados hidrográficos e outros oriundos de flutuadores de superfície, gliders e perfiladores lagrangeanos. Neste trabalho, serão usados os perfiladores lagrangeanos.

Os perfiladores lagrangeanos utilizados possuem um sistema GPS, sensores de temperatura e salinidade, e a habilidade de regular sua profundidade de deriva. Após serem lançados no mar, os perfiladores afundam até determinada profundidade conhecida como (*parking-depth*), onde derivam por três dias (tempo do ciclo), e por fim afundam até 2000 metros e ascendem até a superfície adquirindo dados de temperatura e salinidade (ALVES et al., 2015). Uma vez na superfície, o instrumento envia os dados e recebe (se existir novos comandos), e inicia um novo ciclo de mergulho (Figura 9). Dos três dias de um ciclo, o perfilador gasta em torno de 4 horas para realizar seu deslocamento vertical, além dos 20 minutos requeridos para a operação do perfilador na superfície do mar.

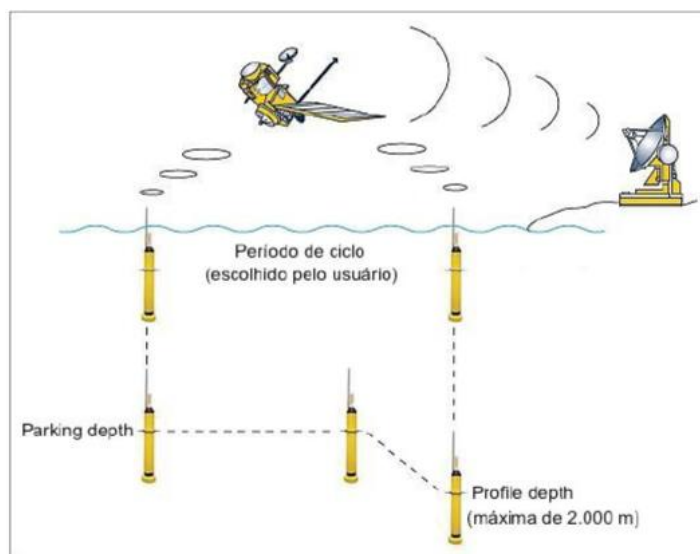


Figura 9 – Desenho esquemático do ciclo efetuado por um perfilador. Fonte: Alves et al.(2015).

3.3.2 Avaliação da base GOUD-024

Para avaliar a habilidade do GOUD-024 em representar a CCI, os perfiladores encontrados na área de estudo, que possuísem *parking-depth* (pd) maior que 500 e menor que 1200 metros, foram selecionados, o que totalizou dez perfiladores. Sete dos dez perfiladores tem pd igual 600 metros, um perfilador tem pd igual 800 metros e outros três equipamentos possuem pd igual 1000 metros. Vale destacar que, conforme pode ser observado na Tabela 2, o perfilador 111 iniciou seu deslocamento em 600 metros, porém no dia 28/12/2014 este perfilador passou a fluir na profundidade de deriva de 1000 metros. Nas Figura 10 e Figura 11, é possível observar que os perfiladores com pd de 600 e 1000 metros fluem por boa parte da região do talude continental da área de estudo. Já o perfilador que se desloca em 800 metros está limitado a uma região pequena no sul da área de estudo (não mostrado). Uma vez efetuada esta seleção, as velocidades estimadas dos perfiladores e os seus dados termohalinos foram utilizados para avaliar a representatividade da CCI exibida pelo GOUD-024.

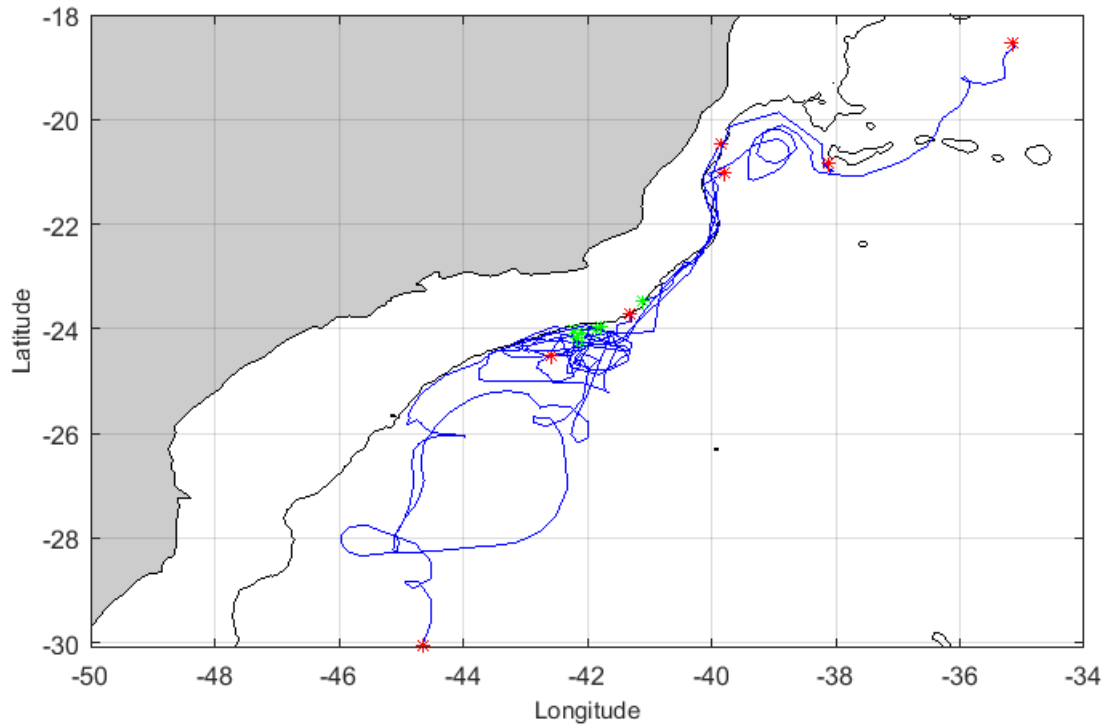


Figura 10 - Trajetória dos 7 perfiladores que fluem a 600 metros de profundidade, retratada pelas linhas em azul. O ponto verde indica o início da trajetória, enquanto o ponto vermelho indica o fim da trajetória. A área sombreada retrata o continente e a linha preta indica a isobatimétrica de 800 metros.

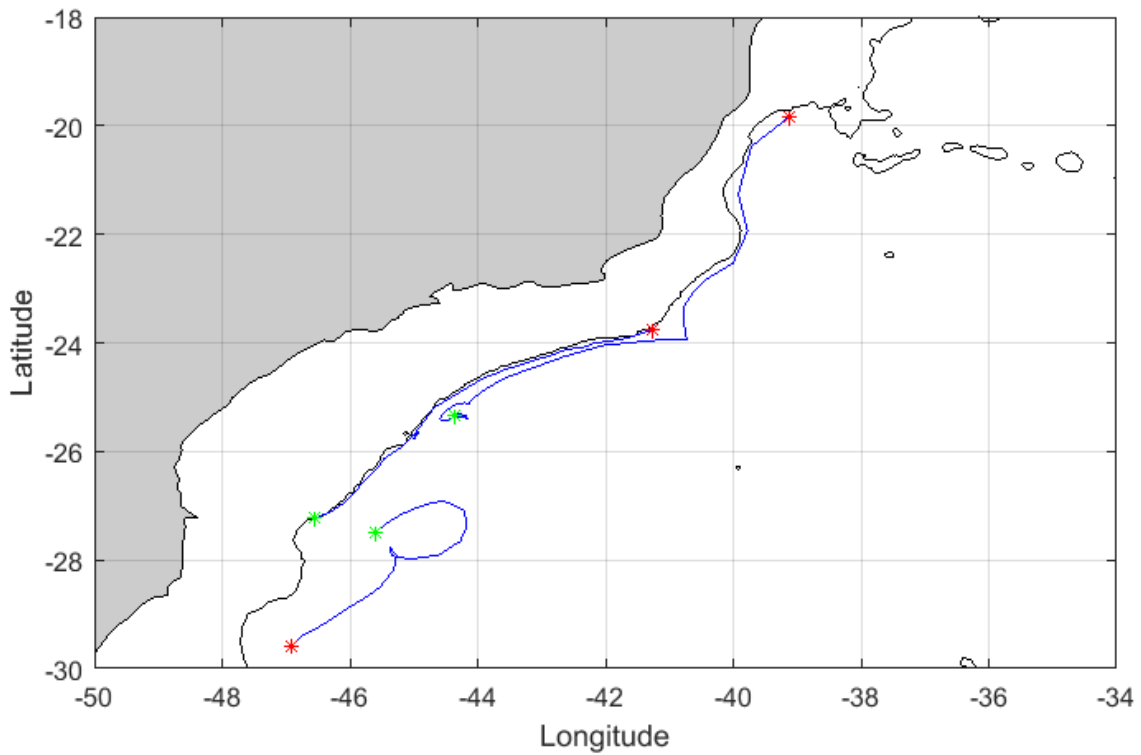


Figura 11 - Trajetória dos 3 perfiladores que fluem a 1000 metros de profundidade, retratada pelas linhas em azul. O ponto verde indica o início da trajetória, enquanto o ponto vermelho indica o fim da trajetória. A área sombreada retrata o continente e a linha preta indica a isobatimétrica de 800 metros.

3.3.3 CONTROLE DE QUALIDADE

No fluxograma da Figura 12 estão representadas as etapas necessárias e o fluxo de informações entre as mesmas para a realização da análise proposta no presente trabalho.

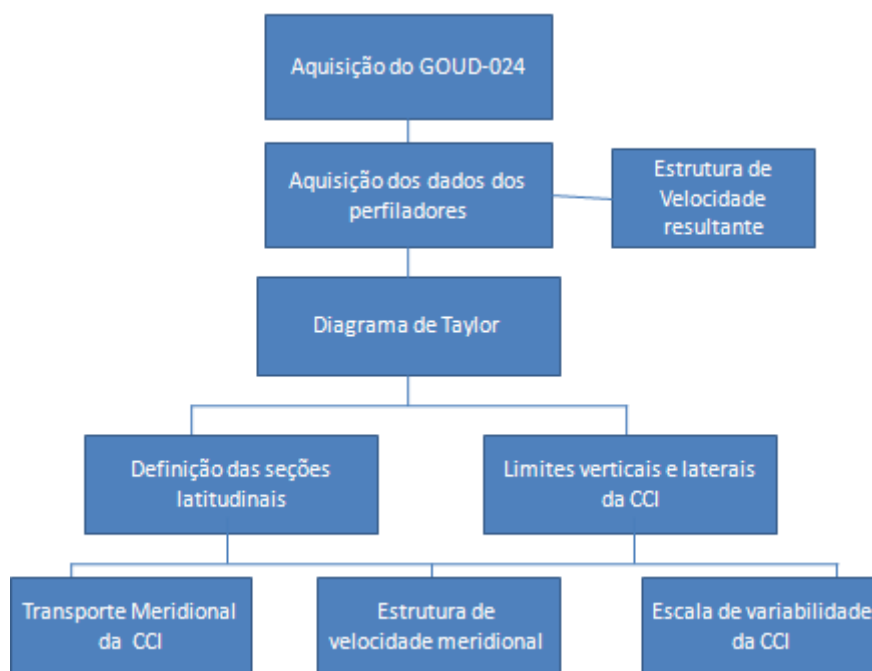


Figura 12 – Fluxograma das atividades realizadas.

Para investigar a variabilidade da CCI foram usadas as informações de temperatura, salinidade, velocidade meridional e zonal do GOUD-024, nos 37 níveis verticais mais superficiais do resultado do modelo, entre os anos de 2007 e 2016. A resolução vertical do modelo é ilustrada na Figura 13. Vale destacar, que de forma genérica, as informações das últimas sete camadas do modelo podem ser usadas para investigar a CCI (camada 31 a camada 37), mediante o critério adotado para limitar verticalmente a CCI (discutido em breve). Complementarmente, dados de perfiladores lagrangeanos foram usados para avaliar o desempenho do GOUD-024 em representar a CCI.

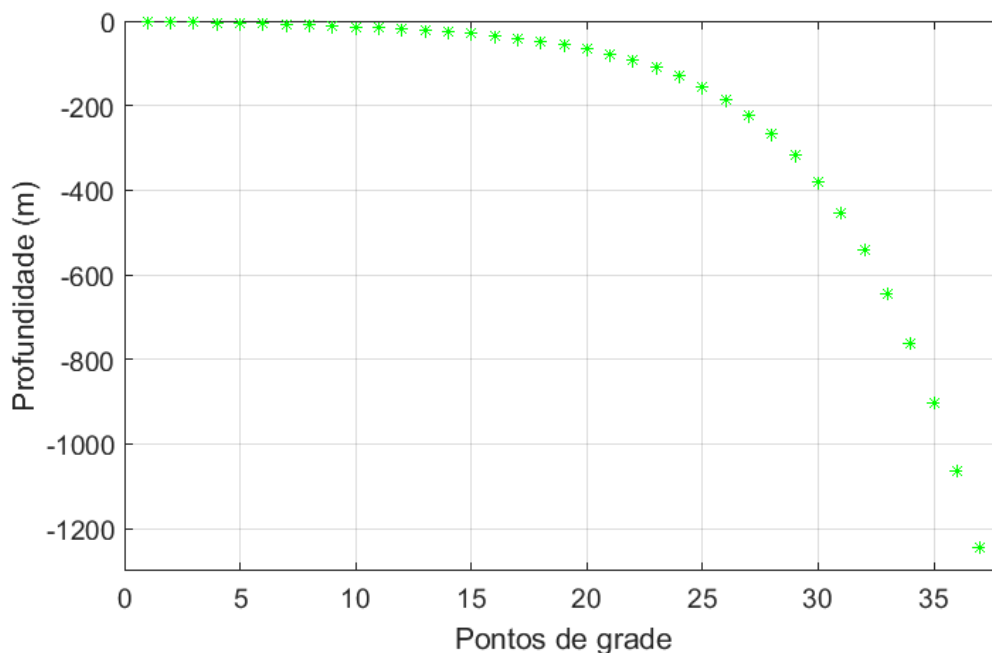


Figura 13 – Desenho esquemático da resolução vertical do modelo.

3.3.3.1 Avaliação dos resultados do GOUD-024

A análise do desempenho do GOUD-024 em representar a CCI foi realizada sobre dois aspectos básicos, a saber: estrutura de velocidade e estrutura de massa (propriedades termohalinas).

Para analisar a representatividade dos dados termohalinos do GOUD-024, foram considerados 12 trechos de dados, que foram divididos em função do *parking depth*, ou da forma como os dados dos perfiladores estavam espaçados verticalmente, durante a gravação. Em contrapartida, para analisar a representatividade dos dados de velocidade da corrente do GOUD-024, foram considerados 11 trechos, que foram divididos em função do seu *parking depth*. Na Tabela 2, as seguintes informações são exibidas: nomenclatura do flutuador, *parking depth*, período inicial, período final e profundidade máxima de coleta dos dados de temperatura e salinidade. Além disso, informações complementares são exibidas na coluna observações.

Tabela 2 – Informações dos perfiladores do Projeto Azul.

Flutuador	<i>Parking Depth</i>	Período Inicial	Período Final	Profundidade Máxima de Coleta	Observações
31	1000 metros	05/12/14	20/03/15	1850 metros	
121	600 metros	28/02/14	19/11/14	2001 metros	
181	600 metros	29/08/14	19/10/14	594 metros	
191	600 metros	13/09/14	20/11/14	1018 metros	
211	600 metros	30/11/14	07/03/15	594 metros	
111A_1	600 metros	14/01/14	20/05/14	1035 metros	Gravação 1 dado/m
111A_2	600 metros	20/05/14	28/11/14	1030 metros	Gravação 2 dados/m
111B	1000 metros	28/12/14	12/04/15	1168 metros	
131A	600 metros	25/03/14	09/10/14	1033 metros	
231B	1000 metros	21/03/15	30/05/15	594 metros	
201	800 metros	11/05/15	19/05/15	594 metros	
221	600 metros	15/01/15	13/02/15	596 metros	

3.3.3.1.1 Velocidade

A partir da diferença das posições consecutivas de cada perfilador e o tempo gasto nestes deslocamentos, é possível calcular a velocidade dos perfiladores no nível da profundidade de deriva (equação I), técnica similar foi aplicada por Menna & Poulain (2010) e Silva (2013). Vale destacar que posições consecutivas com diferença de tempo superior a 4 dias foi uma condição estabelecida para desconsiderar um ciclo.

$$Vm = \Delta S / \Delta t \quad (I)$$

Onde: Vm= velocidade média; ΔS= variação do espaço; Δt= variação do tempo.

Tanto as informações de posição como a informação de tempo dos perfiladores do projeto Azul, respectivamente, são usadas para iniciar a etapa de busca das posições e período do GOUD-024 mais próxima da observação.

Por meio desta técnica é possível extrair as velocidades meridionais e zonais oriundas do modelo, extraindo os produtos modelados diariamente.

As velocidades zonal e meridional estimadas dos perfiladores e as velocidades zonal e meridional extraídas do GOUD-024 foram comparadas estatisticamente, utilizando o Diagrama de Taylor. O diagrama de Taylor consiste em método que exibe três métricas estatísticas (coeficiente de correlação, desvio padrão e a raiz do erro médio quadrático (RMS)) em uma única figura bidimensional, permitindo que um ou mais produtos modelados sejam comparados a uma referência (dados) (TAYLOR, 2001). Dessa forma, o produto modelado que mais se aproximar da referência é associado ao conjunto de informações que apresenta maior grau de paridade em relação aos dados observados. Na Figura 14, o exemplo ilustra uma comparação da observação de precipitação e o produto modelado de precipitação, usando o DT, onde as linhas em azul indicam a correlação, os arcos de círculos verdes ilustram a RMS e os arcos de círculos pretos indicam o desvio padrão. É válido destacar que a situação ideal remete para o RMS igual zero, correlação igual a 1 e desvio padrão próximo da observação.

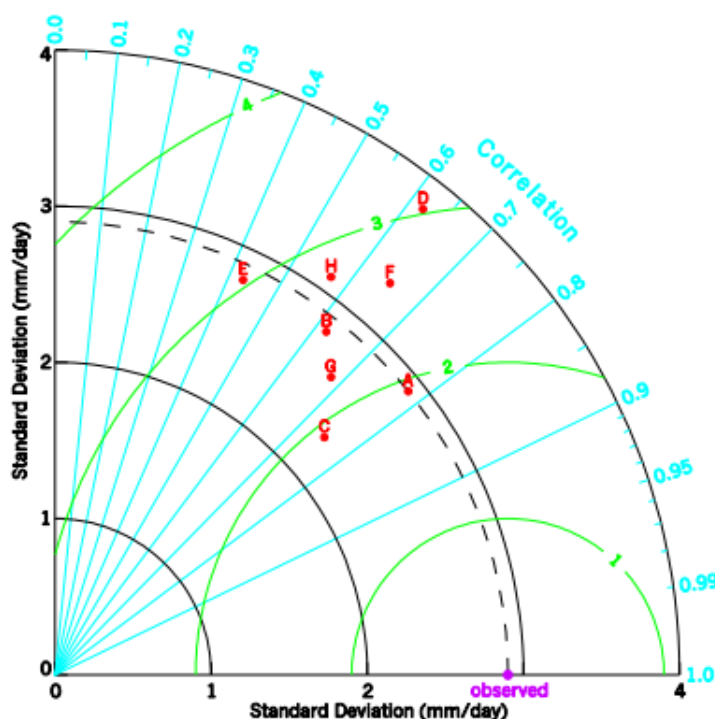


Figura 14- Exemplo de DT para dados de precipitação, no qual a linha em azul indica a correlação, o arco de círculo preto indica o desvio padrão, o arco de círculo verde indica o RMS, os pontos vermelhos se referem ao produto modelado e o ponto lilás retrata a observação. Fonte: Taylor (2005).

3.3.3.1.2 Propriedades Termohalinas

Diferentemente dos valores de velocidade, estimados individualmente a partir das informações de posicionamento, os perfiladores medem diretamente a temperatura e salinidade da água do mar. Os dados de temperatura e salinidade dos perfiladores foram tratados, excluindo-se os dados espúrios, a partir de índices termohalinos de Silveira (2007). Analogamente à extração da velocidade modelada, por meio da posição e do tempo dos perfiladores, tornam-se possível extrair a temperatura e salinidade do resultado do modelo. Novamente, a aplicação do diagrama de Taylor permitirá a análise estatística dos parâmetros.

3.3.4 Procedimentos realizados com o modelo

3.3.4.1 Definição das seções zonais

Com a finalidade de investigar a CCI na costa leste/sudeste brasileira, duas seções zonais foram selecionadas (Figura 15). Quando a CCI se aproxima da CVT, essa sofre inúmeras alterações, uma dessas alterações é causada pela presença do Vórtice de Vitória (COSTA et al., 2016). Portanto, foi tomada como referência a latitude de 21°S para a definição de uma das seções a serem consideradas no presente estudo. Por fim, foi tomada também como referência a latitude de 23°S, para a definição de uma segunda seção zonal, por ser essa região significativamente afetada pelo vórtice de Cabo Frio. É esperada pronunciada atividade de mesoescala na área, pois o meandramento da CCI é comum nesta região (CALADO et al. 2001).

A escolha de uma seção mais ao sul, nos entornos de 27°S, poderia ser uma iniciativa para estudar a variabilidade da CCI em regiões próxima de sua origem. Todavia, a escolha de uma seção próxima da latitude de origem da CCI poderia apresentar inúmeras instabilidades associada à própria região de origem da CCI.

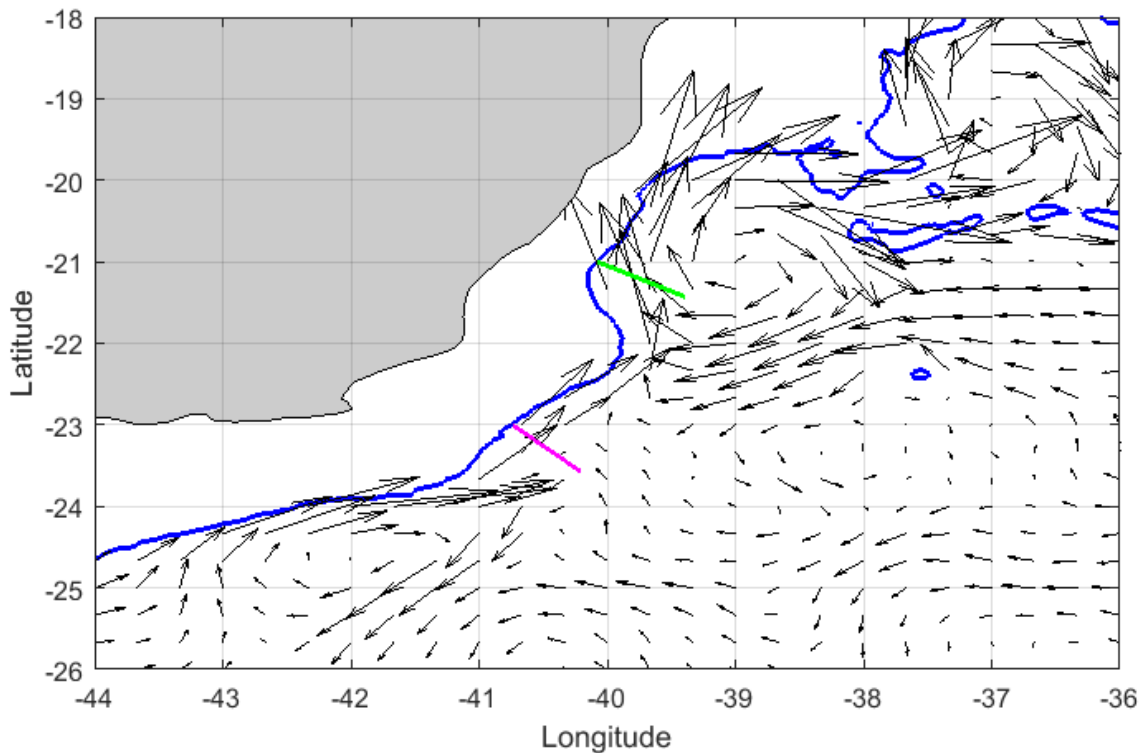


Figura 15 – Campo médio de velocidade do GOUD-024, entre 750 e 900 metros de profundidade, no mês de abril de 2013. A linha rosa indica a seção de 23°S e a linha verde indica a seção de 21°S. A área sombreada retrata o continente e a linha azul indica a isobatemétrica de 800 metros.

3.3.4.2 Delimitação vertical e lateral da CCI

Ao terminar a análise de desempenho do GOUD-024 em representar a estrutura da CCI, os limites termohalinos da Água Intermediária Antártica (AIA) e da Água Circumpolar Superior (ACS) foram considerados para limitar verticalmente a CCI. Silveira (2007), a partir de estudos climatológicos realizado na Bacia de Campos, definiu os limites termohalinos da AIA e da ACS para suas fronteiras verticais (da maior profundidade até a menor profundidade). A primeira apresenta temperatura de 3,46 a 8,72 °C e salinidade de 34,42 a 34,66, enquanto a ACS apresenta temperatura de 3,31 a 3,46 e salinidade de 34,59 a 34,42. Esses índices termohalinos obtidos por Silveira (2007) foram usados no presente trabalho. Vale salientar que neste trabalho, a CCI foi abordada como uma corrente que transporta apenas AIA e ACS.

Com os limites termohalinos supracitados, isopicnais típicas do limite superior da AIA e isopicnais típicas do limite inferior da ACS foram calculadas para limitar verticalmente a CCI, cujos limites de $\sigma\text{-}\theta$ foram 26.9 e 27.53,

em consonância com limites propostos por Memery et al. (2000). Para determinar a espessura da CCI, basta subtrair a profundidade do seu nível superior da profundidade da sua camada inferior.

Após a delimitação dos limites verticais da CCI, os limites laterais desta foram determinados para permitir o cálculo do transporte de volume associado. Legeias et al. (2013) relataram que o número de perfiladores que flui para o norte em um ângulo de até 30° cai drasticamente após o limite de 85 quilômetros (distância contada a partir da isobatimétrica de 800 metros) (Figura 16). Por se tratar de uma abordagem com dados *in situ*, no presente estudo utilizaremos este valor de 85 km para limitarmos a CCI a partir da isobatimétrica de 800 metros, ou seja, consideramos uma largura fixa para a CCI. É importante destacar, que as seções zonais utilizadas são perpendiculares à isobatimétrica de 800 metros.

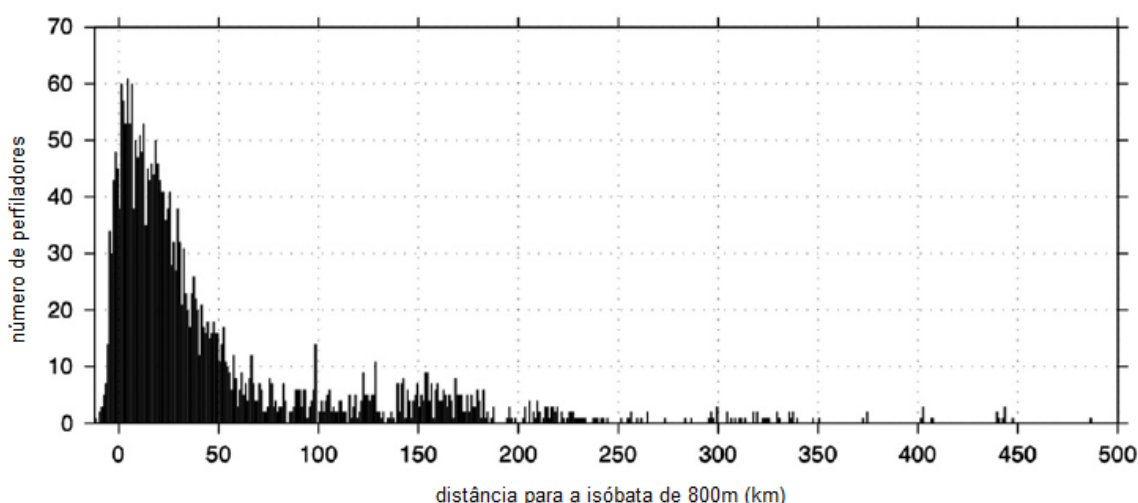


Figura 16 – Histograma da distância dos perfiladores em km para a isóbata de 800 metros, para todos perfiladores localizados até a isóbata de 3500 metros, cujo as velocidades fazem um ângulo menor que 30° com a isobatimétrica de 800 metros. Fonte: Legeias et al. (2013).

O produto modelado utilizado nesta dissertação apresenta maior resolução espacial nas camadas de superfície. Conforme a profundidade aumenta, o espaçamento entre as camadas se eleva (Figura 13). Como foram usadas isopicnais para limitar a CCI verticalmente, o número de camadas utilizadas para calcular o transporte da CCI é variável, porém não ultrapassa sete camadas. Para a estimativa de transporte de volume da CCI, as velocidades meridionais rotacionadas foram integradas verticalmente. Para a análise temporal das velocidades meridionais rotacionadas e os produtos de

temperatura e salinidade, um valor médio mensal desses parâmetros foi obtido por meio de média simples do produto disposto em camadas. Os produtos rotacionados foram obtidos multiplicando os produtos originais do GOUD-024 pelo cosseno da inclinação entre a seção zonal adotada neste trabalho e o eixo leste-oeste (Figura 17). Na seção de 21°S, esta inclinação foi de aproximadamente 34 graus, já em 23°S a inclinação foi cerca de 50 graus.

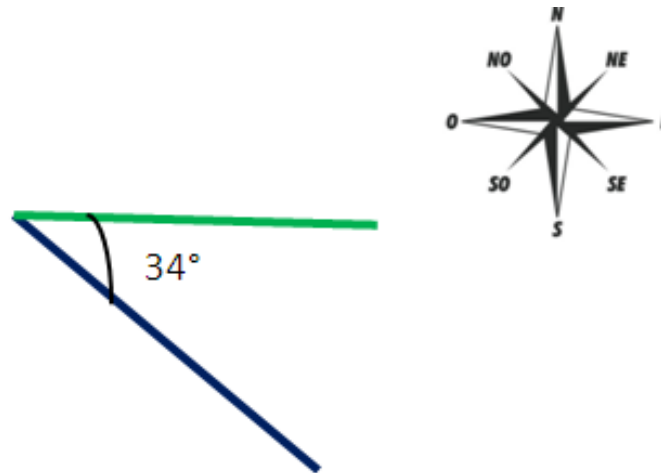


Figura 17 – Esquema do eixo zonal do GOUD-024 (linha verde) e da seção zonal adotada em 21°S (linha azul).

Combinando as informações da velocidade meridional rotacionada da coluna d'água integrada verticalmente com o valor de largura da CCI foi possível estimar o transporte de volume da CCI (equação II).

$$Tv = \int_0^L \int_{-h(z)}^0 v(x, z, t) dz dx \quad (II)$$

Onde: Tv= transporte de volume; v=componente de velocidade normal à seção; L= limite da dimensão lateral; -h(z)= limite da dimensão vertical; z= dimensão vertical e x= dimensão lateral.

Como a largura da corrente é fixa, pode-se reescrever a equação II:

$$Tv = 85000 * \int_{-h}^0 v(z, t) dz \quad (III)$$

Finalmente, as velocidades meridionais rotacionadas do modelo, restritas aos limitrofes verticais da CCI e a seções latitudinais de 85 quilômetros de largura, permitirão o cálculo de transporte da CCI.

Em síntese, foram exibidos a temperatura, salinidade, transporte meridional e a velocidade meridional da CCI, para cada mês durante o período

de 2007 a 2016. As informações foram apresentadas através de séries temporais. Complementarmente, foram construídos diagramas de Hovmöller do transporte de volume. Adicionalmente foram descritos o Coeficiente de Variação (CV) (métrica estatística referente a razão entre o desvio padrão e o módulo da média) para as séries temporais mensais médias referente à salinidade, temperatura e velocidade da CCI. Para o transporte integrado verticalmente, também foi efetuada uma análise por meio do CV. Lembrando que o coeficiente de variação também pode ser denominado de desvio padrão relativo.

As velocidades máximas e mínimas mensais da CCI estabeleceram os meses, onde a análise da seção vertical de velocidade meridional e a análise dos campos de velocidade resultante (discutido na próxima seção) foram realizadas.

3.3.4.3 Variabilidade espacial

Com intuito de investigar a variabilidade espacial do fluxo em nível intermediário, foram efetuadas análises dos campos de velocidade resultante (velocidade resultante média dos níveis de 750 e 900 metros). Os níveis de 750 e 900 metros foram escolhidos, baseado nos estudos de Schmid & Garzoli (2009) e Silva (2013). Esses autores encontraram a salinidade mínima do diagrama de TS nesta faixa de profundidade, para a costa leste/sudeste brasileira. Além disso, Silveira et al. (2015) relataram que a velocidade máxima em nível intermediário está associada ao mínimo de salinidade do diagrama TS.

Deve-se ressaltar, que apenas no estudo dos campos de velocidade resultante não foi usado o produto rotacionado, nas outras análises foi utilizado o produto rotacionado.

3.3.4.4 Escalas de Variabilidade temporal

Com a finalidade de identificar as escalas de variabilidade temporal da CCI na área de estudo, foi aplicada a transformada de ondaleta nas duas seções zonais associadas ao transporte meridional rotacionado. Em processamento de sinais, a transformada de Fourier (TF) é considerada um

dos métodos mais populares no tratamento de sinais. Contudo, esta técnica é útil apenas para fenômenos estacionários, uma vez que não há relação entre a frequência e o tempo neste tipo de análise (FARGE, 1992). Com intuito de atualizar a TF, Garbor (1946) formulou a transformada janelada de Fourier, que constituiu o primeiro método capaz de realizar a associação tempo/frequência no tratamento de um sinal. No entanto, estas janelas são fixas, e na análise de sinais, recorrentemente é necessário um enfoque mais flexível. Desta forma, surge a transformada de ondaleta, que é interpretada como uma técnica de janelas móveis, que permite a compressão ou dilatação para capturar sinais em baixa e alta frequência (MORLET, 1983).

Por meio de funções de ondaleta é possível extrair informações de energia de um fenômeno, como foi realizado por Torrence & Compo (1998), em um estudo climatológico. Estes autores foram capazes de detectar um sinal de El Niño - Oscilação Sul (ENOS) (Figura 18), a partir de séries temporais de temperatura superficial do mar, cujo período de oscilação mais importante foi de 3-5 anos. Vale salientar que a região abaixo da linha contínua em formato de arco, presente no espectro de energia da ondaleta (EEO) ou no espectro global da ondaleta (EGO), deve ser considerada como duvidosa, visto que o nível de confiança é menor que 5%. No EEO esta linha é denominada cone de influência.

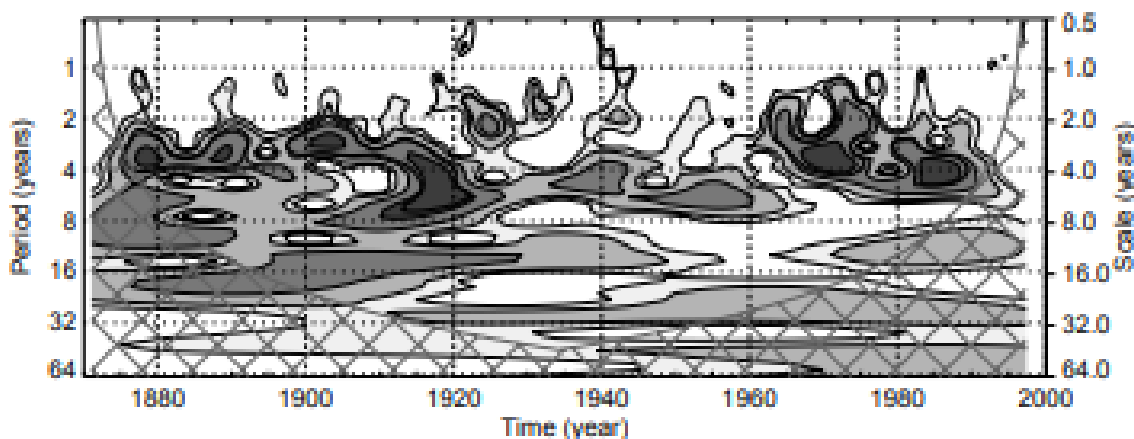


Figura 18 – Exemplo de EEO com dados de temperatura superficial do mar, onde os tons de cinza indicam a energia do sinal associado a cada frequência e tempo. Fonte: Torrence & Compo (1998).

4 RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DE DESEMPENHO DO GOUD-024

Os perfiladores 181, 201, 211, 221 e 231B coletaram dados da superfície até cerca de 600 metros de profundidade. Como a CCI adotada neste trabalho transporta apenas massas d'águas intermediárias, a primeira camada da CCI extraída do GOUD-04, em geral, refere-se ao nível de 453 ou 541 metros. Portanto, quando foi examinado apenas a CCI, estes perfiladores foram associados a no máximo 2 níveis verticais da base hidrodinâmica considerada. Desta forma, o coeficiente de correlação entre o produto modelado e o observado foi unitário ou infinito. Tornando desnecessária a aplicação do DT para estes perfiladores, de maneira individual.

Todos os dados de temperatura e salinidade, exceto os dados de salinidade do perfilador 191, apresentaram resultados bons, com correlação entre o produto modelado e a observação superior a 99 %. Uma análise prévia do perfil de salinidade do perfilador 191 indicou a presença de dados espúrios. Na análise dos DTs de salinidade, além do perfilador 191, somente o perfilador 111A_1 apresentou desvio padrão do produto modelado distante do desvio padrão observado (diferença superior a 25%) e a raiz do erro médio quadrático (RMS) maior que 0,05.

Na Figura 19, é ilustrado o DT de salinidade combinado de todos os perfiladores com mais de duas camadas na CCI, excetuando o perfilador 191. Este DT revelou alto grau de similaridade entre o observado (ponto azul) e o produto modelado (ponto vermelho), onde a correlação foi de aproximadamente 97%.

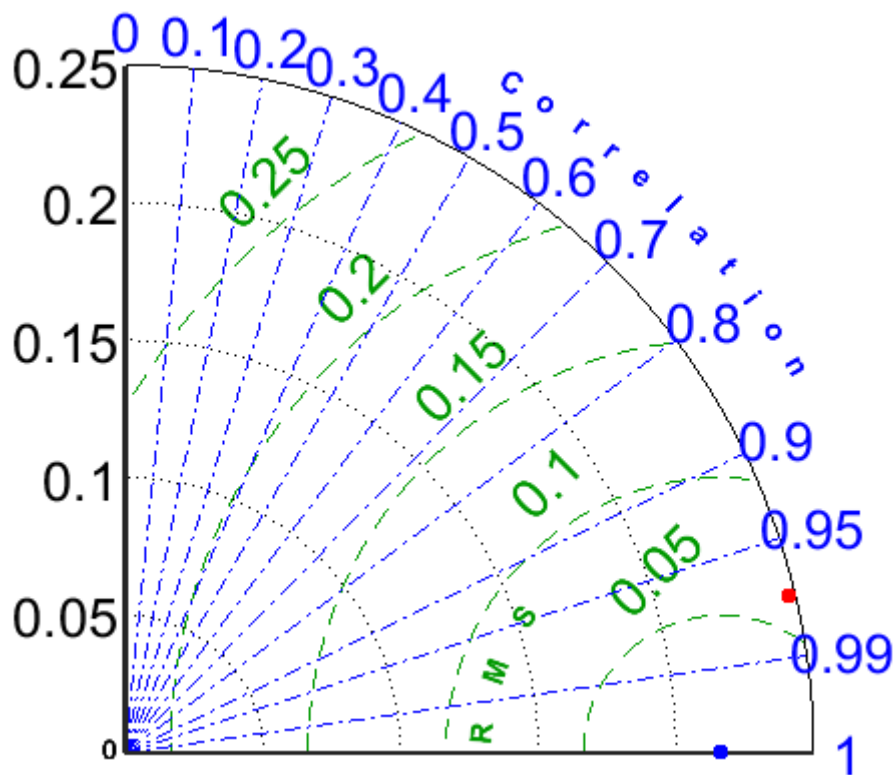


Figura 19 - DT de salinidade combinado. O ponto azul é referente à observação, enquanto o ponto em vermelho é o produto modelado.

Os resultados de DTs de temperatura foram ainda melhores, todos os trechos apresentaram desvio padrão modelado próximo do desvio padrão observado (diferença menor ou igual a 25%) e RMS menor que 1. É apresentado abaixo (Figura 20) o DT de temperatura combinado de todos perfiladores com mais de duas camadas na CCI. Foi notada grande similaridade entre a observação e o produto modelado, onde a correlação foi próxima de 99%.

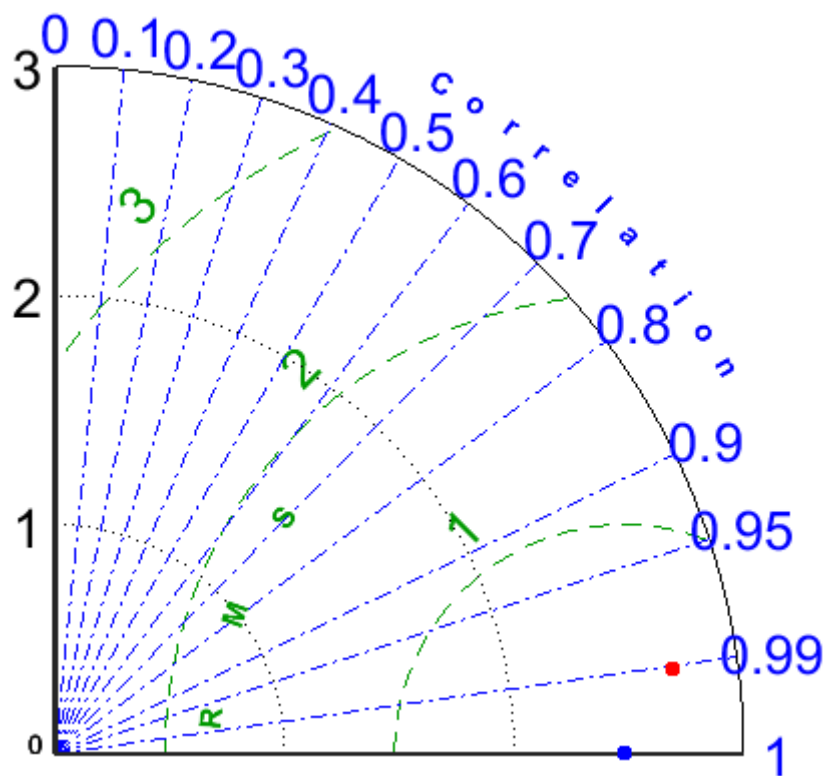


Figura 20 - DT de temperatura combinado. O ponto azul é referente à observação, enquanto o ponto em vermelho é o produto modelado.

Na Tabela 3, foi observado que aproximadamente metade das observações apresentou correlação maior ou igual a 50 % e o RMS menor que o desvio padrão, para ambas as componentes meridionais e zonais. Este conjunto de dados mostrou o GOUD-024 com resultados próximo da observação, uma vez que sua resolução espacial horizontal é de 9 km, e para os níveis da CCI o espaçamento vertical pode chegar a valores próximo de 200 metros.

Tabela 3 – Classificação dos perfiladores em duas classes, a partir da correlação, RMS e desvio padrão.

	Correlação $\geq 50\%$ e RMS <Desvio Padrão	Correlação <50% ou RMS >Desvio Padrão
Componente Meridional	231B; 111A; 131A; 191 e 31	221; 201; 111B; 211; 181 e 121
Componente Zonal	221; 231B; 131A; 111A; 211 e 31	201; 111B; 191; 181; 121

Nas Figura 21 e Figura 22, são representados os DTs de velocidade meridional e zonal de todos perfiladores utilizados, respectivamente. Ambos os DTs apresentam resultados satisfatórios. A correlação relatada foi maior que 60%, o desvio padrão observado é próximo do desvio padrão modelado, e o RMS é similar ao desvio padrão.

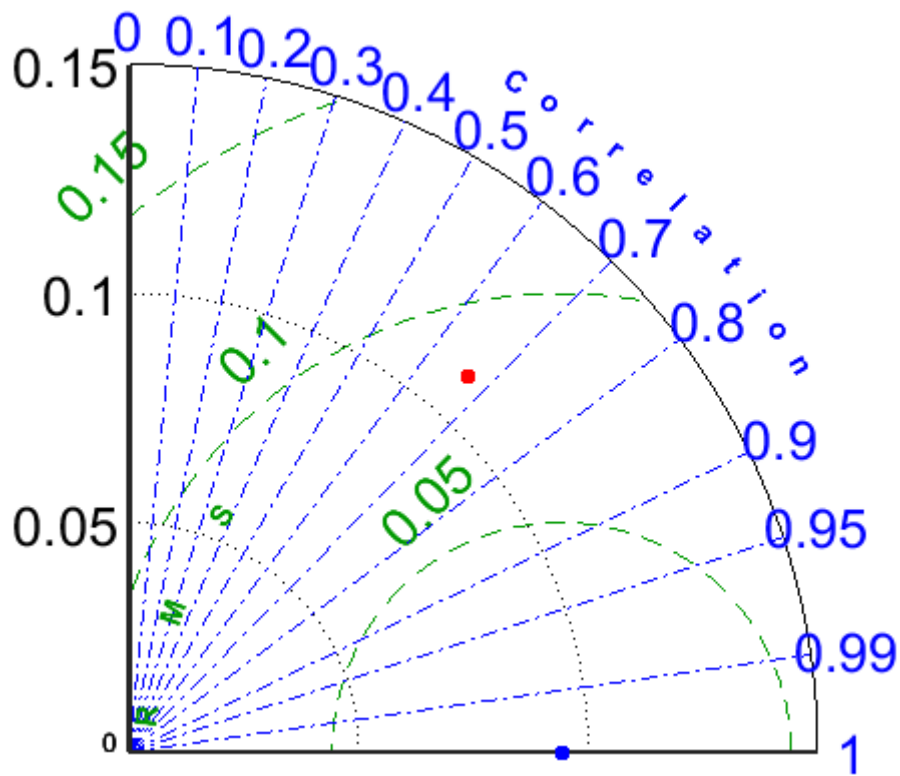


Figura 21 - DT de velocidade meridional combinado. O ponto azul é referente à observação, enquanto o ponto em vermelho é o produto modelado.

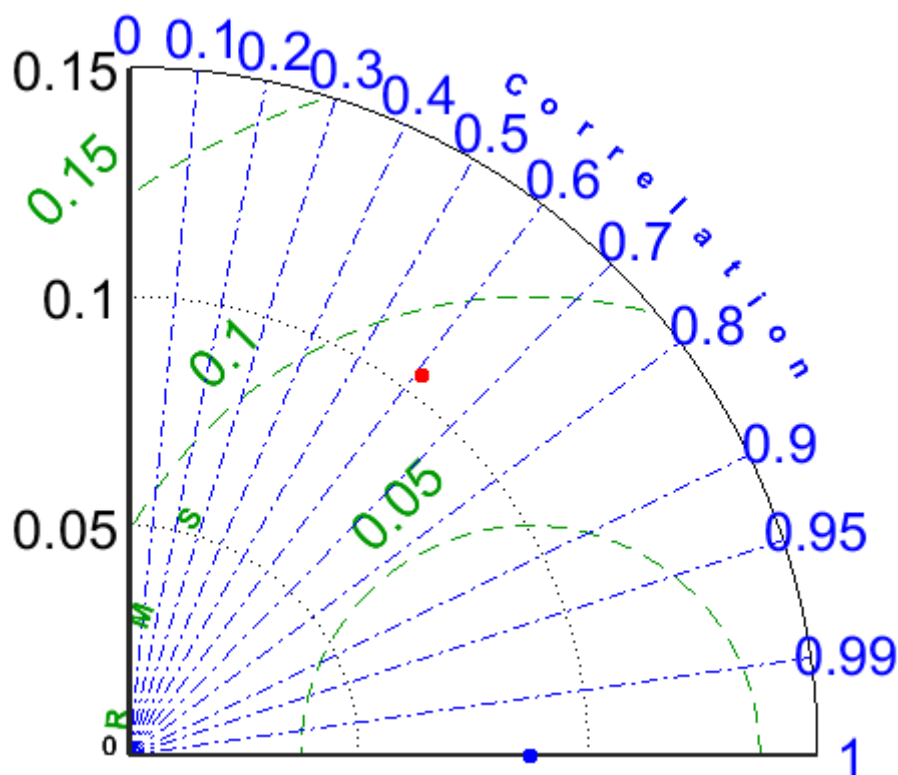


Figura 22 - DT de velocidade zonal combinado. O ponto azul é referente à observação, enquanto o ponto em vermelho é o produto modelado.

4.1.1 Estrutura de velocidade a partir dos perfiladores

As velocidades resultantes estimadas para os níveis de 600 e 1000 metros, em regiões do talude continental das costas leste e sudeste brasileira, são exibidas nas Tabela 4 e Tabela 5, onde a informação de velocidade foi separada em períodos e regiões de ocorrência.

É evidente que na média, a CCI se intensifica até a CVT (Tabela 4 e Tabela 5), conforme reportado por Legeais et al. (2013). Próximo a CVT, entre as latitudes de 20°S e 22°S, foram encontradas as maiores estimativas de velocidade, tanto para os perfiladores a 600 metros como para os perfiladores a 1000 metros. Em 1000 metros, velocidade média de 0,342 m/s foi observada, enquanto que em 600 metros o fluxo médio foi de 0,337 m/s neste trecho de latitude. Portanto, próximos dos 0,35 m/s percorridos por Evans & Signorini, (1985) em 23°S, e abaixo das velocidades individuais de 0,5 m/s reportada por Legeais et al. (2013) em 20,5°S.

No trecho entre 22°S e 24°S, a velocidade média em 600 metros (-0,213 m/s) é cerca de 20% maior que a velocidade média em 1000 metros(-0,171 m/s), diferentemente do que ocorre no trecho percorrido acima, no qual as velocidades médias em 600 e 1000 metros são similares. Em congruência com os resultados em 600 metros, Silveira et al. (2008) encontraram velocidade média de 0,22 m/s para o fluxo intermediário em 23°S. Mais ao sul, entre 24°S e 26°S, o fluxo também é mais intenso em 600 metros do que em 1000 metros, a velocidade média em 600 metros foi de 0,125 m/s, enquanto em 1000 metros a velocidade média foi de 0,096 m/s.

Ao sul de 26°S, apenas em 1000 metros houve perfiladores no talude continental para descrever a corrente. Entre 26°S e 28°S, a menor velocidade média para o norte foi registrada, através do perfilador 111B o fluxo médio de 0,067 m/s foi estimado. Finalmente no extremo sul da área de estudo, entre 28°S e 30°S, pela primeira vez neste trabalho foi reportada velocidade resultante negativa, ou seja, corrente fluindo para sul. Por meio do perfilador 231B, velocidade média de -0,131 m/s foi reportada. Diante do exposto neste parágrafo, sugere-se que em nível intermediário, próximo a 28°S, há uma região de transição entre a CCI e CB, conforme relatos de Boebel et al. (1999) e Legeais et al. (2013). Onde as velocidades mais reduzidas para o norte indicam a origem da CCI, e o primeiro registro de velocidade para sul mostra a CB em nível intermediário.

Tabela 4 – Velocidade dos perfiladores em m/s a 1000 metros de profundidade.

Perfilador	Período	Velocidade Resultante	Região
31	29/12/14 a 15/02/15	0,096 m/s	24°- 26° S
	15/02/15 a 08/03/15	0,171 m/s	22°- 24° S
	08/03/15 a 14/03/15	0,342 m/s	20°- 22°S
111B	28/12/14 a 11/02/15	0,067 m/s	26°- 28°S
	11/02/15 a 03/04/15	0,096 m/s	24°- 26°S
231B	11/05/15 a 30/05/15	-0,131 m/s	28°- 30°S

Tabela 5 - Velocidade dos perfiladores em m/s a 600 metros de profundidade.

Perfilador	Período	Velocidade Resultante	Região
121	20/04/14 a 05/05/14	0,212 m/s	22°- 24° S
181	11/10/14 a 19/10/14	0,279 m/s	20°- 22°S
191	03/10/14 a 18/10/14	0,214 m/s	22°- 24°S
	18/10/14 a 27/10/14	0,389 m/s	20° - 22°S
111A	13/06/14 a 13/07/14	0,125 m/s	24° - 26°S

Complementarmente, fluindo em 600 metros os perfiladores 121 e 131A capturaram estruturas ciclônicas que se assemelham a vórtices. O perfilador 121 efetuou dois giros ciclônicos no Embaiamento de Tubarão (Figura 23), indicando que esta estrutura seja o Vórtice de Vitória. Os vórtices ciclônicos ocorreram de 20/05/2014 a 31/07/2014. O raio médio deste vórtice foi de 38,7 quilômetros, enquanto sua velocidade média foi de 0,09 m/s.

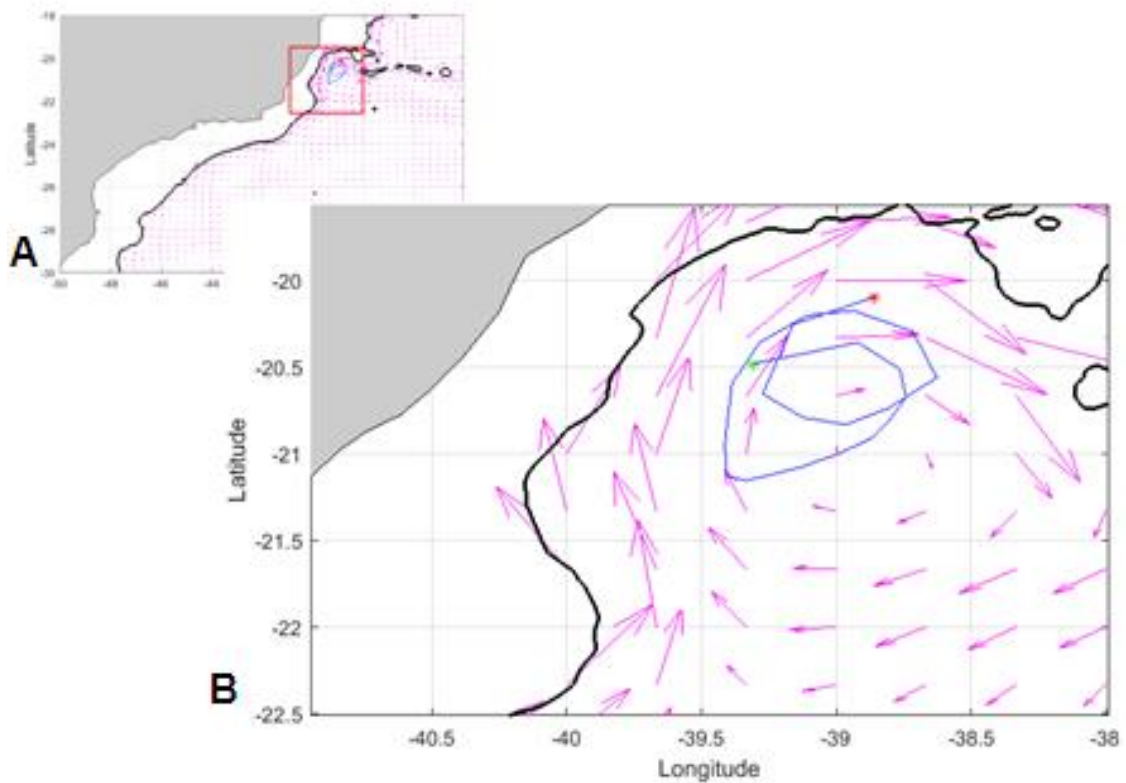


Figura 23 – Trajetória do flutuador 121 (em azul) com campo médio de velocidade modelada no fundo (rosa), entre 20/05/2014 e 31/07/2014. A) Posicionamento da trajetória do flutuador na área de estudo (retângulo vermelho). B) Destaque para a trajetória do flutuador 121 no Embaiamento de Tubarão. O ponto verde indica o início da trajetória e o ponto vermelho indica o fim da trajetória.

Mais ao sul, próximo a cidade de Cabo Frio, o perfilador 131A realizou três voltas horárias (Figura 24), provavelmente, esta estrutura ciclônica é o Vórtice de Cabo Frio (VCF). Este fenômeno persistiu do dia 09/04/2014 até 14/06/2014. O raio médio do suposto VCF foi de 37,6 quilômetros, e sua velocidade média foi de 0,109 m/s.

Pode-se notar que o GOUD-024 produz feições de mesoescala próxima do observado, no mesmo período da trajetória desses dois perfiladores.

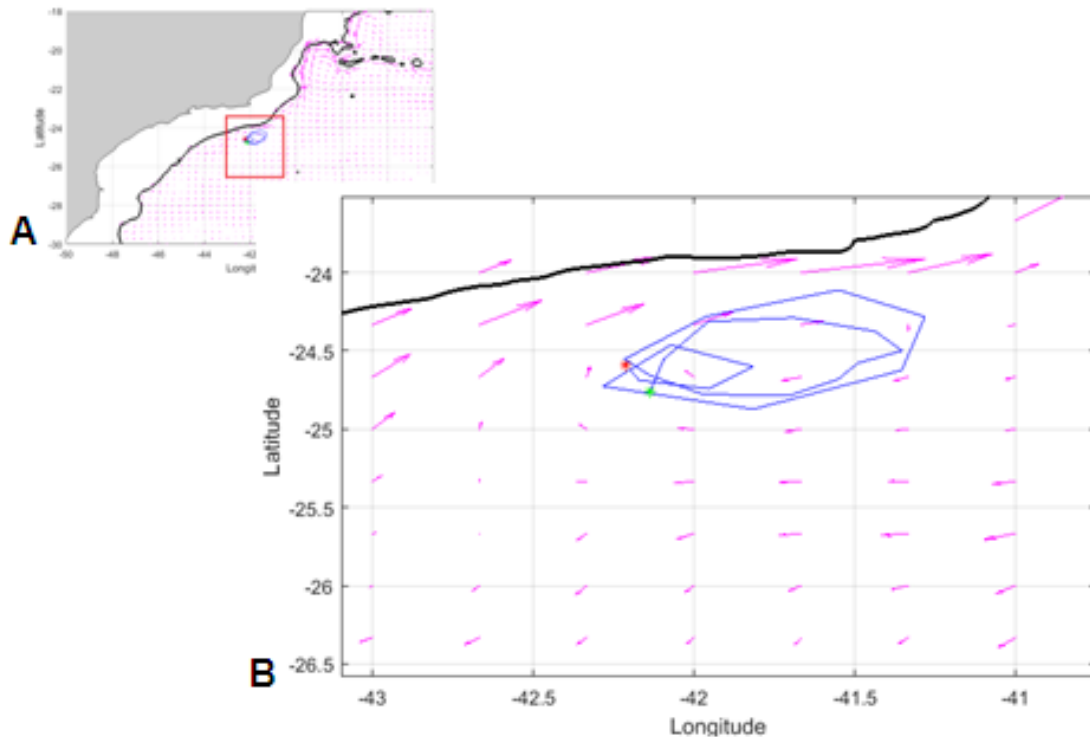


Figura 24 - Trajetória do flutuador 131A (em azul) com campo médio de velocidade modelada no fundo (rosa), entre 09/04/2014 e 14/06/2014. A) Posicionamento da trajetória do flutuador na área de estudo (retângulo vermelho). B) Destaque para a trajetória do flutuador 131A no Largo de Cabo Frio. O ponto verde indica o início da trajetória e o ponto vermelho indica o fim da trajetória.

4.1.2 Diagrama TS dos perfiladores

Na Figura 25, é ilustrado um diagrama TS para o nível intermediário, de todos os perfiladores presentes na área de estudo, exceto o perfilador 191. No nível superior da CCI, é notada uma massa d'água com temperatura de até 8,7°C e salinidade próxima de 34,66. O núcleo da AIA apresenta temperatura em torno 4,5°C, e sua salinidade mínima atinge valores de 34,3. Por fim, a base da CCI possui temperatura de até 3,5°C e salinidade de 34,61. Os índices termohalinos do limite superior e inferior da CCI descritos neste trabalho estão de acordo com o reportado por Silveira (2007) em seu estudo climatológico. Mas, o mínimo de salinidade encontrado por esse autor foi cerca de 0,12 maior do que o reportado neste trabalho.

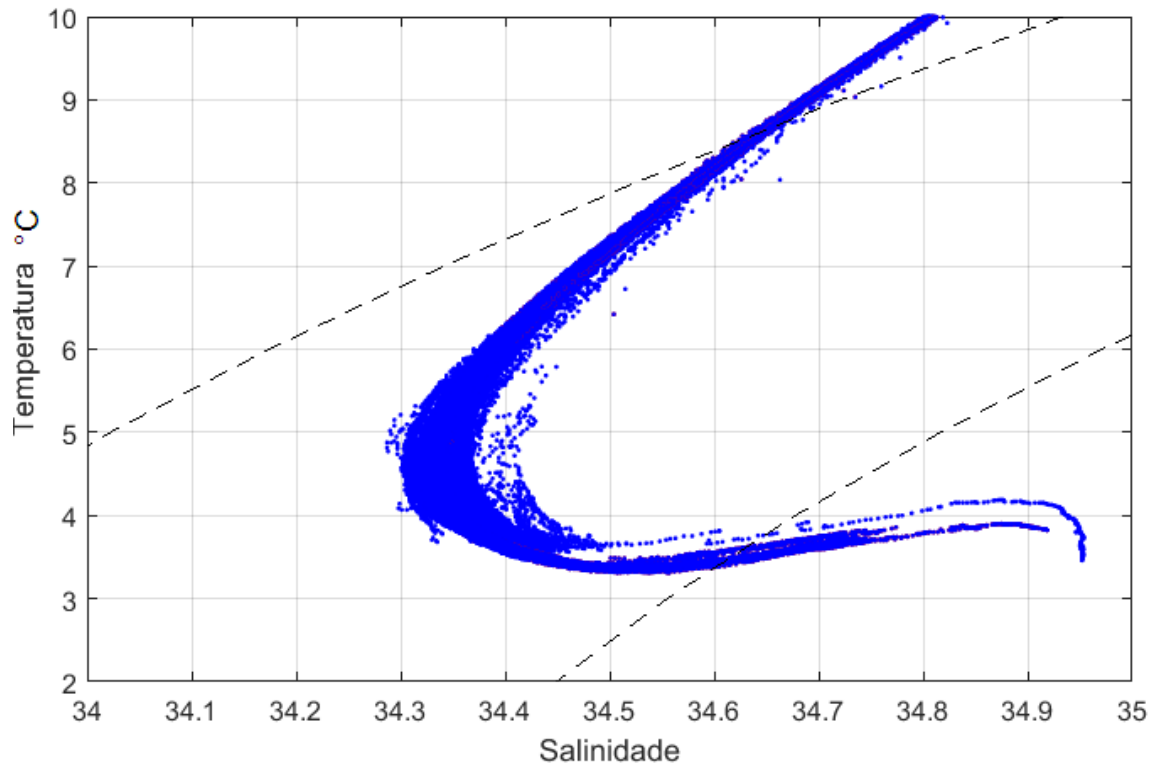


Figura 25 – Diagrama TS dos dados observados, para o trecho da CCI. A linha pontilhada superior representa a isopícnal de 26,9 ($\sigma\text{-}\theta=26.9$), já a linha pontilhada inferior representa a isopícnal de 27,53 ($\sigma\text{-}\theta=27.53$).

4.2 VARIABILIDADE DA CCI

4.2.1 Seção 21°S

Os maiores registros de transporte mensal médio de volume meridional da CCI são encontrados em 21°S, onde a média é de $7,77 \pm 1,81$ Sv (Figura 26.A). Por conseguinte, estimativa idêntica a promediação do transporte em nível intermediário entre 20 e 22°S contido na Tabela 1. Recorrentemente, o transporte médio mensal é superior a 8 Sv, especialmente depois de 2012. Em abril de 2013, o maior registro de transporte é encontrado, apresentando valor de 11,82 Sv, enquanto que em março de 2010, o transporte médio mensal mínimo de 1,76 Sv é reportado para esta seção, o que mostra a inexistência de transporte médio para sul nesta região. Complementarmente, o ano de 2013 possui a mais elevada média de estimativa de transporte, chegando a valores próximos de 9,83 Sv. Esta estimativa se situa entre os 10 Sv relatados por Schmid & Garzoli (2009) em 20°S, e os 9,1 Sv obtidos por Pereira et al. (2014)

em 22°S, a partir dos resultados numéricos do HYCOM. Entre julho e agosto de 2014, foi observada a maior variação de transporte mensal, diferença de aproximadamente 5,1 Sv foi reportada.

É notório que há grande similaridade entre a variabilidade temporal do transporte de volume e a velocidade meridional da CCI, onde a correlação é de aproximadamente 96,5%. Porém, o maior registro de velocidade não coincide com o transporte médio mensal máximo. Enquanto o transporte máximo ocorre em abril de 2013, a velocidade máxima é encontrada em junho de 2014, com valor de 0,27 m/s. Esta velocidade mensal máxima é a que mais se aproxima das estimativas de velocidade da CCI efetuadas através dos perfiladores do projeto Azul, realizadas em uma região similar neste trabalho. No entanto, deve-se considerar que em muitos casos, estas estimativas são realizadas por meio de medições de poucos dias e são consideradas as velocidades resultantes dos perfiladores.

A velocidade média da CCI obtida para o GOUD-024, foi de $0,173 \pm 0,042$ m/s (Figura 26.B). Esta estimativa de velocidade está compreendida entre os 0,12 m/s reportado por Muller et al. (1998) e os 0,22 m/s de Silveira et al. (2008), ambos os estudos foram realizados com fundeios em 23°S. Em acordo com as estimativas de transporte, a menor velocidade média ($\sim 0,036$ m/s) foi registrada em março de 2010.

Em 2012, a velocidade média da CCI sofreu um acréscimo notável, apresentando após este período, uma oscilação entre 0,12 e 0,27 m/s. No ano de 2013, observou-se as maiores velocidades médias da corrente, apresentando valor de 0,219 m/s como média anual, em concordância com o transporte médio anual máximo reportado para este mesmo ano.

Na Figura 26.C, nos meses de março e abril de 2010, o coeficiente de variação (CV) da velocidade meridional apresentou valores superiores a 70%, o que mostra elevada variabilidade neste período, que possivelmente está associado a atividades de mesoescala no nível intermediário. Em agosto de 2014, foi obtido valores superiores a 30%, o que pode explicar a variabilidade máxima de transporte mensal entre julho e agosto de 2014 reportada anteriormente.

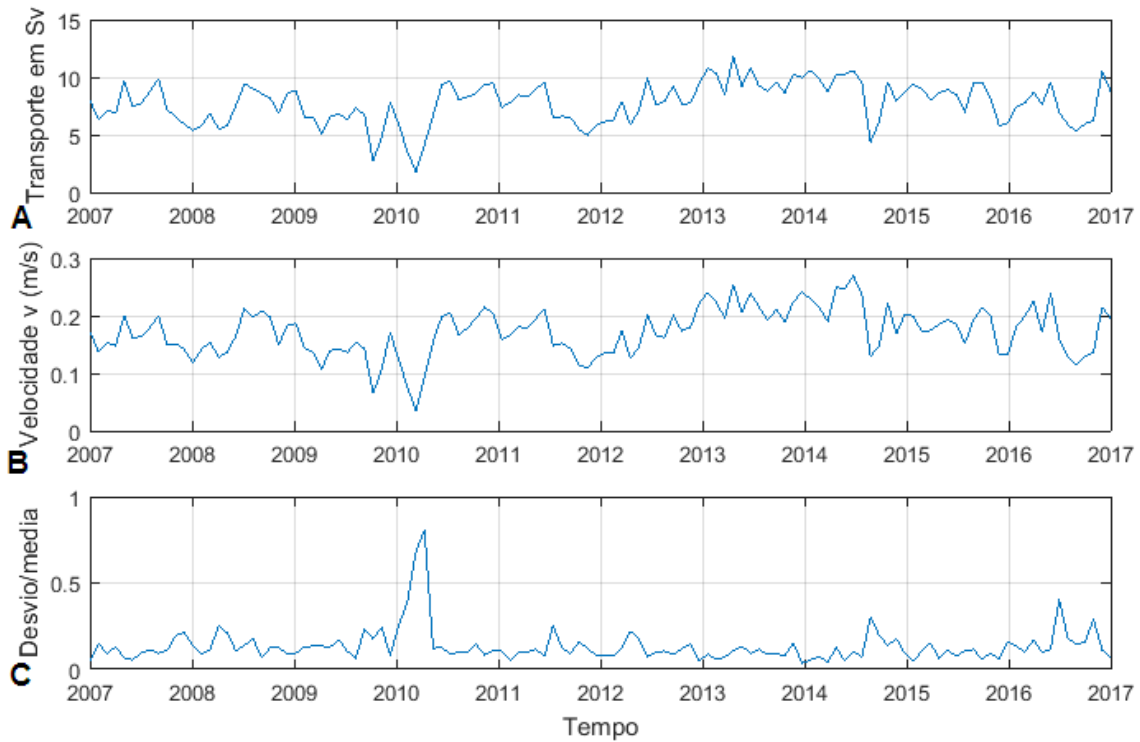


Figura 26 – Série temporal mensal em 21°S. A) Transporte Meridional da CCI (Sv). B) Velocidade Meridional da CCI (m/s) . C) Coeficiente de Variação da velocidade meridional da CCI.

Os resultados do GOUD-024 mostraram que a temperatura média da CCI em 21°S foi de $5,7 \pm 0,15$ °C (Figura 27.A). A temperatura mínima de 5,22 °C foi encontrada em agosto de 2014, em contrapartida a temperatura máxima de 6,03 °C foi reportada para o período de dezembro de 2013. Na Figura 27.C, é ilustrada a evolução temporal da salinidade mensal média da CCI, onde a salinidade média retratada foi de $34,57 \pm 0,02$. A salinidade mínima de 34,49 foi registrada em agosto de 2014, enquanto a salinidade máxima de 34,63 foi encontrada em julho de 2011. Em ambas as Figura 27.B e Figura 27.D, o maior registro do coeficiente de variação foi encontrado em setembro de 2014, onde valores superiores a 5% foi obtido para temperatura, conforme observado na Figura 27.B.

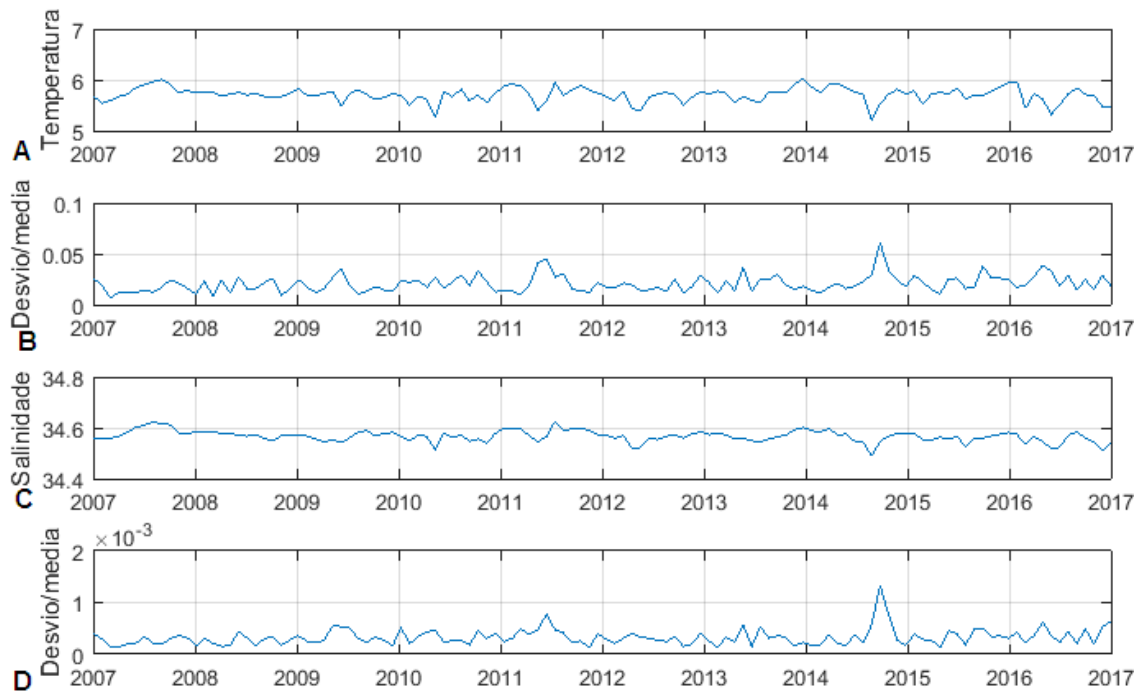


Figura 27 - Série temporal mensal em 21°S. A) Temperatura (°C) da CCI. B) Coeficiente de Variação da temperatura da CCI. C) Salinidade da CCI. D) Coeficiente de Variação da salinidade da CCI.

Na Figura 28, que representa o transporte meridional integrado verticalmente por ponto de grade, foi observado o transporte mais intenso nos pontos de grade mais costeiros. Entre 10 e 30 quilômetros da isobatimétrica de 800 metros, ocorrem os maiores registros de transporte integrado verticalmente, podendo ultrapassar o valor de 1,5 Sv. Todos estes registros ocorrem a partir do ano de 2012, onde em seis meses foram observados transporte superior a este valor. Adicionalmente, próximo a 30 quilômetros, em junho de 2014 foi reportado o transporte integrado máximo com valor ligeiramente superior a 1,7 Sv. Vale ressaltar que este único ponto de grade, que possui 9,5 quilômetros de largura, apresenta transporte mais elevado que os 1 Sv discorrido por Schmid & Garzoli (2009) em 22°S.

Pode-se observar que boa parte do período analisado possui transporte integrado superior a 1 Sv na seção de 21°S. Em distâncias superiores a 75 quilômetros da isobatimétrica de referência (IBR), sete meses obtiveram transporte integrado por ponto de grade superior a 1 Sv, sendo 57% destes meses presente no ano de 2013. Em março de 2010, foi relatado o transporte para sul mais intenso, valores próximos de -0,25 Sv foram atingidos, nos dois últimos pontos de grade adotados do modelo (pontos mais distantes

da costa), o que provavelmente explica o transporte mínimo da corrente para norte durante este mês, observado na Figura 26.A. Ainda esse registro máximo para sul, pode constituir mais um indício de ocorrência de atividade de mesoescala neste período.

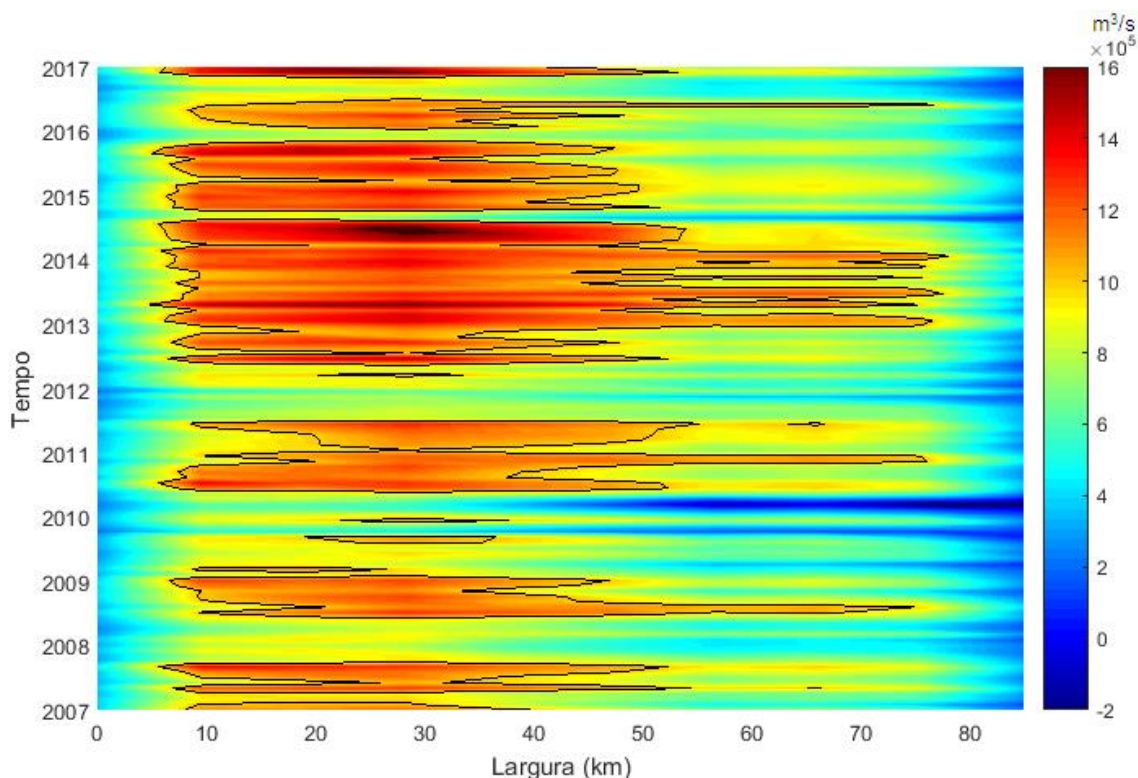


Figura 28- Diagrama Hovmöller do transporte meridional integrado verticalmente (m^3/s) em $21^\circ S$, as linhas de contorno indicam transporte de 1Sv.

Por meio da análise do CV do transporte integrado verticalmente, para cada ponto de grade (Figura 29), é possível observar que o desvio padrão consegue atingir valor superior a média nos meses de agosto de 2014 e fevereiro, março e abril de 2010, sendo que estes dois últimos meses corroboram os máximos de coeficiente de variação da velocidade meridional mensal desta seção (Figura 26.C).

No geral, registros mais intensos do coeficiente de variação são encontrados próximos a borda mais oceânica do limite lateral da CCI, o que indica maior atividade de mesoescala nestas regiões. Foi constatado que ao longo dos dez anos, 11 meses apresentaram o desvio padrão relativo do transporte integrado verticalmente superior a 0,5, no trecho de 17 quilômetros mais afastado da costa, ou seja, cerca de 10% de todo período analisado apresenta alta variabilidade em $21^\circ S$ em porções mais afastadas da costa.

Somente os meses de maio, julho e outubro não obtiveram estimativas de transporte integrado verticalmente com essas características.

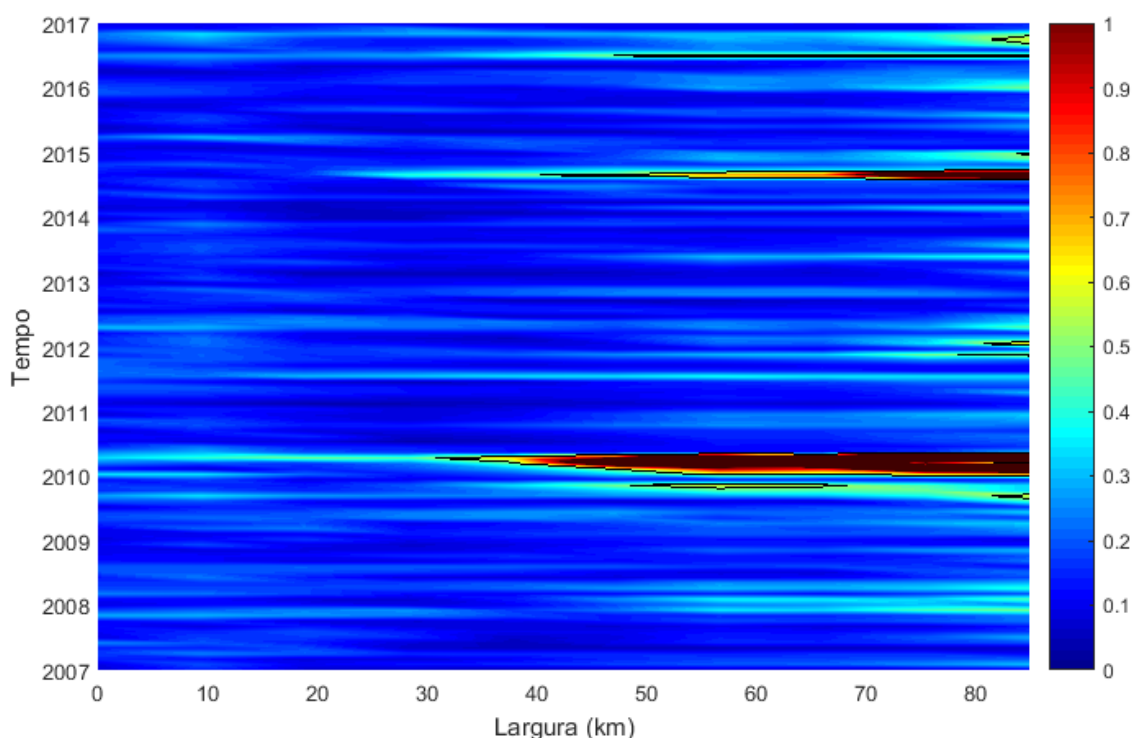


Figura 29 - Diagrama Hovmöller do coeficiente de variação do transporte meridional integrado verticalmente em 21°S, as linhas de contorno indicam CV de 0,5.

Na Figura 30, a seção vertical da velocidade meridional mensal mínima é exibida, a saber, em Março de 2010. A velocidade máxima de 0,157 m/s foi encontrada próxima de 550 metros de profundidade, entre 10 e 20 quilômetros da IBR, portanto pouco superior aos 0,12 m/s de velocidade média da CCI reportados por Muller et al. (1998). Por outro lado, no ponto de grade mais distante da costa também no nível aproximado de 550 metros, velocidade mínima de -0,1042 m/s foi registrada. Legeais et al. (2013) e Silva (2013), descreveram uma contra corrente em nível intermediário que flui para sul em regiões mais externas da margem continental, onde o fluxo médio de cerca -0,05 m/s ocorre entre 20.5°S e 27°S, aproximadamente, o que sugere que os valores mais intensos de velocidade para sul encontrados neste trabalho indiquem recorrente atividade de mesoescala nas regiões mais afastadas da costa da seção de 21°S. Durante este mês velocidades positivas são encontradas até a distância de 50 quilômetros da IBR, o que pode sugerir a presença de vórtice ciclônico em todos níveis da CCI. Adicionalmente, a CCI

apresenta espessura de aproximadamente 500 metros em toda seção de 21°S, valor este compreendido entre os 400 metros relatados por Boebel et al. (1999) e os 700 metros reportados por Stramma & England (1999).

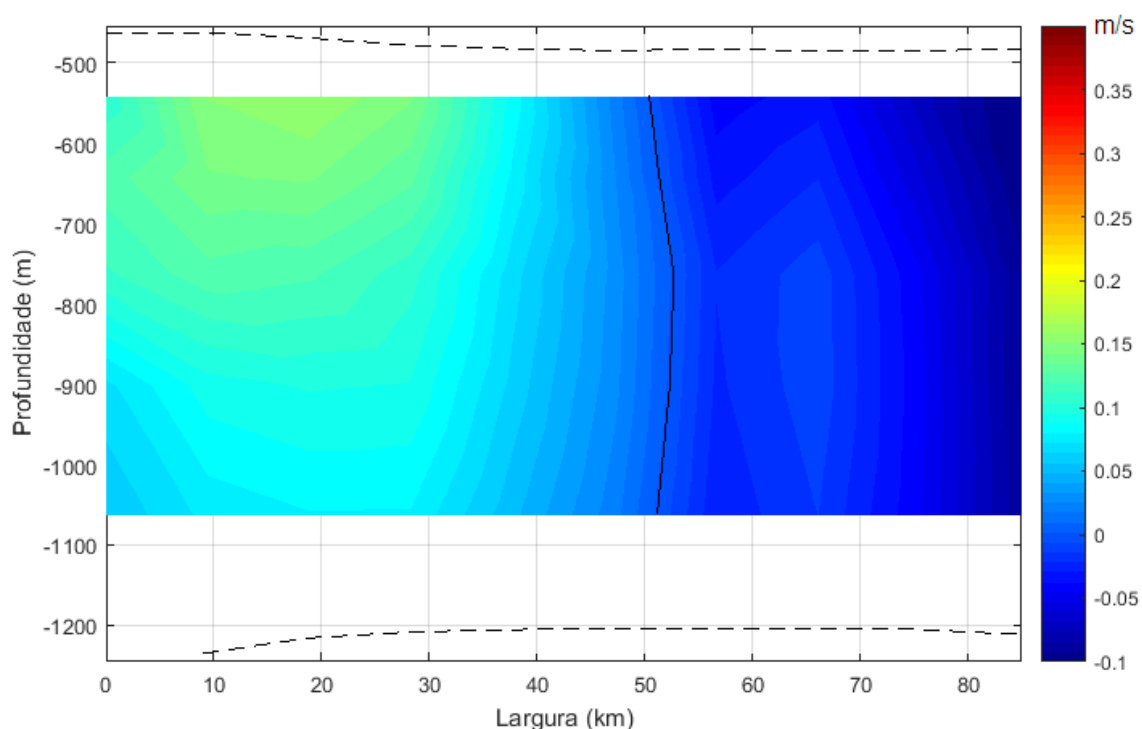


Figura 30 – Seção vertical de velocidade meridional da CCI em 21°S (m/s), no mês de março de 2010. A linha pontilhada superior representa a isopical de 26,9 ($\sigma\text{-}\theta=26.9$), já a linha pontilhada inferior representa a isopical de 27,53 ($\sigma\text{-}\theta=27.53$). A linha em negrito indica a região onde a velocidade da CCI é zero.

A análise da estrutura termohalina vertical do mês de março de 2010, identifica uma massa d'água estratificada (Figura 31.B), no qual a temperatura é mais elevada no nível de 550 metros ($\sim 8,6^{\circ}\text{C}$), enquanto a temperatura mínima de $3,6^{\circ}\text{C}$ foi reportada no limite inferior da CCI. A salinidade é mínima em torno de 900 metros (Figura 31.A), onde registros próximo de 34,45 foram observados, o que demonstra que o mínimo de salinidade não está associado ao máximo de velocidade até a distância de 50 quilômetros, ao contrário dos relatos de Silveira et al. (2015). Já a salinidade máxima de 34,78 ocorre no limite superior da CCI.

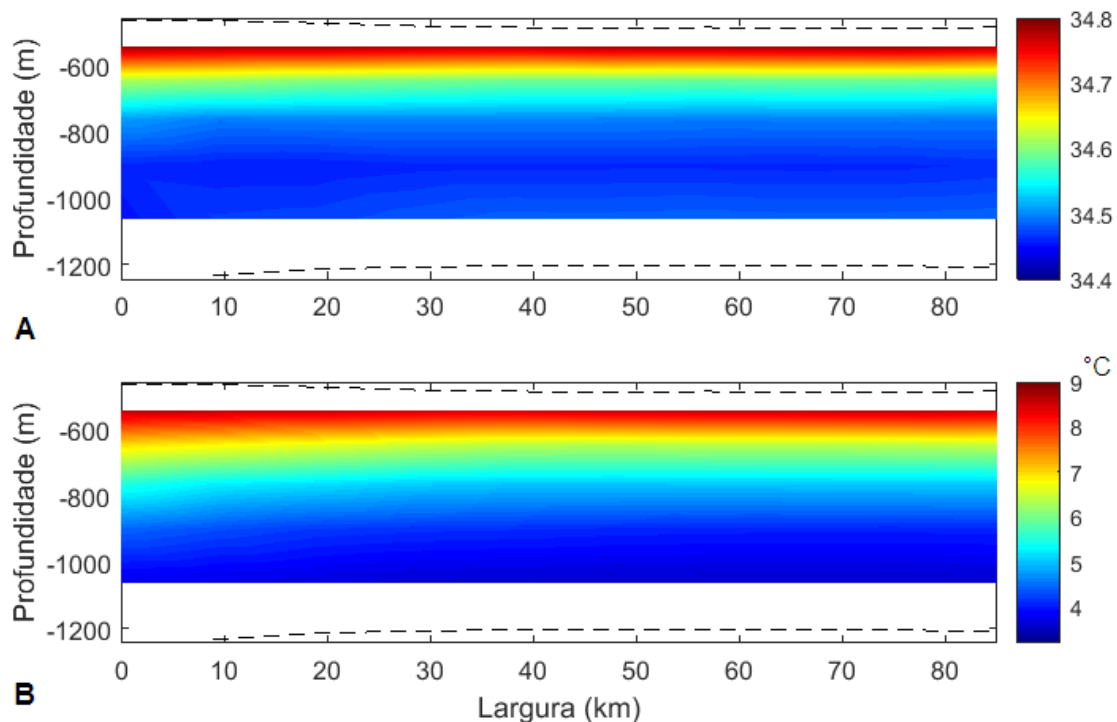


Figura 31 - Seção vertical de salinidade (A) e de temperatura (°C) (B) da CCI em 21°S, no mês de março de 2010. A linha pontilhada superior representa a isopicnal de 26,9 ($\sigma_{\theta}=26.9$), já a linha pontilhada inferior representa a isopicnal de 27,53 ($\sigma_{\theta}=27.53$).

Na Figura 32, é retratada a seção vertical da velocidade meridional mensal máxima. Em junho de 2014, próximo de 30 quilômetros da IBR, a velocidade máxima de 0,376 m/s foi descrita, exibindo valores superiores dos 0,3 m/s reportados por Legeais et al. (2013) em 20,5°S. Inclusive neste trecho, a CCI fica mais rasa e menos espessa, apresentando espessura de cerca de 350 metros entre 30 e 75 quilômetros, da IBR até 30 quilômetros, a espessura média da CCI é de 500 metros, enquanto no último ponto de grade, a espessura da corrente é de apenas 250 metros. Já a velocidade mínima de 0,149 m/s foi encontrada mais próxima da costa no limite inferior da CCI, sendo superior aos 0,12 m/s de velocidade média da CCI apontados por Muller et al. (1998) em 23°S.

Complementarmente, em junho de 2014, a salinidade mínima encontrada foi de 34,41 e a máxima foi de 34,77, ou seja, valores próximos dos obtidos para o mês de março de 2010. Todavia, o mínimo de salinidade migra de 900 metros para 750 metros na região que dista 30 quilômetros da isobatimétrica de 800 metros. A partir desta região, o mínimo de salinidade coincide com a região do núcleo da CCI (porção de velocidade máxima para

norte), similarmente ao discorrido por Silveira et al. (2015). Os setores coloridos de azul escuro indicam as regiões com dado espúrio de salinidade, ou seja, elementos de grade do modelo que não são limitadas pelas isopicnais adotadas neste trabalho durante todos os dias do mês referido.

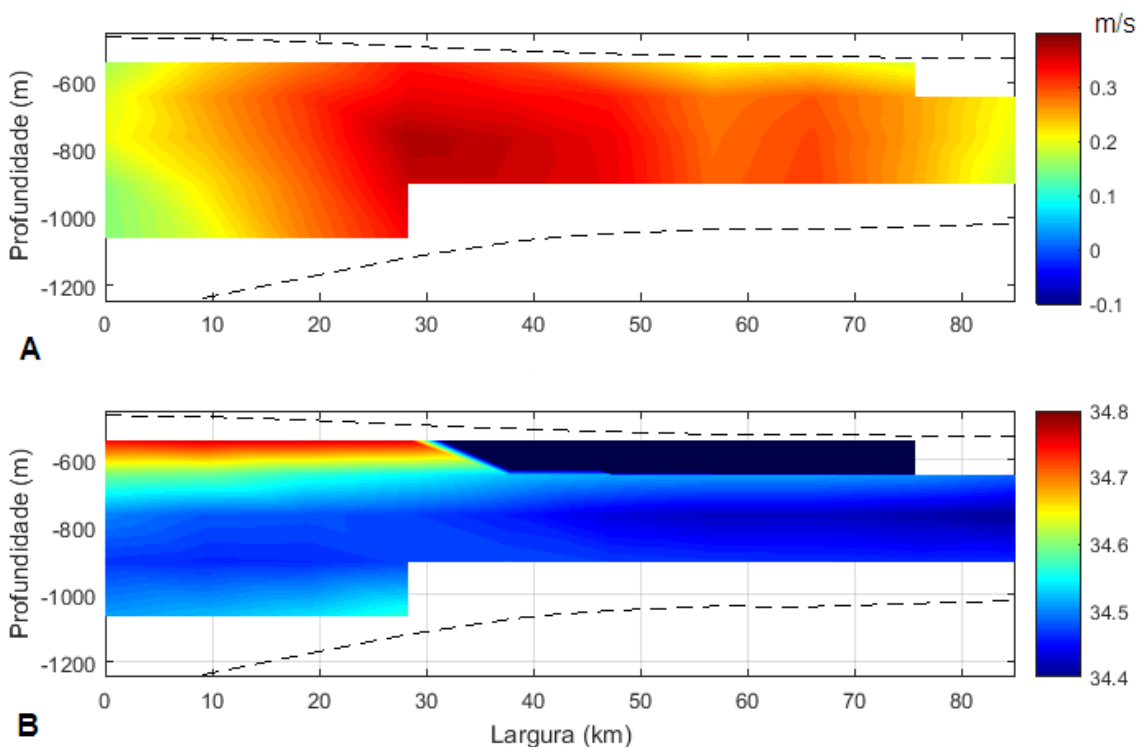


Figura 32 – Seção vertical de velocidade meridional (m/s) (A) e de salinidade (B) da CCI em 21°S, no mês de junho de 2014. A linha pontilhada superior representa a isopicnal de 26,9 ($\sigma\text{-}\theta=26.9$), já a linha pontilhada inferior representa a isopicnal de 27,53 ($\sigma\text{-}\theta=27.53$).

Apesar do mês de junho de 2014 apresentar a maior velocidade média mensal da CCI, o transporte médio mensal da CCI mais elevado ocorre em abril de 2013, conforme já representado na Figura 26. Na Figura 33 está representada a estrutura de velocidade vertical média mensal deste mês de transporte máximo. A velocidade máxima de 0,344 m/s, novamente ocorre próximo de 30 quilômetros da IBR, centralizada em aproximadamente 850 metros, enquanto o mínimo de velocidade, a saber 0,166 m/s, é registrado no limite inferior da CCI na região mais próxima da costa. Durante este mês, a coluna d'água se apresenta estratificada, e o mínimo de salinidade é observado em níveis próximos de 900 metros de profundidade (não mostrado).

Ao analisar a espessura da CCI fica evidente a razão pelo qual o transporte em abril de 2013 é maior do que o transporte em junho de 2014. Em

abril de 2013, até 65 quilômetros da IBR, a espessura da CCI é de 500 metros, apenas entre 65 e 85 quilômetros a corrente se torna menos espessa, exibindo espessura de aproximadamente 400 metros. Enquanto que em junho de 2014, a CCI possui espessura de 500 metros apenas nos 30 quilômetros mais costeiros da seção.

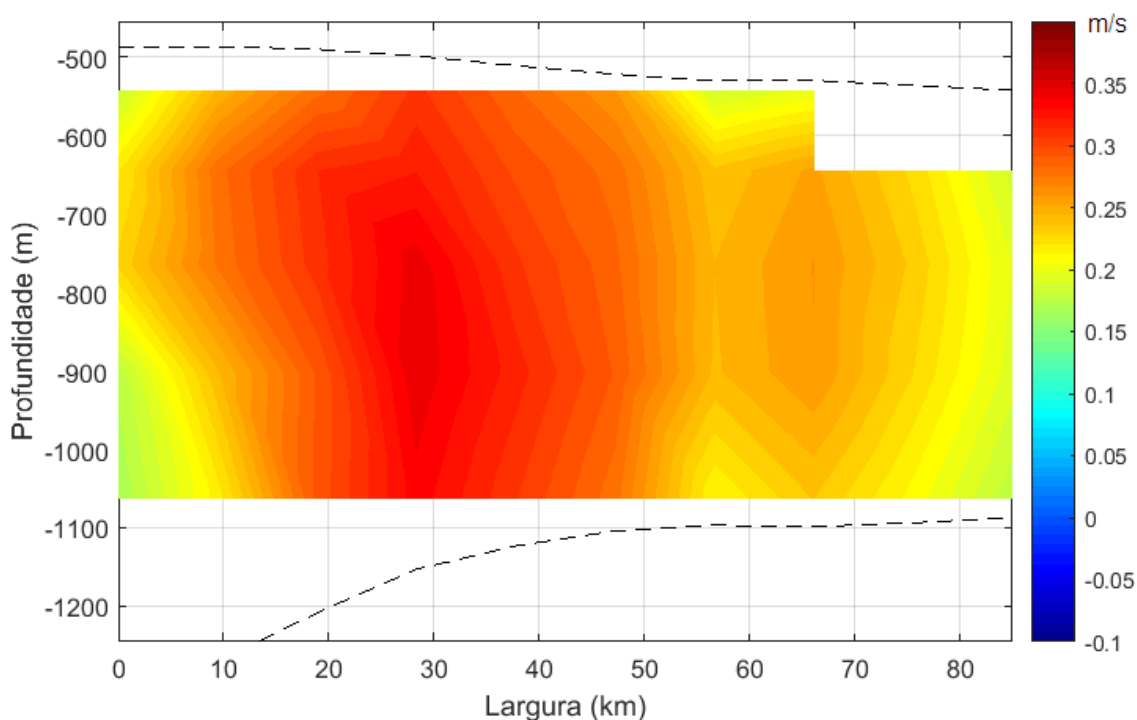


Figura 33 – Seção vertical de velocidade meridional (m/s) da CCI em 21°S, no mês de abril de 2013. A linha pontilhada superior representa a isopícnal de 26,9 ($\sigma\text{-}\theta=26.9$), já a linha pontilhada inferior representa a isopícnal de 27,53 ($\sigma\text{-}\theta=27.53$).

Em todas as três seções mensais verticais descritas em 21°S, lateralmente, é possível observar dois núcleos bem definidos de transporte da CCI. Apenas no mês de março de 2010, o núcleo presente entre 60 e 70 quilômetros da IBR apresentou velocidade negativa. A presença destes núcleos laterais pode indicar uma CCI bifurcada nesta faixa latitudinal. Em porções ligeiramente mais ao norte, Boebel et al. (1999) relataram um bifurcação da CCI ao passar pela CVT, enquanto Pimentel (2012) e Legeias et al. (2013) observaram uma trifurcação desta corrente ao ultrapassar a CVT (Figura 34). Exceto março de 2010, onde a espessura da CCI apresenta um único valor para toda sua extensão lateral, em abril de 2013 e junho de 2014, a CCI é mais espessa em regiões mais próxima da costa e menos espessa em regiões mais oceânicas. Provavelmente, esta variação lateral de espessura da

CCI explica a razão pelo qual não é possível visualizar um padrão de bifurcação lateral da corrente no diagrama Hovmöller de transporte integrado verticalmente na seção 21°S (Figura 28).

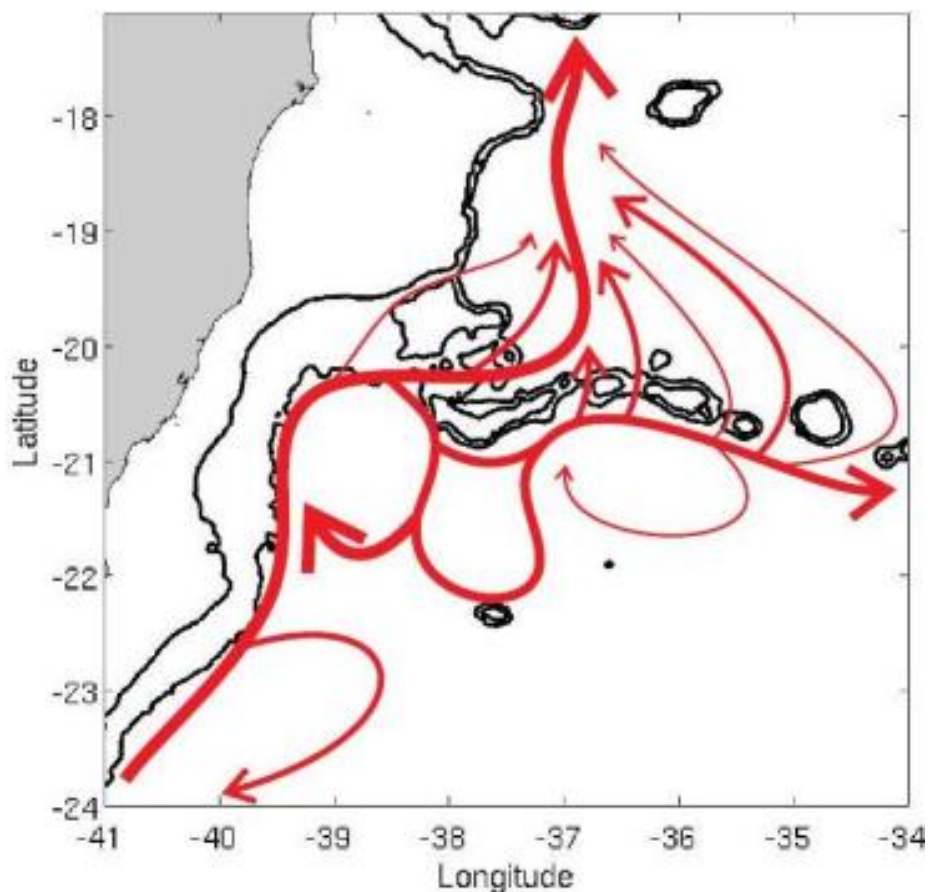


Figura 34 – Esquema de circulação da CCI em parte da costa leste e sudeste brasileira. Fonte: Pimentel (2012).

4.2.2 Seção 23°S

A análise realizada em 23°S revela que o transporte meridional médio da CCI é de $0,972 \pm 0,81$ Sv ao longo dos 10 anos (Figura 35.A), resultado bem inferior a promediação de transporte obtido na Tabela 1, entre 22°S e 24°S, cujo transporte foi de 5,58 Sv. Porém, houve consenso com o transporte de 1 Sv reportado por Schmid & Garzoli (2009) em 22°S e 24°S, no entanto em 23°S estes mesmos autores obtiveram uma estimativa de transporte de -2 Sv e Pimentel (2012) encontrou um transporte médio de 17,3 Sv nesta área. O transporte máximo de 3,79 Sv foi obtido em maio de 2012, inclusive neste ano

foi reportado o maior transporte médio anual, sendo relatado transporte de $1,441 \pm 1,098$ Sv.

Durante 11 meses, o transporte meridional foi negativo, representando cerca de 10% do período amostrado. Similarmente à seção de 21°S , novamente o transporte mínimo foi encontrado no ano de 2010. Entretanto em 23°S , o transporte mínimo de $-2,03$ Sv foi encontrado em maio de 2010 (praticamente igual à estimativa de Schmid & Garzoli (2009) para esta latitude).

Nesta seção, o grau de similaridade entre a velocidade meridional e o transporte meridional foi de 99%, ou seja, similaridade maior do que a observada em 21°S . Tanto a velocidade meridional mínima como a máxima coincidem com as estimativas máxima e mínima de transporte, a velocidade mínima foi de $-0,043$ m/s, já a velocidade máxima encontrada foi de $0,071$ m/s (Figura 35.B). Este valor é aproximadamente a metade da estimativa de velocidade realizada neste trabalho a partir de perfiladores do Projeto Azul, que derivam na profundidade de 1000 metros, entre as latitudes de 22°S e 24°S .

A partir da análise do fluxo médio mensal ao longo dos 10 anos, foi constatado que a velocidade média da CCI é de $0,022 \pm 0,018$ m/s. A referida estimativa é cerca de uma ordem de grandeza menor do que as estimativas de velocidade da CCI descritas por Muller et al. (1998) e Silveira et al. (2008) em 23°S . Similarmente ao transporte anual máximo, no ano de 2012 também foi obtida a velocidade anual máxima, no qual valor de $0,031 \pm 0,021$ m/s foi atingido.

Na Figura 35.C, o coeficiente de variação da velocidade meridional apresentou valores superiores a 70% em 31 meses, o que sugere uma variabilidade mais intensa em 23°S do que em 21°S (onde apenas dois meses apresentaram esta condição), ou seja, a atividade de mesoescala em 23°S é ainda mais pronunciada do que a retratada em 21°S . Adicionalmente, nos meses de abril de 2009 e 2016 e setembro de 2015, o CV foi superior a 500%. No entanto, é importante destacar que nestes três meses foram obtidas as três médias de velocidade meridional mais próximas de zero. Deve-se analisar com cuidado o coeficiente de variação de séries que apresentam valores médios próximo de zero.



Figura 35 – Série temporal mensal em 23°S. A) Transporte Meridional da CCI (Sv). B) Velocidade Meridional da CCI (m/s). C) Coeficiente de Variação da velocidade meridional da CCI.

A partir dos valores médios de temperatura representados na Figura 36.A, em 23°S, a CCI apresentou temperatura média de $5,77 \pm 0,23$ °C. A temperatura mínima de 5,09°C foi identificada em abril de 2012, enquanto a temperatura máxima de 6,26 °C foi reportada para o período de setembro de 2007. Por meio da análise da estrutura halina, foi notada uma região com salinidade média de $34,56 \pm 0,04$ (Figura 36.C). Os extremos de salinidade ocorreram nos meses de setembro de 2011 e junho de 2016, onde as salinidades de 34,69 e 34,49 foram obtidas, respectivamente. Nas duas figuras referentes aos coeficientes de variação (Figura 36.B e Figura 36.D), registros elevados foram encontrados no ano de 2010, com registro alto em fevereiro e no último bimestre deste ano. Inclusive em fevereiro de 2010, o desvio padrão relativo da temperatura foi máximo ultrapassando ligeiramente os 5%.



Figura 36 – Série temporal mensal em 23°S. A) Temperatura (°C) da CCI. B) Coeficiente de Variação da temperatura da CCI. C) Salinidade da CCI. D) Coeficiente de Variação da salinidade da CCI.

Antagonicamente aos registros de transporte meridional integrado verticalmente em 21°S, em 23°S o transporte integrado verticalmente é mais forte em pontos de grades mais afastados da costa (Figura 37). Na faixa de 60 a 75 quilômetros da isobatimétrica de referência, ocorrem os maiores registros de transporte integrado verticalmente, podendo ultrapassar o valor de 0,4 Sv. No total, três meses atingiram estas estimativas mais elevadas, a saber, abril e maio de 2012 e outubro de 2014, sendo a estimativa máxima de cerca de 0,69 Sv encontrada em maio de 2012 (mês de transporte médio meridional mensal mais elevado). A CCI mais intensa em trechos mais afastados da costa quando comparado com os resultados de velocidade integrado da seção 21°S (Figura 28), possivelmente, indica um escapamento da CCI nesta região devido à mudança brusca da orientação da linha de costa.

Ao longo de 26 meses, o transporte integrado verticalmente foi negativo em algum trecho da seção lateral, sobretudo nos dois pontos de grades menos costeiros. Em consonância com a Figura 35, onde o transporte mais intenso para sul foi reportado no mês de maio de 2010, este mês foi único no qual toda seção lateral apresentou transporte vertical integrado fluindo para sul, sendo atingido transporte de até -0,34 Sv próximo de 65 quilômetros da IBR.

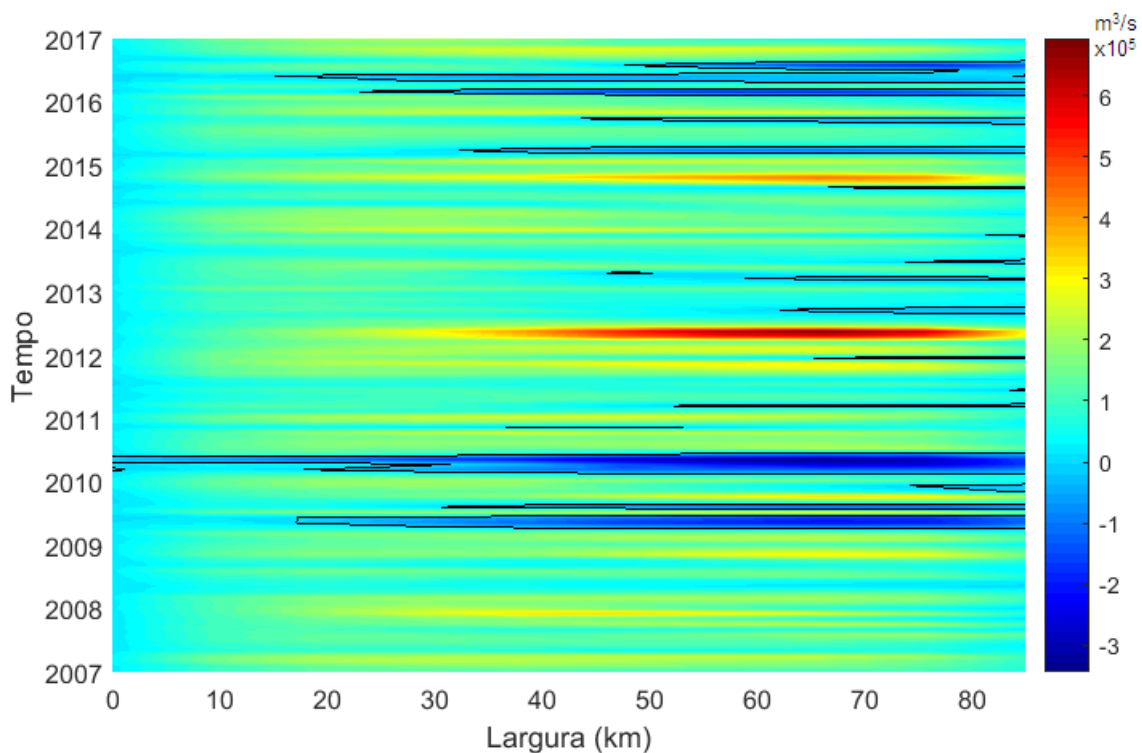


Figura 37 - Diagrama Hovmöller do transporte meridional integrado verticalmente (m^3/s) em 23°S , as linhas de contorno indicam transporte de 0 Sv.

É notado que o CV do transporte integrado verticalmente é superior a 1 em 56 meses (Figura 38), o que indica elevada variabilidade da CCI durante quase a metade do período analisado. Novamente, fica evidente que a variabilidade em 23°S é mais pronunciada do que em 21°S , uma vez que em 21°S apenas em quatro meses o desvio padrão foi superior à média em um ponto de grade qualquer. Há uma concentração de pontos de grade com a característica supracitada, entre 65 e 85 quilômetros da IBR, juntando estes três pontos menos costeiros são encontrados quase 80% (44 meses) de registros com esta característica, o que indica uma variabilidade ainda maior em regiões mais oceânicas, similarmente ao que acontece em 21°S .

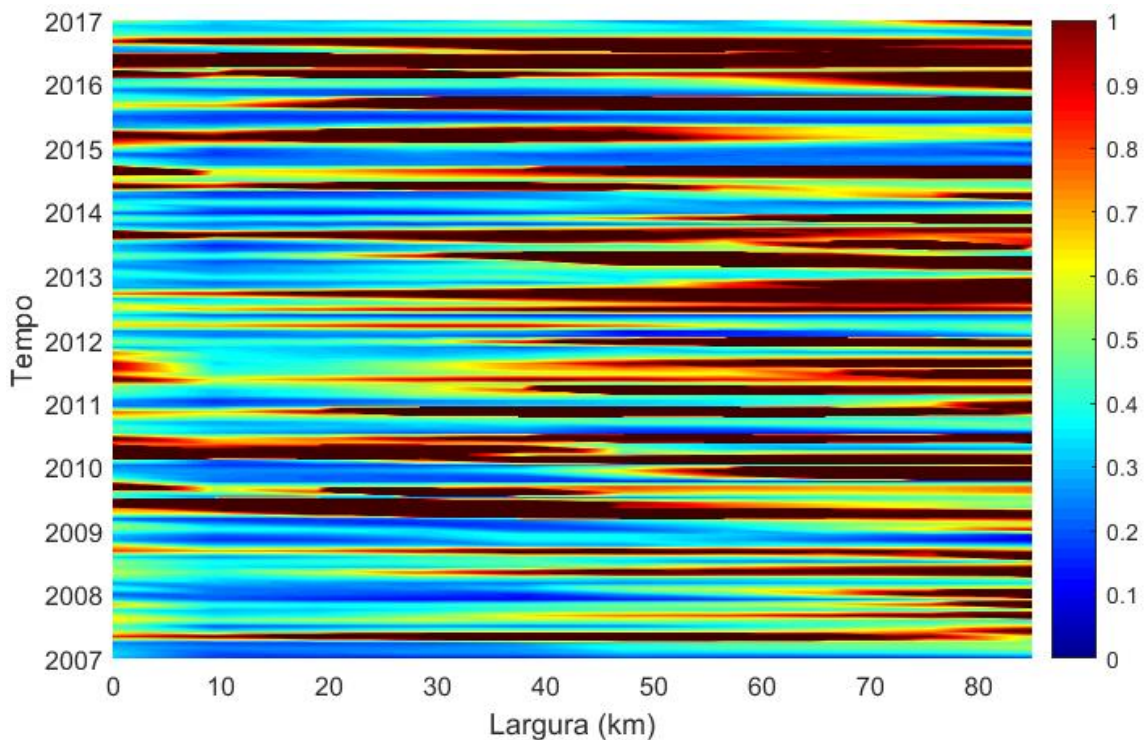


Figura 38 - Diagrama Hovmöller do coeficiente de variação do transporte meridional integrado verticalmente em 23°S.

É revelado que quase toda seção vertical no mês do transporte mensal mínimo (maio de 2010) apresenta velocidade meridional para o sul (Figura 39). Deve-se atentar que a escala numérica empregada na seção vertical de 23°S é diferente da utilizada em 21°S. O registro mais positivo da CCI, cujo valor foi de 0,001 m/s foi reportado no limite inferior da CCI, próximo de 10 quilômetros da isobatimétrica de referência, enquanto a velocidade mais intensa para sul, de -0,073 m/s, foi encontrada no nível de 900 metros, nas proximidades de 75 quilômetros. Vale salientar que este registro de velocidade é cerca de 50% maior que as estimativas de velocidade propostas por Legeais et al. (2013) e Silva (2013), visto que estes autores descreveram uma contra corrente em nível intermediário com velocidade típica de -0,05 m/s. Quanto a sua espessura, a CCI possui espessura de 350 metros da IBR até 12 quilômetros. De 12 quilômetros até 85 quilômetros da IBR, a CCI se torna mais profunda e espessa, passando a apresentar espessura de 500 metros.

Durante maio de 2010, a CCI transportou águas com temperatura compreendida entre 3,5°C e 9°C e salinidade na faixa de 34,47 a 34,78. Como observado nas Figura 30 e Figura 31 (seções de velocidade e salinidade do mês de mínimo de velocidade encontrada em 21°S), o mínimo de salinidade se

encontra em 900 metros, e não está associado ao registro máximo de velocidade para norte (não mostrado).

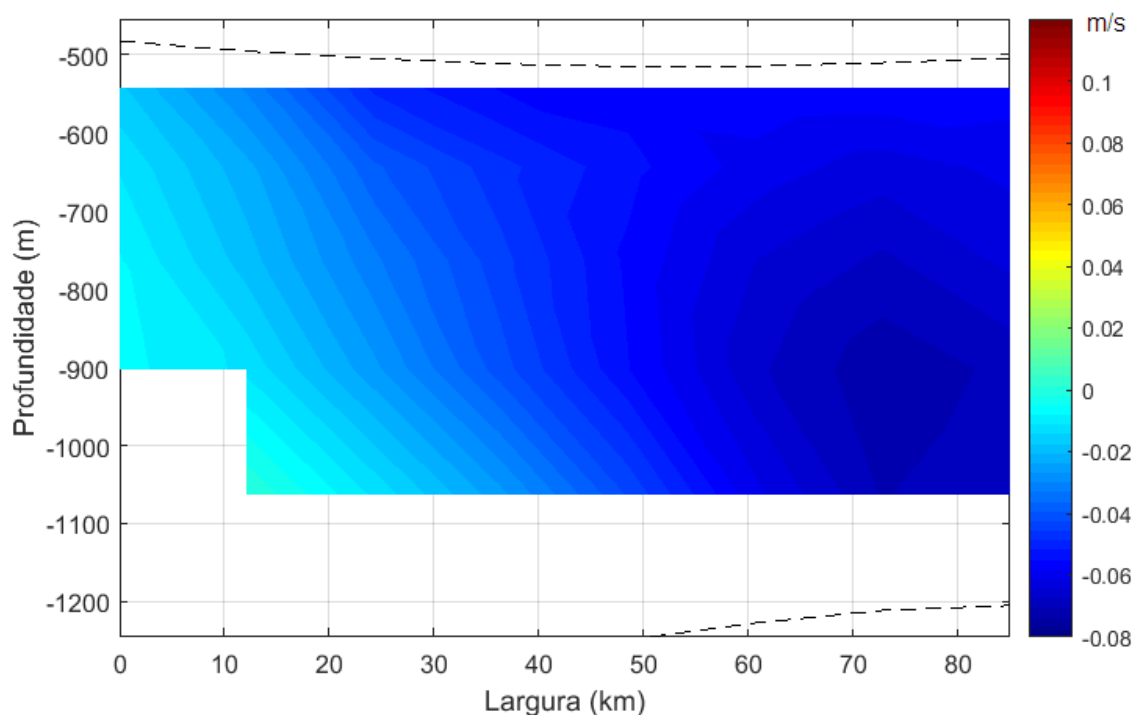


Figura 39 - Seção vertical de velocidade meridional (m/s) da CCI em 23°S, no mês de maio de 2010. A linha pontilhada superior representa a isopicala de 26,9 ($\sigma\text{-}\theta=26,9$), já a linha pontilhada inferior representa a isopicala de 27,53 ($\sigma\text{-}\theta=27,53$).

Na Figura 40, a seção vertical da velocidade meridional mensal máxima é exibida, a saber, maio de 2012. Constata-se que nesta seção não existe velocidade negativa, o menor registro de velocidade para o norte foi de 0,01 m/s, sendo encontrado no limite superior da CCI, no ponto de grade mais costeiro. Em contrapartida, a velocidade máxima registrada de 0,12 m/s ocorreu no nível de 650 metros cerca de 75 quilômetros da IBR. Tal valor máximo de velocidade em porções mais remotas da costa pode ser mais um indício do escapamento da CCI nessa latitude. Complementarmente, para essa mesma latitude, Muller et al. (1998) também obtiveram velocidade média de 0,12 m/s.

Quanto à espessura da CCI, esta possui espessura de 350 metros, nos 12 quilômetros mais costeiros da seção em 23°S. Entre 35 e 60 quilômetros da IBR e nos 12 quilômetros mais oceânicos da seção, a CCI apresenta espessura de 500 metros. Já nos demais trechos laterais da CCI a espessura é de 700 metros, apresentando as maiores espessuras reportadas neste trabalho, sendo compatíveis com espessura do fluxo intermediário estipulado

por Stramma & England (1999). A maior espessura da CCI aliada ao maior registro de velocidade encontrado entre 60 e 75 quilômetros da IBR, mostram os motivos pelo qual o transporte integrado verticalmente é máximo nesta região (Figura 37).

Ainda, em maio de 2012, a CCI transporta águas com temperatura variando entre 3,3 °C e 8,5 °C. Já a salinidade da água advectada oscilou entre 34,41 e 34,69, sendo que o núcleo de salinidade mínima se situou em 750 metros, portanto, novamente o núcleo de salinidade mínima não está associado à velocidade máxima da corrente, em similaridade com notado no mês de maio de 2010 para esta mesma seção.

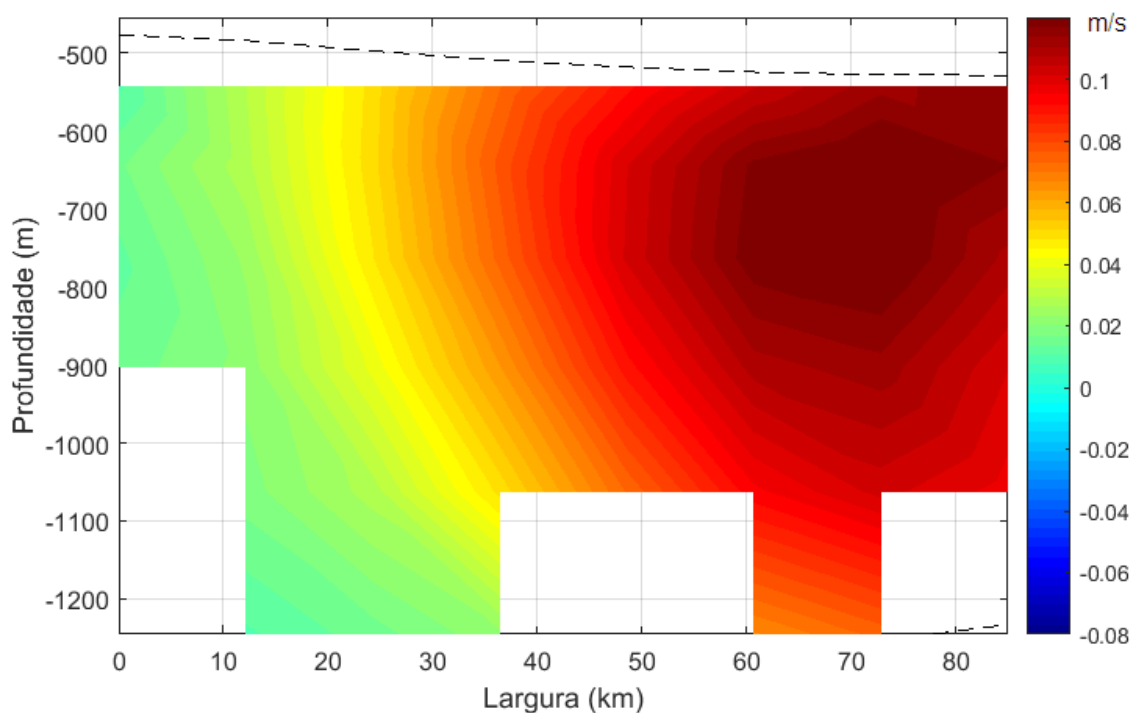


Figura 40 - Seção vertical de velocidade meridional (m/s) da CCI em 23°S, no mês de maio de 2012. A linha pontilhada superior representa a isopícnal de 26,9 ($\sigma\text{-}\theta=26,9$), já a linha pontilhada inferior representa a isopícnal de 27,53 ($\sigma\text{-}\theta=27,53$).

4.2.3 Escala de variabilidade

Nesta seção, será apresentada uma discussão sobre as escalas de variabilidade temporal da CCI a partir da série temporal de transporte meridional das duas seções analisadas neste trabalho. Complementarmente, campos de velocidade resultante médio entre os níveis de 750 e 900 metros

serão investigados, a fim de dar suporte ao entendimento da variabilidade espacial da CCI.

4.2.3.1 Variabilidade temporal

Na Figura 41.A, está representado o Espectro de Energia da Ondaleta (EEO), no qual serão investigadas as escalas de variabilidade temporal da CCI na seção de 21°S. A ordenada do gráfico mostra as frequências (periodicidades em meses), enquanto a abscissa exibe o comprimento da série em anos. Já a Figura 41.B fornece informação do espectro global da ondaleta (EGO), possuindo a mesma variável no eixo das ordenadas que a Figura 41.A, no entanto, na abscissa há a representação da energia do sinal associado a cada frequência.

Constatou-se pelo EEO, que a fase de oscilação com maior intensidade no espectro possui período de aproximadamente dois anos, sobretudo entre os períodos de 2009 e meados de 2012, inclusive a partir do EGO observa-se o pico de energia em 2 anos.

O segundo pico mais elevado observado na Figura 41.B (frequência próxima de 1 ano) equivale ao primeiro harmônico do sinal principal. Entre 2008 e 2011, este sinal é mais pronunciado no EEO. Contudo, no 2º harmônico é observado um conjunto de valores do EEO superiores a qualquer valor encontrado no primeiro harmônico, esta concentração de energia ocorre no início de 2010. Esta concentração de energia em frequências mais elevadas (aproximadamente meio ano) está em conformidade com o maior coeficiente de variação da velocidade meridional, observada na Figura 26.C, reportado nos meses de março e abril de 2010. Em meados de 2014, é notada a segunda região da série temporal com oscilação mais intensa na frequência de 6 meses. Novamente, este relato em altas frequências está em consonância com a maior variação de transporte mensal observado entre os meses de julho e agosto de 2014 observado na Figura 26.A. No entanto, é preciso destacar que a EGO em 21°S, revela que apenas oscilações com períodos menores que seis meses possuem confiabilidade maior que 95%.

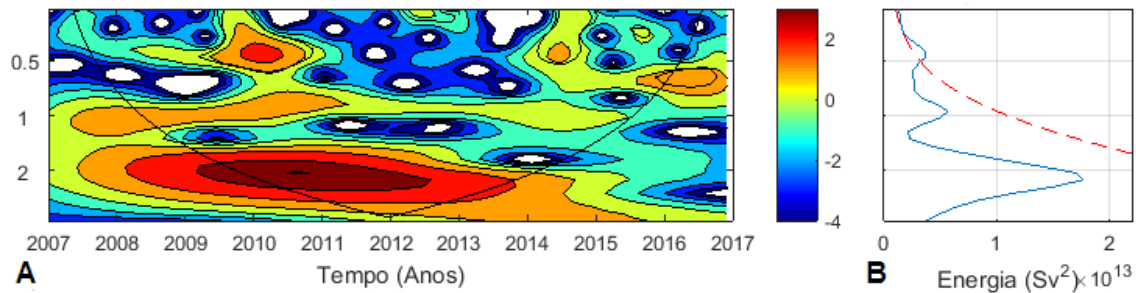


Figura 41 – EEO (A) e EGO (B) da série de transporte meridional mensal em 21°S.

Por meio da Figura 42, que ilustra o transporte médio climatológico mensal ao longo da série temporal de 10 anos para seção de 21°S. Pode-se observar a existência do transporte máximo no mês de junho, cujo valor é de $8,74 \pm 1,5$ Sv. Em contrapartida, há dois meses com transportes mínimos relativos próximos, nos meses de março e outubro, as estimativas de transporte são de $7,25 \pm 2,08$ Sv e $7,25 \pm 1,99$ Sv, respectivamente. A partir de modelagem numérica, Rodrigues et al. (2007) relataram que a bifurcação da CSE em nível intermediário possui deslocamento máximo para sul em julho, enquanto nos meses de abril e outubro estes autores reportaram um deslocamento máximo da CSE para norte. Se o deslocamento desta bifurcação para sul produz uma intensificação da CCI, e o contrário ocorre para deslocamento setentrional, os relatos obtidos neste trabalho estão próximos dos percorridos por Rodrigues et al. (2007).

Em estudos mais recentes, Pereira et al. (2014) observaram a CCI mais forte no inverno nas seções de 5°S e 13°S. Já em 22°S, esses autores notaram uma sazonalidade menos aparente da CCI. Similarmente aos relatos desses autores, o transporte climatológico em 21°S foi máximo no inverno.

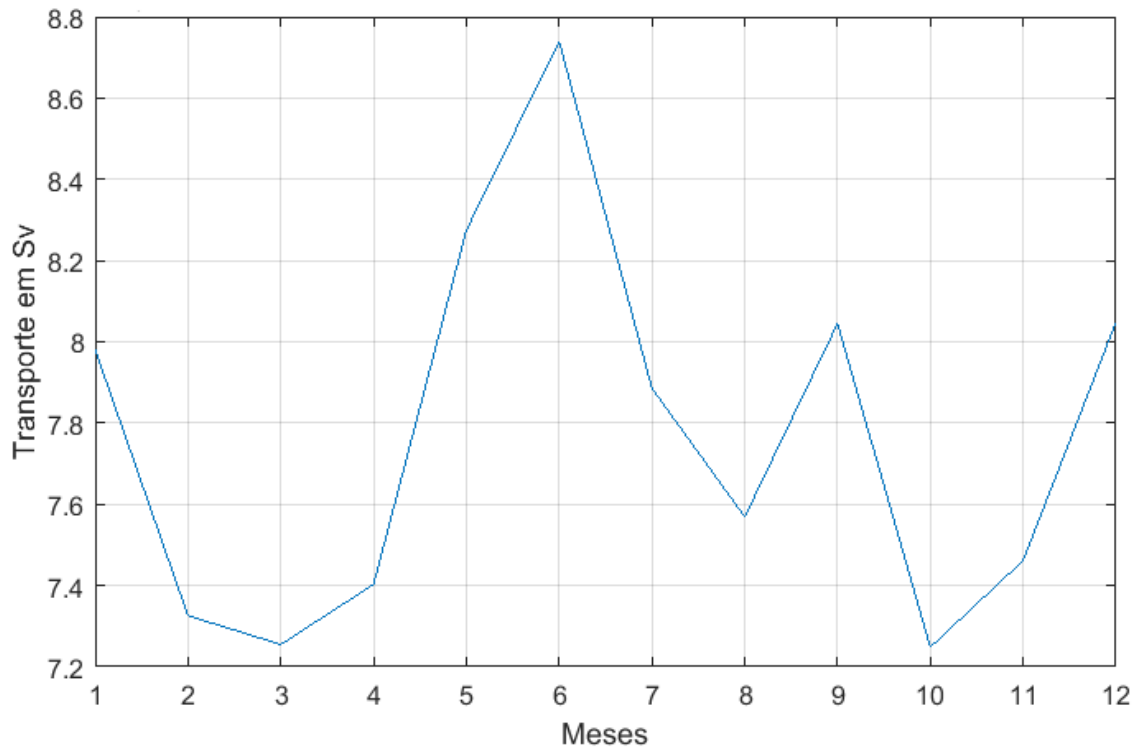


Figura 42 - Transporte médio mensal climatológico em 21°S, durante os 10 anos de análise.

Na análise do EEO (Figura 43.A) e do EGO (Figura 43.B) em 23°S, foi observada maior energia no período de oscilação próximo de um ano, sobretudo entre o início de 2009 e meados de 2010, este sinal foi mais intenso. Em frequência de aproximadamente 3 anos ocorre um sinal com energia equivalente ao encontrado na oscilação de 1 ano, contudo é importante salientar que o sinal com oscilação de 3 anos está acima do cone de influência apenas entre 2011 e 2013. Há um terceiro pico de energia mais suavizado em frequência de cerca de 6 meses, nos anos de 2010 e 2012 é notada uma concentração da energia de oscilação de meio ano, que pode estar associada ao mínimo e máximo transporte meridional, respectivamente.

Complementarmente em 23°S aparece um quarto pico de energia em frequência muito alta, frequência próxima de 1 mês (que não foi observada em 21°S). Durante o ano de 2009, início de 2012 e final de 2014 a energia é elevada nesta frequência, principalmente no ano de 2009, coincidindo com o período de maior CV de velocidade meridional, observado na Figura 35.C. Os registros elevados de energia em frequências similares à frequência de amostragem em 23°S, é mais um indicativo da presença recorrente de atividade de mesoescala nesta região, quando comparado com a análise em

21°S. Ao contrário do ocorrido em 21°S, ao analisar a EGO em 23°S, apenas o pico de energia associado a periodicidade de três anos não apresenta confiabilidade superior a 95%.

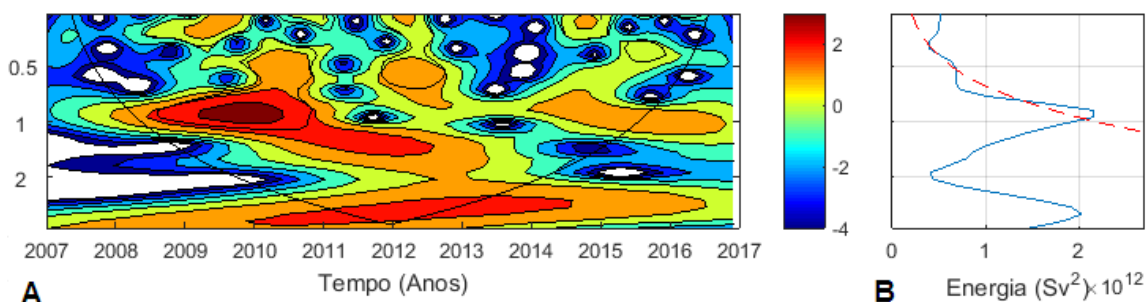


Figura 43 - EEO (A) e EGO (B) da série de transporte meridional mensal em 23°S.

Segundo Gu & Philander (1995), por meio de transformada ondaleta é necessária uma série temporal de 5 a 10 anos para estudar o ENOS (El Niño-Oscilação Sul), visto que este fenômeno possui periodicidade de 2-8 anos. Portanto, a série temporal deste trabalho encontra-se no limiar do proposto por estes autores. O pico de energia em frequência de 2 anos, observado no EGO da seção 21°S, possivelmente retrata um sinal de ENOS nesta área. Adicionalmente, o sinal elevado de energia em frequência de 3 anos no EGO da seção 23°S, pode não está associado ao ENOS, uma vez que outra região muito próxima (seção 21°S) possui sinal associado ao ENOS de 2 anos, e ainda, o período de oscilação de três anos apresenta confiabilidade menor do que oscilações de dois anos.

A princípio, acredita-se que eventos de La niña muito forte no período de 2007-2008 e 2010-2011, podem ter favorecido a intensificação da energia na frequência de dois anos, observado no EGO da seção 21°S. Ainda, a La niña foi mais recorrente em 2011, quando comparado a 2007, 2008 e 2010, sendo observado neutro em apenas um trimestre de 2011. Esse evento de La niña pode explicar a intensificação da corrente em 2012 na seção de 21°S, conforme observado na Figura 26.A. No entanto, é preciso de estudos com escalas temporais maiores (talvez 20 anos), a fim de que a variabilidade da CCI possa ser associada de maneira mais clara ao fenômeno ENOS.

O transporte médio mensal climatológico em 23°S (Figura 44) exibe um padrão diferente do observado em 21°S. Em 23°S, o transporte é máximo no mês de outubro atingindo valores de $1,67 \pm 0,63$ Sv, já em maio o transporte mínimo de $0,52 \pm 1,54$ Sv foi encontrado, este desvio padrão elevado em maio, provavelmente é devido ao transporte médio mensal máximo ser registrado em maio de 2012 e o transporte mínimo mensal ser encontrado em maio de 2010.

Segundo Pereira et al. (2014), existe uma sazonalidade na bifurcação da CSE em nível intermediário. No mês de julho esta bifurcação possui deslocamento máximo para sul, enquanto no verão ocorre o deslocamento máximo setentrional. Novamente, se associarmos a intensificação da CCI com o deslocamento para sul da bifurcação da CSE, os relatos das médias mensais climatológicas em 23°S percorridas neste trabalho apontam para um padrão distinto do possível deslocamento da origem da CCI, em relação aos relatos de Rodrigues et al. (2007) e Pereira et al. (2014). É possível que a atividade de mesoescala pronunciada nesta seção mascare este transporte climatológico.

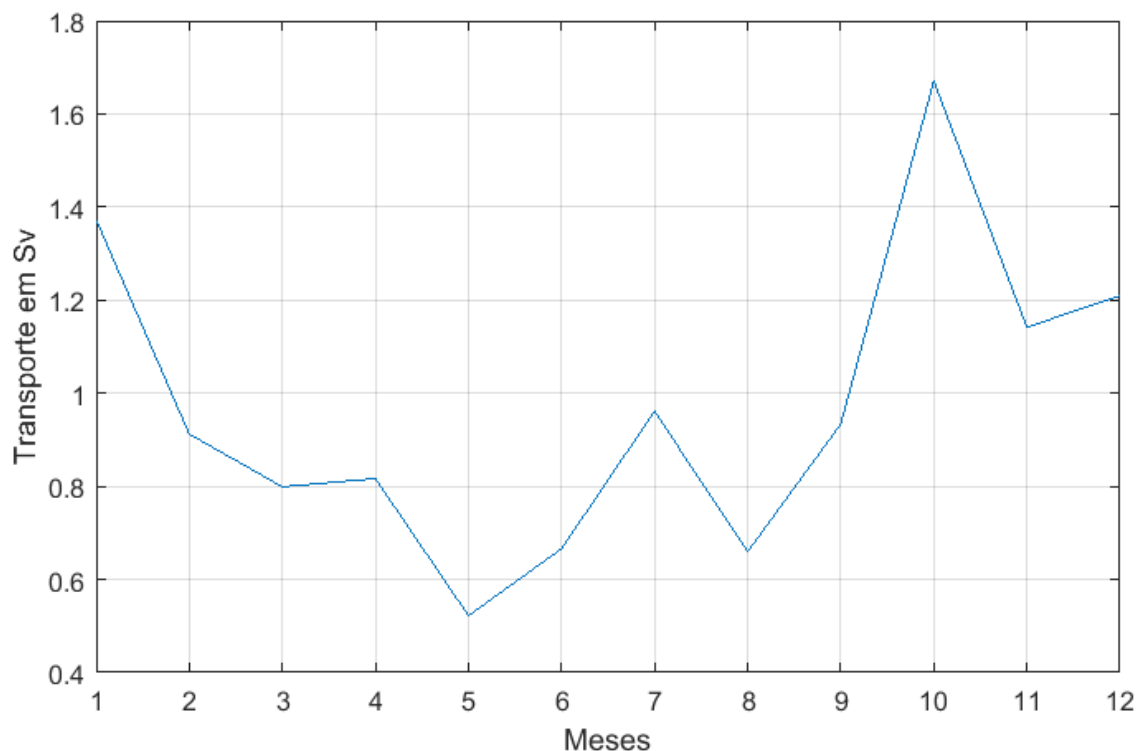


Figura 44 - Transporte médio mensal climatológico em 23°S, durante os 10 anos de análise.

4.2.3.2 Variabilidade espacial

Foram analisados os campos de velocidade resultante médio mensal entre os níveis de 750 metros e 900 metros para os quatro meses, que representassem as velocidades meridionais mínimas e máximas obtidas nas seções 21°S e 23°S. Adicionalmente, o campo de salinidade médio para estes dois níveis verticais foi gerado. Na Figura 45, é exibido o campo de corrente referente ao período de março de 2010, mês de mínima velocidade meridional para a seção de 21°S.

Por volta de 26°S, é notado uma organização do fluxo em direção ao norte. Contudo, em 24°S o fluxo se desorganiza, parecendo ocorrer uma incursão de uma corrente mais salina (salinidade próxima de 34,55) para áreas mais afastadas da costa, o que pode indicar um escapamento da CCI nesta faixa de latitude, devido ao meandramento do fluxo intermediário conforme observado por Calado et al. (2001), o que reforça as observações de transporte integrado verticalmente da seção 23°S (Figura 37).

Na região da seção de 23°S é observada a presença de um vórtice anticiclônico, que atinge a borda lateral longínqua da costa, este anticiclone possui diâmetro de aproximadamente 200 quilômetros. Contatou-se a presença de um fluxo zonal rumo a costa, próximo da latitude de 23°S. Aparentemente esse fluxo injeta águas de nível intermediário recirculadas nesta área. Na região do Embaiamento de Tubarão, o Vórtice de Vitória não é evidente neste período, mostrando que as duas células de direções opostas presentes na seção vertical de velocidade de março de 2010 em 21°S (Figura 30), se trata apenas de uma feição de mesoescala não associada ao VV. Este fluxo conturbado na área do ET observado durante o mês de março de 2010, provavelmente explica o registro mínimo de velocidade meridional da CCI e o registro máximo do CV da velocidade meridional desta corrente observado na seção de 21°S ao longo deste mês.

Enquanto entre 22°S e a CVT, a CCI flui em média para leste, ao sul de 28°S, a CCI em média flui para oeste, transportando águas com salinidade de aproximadamente 34,3. Massas d'águas com salinidade mais reduzidas nesta região provavelmente indicam a entrada de água intermediária 'nova' nesta região, em oposição ao relatado na área de 23°S.

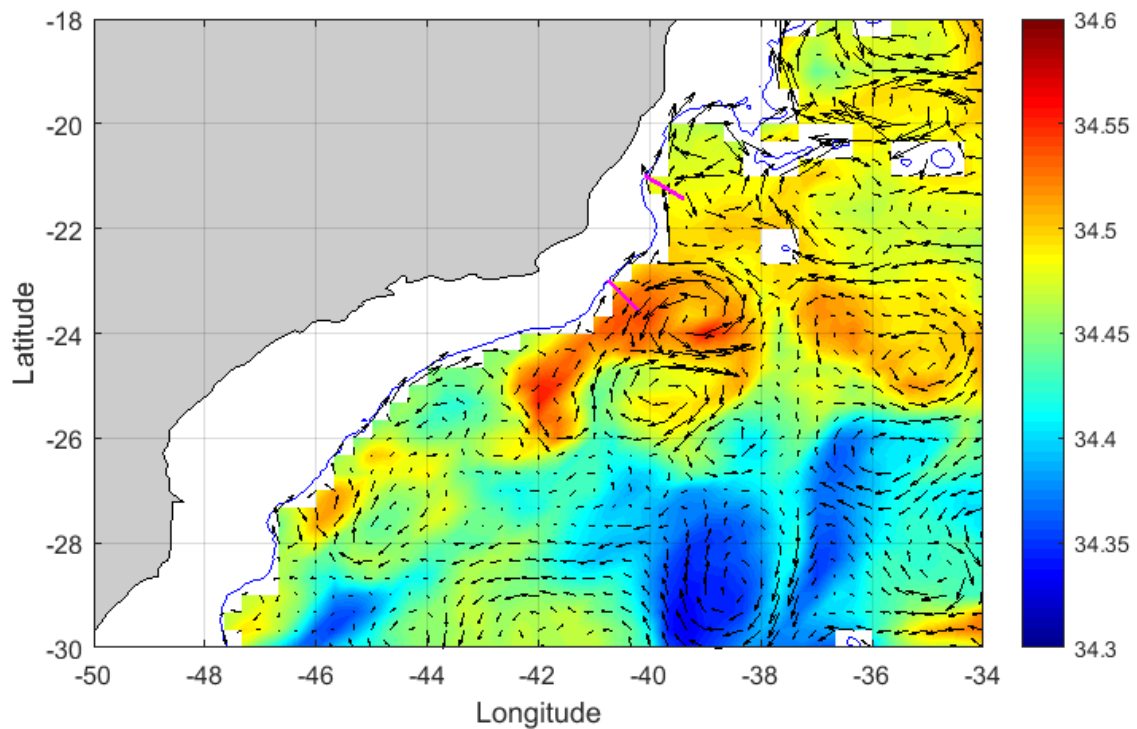


Figura 45 – Campo de corrente mensal média resultante e salinidade mensal média, entre 750 e 900 metros, no período de março de 2010. Os vetores ilustram a corrente, enquanto as cores indicam a salinidade. A área sombreada de cinza indica o continente, a linha de contorno azul representa a isobatimétrica de 800 metros. As linhas em rosa indicam as seções de 21°S e 23°S.

Na Figura 46, o campo de velocidade do mês de maior velocidade média mensal obtida em 21°S é exibido (junho de 2014). A CCI se origina em aproximadamente 27°S, e flui de maneira organizada até 24°S, quando sofre uma suave deflexão para o oceano, o que é evidenciado pela fuga de águas mais salinas para o oceano, cuja salinidade é próxima 34,5. Diferentemente do campo de velocidade de março de 2010, em junho de 2014 existe um fluxo zonal para oeste pronunciado em 22°S que fortalece a Contra Corrente Intermediária (CTCI) nas imediações do ET, durante este mês se observa o VV bem definido no ET. Adicionalmente, esta contra corrente parece contribuir para o fortalecimento da CCI em 23°S. Costa et al. (2016) reportaram que recirculações de mesoescala em nível intermediário podem cooperar para o incremento de até 50% da CCI na área compreendida entre a CVT e 23°S.

Como observado em março de 2010, em junho de 2014 a salinidade mínima foi registrada no extremo sul da área de estudo, nas proximidades de 040°O, onde a salinidade foi de 34,3. Já a salinidade máxima foi encontrada

em regiões de recirculação do fluxo intermediário e no ramo que flui para costa ao sul da CVT. E novamente, parece haver uma injeção de águas intermediárias recirculadas entre 22°S e 23°S e entrada de água intermediária 'nova' na região de origem da CCI.

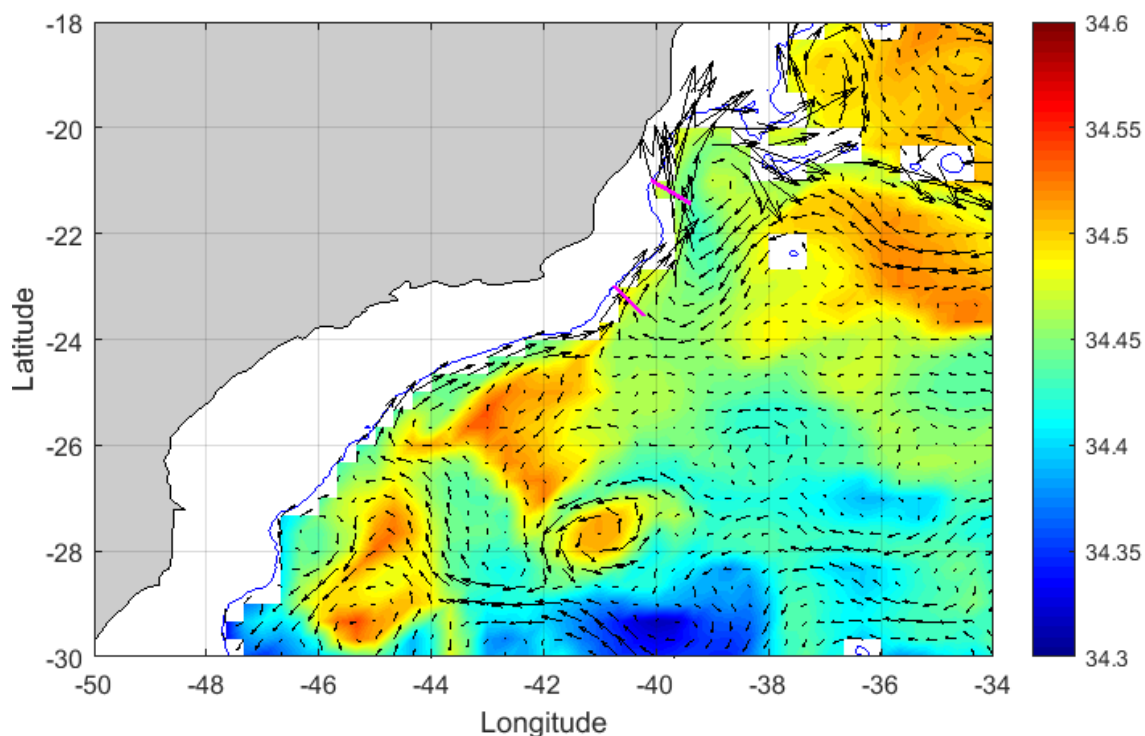


Figura 46 – Campo de corrente mensal média resultante e salinidade mensal média, entre 750 e 900 metros, no período de junho de 2014. Os vetores ilustram a corrente, enquanto as cores indicam a salinidade. A área sombreada de cinza indica o continente, a linha de contorno azul representa a isobatimétrica de 800 metros. As linhas em rosa indicam as seções de 21°S e 23°S.

A CCI se origina em aproximadamente 25°S em maio de 2010 (Figura 47), mês de menor velocidade meridional descrita na seção de 23°S. Similarmente ao campo de velocidade dos dois meses reportados acima, em maio de 2010, a CCI sofre meandramento em 24°S, mas neste mês, esta deflexão da corrente para regiões mais profundas ocorre mais para leste, permitindo que o fluxo da CCI contorne a seção de 85 quilômetros em 23°S (nesta seção o fluxo é basicamente zonal durante este mês), e próximo a 22°S o fluxo se organiza junto à isobatimétrica de 800 metros. Já no ET, o VV é bem definido, se assemelhando do ocorrido em junho de 2014. Mais uma vez a CSE em nível intermediário flui para oeste até 22°S, transportando águas com salinidade de 34,55 para regiões mais próximas da costa.

A leste de 039°O, um anticiclone se estende de 22°S a 26°S, o que provavelmente explica as maiores salinidades encontrada nesta área. Suplementarmente, o ramo oeste deste giro aparentemente fortalece a CCI em 22°S, e principalmente, este ramo parece ser o propulsor básico para a formação da CTCI nesta região, onde a corrente flui para sul chegando até cerca de 28°S. Segundo Legeais et al. (2013) a CSE é a principal fonte para a formação da CTCI, entre a CVT e 26°S, este autores relatam que as recirculações da CCI contribuem apenas de maneira pontual para a formação da CTCI.

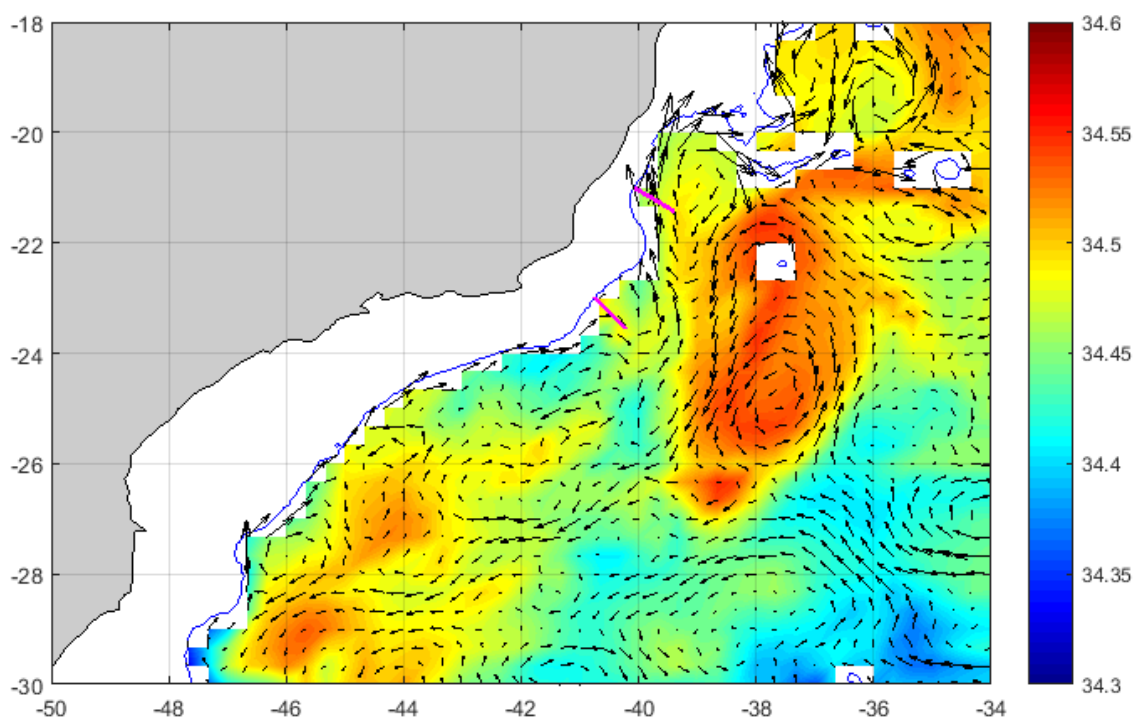


Figura 47 - Campo de corrente mensal média resultante e salinidade mensal média, entre 750 e 900 metros, no período de maio de 2010. Os vetores ilustram a corrente, enquanto as cores indicam a salinidade. A área sombreada de cinza indica o continente, a linha de contorno azul representa a isobatimétrica de 800 metros. As linhas em rosa indicam as seções de 21°S e 23°S.

Durante o mês de maio de 2012, mês de maior velocidade meridional encontrada em 23°S, é possível observar a origem da CCI próximo de 29°S (Figura 48), ou seja, posicionamento mais meridional relatado para a origem da CCI neste trabalho. Entretanto, um giro anticiclônico no talude continental entre 25°S e 27°S, é responsável pelo afastamento da CCI da isobatimétrica de 800 metros em 27°S, em concordância com o aumento de salinidade nesta região para 34,5 (indicativo de água intermediária recirculada). Entre 24°S e 26°S, um giro ciclônico quase fechado, favorece a intensificação da CCI em 25°S. Vale

destacar que a CTCl também parece fortalecer a CCl nesta área e em 22°S. Em regiões oceânicas, é observado um fluxo conturbado entre 22°S e 24°S, ocorre uma CSE bem definida nestas latitudes citadas, mostrando que estas duas latitudes são importantes para a composição da CTCl ao longo do mês de maio de 2012. No ET, o VV não está claro, no entanto, a circulação desta região não é tão conturbada como fluxo observado em março de 2010 no ET.

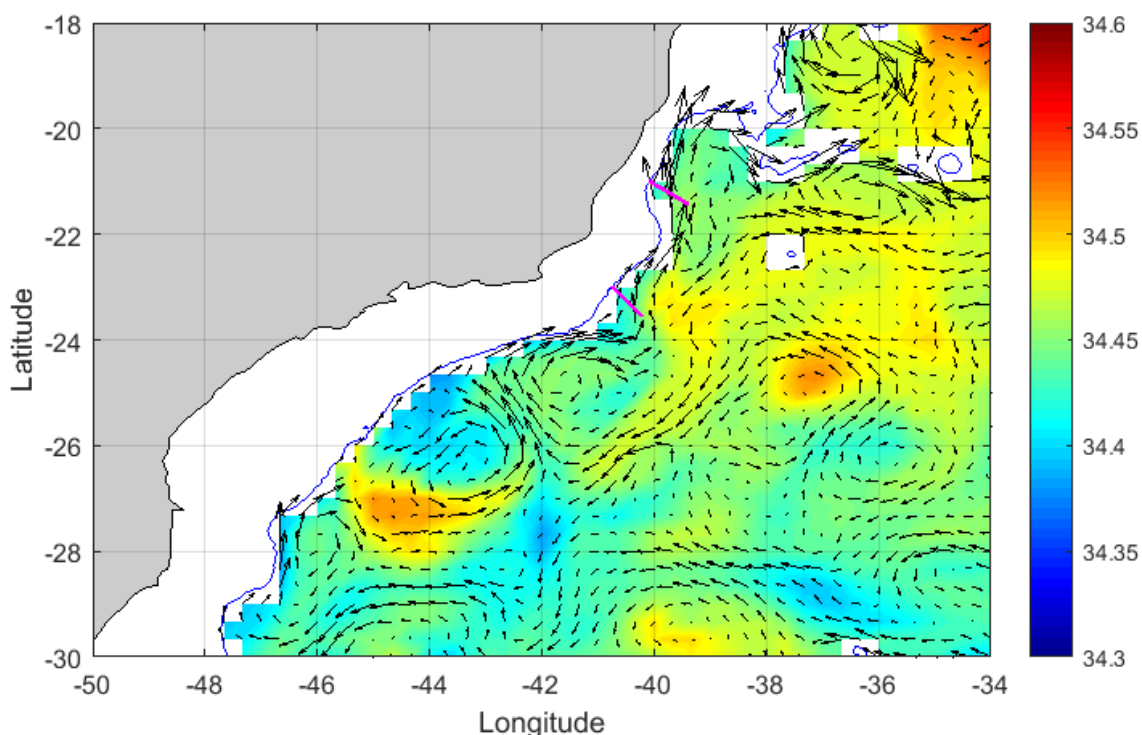


Figura 48 - Campo de corrente mensal média resultante e salinidade mensal média, entre 750 e 900 metros, no período de maio de 2012. Os vetores ilustram a corrente, enquanto as cores indicam a salinidade. A área sombreada de cinza indica o continente, a linha de contorno azul representa a isobatemétrica de 800 metros. As linhas em rosa indicam as seções de 21°S e 23°S.

Em ambos os quatro campos de velocidade média entre 750 e 900 metros, foram observados que a origem da CCl varia entre 25°S e 29°S. Não foi observada uma relação clara entre o deslocamento para sul da origem da CCl e a intensificação do seu transporte de volume em 21°S, pois o transporte elevado em junho de 2014 está associado a origem da CCl em 27°S, enquanto no mês de maio 2012, um transporte de volume menor do que o de junho de 2014 está associado à origem da CCl em 29°S. Ainda, a origem da CCl ocorreu em 25°S, no mês de maio de 2010, que por sua vez não foi o mês de menor transporte em 21°S, dos quatro meses supracitados na análise do campo de velocidade. Dessa forma, não foi possível relacionar a intensificação

do transporte de volume da CCI com o deslocamento para sul da bifurcação do CSE, conforme foi inicialmente discutido a partir do transporte climatológico em 21°S (Figura 42).

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho, 10 anos de um produto de modelo numérico global (análise europeia GOUD-024) foram analisados, com intuito de discorrer sobre a variabilidade da Corrente de Contorno Intermediária na costa leste/sudeste brasileira. De maneira complementar, dados observacionais de perfiladores do Projeto Azul, que coletaram dados ao longo de 1,5 anos foram utilizados para avaliar a qualidade da representação da CCI pelo produto GOUD-024, na região das costas leste e sudeste do Brasil.

Com base nos resultados expostos, chegou-se às seguintes conclusões:

- O produto GOUD-024 representa bem a estrutura oceânica em nível intermediário, sobretudo as características de salinidade e temperatura das massas d'água transportadas pela CCI. Os DTs de salinidade e temperatura revelam um RMS baixo, sempre inferior ao desvio padrão das observações, já a correlação entre o produto modelado e observado foi de 97% para a salinidade, enquanto para a temperatura a correlação entre a série modelada e medida foi de 99%. Na análise da estrutura de velocidade, tanto para velocidade meridional como para a velocidade zonal, foi relatado um RMS próximo do desvio padrão observado. Adicionalmente, correlação compreendida entre 60% e 70% foi atingida no comparativo da velocidade modelada e medida para ambas as componentes de velocidade;
- É identificada a intensificação da corrente em direção a CVT, a partir do momento em que esta se origina, conforme relatos de Legeias et al. (2013). Através dos dados observados, foi observado que o fluxo mais intenso para norte ocorreu entre 20 e 22 °S no nível de 1000 metros, onde velocidade média de 0,342 m/s foi atingida entre os dias 08/03/2015 e 14/03/2015. Em contrapartida, ainda em 1000 metros, o fluxo mais fraco para o norte foi descrito entre as latitudes de 26°S e 28°S, sendo reportada velocidade média de 0,07 m/s entre os dias 28/12/2014 e 11/02/2015. Na análise da velocidade modelada média meridional das seções 21°S e 23°S, observa-se pronunciado fortalecimento do fluxo meridional médio da CCI, a velocidade média da corrente meridional é 0,02 m/s em 23°s, enquanto em 21°S velocidade

média de 0,17 m/s é atingida, situando este valor entre os valores de velocidade estipulados por Muller et al. (1998) e Silveira et al. (2008) em 23°S, todavia a velocidade média estimada em 23°S foi cerca de uma ordem de grandeza da descrita por estes autores;

- O transporte meridional médio decadal de 7,8 Sv obtido em 21°S está de acordo com a promediação de transportes realizados pela literatura entre 20°S e 22°S (BOEBEL et al., 1997; SCHMID et al., 2000; SCHMID & GARZOLI, 2009; PIMENTEL, 2012; PEREIRA et al., 2014). Por outro lado, o transporte meridional médio decadal de 1 Sv calculado em 23°S é bem inferior a promediação de 5,7 Sv de estudos efetuados pela comunidade científica entre 22°S e 24°S (FU, 1981; BOEBEL et al., 1997; SCHMID et al., 2000; SCHMID & GARZOLI, 2009; PIMENTEL, 2012; PEREIRA et al., 2014). No entanto, é importante lembrar que o transporte em 23°S apresenta uma variabilidade mais pronunciada do que em 21°S, uma vez que os coeficientes de variação do transporte meridional médio decadal em 21°S e 23°S foram de 23,3% e 83,3%, respectivamente;
- O transporte climatológico foi máximo no mês de julho e mínimo nos meses de março e outubro em 21°S, ou seja, a situação mais representativa para área de estudo;
- Há um padrão de bifurcação da CCI em 21°S, o que mostra uma ramificação da CCI antes mesmo de atravessar a CVT, enquanto a literatura reporta ramificação da corrente ao passar pela CVT (BOEBEL et al., 1999; LEGEAIS et al., 2013). Próximo a 24°S, foi observado meandramento da corrente, em conformidade com relatos de Calado (2001);
- O sinal de oscilação do transporte em 23°S é principalmente sazonal com frequência de oscilação de 1 ano. Já em 21°S, a variabilidade foi interanual, onde a frequência de oscilação foi de 2 anos, podendo estar associada ao ENOS. Porém, é esperado que o sinal de variabilidade da CCI mais representativo para esta região seja o sinal de oscilação de 2 anos, pois a intensa atividade de mesoescala em 23°S pode mascarar a assinatura do sinal;

- Padrões bem distintos são observados nos campos de velocidade. No entanto, em conformidade com a literatura, a latitude de origem da CCI variou de 25°S a 29°S (RODRIGUES et al., 2007; LEGAIS et al., 2013; PEREIRA et al., 2014). Em geral, a CCI sofre uma intensificação em latitudes ao norte de 23°S, devido a contribuição da CSE ou da CTCI.

Por fim, estender o período de dados analisados é fundamental para uma análise mais detalhada e assertiva das possíveis variabilidades interanuais da CCI, sobretudo a variabilidade associada ao ENOS. Talvez, uma análise de 30 anos constitua um período adequado para descrever as variabilidades associadas ao ENOS e aos fenômenos de oscilação decadal. Complementarmente, redes de obtenção de dados observacionais devem ser implementadas nas regiões de maior variabilidade da corrente, principalmente, ao longo de Cabo Frio, para que este tipo de análise possa ser realizada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES DOS SANTOS, FRANCISCO ; SANTI COIMBRA DE OLIVEIRA, ANDRÉ LUIS ; MENDES SOARES, FELIPE LOBO ; DE CARVALHO, GABRIEL VIEIRA ; SÃO TIAGO, PEDRO MARQUES ; DOS SANTOS, NATALIA GOMES ; GARÇÃO, HENERY FERREIRA ; PIMENTEL, FLÁVIA POZZI ; BOECHAT, ANA CAROLINA ; MARIANO, LÍVIA SANT'ANGELO ; BERGMAN, CECÍLIA ; RINALDI, FREDERICO LUNA ; DE MIRANDA, TIAGO CARDOSO ; CABRAL, MARCELO MONTENEGRO ; MARQUES DA CRUZ, LEONARDO MATURO ; DE CASTRO PELLEGRINI, JÚLIO AUGUSTO ; DE FREITAS ASSAD, LUIZ PAULO ; LANDAU, LUIZ ; DA ROCHA FRAGOSO, MAURÍCIO . **Projeto Azul. Coastal Ocean Observing Systems**. 1ed.: Elsevier, 2015, v. , p. 99-118.
- AMANTE, C.; BEAKINS, B.W. Etopo11 Arc-Minute Global Relief model: procedures, data sources and analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24. National Ocean and Atmospheric Administration. p.19. 2009.
- BECKER, J.J. et al. Global bathymetry and elevation data at 30 arc seconds resolution: SRTM30_PLUS. **Mar. Geod**, v. 32, p. 355-371. 2009.
- BOEBEL, O.; SCHMID, C.; ZENK, W. Flow and recirculation of Antarctic Intermediate Water across the Rio Grande Rise. **Journal of Geophysical Research**, v. 102, n. C9, p. 20967-20986. 1997.
- BOEBEL, O.; DAVIS, R.E.; OLLITRAULT, M.; PETERSON, R.G.; SCHMID, C.; ZENK, W. The Intermediate Depth Circulation of the Western South Atlantic. **Geophysical Research Letters**, v. 26, n. 21, p. 3329-3332. 1999.
- CALADO, L. 2001. 95p. **Dinâmica da formação dos meandros e vórtices da Corrente do Brasil ao largo do sudeste brasileiro**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- CALADO, L. 2006. 159p. **Dinâmica da Interação da atividade de meso-escala da Corrente do Brasil com o fenômeno de ressurgência costeira ao largo de Cabo Frio e Cabo de São Tóme, RJ**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- CAMPOS, E. J. D.; GONÇALVES, J. E.; IKEDA, Y. Water mass structure and geostrophic circulation in the South Brazil Bight - summer of 1991. **Journal Geophys. Res.**, v.100, n. C9, p.18.537–18.550. 1995.

- CASPEL, M.R.V. 2009. 98p. **Sobre a variabilidade temporal do transporte de volume da Corrente do Brasil nas imediações da Cadeia Submarina Vitória-Trindade**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física), Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.
- CASTRO, B. M. 1996. 248p. **Correntes e Massas de Água na Plataforma Continental Norte de São Paulo**. Tese de Livre-Docência. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- COPERNICUS, disponível em: <<http://marine.copernicus.eu/about-us/about-eu-copernicus/>>. Acessado 22 Fevereiro de 2018.
- COSTA, V.S.; MILL, G.N.; GABIOUX, M; GROSSMANN-MATHESON, G.S.; PAIVA, A.M. The recirculation of the intermediate western boundary current at the Tubarão Bight – Brazil. **Deep-Sea Research I**, v. 120, p. 48-60. 2016.
- CRUZ, O.; COUTINHO, P.N.; DUARTE G.M.; GOMES, A.M.B.; MUEHE, D. (1985) Brazil. In: Bird ECF and Schwartz ML (Eds.), **The World's Coastline**. New York: Van Nostrand Reinhold, pp 85–91.
- DENGLER, M.; SCHOTT, F. A.; EDEN, C.; BRANDT, P.; FISCHER, J.; ZANTOPP, R.J. Break-up of the Atlantic deep western boundary current into eddies at 8°S. **Nature**, v. 432, p.1018-1020. 2004.
- DONG, S.; GARZOLI, S. L.; Baringer, M.O.; Meinen, C.S.; Goni, G.J. Interannual variations in the Atlantic meridional overturning circulation and its relationship with the net northward heat transport in the South Atlantic. **Geophys. Res. Lett**, v. 36, p. L20606 . 2009.
- EVANS, D.; SIGNORINI, S. R. Vertical structure of the Brazil Current. **Nature**, v. 315, p. 48-50. 1985.
- FARGE, M. Wavelet transforms and their applications to turbulence. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.24, p.395-457, 1992.
- FU, L. The general circulation and meridional heat transport of the subtropical South Atlantic determined by inverse method. **JPO**, v. 11, p. 1171–1193. 1981.
- GABOR, D. Theory of communication. **Journal of the Institute of Electrical Engineering**, v. 93, p. 429 – 457, 1946.
- GU, D.; PHILANDER, S. G. H. Secular changes of annual and interannual variability in the Tropics during the past century. **J. Climate**, v. 8, p. 864–876. 1995.
- HERAS, M. M.; SCHLITZER, R. On the importance of intermediate water flows for the global ocean overturning, **J. Geophys. Res**, v. 104, p. 15,515– 15,536. 1999.

- HOGG, N.G.; OWENS, W.B. Direct measurement of the deep circulation within the Brazil Basin. **Deep-Sea Research**, v. 2, n. 46, p. 335-353. 1999.
- HSIUNG, J. Estimates of global oceanic meridional heat transport. **J. Phys. Oceanogr**, v. 15, p. 1405-1413. 1985.
- KEITH, D. W. Meridional energy transport: Uncertainty in zonal means. **Tellus**, v. 47A, p. 30-44. 1995.
- LEGEAIS, J.F.; OLLITRAULT, M.; ARHAN, M. Lagrangian Observation in the Intermediate Western Boundary Current of the South Atlantic. **Deep-Sea Research II**, v. 85, p. 109-126. 2013.
- LIMA, J. A. M. 1997. 144p. **Oceanic circulation on the Brazil Current shelf break and slope at 22°S**. Tese (Doutorado), University of New South Wales, New South Wales.
- MADEC, G. et al. NEMO ocean engine. Note du Pôle modélisation Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL), France, No. 27 ISSN, p. 1288-1619. 2008.
- MEMERY, L.; ARHAN, M.; ALVAREZ-SALGADO, X.A.; MERCIER, H.; CASTRO, C.G.; RIOS, A.F. The water masses along the western boundary of the south and equatorial Atlantic. **Progress in Oceanography**, v. 47, p. 69-98. 2000.
- MASCARENHAS, A. S., L. B. M.; ROCK, N. J. A study of oceanographic conditions in the region of Cabo Frio. **Costlow J. D.**, v.1, p. 285-308. 1971.
- MENA, M.; Poulain, P.M. Mediterranean intermediate circulation estimated from Argo data in 2003-2010. **Ocean Science**, v. 6, p. 331-343. 2010.
- MERCATOR OCEAN, disponível em: <<http://marine.copernicus.eu/about-us/about-mercator-ocean/>>. Acessado 22 Fevereiro de 2018.
- MORLET, J. **Sampling theory and wave propagation**. Springer, 1983.
- MULLER, T. J.; IKEDA, Y.; ZANGENBERG, N.; NONATO, L. V. Direct measurements of western boundary currents off Brazil between 20 °S and 28°S. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, n.C3, p. 5429-5437. 1998.
- NOUEL, L. 2016. For the GLOBAL Ocean Sea Physical Analysis and Forecasting Products GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024. Product User Manual. <http://cmems-resources.cls.fr/documents/PUM/CMEMS-GLO-PUM-001-024.pdf>. Acessado em: 17 Abril de 2017.
- PEREIRA, J.; GABIOUX, M.; ALMEIDA, M.; CIRANO, M.; PAIVA, A.M.; AGUIAR, A.L. The bifurcation of the western boundary current system of the south atlantic ocean. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 32(2), p. 241-257. 2014.

- PIMENTEL, F. P. 2012. 101p. **A corrente do Brasil e a Corrente de Contorno Intermediária na região da cadeia Vitória-Trindade.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica), Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- REID, J. L.; NOWLIN, W. D.; PATZERT, W. C. On the characteristics and circulation of the southwestern Atlantic Ocean. **J. Phys. Oceanogr.**, v.7, n.1, p.62–91. 1977.
- REID, J. L. On the total geostrophic circulation of the South Atlantic Ocean: Flow patterns, tracers and transports. **Progress in Oceanography**, v. 23 p.149–244. 1989.
- RIBONI, I.N.; BOEBEL, O.; OLLITRAULT, M.; YOU, Y.; RICHARDSON, P.L.; DAVIS, R. Lagrangian circulation of Antarctic Intermediate Water in the subtropical South Atlantic. **Deep-Sea Research**, v. 2, n. 52, p. 545-564. 2005.
- RODRIGUES, R. R.; ROTHSTEIN, L.M.; WIMBUSH, M. Seasonal Variability of the South Equatorial Current Bifurcation in the Atlantic Ocean: A Numerical study. **American Meteorological Society**, v. 37, p. 16-30. 2007.
- SCHMID, C.; SIEDLER, G.; ZENK, W. Dynamics of Intermediate Water Circulation in the Subtropical South Atlantic. **American Meteorological Society**, v. 30, p. 3191-3211. 2000.
- SCHMID, C.; GARZOLI, S.L. New observations of the spreading and variability of the Antarctic Intermediate Water in the Atlantic. **Journal of Marine Research**, v. 67, p. 815-843. 2009.
- SCHMID, C. Mean vertical and horizontal structure of the subtropical circulation in the South Atlantic from three-dimensional observed velocity fields. **Deep-Sea Res.** v. 2, n. 91, p. 50–71. 2014.
- SILVA, S.R.G. 2013. 62p. **Caracterização da circulação a 1000 metros de profundidade e estrutura termohalina na região da Cadeia Vitória-Trindade.** Monografia (Bacharel em Oceanografia), Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- SILVEIRA, J.D.A. 1964. **Morfologia do litoral.** In: Azevedo A (Ed.), *Brasil a terra e o homem.* São Paulo, Companhia Editora Nacional, pp 253–305.

- SILVEIRA, I.C.A.; SCHMIDT, A.C.K.; CAMPOS, E.J.D.; GODOI, S.S.; IKEDA, Y. A
Corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. **Revista bras. oceanogr**,
v. 48, n. 2, p.171–183. 2000.
- SILVEIRA, I.C.A.; CALADO, L.; CASTRO, B.M.; CIRANO, M.; LIMA, J.A.M.;
MASCARENHAS, A.D.S. On the baroclinic structure of the Brazil Current-
Intermediate Western Boundary Current system at 22°-23°S. **Geophysical
Research Letters**, v. 31, L14308. 2004.
- SILVEIRA, I. C. A.; RIBEIRO, E. O.; LIMA, J. M. L.; MATTOS, R. A.; SOUTELINO, R.
G.; LEAL, C. A. Caracterização oceanográfica da Bacia do Espírito Santo e da
Região de Abrolhos. **Anais do II Congresso Brasileiro de Oceanografia**,
Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, p.1–3. 2005.
- SILVEIRA, I.C.A. 2007. 160p. **O Sistema de Correntes do Brasil na Bacia de
Campos, RJ**. Tese (Livre Docência em Oceanografia Física), Instituto
Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- SILVEIRA, I.C.A.; LIMA, J.A.M.; SCHMIDT, A.C.K.; CECCOPIERI, W.; SARTORI, A;
FRANCISCO, C.P.F.; FONTES, R.F.C. Is the meander growth in the Brazil
Current System off Southeast Brazil due to baroclinic instability? **Dynamics of
Atmospheres and Oceans**, v. 45, p. 187-207. 2008.
- SILVEIRA, I.C.A.; FOLONI NETO, H.; COSTA, T.P.; SCHMIDT, A.C.K.; PEREIRA,
A.F.; CASTRO FILHO, B.M.; SOUTELINO, R.G.; GROSSMANN-MATHESON,
G.S. 2015. **Caracterização da oceanografia física do talude continental e
região oceânica da Bacia de Campos**. In: Martins, R.P., Grossman-
Matheson, G.S., editores. Meteorologia e oceanografia. Rio de Janeiro:
Elsevier. Habitats, v. 2. p. 133-188.
- SOUTELINO, R.G. 2008. 120p. **A origem da Corrente do Brasil**. Dissertação
(Mestrado em Oceanografia Física), Instituto Oceanográfico, Universidade de
São Paulo, São Paulo.
- STRAMMA, L. The Brazil Current transport south of 23°S. **Deep-Sea Res.**, v.36,
p.639– 646. 1989.
- STRAMMA, L.; PETERSON, R. G. The South Atlantic Current. **J. Phys. Oceanogr.**, 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**, v. 104, n. C9, p. 20863-
20883. 1999.

- TAYLOR, K.E.: Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. **J.Geophys.Res.**, v.106, p.7183-7192. 2001.
- TORRENCE, C.;COMPO, G. P. A practical guide to wavelet analysis. **Bull. Am. Meteorol. Soc.**, v. 79, 61-78, 1998.
- TRENBERTH, K. E.; CARON, J. M. Estimates of meridional atmosphere and ocean heat transports. **Journal of Climate**, v. 14,p. 3433-3443. 2001.
- TRENBERTH, K. E.; FASULLO, J.T.; BALMASEDA, M.A. Earth's energy Imbalance. **Journal of Climate**, v. 27, p. 3129-3144. 2014.
- WEATHERLY, G.L.; KIM, Y.Y.; KONTAR, E.A. Eulerian measurements of the North Atlantic Deep Water Deep Western Boundary Current at 18°S. **American Meteorological Society**, v. 30, p. 971-986. 2000.
- WUST, G. 1935. 288p. **Schichtung und Zirkulation des Atlantischen Ozeans. Das Bodenwasser und die Stratosphäre.** Wissenschaftliche Ergebnisse der Deutschen Atlantischen Expedition 'Meteor' 1925–1927, Berlin.
- YOU, Y.; LUTJEHARMS, J.R.R.; BOEBEL, O.; DE RUIJTER, W.P.M. Quantification of the inter-ocean exchange of intermediate water masses around South Africa. **Deep-Sea Research II**, v.50, p. 197-228. 2003.
- ZEMBA, J.C. 1991. 164p. **The structure and Transport of the Brazil Current between 27° and 36° South.** Tese (Doutorado em Oceanografia Física), MIT/WHOI. Cambridge, Massachusetts.