



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE OCEANOGRAPHIA**

ALESSANDRO LOPES AGUIAR

**ESTUDO DA ESTRUTURA VERTICAL DAS MASSAS DE ÁGUA
DO OESTE DO ATLÂNTICO SUL COM BASE NO MODELO
OCEÂNICO GLOBAL OCCAM**

Salvador
2009

ALESSANDRO LOPES AGUIAR

**ESTUDO DA ESTRUTURA VERTICAL DAS MASSAS DE
ÁGUA DO OESTE DO ATLÂNTICO SUL COM BASE NO
MODELO OCEÂNICO GLOBAL OCCAM**

Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia,
Instituto de Geociências, Universidade Federal da
Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau
de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Cirano

Salvador
2009

TERMO DE APROVAÇÃO

ALESSANDRO LOPES AGUIAR

ESTUDO DA ESTRUTURA VERTICAL DAS MASSAS DE ÁGUA DO OESTE DO ATLÂNTICO SUL COM BASE NO MODELO OCEÂNICO GLOBAL OCCAM

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel
em Oceanografia, Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca
examinadora:

Mauro Cirano - Orientador
Doutor em Oceanografia Física pela University of New South Wales, Austrália
Universidade Federal da Bahia

Clemente Augusto Souza Tanajura
Doutor em Meteorologia pela University of Maryland, EUA
Universidade Federal da Bahia

Janini Pereira
Doutora em Oceanografia Física pela Universidade de São Paulo, Brasil
Universidade Federal da Bahia

Salvador, 9 de dezembro de 2009

Dedico esta obra ao Amor,
Ou melhor,
Me dedico ao Amor,
À Deusa Vênus

Ao Amor que aquece a Alma e permite a Vida
Que Inspira os Heróis e os Mortais
E traz o *Theos* ao alcance do Homem e da Mulher

Ao Amor que a tudo Une,
Que orienta as Correntes até *Sofia*
E mergulha o Corpo no Ser
O Elo entre o Homem e o Oceano Infinito

Me dedico à Dama com nome de Flor,
A Escolhida por Vênus
para me mostrar
A Força e a Eternidade do Amor

Dedico este trabalho e
O meu Sonho de Amor Real
À Minha Menina Musa
Roseli

AGRADECIMENTOS

À Natureza, que me criou e da qual sou parte; cujos mistérios a Vocação me impele a desvelar.

À Família, em especial ao meu pai Welington, exemplo de força e determinação; à minha mãe Zelinda pela educação que recebi; ao meu avô João, avó Jolinda e tias Zela e Alderiva pelo carinho e confiança que depositaram e depositam em mim.

A Ana Paula e Maria Rita, minhas Irmãs de alma, sempre ao meu lado em todos os momentos.

A meu orientador Mauro Cirano, de fato um pai acadêmico, por ter me conduzido ao bom conhecimento oceanográfico e ser um constante referencial de profissionalismo e realização.

Aos professores que me ensinaram a importância e as diversas possibilidades da Oceanografia, especialmente aos que tive mais contato na graduação: Clemente Tanajura, Paulo Mafalda, Guilherme Lessa, Carlos Lentini, Angela Zanata, Vanessa Hatje, Orane Falcão, Pedro Rocha, Wilson Matos, Angélica Souza, Gislaine Vieira e Augusto Minervino e também aos professores de Engenharia Sanitária e Ambiental Lafayette Luz, Luiz Moraes, Viviane Zanta e Patrícia Borja.

À Secretária do Colegiado, Rita de Cássia, pelo apoio e eficiência decisivos na mudança para o curso de Oceanografia e no meu caminho acadêmico.

Aos colegas de Oceano e Engenharia com os quais compartilhei importantes momentos dentro e fora da Universidade.

À rede Remo pela grande oportunidade de poder conhecer e trabalhar com os maiores pesquisadores em Oceanografia do Brasil. Um agradecimento especial à pesquisadora Janini Pereira pelo incentivo, aprendizado e carinho.

Ao Grupo de Oceanografia Tropical que me acolheu e faz crescer a Oceanografia no Norte-Nordeste.

À equipe do modelo global OCCAM, por disponibilizar os dados para a realização deste trabalho.

Às *sensei* de Língua Japonesa Kanzaki Yoshiko, Narita Yaeko, Okabe Mineko, Sakamoto Kiyoko, Tahara Miwa, Yoshimoto Emina; *teachers* de Inglês Romi Nascimento, Júlio e Lia Ravazzano; e *pripodavatchel'* de Russo Plínio Moura que me possibilitaram conhecer idiomas fascinantes e ao mesmo tempo me guiaram ao auto-conhecimento lingüístico fundamental ao desenvolvimento deste trabalho acadêmico.

Aos mestres Anita Garrido, Conceição Araújo, Enobaldo Ataíde, Maria das Graças Santos, Mariana Tudor, Maurício Schmall, Maynard, Mirei Takeuchi, Myriam Rugani, Nagase Reiko, Neylon, Ricardo Castro, Satoko Erika, Vanja Ferreira, e muitos outros que me ensinaram o segredo de acreditar e realizar os Sonhos.

Aos meus queridos educandos, pela dedicação e amizade e, além disso, por me mostrarem que aprender é uma eterna caminhada.

Aos Amigos do Sacrá, das Letras ocidentais e orientais, das Artes e da Filosofia à Maneira Clássica; enfim aos amigos da Vida, perto ou longe, no Brasil ou no Japão, fisicamente ou somente em espírito, sempre vivos em meu coração.

Agradeço à bela que me acompanha no caminho do Amor, Roseli, que com seu carinho e sabedoria, me mostra que os impossíveis são apenas desafios que ainda não superamos.

*ainda que tivesse sido o maior pecador
entre os homens, a nau do conhecimento
da Verdade te conduzirá sem perigo pelo
mar dos erros.*

Krishna

RESUMO

A estrutura vertical das massas de água na parte oeste do oceano Atlântico Sul é estudada com base nas saídas do modelo oceânico Ocean Circulation and Climate Advanced Modelling Project (OCCAM) em duas resoluções horizontais: $1/4^\circ$ e $1/12^\circ$. No intuito de investigar os padrões de circulação das massas de água e suas regiões de bifurcação, foram elaborados mapas horizontais de transporte de volume acumulado e perfis verticais de velocidade meridional média em seções zonais ao largo da margem continental brasileira localizadas em: 5°S , 13°S , 22°S e 30°S . No escopo deste trabalho, as interfaces isopícnais entre as massas de água são os limites verticais de integração para o cálculo do transporte de volume. A análise dos resultados do modelo OCCAM proporcionou uma representação realística da estrutura vertical oceânica e estimativas de transporte para as massas de água compatíveis com os valores encontrados na literatura. A resolução de $1/12^\circ$ apresentou maior eficiência na descrição dos padrões dinâmicos da área de estudo. Os resultados do modelo mostram uma variação zonal para leste, condicionada pela batimetria local e uma migração meridional de sentido sul, com o aumento de profundidade, da região de bifurcação da Corrente Sul Equatorial. As latitudes anuais médias da bifurcação, em relação a cada massa de água, calculadas pelo OCCAM são 13°S , no nível da Água Tropical; 21°S no nível da Água Central do Atlântico Sul e 29°S ao nível da Água Intermediária Antártica. A Água Profunda do Atlântico Norte rumo para sul, como um fluxo organizado, ao longo de toda a costa brasileira, com uma maior tendência a formar meandros em regiões onde as mudanças batimétricas são mais pronunciadas, como a cadeia submarina de Vitória-Trindade.

Palavras-chave: Massa de Água; Circulação, Atlântico Sul.

ABSTRACT

The vertical structure of water masses in the western part of the South Atlantic Ocean is studied based on the outputs of the oceanic model Ocean Circulation and Climate Advanced Modeling Project (OCCAM) with two horizontal resolutions: $1/4^\circ$ and $1/12^\circ$. In order to investigate the circulation patterns of water masses and their bifurcation regions, maps of horizontal volume transport were designed and vertical profiles of meridional averaged velocity were evaluated at zonal sections off the Brazilian continental margin located at: 5° S, 13° S, 22° S and 30° S. In the scope of this work, the isopycnal interfaces between bodies of water are the limits of vertical integration adopted for the calculation of volume transport. The results of the OCCAM model provided a realistic representation of vertical structure and estimates of volume transport for the masses of water compatible with the values found in literature. The resolution of $1/12^\circ$ showed greater efficiency in describing the dynamic patterns of the study area. The model results show an eastward zonal variation conditioned by the local bathymetry and a southern migration with increasing depth of the region of bifurcation of the South Equatorial Current. The annual average latitude of the bifurcation for each water mass, calculated by the OCCAM model are 13° S in the Tropical Water level, 21° S in the level of the South Atlantic Central Water and 29° S in the level at the Antarctic Intermediate Water. The North Atlantic Deep Water flows southward throughout the whole region, as an organized flow over the entire Brazilian coast, with a larger tendency to meander in regions where topography changes are more pronounced, such as the Vitoria-Trindade Submarine Chain.

Keywords: Water Mass; Circulation; South Atlantic Ocean.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Representação esquemática do Giro Subtropical do Atlântico Sul (Silveira, 2000). 15
- Figura 2 – Distribuição horizontal da (a) temperatura potencial (espaçamento de 1,0°C entre as isotermas) e da (b) salinidade (espaçamento de 0,25 entre as isohalinas) segundo a climatologia anual do OCCAM e para a profundidade de 52 m. Extraído de Cirano et al. (2006). 19
- Figura 3 – Representação esquemática da Circulação da Água Tropical (0 – 140m). Baseada em Reid (1989) e Stramma & England (1999). Extraído de Silveira (2007). 20
- Figura 4 – Representação esquemática da Circulação da Água Central do Atlântico Sul (140 – 560m). Baseada em Reid (1989) e Stramma & England (1999). Extraído de Silveira (2007). 20
- Figura 5 – Representação esquemática da Circulação da Água Intermediária Antártica (560 – 1300m). Baseada em Reid (1989) e Stramma & England (1999). Extraído de Silveira (2007). 24
- Figura 6 – Representação esquemática da Circulação da Água Profunda do Atlântico Norte (1300 – 3260m). Baseada em Reid (1989) e Stramma & England (1999). Extraído de Silveira (2007). 24
- Figura 7 – a) Distribuição horizontal da (a) temperatura potencial (espaçamento de 1,0°C entre as isotermas) e da (b) salinidade (espaçamento de 0,25 entre as isohalinas) segundo a climatologia anual do OCCAM e para a profundidade de 1931 m. Extraído de Cirano et al. (2006). 25

Figura 8 – Anomalia geopotencial media anual ($\times 10^{-1} \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$) e fluxo geostrófico relativo a 1000 dbar em 0, 100, 200, 400, 600 e 800 m no Atlântico Sul de acordo com Rodrigues et al. (2006). Os círculos pretos representam a localização da BiCSE.

27

Figura 9 – Síntese da origem e do escoamento da CB ao longo da margem continental brasileira de acordo com os padrões esquemáticos de grande escala de Stramma e England (1999). Extraído de Soutelino (2008).

28

Figura 10 – Síntese da origem e do escoamento da CB ao longo da margem continental brasileira de acordo com os padrões esquemáticos de grande escala de Stramma e England (1999). Extraído de Soutelino (2008).

29

Figura 11 – Síntese da origem e do escoamento do sistema de correntes de contorno oeste ao longo da margem continental brasileira de acordo com os padrões esquemáticos de grande escala de Stramma e England (1999)

29

Figura 12 – Mapa horizontal de transporte meridional acumulado entre a superfície e a isopical $\sigma_\theta = 25,7$ para novembro com base no OCCAM $1/4^\circ$. A região de bifurcação é representada pelo círculo preto.

40

Figura 13 – Batimetria do oeste do Atlântico Sul com base em: a) dados do modelo OCCAM $1/4^\circ$; b) dados do modelo OCCAM $1/12^\circ$; c) dados do ETOPO1 (1kmx1km). As retas horizontais correspondem às seções zonais escolhidas em $5^\circ, 13^\circ, 22^\circ$ e 30°S .

44

Figura 14 – Diagrama com as curvas Θ -S segundo o OCCAM $1/4^\circ$, OCCAM $1/12^\circ$ e WOA05 1° para um ponto localizado em (a) $5,5^\circ\text{S}$ e $34,5^\circ\text{W}$ e em (b) $30,5^\circ\text{S}$ e $39,5^\circ\text{W}$. Os contornos isopicalais representam os limites verticais entre as massas de água estudadas.

46

Figura 15 – Profundidades da isopical $\sigma_\theta = 25,7$ baseada em: a) OCCAM $1/4^\circ$; b) OCCAM $1/12^\circ$; c) WOA05.

48

Figura 16 – Profundidades da isopical $\sigma_\theta = 26,8$ baseada em: a) OCCAM $1/4^\circ$; b) OCCAM $1/12^\circ$; c) WOA05.

49

Figura 17 – Profundidades da isopicnal $\sigma_\theta = 27,53$ baseada em: a) OCCAM 1/4°; b) OCCAM 1/12°; c) WOA05. 50

Figura 18 – Mapa horizontal de transporte meridional acumulado entre a superfície e a isopicnal $\sigma_\theta = 25,7$. A linha espessa representa a isolinha de transporte nulo. a) OCCAM 1/4°; b) OCCAM 1/12°. 52

Figura 19 – Mapa horizontal de transporte meridional acumulado entre as isopicnais $\sigma_\theta = 25,7$ e $\sigma_\theta = 26,8$. A linha espessa representa a isolinha de transporte nulo. a) OCCAM 1/4°; b) OCCAM 1/12°. 54

Figura 20 – Mapa horizontal de transporte meridional acumulado entre as isopicnais $\sigma_\theta = 26,8$ e $\sigma_\theta = 27,53$. A linha espessa representa a isolinha de transporte nulo. a) OCCAM 1/4°; b) OCCAM 1/12°. 55

Figura 21 – Mapa horizontal de transporte meridional acumulado entre a isopicnal $\sigma_\theta = 27,53$ e o fundo. A linha espessa representa a isolinha de transporte nulo. a) OCCAM 1/4°; b) OCCAM 1/12°. 57

Figura 22 – Perfil de velocidade meridional na seção zonal de 5°S. Valores de velocidades positivos (negativos) indicam sentido para norte (sul). Espaçamento entre as isolinhas de 0,05 m/s. OCCAM 1/4° (a); OCCAM 1/12° (b). 61

Figura 23 – Perfil de velocidade meridional na seção zonal de 13°S. Valores de velocidades positivos (negativos) indicam sentido para norte (sul). Espaçamento entre as isolinhas de 0,05 m/s. OCCAM 1/4° (a); OCCAM 1/12° (b). 65

Figura 24 – Perfil de velocidade meridional na seção zonal de 22°S. Valores de velocidades positivos (negativos) indicam sentido para norte (sul). Espaçamento entre as isolinhas de 0,05 m/s. OCCAM 1/4° (a); OCCAM 1/12° (b). 68

Figura 25 – Perfil de velocidade meridional na seção zonal de 30°S. Valores de velocidades positivos (negativos) indicam sentido para norte (sul). Espaçamento entre as isolinhas de 0,05 m/s. OCCAM 1/4° (a); OCCAM 1/12° (b). 72

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Estimativas para o transporte de volume e velocidade máxima da CB, entre 9°S e 31°S. Extraída de Cirano et al. (2006). 32
- Tabela 2 – Transporte Geostrófico, relativo à 1000m, da Corrente Norte do Brasil. As profundidades em parêntesis indicam a profundidade máxima amostrada na seção mais a oeste. Os transportes foram calculados por extrapolação da altura geopotencial pela técnica de Reid and Mantylla (1976). Extraído de Silveira (1994). 33
- Tabela 3 – Profundidades em metros associada a cada nível do modelo. Extraído de Coward and Cuevas (2005). 34
- Tabela 4 – Valores das superfícies isopicnais (em kg m^{-3}) que representam as interfaces entre as massas de água do Oceano Atlântico Sul, região do Giro Subtropical, na literatura. Adaptado de Silveira (2007). 39
- Tabela 5 – Limites leste estabelecidos para o cálculo do transporte meridional acumulado nos perfis de velocidade relacionados para cada massa de água. 41
- Tabela 6 – Latitudes de bifurcação da CSE para os níveis da AT, ACAS e AIA, durante o ano segundo o OCCAM 1/4° e OCCAM 1/12°. 53
- Tabela 7 – Velocidade meridional máxima em m/s para os núcleos das massas de água para a seção em 5°S. 59
- Tabela 8 – Velocidade meridional máxima em m/s para os núcleos das massas de água para a seção em 13°S. 64
- Tabela 9 – Velocidade meridional máxima em m/s para os núcleos das massas de água para a seção em 22°S. 67
- Tabela 10 – Velocidade meridional máxima em m/s para os núcleos das massas de água para a seção em 30°S. 71

LISTA DE ABREVIATURAS

ACAS: Água Central do Atlântico Sul
ACP: Água Circumpolar Profunda
ACS: Água Circumpolar Superior
AFA: Água de Fundo Antártica
AIA: Água Intermediária Antártica
APAN: Água Profunda do Atlântico Norte
ASAM: Água Subantártica Modal
AT: Água Tropical
BiCSE: Bifurcação da Corrente Sul Equatorial
CB: Corrente do Brasil
CCA: Corrente Circumpolar Antártica
CCI: Corrente de Contorno Intermediária
CCO: Corrente de Contorno Oeste
CCP: Corrente de Contorno Profunda
CNB: Corrente Norte do Brasil
CSE: Corrente Sul Equatorial
ISCCP: International Satellite Cloud Climatology Project
MSU: Microwave Sounding Unit
NCAR: National Center for Atmospheric Research
NCEP: National Centers for Environmental Prediction
NGDC: National Geophysics Data Center
NOAA: National Ocean and Atmospheric Administration
NODC: National Ocean Data Center
OCCAM: Ocean Circulation and Climate Advanced Modeling Project
OC4: Simulação do OCCAM com $1/4^\circ$ de resolução horizontal
OC12: Simulação do OCCAM com $1/12^\circ$ de resolução horizontal
SNB: Subcorrente Norte do Brasil
WOA: World Ocean Atlas
WOCE SAC: World Ocean Circulation Experiment Special Analysis Center

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivos	17
2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	18
2.1	Estrutura Vertical de Massa de Água	18
2.2	Sistema de Correntes de Contorno Oeste	25
2.3	Velocidades e Transportes de Volume	30
3	METODOLOGIA	35
3.1	Modelo Oceânico OCCAM	35
3.2	World Ocean Atlas 2005	37
3.3	ETOPO1	37
3.4	Determinação dos Níveis Isopícnais	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1	Batimetria	43
4.2	Diagrama Θ -S	45
4.3	Mapas de Profundidade das Isopícnais	47
4.4	Mapas de Transporte de Volume	51
4.4.1	Água Tropical	51
4.4.2	Água Central do Atlântico Sul	54
4.4.3	Água Intermediária Antártica	55
4.4.4	Água Profunda do Atlântico Norte	56
4.5	Perfis de Velocidade	58
4.5.1	Seção em 5°S	58
4.5.1	Seção em 13°S	63
4.5.1	Seção em 22°S	66
4.5.1	Seção em 30°S	70
5	CONCLUSÃO	74
	REFERÊNCIAS	76

1 INTRODUÇÃO

A circulação oceânica de larga-escala no oceano Atlântico Sul é altamente influenciada pelo Giro Subtropical. O limite mais equatorial deste giro é composto pela Corrente Sul Equatorial (CSE), que flui para oeste. Próximo a costa brasileira, a CSE se bifurca em dois ramos, um que flui para norte originando a Corrente Norte do Brasil (CNB) e outro que flui para sul originando a Corrente do Brasil (CB). A CB flui ao largo de boa parte da costa brasileira até atingir a região da Convergência Subtropical onde forma uma confluência com a Corrente das Malvinas e se separa da costa. Ao se afastar da costa e após a região de confluência, esta corrente é denominada de Corrente do Atlântico Sul, fluindo para leste até encontrar o continente africano (limite leste do Atlântico Sul) e rumar para noroeste como a Corrente de Benguela, quando finalmente constitui novamente a CSE, fechando o Giro Subtropical do Atlântico Sul (PETERSON; STRAMMA, 1991). Um diagrama esquemático deste giro, para a camada mais superficial é apresentado na Figura 1.

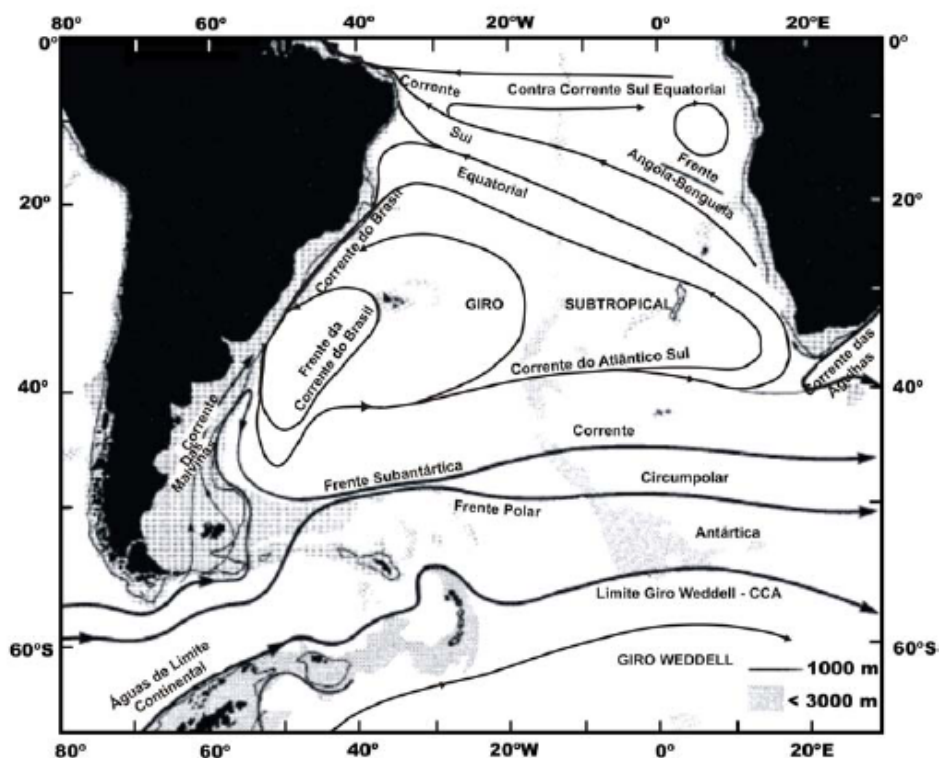


Figura 1 – Representação esquemática do Giro Subtropical do Atlântico Sul (PETERSON; STRAMMA, 1991). Extraído de CIRANO et al. (2006).

Associado ao giro subtropical, que é dependente da distribuição dos ventos, e influenciado principalmente pelas escalas de tempo sazonal e anual, a circulação oceânica, também é influenciada pela circulação termohalina, a qual ocorre em altas profundidades e apresenta uma escala de tempo mais longa.

Considerando-se que medidas diretas de correntes são ainda escassas para esta região, tanto para a circulação associada ao giro subtropical, a qual apresenta uma grande variação ao longo da profundidade, como para a circulação termohalina, o uso de técnicas indiretas baseadas na distribuição das propriedades termohalinas pode ser de grande valia para a compreensão dos processos oceânicos. A modelagem numérica tem se mostrado uma importante ferramenta no estudo dos vários aspectos envolvidos na circulação oceânica. Dessa forma, os modelos oceânicos vêm sendo amplamente utilizados devido ao seu baixo custo operacional, diante do crescente desenvolvimento da capacidade dos computadores os quais estão cada vez mais acessíveis; e segundo, pela possibilidade de estudar, de forma sinótica, áreas geográficas bastantes abrangentes que provavelmente não poderiam ser cobertas no âmbito de um cruzeiro oceanográfico (CIRANO et al., 2006).

Em estudos de menor escala, vem crescendo também a utilização de modelos regionais para a investigação da circulação de ambientes costeiros, como também é cada vez mais empregada a previsão oceânica de correntes. A modelagem regional para a previsão operacional encontra ampla aplicação na contenção e remediação de derramamentos de óleo, tornando-se assim um componente fundamental para a tomada de decisão no controle da dispersão de óleo. Os modelos regionais são, na maioria das vezes, aninhados em modelos de larga-escala, ou seja, estes fornecem as condições iniciais e de contorno que, por sua vez, irão forçar o modelo regional. O modelo global Ocean Circulation and Climate Advanced Modelling Project (OCCAM) vem sendo largamente utilizado em estudos oceanográficos no Atlântico Sul. Entre o mais recentes, podemos citar Donners e Drijfhout (2004), Donners et al. (2005) e Cirano et al. (2006). Além disso, o OCCAM vem sendo largamente utilizado pela comunidade oceanográfica brasileira em estudos de modelagem numérica regional (CIRANO et al., 2006). Sendo assim, é de grande importância estudar a eficiência e a aplicabilidade do OCCAM na definição das características e da estrutura vertical da circulação do oeste do Atlântico Sul.

Para este intuito, o estudo das massas de água é imprescindível na compreensão da distribuição dos parâmetros físicos e da circulação do oceano. Uma massa de água consiste em uma porção de água que possui uma história de formação comum e, portanto, propriedades comuns (TOMCZAK; GODFREY, 2004). A forma como as massas de água estão dispostas na coluna de água influencia diretamente as propriedades físicas e dinâmicas do oceano. Assim, é possível se afirmar que as características das massas de água condicionarão o aporte de calor, intensidade, direção e o transporte de volume do fluxo que as compõem.

Com objetivo de aprimorar o estudo das massas de água, grande parte das pesquisas oceanográficas vem usando níveis isopícnais ou de densidade constante como referenciais dos limites verticais nos quais cada massa de água está compreendida (Silveira, 2007). Essa metodologia mostra-se mais eficiente que a simples análise com base em profundidades pré-definidas, uma vez que as massas de água, apesar de ocuparem regiões distintas da coluna d'água de acordo que a sua posição geográfica, geralmente fluem ao longo de camadas entre níveis isopícnais.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem com objetivo principal a determinação da estrutura vertical das massas de água que compõem a circulação da região oeste do Oceano Atlântico Sul em níveis isopícnais, tendo como base o modelo global de circulação oceânica OCCAM, aprimorando assim os padrões de circulação apresentados por CIRANO et al. (2006). Como objetivos específicos pretende-se:

- Investigar, com base em mapas horizontais de transporte de volume médio anual, o trajeto e comportamento das massas de água como também seus locais de bifurcação;
- Avaliar a influência da sazonalidade na localização de bifurcação das massas de água;
- Determinar, com base em seções normais à costa, regiões com aspectos dinâmicos distintos ao longo da costa brasileira, com o intuito de avaliar, a estrutura vertical média e a variabilidade sazonal: i) da velocidade, ii) do transporte de volume.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo será realizado na parte oeste do Oceano Atlântico Sul, compreendendo a região entre as longitudes 25°W e 55°W e as latitudes entre o equador e 35°S. Nesta seção, serão descritos a estrutura vertical das massas de água da área de estudo, o sistema de correntes de contorno oeste nela presente como também suas velocidades e transportes de volume característicos.

2.1 Estrutura Vertical de Massa de Água

De acordo com Stramma & England (1999), as principais massas de água componentes do contorno oeste do Oceano Atlântico Sul são: a Água Tropical (AT), a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), a Água Intermediária Antártica (AIA), a Água Circumpolar Superior (ACS), a Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) e a Água de Fundo Antártica (AFA).

A AT consiste em uma massa de água quente e com altas salinidades presente na camada de mistura do Atlântico Sul (EMILSON, 1961). Suas temperaturas são acima de 20°C e os valores de salinidade atribuídos a essa água são maiores que 36 na borda oeste do Atlântico. A AT está, geralmente, localizada nos primeiros 100 m da coluna d'água. É importante frisar que, abaixo dos trópicos, essa posição varia de acordo com o comportamento da termoclina sazonal (STRAMMA; ENGLAND, 1999). Segundo esses autores, sua região de formação encontra-se na porção noroeste do Atlântico Sul entre as latitudes de 5 e 15°S. Como se pode perceber, essa região é marcada por um regime de intensa radiação solar onde a evaporação supera a precipitação; o que se reflete, portanto, em suas características termohalinas. Após formada, a AT flui em consonância com a circulação superficial do Giro Subtropical (Figura 3). O resultados expostos por Cirano et al. (2006) mostram a AT com máximos valores de temperatura entre 10°S–15°S não ultrapassando os 26°C, enquanto os máximos valores de salinidade, atingindo 37, ocorrem um pouco mais ao sul, ao longo da costa sul da Bahia. Esses autores afirmam ainda que a AT flui desde a região tropical (região de formação) até 35°S de latitude, onde pode-se verificar uma língua de água com maiores temperaturas e salinidades ao longo do talude continental (Figura 2).

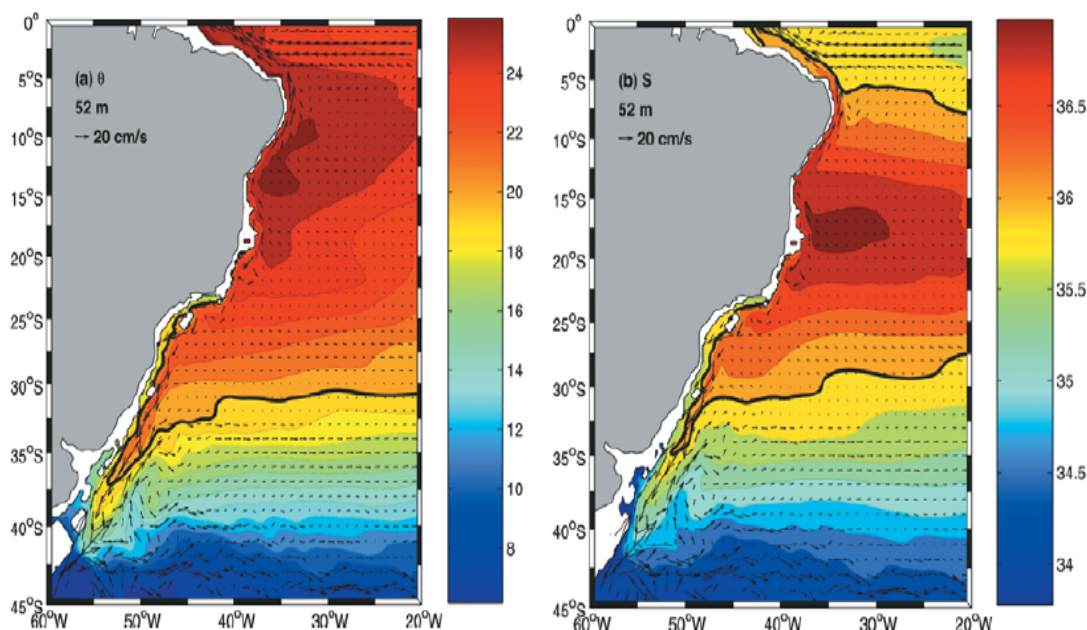


Figura 2 – Distribuição horizontal da (a) temperatura potencial (espaçamento de $1,0^{\circ}\text{C}$ entre as isotermas) e da (b) salinidade (espaçamento de $0,25$ entre as isohalinas) segundo a climatologia anual do OCCAM e para a profundidade de 52 m. Extraído de CIRANO et al. (2006).

Na região da termoclina entre 100 e 500 m de profundidade, observa-se a ACAS, que apresenta características termohalinas de $8,72$ a 20°C e $34,66$ a $36,2$ (SILVEIRA, 2007). A relação Θ - S é notadamente linear, o que é bem visível entre os pontos de 5°C , $34,3$ e 20°C e 36 . A formação de Águas Centrais fundamenta-se no adentramento na região da termoclina por meio de subducção (STRAMMA; ENGLAND, 1999). A ACAS é gerada na Convergência Subtropical pela subsidência das águas na região onde ocorre a confluência Brasil-Malvinas, o que explica a alta variabilidade de salinidade dessa água central. Em seu processo de formação, a ACAS é oriunda da parte menos densa da Água Subantártica Modal (ASAM) localizada na parte norte da Zona Subantártica antes de se incorporar ao giro subtropical. A parcela mais densa da ASAM, por sua vez, é considerada uma precursora da AIA (STRAMMA; ENGLAND, 1999).

A formação de Águas Centrais, no entanto, não é um processo restrito ao domínio atlântico. Uma das primeiras evidências deste fato foi a constatação da semelhança existente entre as curvas TS da ACAS e das Águas Centrais do Índico e do Pacífico Sul (TOMCZAK; GODFREY, 1994). De acordo com Tomczak e Godfrey

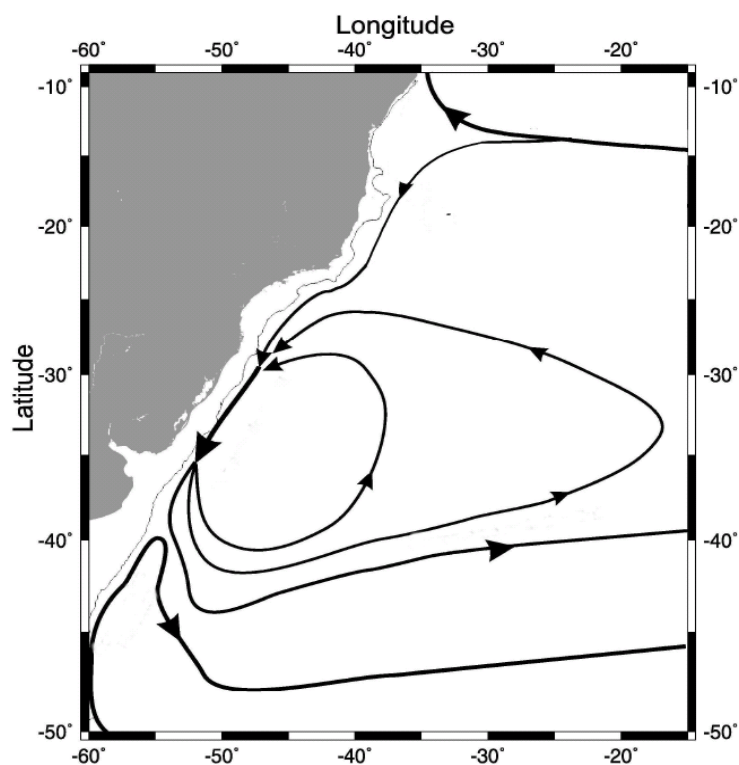


Figura 3 – Representação esquemática da circulação da Água Tropical (0 – 140m). Baseada em Reid (1989) e Stramma & England (1999). Extraído de Silveira (2007).

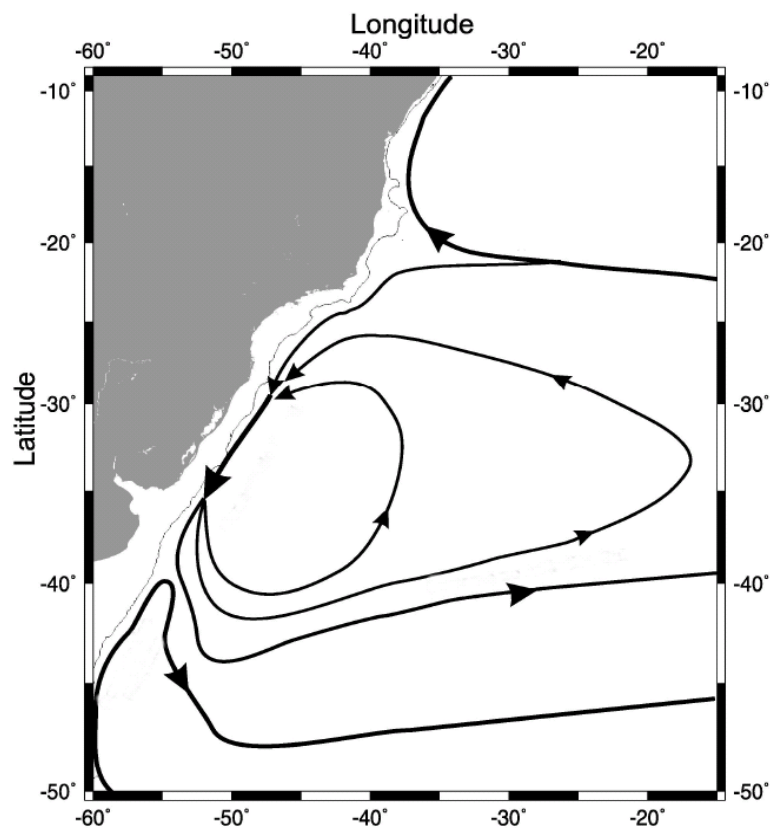


Figura 4 – Representação esquemática da circulação da Água Central do Atlântico Sul (140 – 560m). Baseada em Reid (1989) e Stramma & England (1999). Extraído de Silveira (2007).

(1994), ao alcançar a costa oeste do continente africano, a ACAS recebe uma contribuição da Água Central do Índico decorrente de intrusões dos vórtices da Corrente das Agulhas; havendo, assim, mudanças em suas características estabelecidas em seu processo de formação no Atlântico.

Após sua formação, a ACAS entra no Giro Subtropical sendo transportada pela Corrente do Atlântico Sul e pela Corrente de Benguela e então rumo para o contorno oeste compondo a CSE (Figura 1). Ao aproximar-se do continente, a ACAS sofre uma bifurcação. Este padrão de circulação é ilustrado na Figura 4. Ainda há muita dúvida sobre a localização exata da região de bifurcação da ACAS devido à sua grande variabilidade latitudinal, como também muita discussão em torno dessa questão. Esta variabilidade da região de bifurcação ocorre devido à sazonalidade, sendo, nos primeiros 400m da CSE, onde se mostra mais intensa. Segundo Rodrigues et al. (2007), entre os 100 e 400m de profundidade, a variação latitudinal da posição de bifurcação é cerca de 3°. Em seu comportamento sazonal, a bifurcação atinge sua posição máxima ao sul em julho, enquanto que, é durante o mês de novembro que se dispõe mais ao norte.

Hoje é consenso dentro da comunidade oceanográfica o fato de, em latitudes superiores a 22°S, a ACAS fluir predominantemente para sul. Stramma & England (1999) apontam a localização da bifurcação em 20°S, ao passo que Wienders et al. (2000) propõe a latitude de 24°S. Silveira (2007) afirma que a Cadeia Vitória-Trindade atuaria como um divisor do escoamento associado à CSE em nível da picnoclina. No intuito de esclarecer esse aspecto da circulação da ACAS, Cirano et al. (2006) utilizam a isoterma de 15°C a 295 m como traçador na identificação da região da bifurcação. Além disso, segundo esses autores, ao ocorrer o encontro da CSE com a quebra da plataforma, em nível picnoclinico, há a partição do fluxo zonal e a ACAS se integra à circulação de contorno oeste.

A AIA possui temperatura e salinidade bem menores em relação à ACAS: sua temperatura gira em torno de 3,46° a 8,72°C e a salinidade varia na faixa de 34,42 a 34,66 (SVERDRUP et al., 1942). A AIA dispõe-se abaixo da termoclina em profundidades de 600 a 1200 m. Cirano et al. (2006) utilizam a isoterma de 4,2°C e isohalina de 34,35 a profundidade de 989m para investigar o comportamento da AIA

em seu trajeto zonal para a costa do Brasil. Segundo Böebel et al. (1999), ao se aproximar do continente, a CSE no nível da AIA se bifurca à longitude de Santos, com o eixo da bifurcação paralelamente ao talude em 28°S (Figura 5).

Dentro da estrutura vertical, a AIA é reconhecida por um mínimo de salinidade e um máximo na concentração de oxigênio em subsuperfície. Este oxigênio é abundante na região a norte de 50°S, no entanto, as concentrações desse gás diminuem consideravelmente ou são praticamente nulas ao norte de 15°S. A Frente Subtropical-Subequatorial marca o término da língua de alto oxigênio da AIA (TSUCHIYA, 1994).

De acordo com Stramma & England (1999) essa água se forma na região superficial da camada circumpolar que abrange, mais precisamente, a porção norte da Passagem de Drake, a alça da Corrente das Malvinas e a Frente Subantártica, a qual consiste no limite sul da região de formação da água. Semelhante ao que acontece com a ACAS, a AIA recebe contribuição da Água Intermediária Antártica do Índico por meio de seu transporte através da Corrente das Agulhas.

Logo abaixo da AIA, encontra-se a ACS, também denominada Água Circumpolar Superior Profunda. Esta água possui um máximo de sílica e fosfato nas proximidades do equador. Além disso, é possível identificar a ACS na estrutura vertical através do mínimo de temperatura na isóbata de 1000 m (REID, 1989; MÉMERY et al., 2000). Apesar de fluir conjuntamente com a AIA, partindo do Atlântico Sul em direção ao Atlântico Norte, a ACS possui uma região de formação distinta. O seu processo de formação se baseia na partição da água que a origina: a Água Circumpolar Profunda (ACP). A ACP é caracterizada por baixas salinidades, baixa concentração de oxigênio e significativa quantidade de nutrientes, em especial quando comparada à APAN. Outra característica importante é sua disposição numa larga faixa de densidade. Ao fluir na Corrente Circumpolar Antártica (CCA), em sentido leste, a ACP sofre a penetração da APAN vinda do norte. Esse fenômeno ocorre próximo à Passagem de Drake, e é responsável pela divisão da ACP na Água Circumpolar Superior e na Água Circumpolar Inferior (TSUCHIYA, 1994). No Atlântico Sul, o mínimo de oxigênio da ACS se expressa como uma língua, que atinge aproximadamente a latitude de 22°S em 25°W, imediatamente abaixo do

máximo de oxigênio da AIA (TSUCHIYA, 1994). A norte dessa latitude, esse mínimo de oxigênio da ACS é mascarado pelas baixas concentrações do mesmo gás em regiões mais rasas.

Diferentemente das massas de água descritas acima, o padrão de circulação da ACS ainda carece de estudo para que se possa compreender a participação da ACS dentro do Giro Subtropical (SILVEIRA, 2007). Apesar desse cenário nebuloso, a comunidade oceanográfica continuamente realiza importantes descobertas sobre essa questão. De acordo com Reid (1989) e Siedler et al. (1996), o padrão de circulação da ACS é similar ao da AIA. Em concordância com essa afirmação, estudos sugerem que apesar de ser considerada como uma água profunda, a ACS flui de maneira análoga à AIA, representando, portanto o limite inferior da circulação intermediária no oeste do Atlântico Sul (LARQUÉ et al., 1997; STRAMMA; ENGLAND, 1999; MÉMERY et al., 2000). Fundamentando-se nessas evidências, a ACS, neste trabalho, será tratada conjuntamente com a AIA, compondo assim uma única camada dentro da estrutura vertical.

Avançando-se em profundidade, encontram-se: a APAN e a AFA estudada compondo a circulação de oceano profundo. A APAN flui para sul em profundidades entre 1500 e 3000 m, com temperaturas de 3° a 4°C e salinidades em torno de 34,6 a 35 (SILVEIRA, 2000). Seu núcleo é marcado por altas concentrações de oxigênio e silicatos coincidindo com um mínimo de temperatura (MÉMERY et al., 2000). A APAN ocupa uma faixa de profundidade que varia de 1200 a 3900 m no equador e entre 1700 a 3000 m na Zona de Confluência Brasil-Malvinas, evidenciando um natural decréscimo em extensão vertical em seu caminho para o sul (STRAMMA; ENGLAND, 1999). Os estudos de Cirano et al. (2006) demonstram, através de suas características de temperatura e salinidade, um domínio da APAN para norte da latitude de 25°S; ficando porém mais restrita à região do talude continental mais ao sul, até cerca de 38°S (Figura 7).

No que concerne à circulação no oceano Atlântico Sul, a APAN se mostra como um fluxo organizado ao longo do contorno oeste até atingir aproximadamente a latitude de 32°S, onde parte da corrente retorna em direção ao equador, (REID, 1989; WEATHERLY, 1993). Este padrão de circulação é mostrado na Figura 6.

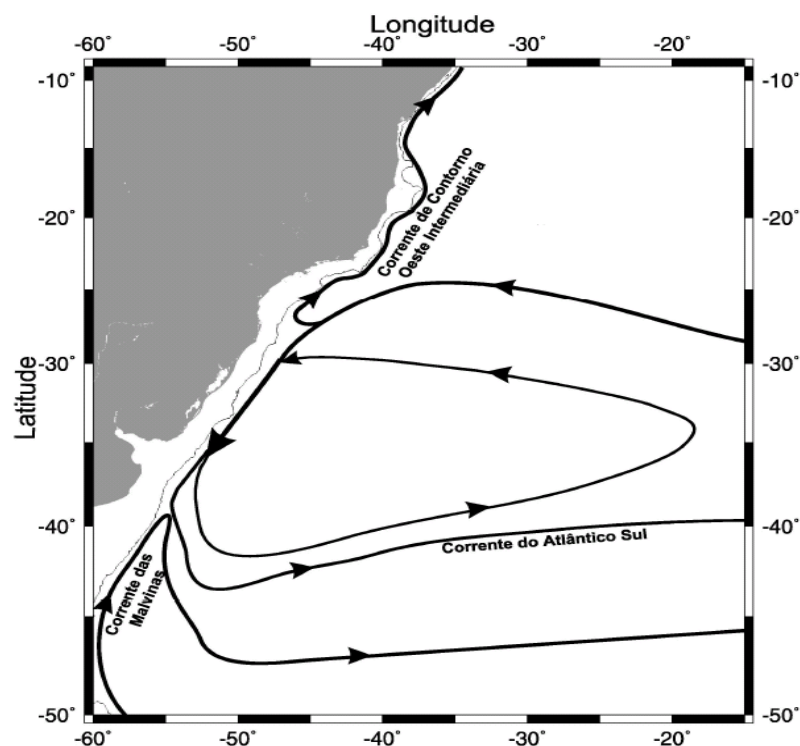


Figura 5 – Representação esquemática da circulação da Água Intermediária Antártica (560 – 1300m). Baseada em Reid (1989) e Stramma & England (1999). Extraído de Silveira (2007).

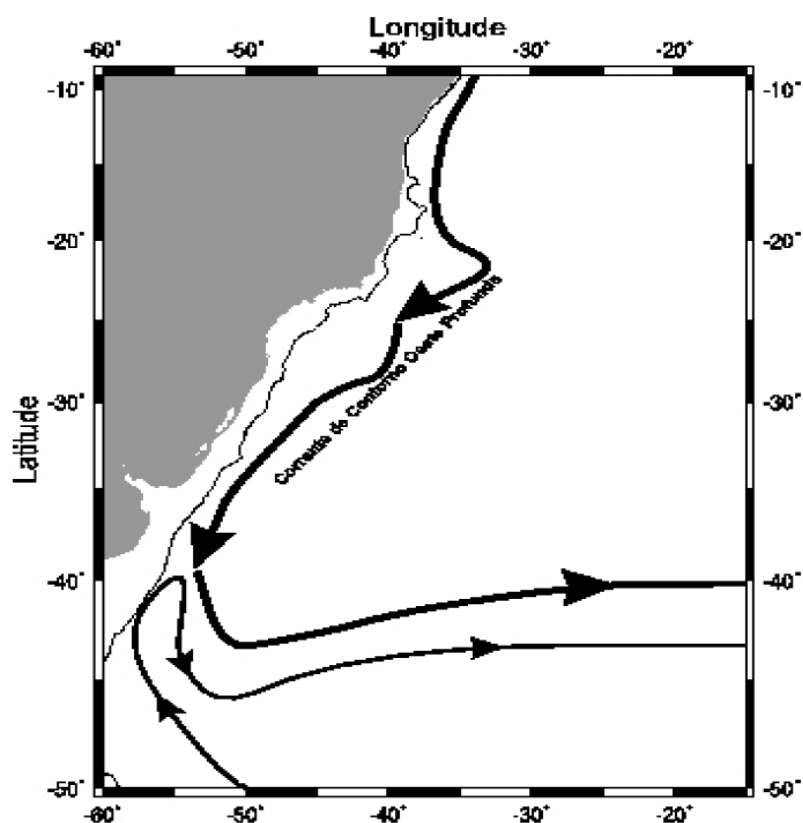


Figura 6 – Representação esquemática da circulação da Água Profunda do Atlântico Norte (1300 – 3260m). Baseada em Reid (1989) e Stramma & England (1999). Extraído de Silveira (2007).

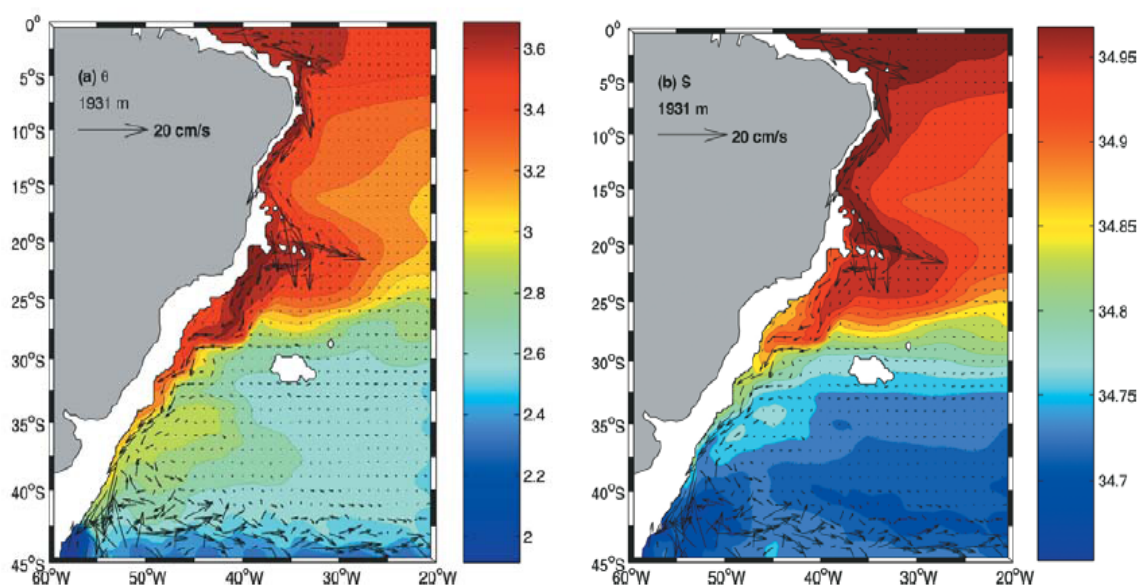


Figura 7 – a) Distribuição horizontal da (a) temperatura potencial (espaçamento de $1,0^{\circ}\text{C}$ entre as isotermas) e da (b) salinidade (espaçamento de $0,25$ entre as isohalinas) segundo a climatologia anual do OCCAM e para a profundidade de 1931 m. Extraído de Cirano et al (2006).

A mais profunda das massas de água do Atlântico Sul, a AFA, apresenta temperaturas entre 0 e 3°C e possui um transporte líquido para norte. Origina-se na Corrente Circumpolar Antártica incorporando águas mais densas do Mar de Weddell (STRAMMA; ENGLAND, 1999). Após sua formação, flui para norte, chegando a atingir 5°S com um transporte de aproximadamente 4 Sv (SCHOTT et al., 2005). Por ser o transporte líquido, na camada profunda abaixo de 1000 m , geralmente para sul (STRAMMA; ENGLAND, 1999), AFA será considerada conjuntamente com a APAN no escopo deste estudo.

2.2 Sistema de Correntes de Contorno Oeste

Como citado anteriormente, a circulação na borda oeste do Atlântico Sul origina-se da CSE ao se bifurcar ao atingir a costa brasileira. A CSE consiste em um fluxo com sentido oeste horizontalmente extenso que percorre o Atlântico Sul até o continente americano (WIENDERS et al. 2000). O encontro da CSE com a margem continental brasileira está longe de ser considerado um fenômeno de simples compreensão. Dentre as forçantes intrínsecas a esse processo está a variabilidade associada à localização da faixa de rotacional nulo da tensão de cisalhamento dos ventos de grande escala que forçam o Giro Subtropical. A partir desse raciocínio,

pode-se estimar a localização latitudinal da bifurcação da CSE (BiCSE) calculando-se a isolinha de zero do rotacional do cisalhamento do vento zonalmente integrado, o que consiste na Teoria de Sverdrup. Segundo essa teoria, a latitude de bifurcação da CSE na costa da América do Sul é 14°S.

Em seu estudo, Rodrigues et al. (2007) demonstram que as latitudes de bifurcação variam significativamente para cada nível de profundidade. Segundo estes pesquisadores, em uma média anual, a BiCSE ocorre entre 10°- 14°S próximo à superfície. À medida que a profundidade aumenta, a região de bifurcação tende a migrar para sul (Figura 8), atingindo a latitude de 27°S a 1000 m. A variação sazonal da posição da BiCSE é maior nos 400 m iniciais da coluna d'água, assumindo um posicionamento mais a sul em junho e mais ao norte no mês de novembro. De acordo com o nível batimétrico, ocorre também uma variação das faixas de latitude nas quais se situam as bifurcações. Para a camada superficial acima de 100m, esta variação latitudinal é de cerca 7°; entre 100 e 400 m totaliza aproximadamente 3°. Entre as profundidades de 400 e 600 m, o sítio da BiCSE pode variar 1° de latitude, enquanto que abaixo de 600m, o intervalo é de 2° (RODRIGUES et al. 2007). Como a circulação oeste do Atlântico Sul é condicionada pela BiCSE, sua variação implica um rico e complexo sistema de circulação composto pelas seguintes Correntes de Contorno Oeste: CB, Corrente de Contorno Intermediária (CCI) e Sub-corrente Norte do Brasil (SNB).

A Figura 9 ilustra a bifurcação da CSE em superfície a 15°S, e a formação da CB. A CB, então, flui para sul pela camada de mistura, sendo composta basicamente pela AT. Ao alcançar aproximadamente 20°S de latitude, recebe a contribuição da BiCSE, referente à ACAS, logo abaixo da termoclina. Neste ponto, a CB se expande verticalmente e cresce em transporte de volume. Mais ao sul, em cerca de 25°S, a BiCSE em nível intermediário também soma-se à CB e estende-se verticalmente até 1000 m; completando-se, assim, a corrente de contorno oeste resultante do ramo sul da BiCSE.

Em relação ao ramo norte da BiCSE, há a formação da CCI a partir da bifurcação em 25°S da CSE que transporta, principalmente, a AIA. A CCI segue para norte e, ao ser incorporada à ACAS trazida pela BiCSE, em nível picnoclínico, torna-

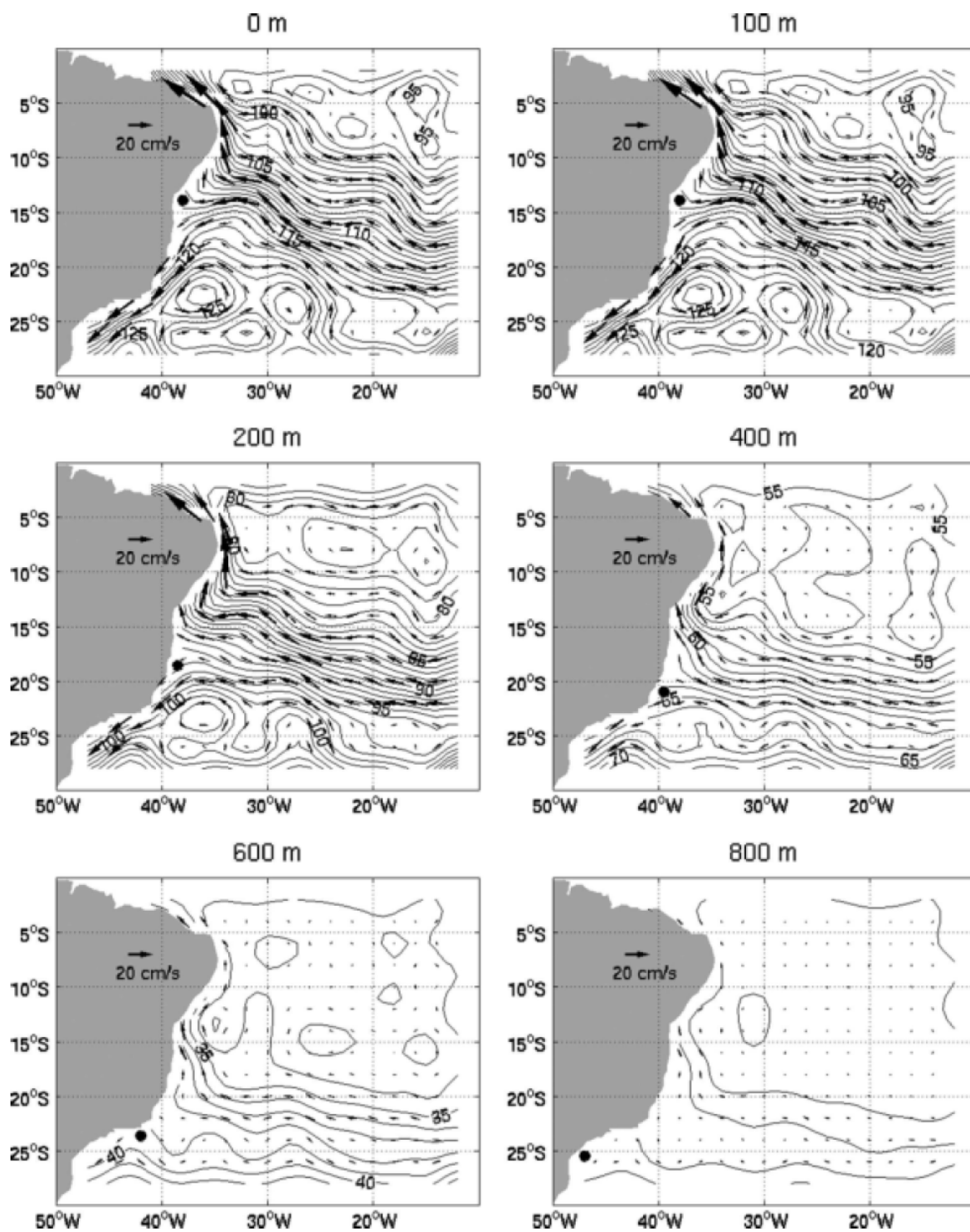


Figura 8 – Anomalia geopotencial média anual ($\times 10^{-1} \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$) e fluxo geostrófico relativo a 1000 dbar em 0, 100, 200, 400, 600 e 800 m no Atlântico Sul de acordo com Rodrigues et al. (2007). Os círculos pretos representam a localização da BICSE.

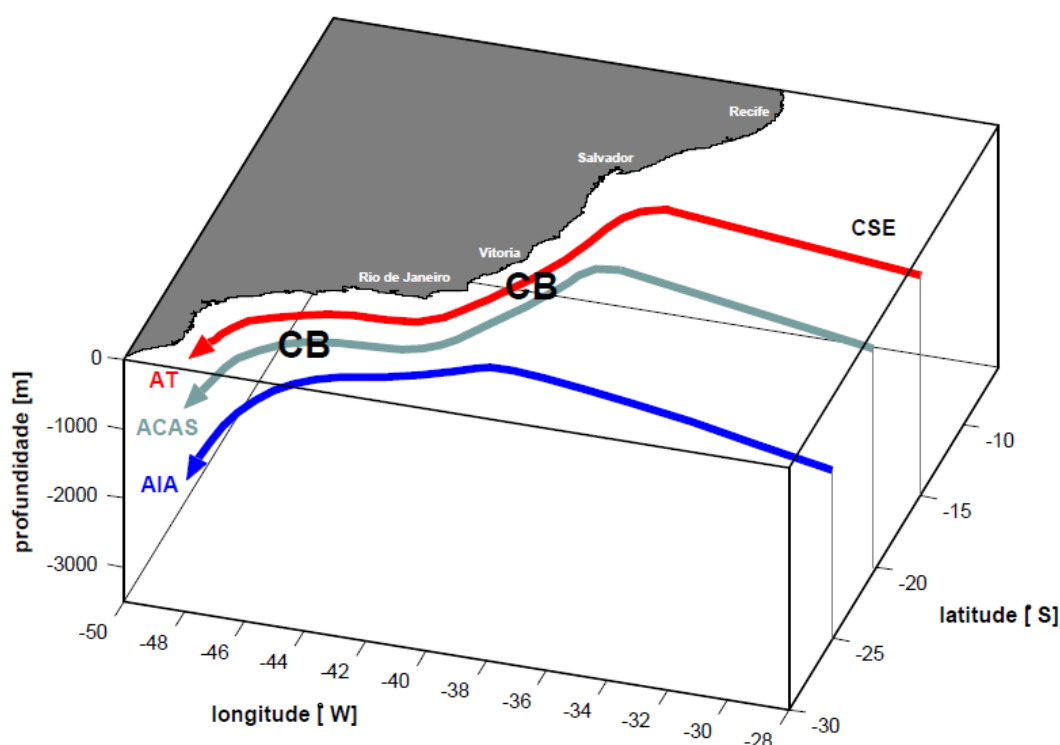


Figura 9 – Síntese da origem e do escoamento da CB ao longo da margem continental brasileira de acordo com os padrões esquemáticos de grande escala de Stramma & England (1999). Extraído de Soutelino (2008).

se a SNB. A SNB, por sua vez, continua seu caminho para norte ao longo da costa brasileira e recebe a porção superficial da BiCSE para formar, finalmente a CNB (Figura 10).

Até então, o sistema de CCOs no oeste do Atlântico Sul está quase totalmente descrito. Falta ainda considerar a circulação profunda a fim de completar esse intrigante complexo de correntes. A Corrente de Contorno Profunda (CCP) flui para sul entre 1500 e 3000 m. Fluindo próximo ao contorno oeste, transporta, principalmente, a APAN. Estudos indicam que ao sul da BiCSE, relativa à camada intermediária do oceano, toda a coluna d'água entre 0 e 3000 m flui consonantemente em direção ao pólo sul (ZEMBA, 1991; SILVEIRA, 2000). A Figura 11, apresenta integralmente o sistema de correntes de contorno oeste do Oceano Atlântico Sul.

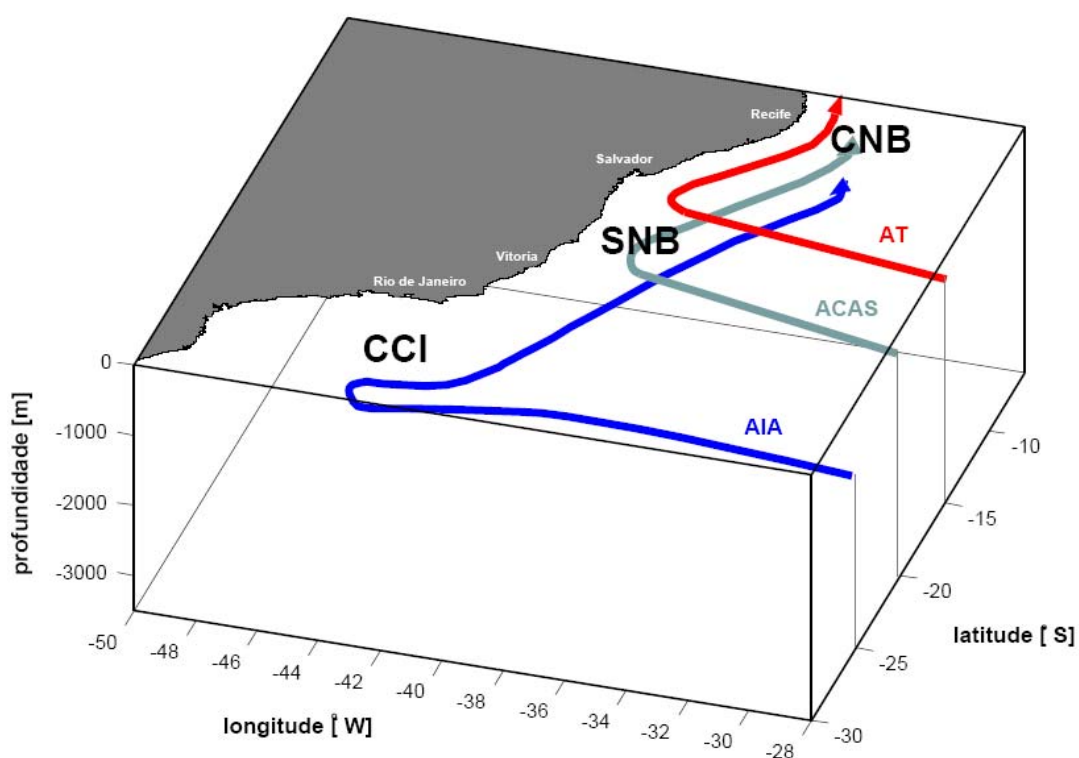


Figura 10 – Síntese da origem e do escoamento da CCI, SNB e CNB ao longo da margem continental brasileira de acordo com os padrões esquemáticos de grande escala de Stramma & England (1999). Extraído de Soutelino (2008).

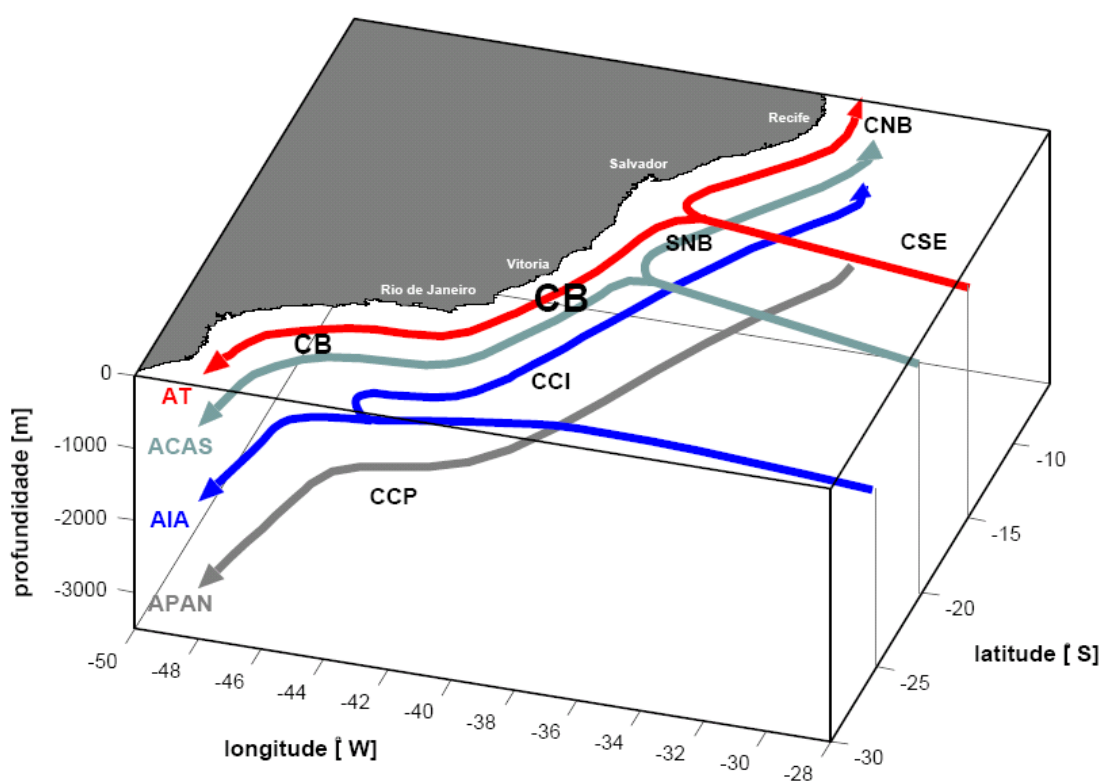


Figura 11 – Síntese da origem e do escoamento do sistema de correntes de contorno oeste ao longo da margem continental brasileira de acordo com os padrões esquemáticos de grande escala de Stramma & England (1999). Extraído de Soutelino (2008).

2.3 Velocidades e Transportes de Volume

Nesta seção, serão apresentados os valores de velocidade e transporte de volume para as correntes de contorno oeste do Atlântico Sul considerando-se também os transportes para cada massa de água. Iniciaremos a revisão desses valores para a CSE em seu trajeto para a costa brasileira.

Cirano et al. (2006) sugere um transporte de 3,0 Sv para a CSE, em seu caminho para oeste entre 9° e 22°S nos primeiros 100 m, nível correspondente à AT. Em relação a CSE no nível da ACAS, os autores propõem um valor de 19,2 Sv, sendo que boa parte desse fluxo segue no ramo sul após a bifurcação, relacionado à retroalimentação do Giro Subtropical. Já Stramma et al. (1990), em sua seção meridional em 30°S, obtiveram 16 Sv integrados desde a superfície até os 400m. No que concerne à circulação intermediária, Cirano et al. (2006) observaram um transporte de 9,8 Sv se aproximando da região costeira entre as latitudes de 25° e 34°S. Böebel et al (1999) através de dados de flutuadores, atribui um transporte de $12,0 \pm 3$ Sv ao mesmo fluxo centrado em 30°S. Nunez-Riboni et al. (2005), também por meio de dados de flutuadores, estimam um transporte para a CSE neste nível de $9,3 \pm 3,4$ Sv na região entre 22° e 32°S.

Logo após a BiCSE, a CB recém formada transporta cerca de -8 Sv para sul nos primeiros 500m em torno de 10°S, (STRAMMA et al., 1990). A CB geostrófica fluiria portando -4 Sv sobre a quebra da plataforma. Em seu caminho para sul, com o alargamento da plataforma continental em 15°S, a CB se afasta da costa (SILVEIRA, 2000). Em 15°S, Stramma et al. (1990) calculam um transporte para a CB (AT+ACAS) com magnitude de -6 Sv, pois considera uma célula de circulação ciclônica de -2 Sv.

Analisemos, agora, os transportes da CB relativos às massas de água que a compõem. Para o nível da AT, em latitudes maiores que 15°S, à medida que a CB avança em direção ao sul cresce em transporte, apresentando valores de -3,7 Sv em 30°S e chegando a alcançar -5.1 Sv em 35°S. Na região entre 10° e 25°S há um acréscimo no volume de transporte devido a fenômenos de ressurgência (CIRANO

et al., 2006). Os pesquisadores verificam ainda, em concordância com Stramma et al. (1990), em sua seção de 15°S um jato costeiro oposto à CB de 1,4 Sv. Em relação ao nível da ACAS, após esta ser incorporada na CB, Cirano et al. (2006), através de suas simulações, revela valores de transporte líquido de 6,9 Sv em 30°S. Em níveis intermediários, com a integração da AIA na CB, os autores mostram transportes líquidos atingindo 4,6 Sv em 34°S. Na Tabela 1, constam os valores de velocidade e transporte de volume para a CB descritos na literatura.

Tratando-se do ramo norte da BiCSE, iniciando a compilação dos dados presentes na literatura a partir da superfície (nível da AT), Schott et al. (2005) apresenta valores de transporte em suas seções oblíquas em 5° e 11°S de, respectivamente, 3.8 ± 2.1 Sv (3.4 ± 1.6 Sv próximo à costa e 0.4 ± 0.9 Sv em oceano aberto); e 1.1 ± 1.5 Sv (1.6 ± 1.0 no contorno oeste e -0.5 ± 0.9 Sv em oceano aberto). Silveira et al. (1994) obteve transportes geostróficos de 6 a 10 Sv para seções normais à costa entre as latitudes de 5° e 10°S. . Em nível picnoclínico, referente à ACAS, estes autores calcularam valores de transporte geostrófico, variando de 6 a 12 Sv. Cirano et al. (2006), em latitudes inferiores a 10°S, descrevem um transporte de 2,5 Sv para norte. Schott et al. (2005) em seu trabalho, encontraram transportes de 14.2 ± 2.4 Sv para sua seção de 5°S e 12.9 ± 3.5 Sv para a de 11°S.

No nível da AIA, Schott et al. (2005) apresentam resultados que apontam, em sua seção oblíqua em 5°S, um transporte meridional com sentido norte de 8.9 ± 1.5 Sv na costa do Brasil. Nessa mesma secção, o transporte líquido totaliza 3.7 ± 5.1 Sv. Essa redução se deve a um fluxo para sul distante da costa de -5.2 ± 4.9 Sv. Já para sua seção de 11°S, encontrou 6.8 ± 1.3 Sv, sendo que nesta latitude, o fluxo predominante, ao contrário do que ocorre na seção 5° S, flui para norte perto da costa de 10.9 ± 3.9 Sv. Em seu estudo realizado com dados de flutuadores, Böebel et al. (1999) propõe um transporte de 4 ± 2 Sv entre 2° e 28°S. Esses valores são bastante próximos da estimativa de Silveira et al. (2004), com base em dados *in situ*, de um transporte de 3.6 ± 0.8 Sv entre 22° e 23°S. Adicionalmente, as análises de Schmid (1998), baseadas em seções do WOCE, apresentaram transportes de 7,7 Sv (19°S); 4,0 Sv (21°S); 2,75 Sv (24°S). A Tabela 2 apresenta os valores de

transporte geostrófico para a CNB integrados da superfície até os limites verticais da AT (150 m), ACAS (500 m) e AIA (1000 m).

Latitude (S)	Profundidade de Referência (m)	Transporte de volume ($10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	Velocidade Máxima (m s^{-1})	Referência Bibliográfica
9°–13°	390–510	4,1	0,31	Stramma et al. (1990)
15°	470–530	6,0	0,16	Stramma et al. (1990)
19°	500	6,5	0,72	Miranda & Castro (1981)
19°	500	5,3	0,50	Evans et al. (1983)
19°25'	470–640	5,7	0,19	Stramma et al. (1990)
20°03'	590–630	1,6	0,24	Stramma et al. (1990)
20°28'	500/1000	3,8/6,8	0,52	Evans et al. (1983)
21°40'	500	4,4	0,61	Evans et al. (1983)
22°	500–1300	5,2	0,19	Signorini (1978)
23°	500–1300	4,4	0,52	Signorini (1978)
23°	550	2,2/2,7	0,49	Miranda & Castro (1979)
23°	Pegasus	11	0,50	Evans & Signorini (1985)
23°	Pegasus	6	0,70	Garfield (1990)
23°	Pegasus	5, 4 $\pm$ 1, 4	0,50	Silveira et al. (2004)
23°	600/1300	10,1/10,9	–	Stramma (1989)
23°30'	500–1300	8,0	0,75	Signorini (1978)
24°	1300	7,5	0,25	Fisher (1964)
24°	500–1300	14,0	0,62	Signorini (1978)
24°	500/1000	4,1/7,8	0,31	Evans et al. (1983)
24°	600/1300	9,4/10,1	–	Stramma (1989)
24°	Correntômetro	1,3	–	Müller et al. (1998)
24°30'	500–1300	13,2	0,68	Signorini (1978)
25°	750	7,3	0,60	Campos et al. (1995)
28°	Correntômetro	16	–	Müller et al. (1998)
28°–30°	1550–1600	11,4	0,70	Fisher (1964)
31°	Pegasus	18	0,80	Garfield (1990)

Tabela 1 – Estimativas para o transporte de volume e velocidade máxima da CB, entre 9°S e 31°S. Extraída de Cirano et al. (2006).

Section	Westernmost Station Latitude; Longitude (Depth)	Transports (Sv)		
		0-150 m	0-500 m	0-1000 m
1	10°30'S; 36°00'W (500 m)	6.5	18.9	23.7
2	10°00'S; 35°36'W (500 m)	9.4	16.2	24.5
3	9°00'S; 35°00'W (500 m)	7.4	15.2	18.2
4	9°00'S; 34°48'W (270 m)	7.3	13.9	17.2
5	8°30'S; 34°36'W (350 m)	8.3	20.4	21.6
6	8°00'S; 34°00'W	6.5	12.4	14.2
7	7°30'S; 34°28'W (550 m)	6.4	15.3	17.2
8	7°00'S; 34°30'W (500 m)	9.1	17.3	17.3
9	6°30'S; 34°18'W	7.5	13.3	23.7
10	6°00'S; 34°54'W (370 m)	8.3	18.4	21.6
11	5°30'S; 35°00'W (440 m)	9.1	18.7	19.9
12	4°48'S; 34°48'W (550 m)	10.0	21.8	24.9

Tabela 2 – Transporte Geostrófico, relativo a 1000m, da Corrente Norte do Brasil. As profundidades em parêntesis indicam a profundidade máxima amostrada na seção mais a oeste. Os transportes foram calculados por extrapolação da altura geopotencial pela técnica de Reid and Mantylla (1976). Extraído de Silveira et al.(1994).

Evans & Signorini (1985) observaram, por meio de perfis verticais em 23°S, valores de velocidade para o fluxo da AIA que ultrapassam 0,30 m/s. A descoberta de tal magnitude desse fluxo para norte representou um grande passo na compreensão de porquê a CB apresenta valores bem menores de transporte quando comparada a outras correntes de contorno oeste, como sua correspondente

atlântica, a Corrente do Golfo. Com isso, reconheceu-se o importante papel das componentes termohalinas nas CCOs (SILVEIRA et al. 2004).

Abaixo de 1500 m, onde flui a CCP, Cirano et al. (2006) encontram um transporte líquido na faixa de 15 a 20 Sv entre as profundidades de 1234 a 3472 m ao longo da costa brasileira. Fu (1981) calculou um transporte para sul entre 19 e 22 Sv nas proximidades de 30°S. Outras estimativas mais a norte indicam em 5° S transportes para sul de 20 Sv (SCHOTT et al., 2002) e $20,3 \pm 10.1$ Sv (SCHOTT et al., 2005); e em 11° S, com base em medidas diretas, 19 Sv (DENGLER et al., 2004) e $24,6 \pm 5,0$ Sv (SCHOTT et al., 2005) ambos transportes para sul.

3. METODOLOGIA

O estudo da estrutura vertical de massa de água a que se propõe esse trabalho está fundamentado na análise dos dados do modelo de circulação global OCCAM para oeste do Oceano Atlântico Sul, compreendendo a região entre as longitudes 25°W e 55°W e as latitudes entre o equador e 35°S.

3.1 Modelo Oceânico OCCAM

Este modelo utiliza as equações primitivas formuladas em coordenadas z e desenvolvidas por Bryan, Cox e Semtner (BRYAN, 1969; SEMTNER, 1974; COX, 1984). Os dados utilizados aqui são correspondentes a duas rodadas: uma à resolução horizontal de 1/4 de grau de latitude e longitude e outra a 1/12°. O modelo possui uma grade tipo Arakawa B. Os dados, por sua vez aqui utilizados, são referentes a médias de 5 dias em um período de 20 anos (1985 – 2004) em resolução 1/4° e médias mensais por 17 anos (1988 – 2004) em resolução 1/12°. Para a confecção das figuras, os dados foram arrumados em climatologias mensais, ou seja, em médias para cada mês no período de 20 e 17 anos respectivamente.

A respeito da resolução vertical, o modelo adota uma grade com 66 níveis em coordenada z , apresentando melhor definição para a camada superior a 100 m a qual é representada em 14 níveis verticais. Adicionalmente, há um aumento do intervalo entre os níveis com a profundidade. A definição das profundidades dos pontos em que se situam os dados, como também os limites entre o níveis dado é baseada numa função analítica (COWARD; CUEVAS, 2005). Abaixo as profundidades dos pontos de dados na grade vertical (Tabela 3).

Para ambas as rodadas de 1/4° e 1/12°, os dados utilizados para condição inicial foram obtidos através da interpolação da climatologia WOCE SAC (GOURETSKI; JANCKE, 1996). O forçamento de superfície foi fornecido pelo NCAR para o período de 1985 a 2004, os dados de entrada estão descritos em Large et al. (1997). Além disso, foram implementados componentes zonais e meridionais de vento a 10 m,

temperatura atmosférica e umidade específica a 2 m do NCEP – Reanalyses em intervalos de 6 horas (KALNAY et al., 1996). A temperatura atmosférica e a umidade específica estão recalculadas para 10m. Os dados mensais de fração de nuvens são do conjunto de dados do ISCCP CI (ROSSOW; SCHIFFER, 1991) para o período de 1985 a 1991.5, sendo complementados com dados de climatologia para os anos subseqüentes. Os dados mensais de radiação solar são oriundos dos dados diários ISCCP (BISHOP; ROSSOW, 1991) para o período de 1984.0 a 1991.5 sendo completados com a climatologia para os anos subseqüentes. No que se refere à precipitação, é baseada em dados mensais de satélite MSU (Microwave Sounding Unit) (SPENCER, 1993). Quando possível, as observações de Xie & Arkin (1997) foram combinadas com a climatologia MSU; porém, para os últimos anos, dados climatológicos foram usados.

k	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
depth	3	8	14	19	25	32	38	45	52	60	68	77	86
k	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
depth	97	108	120	134	149	166	184	205	228	254	283	315	352
k	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
depth	393	438	489	546	609	678	755	839	931	1030	1137	1252	1375
k	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
depth	1506	1644	1789	1940	2098	2261	2430	2604	2782	2964	3149	3338	3529
k	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
depth	3723	3919	4117	4317	4518	4720	4923	5127	5332	5538	5744	5951	6158
k	66												
depth	6366												

Tabela 3 – Profundidades em metros associada a cada nível do modelo. Extraído de Coward e Cuevas (2005).

A topografia do modelo é derivada de um conjunto de dados de batimetria global. Este grupo de dados batimétricos consiste em uma grade com intervalos de 2 minutos de latitude e longitude construída a partir da grade topográfica uniforme de Sandwell e Smith (1995). Uma descrição mais detalhada sobre a configuração do modelo pode ser obtida em Coward e Cuevas (2005).

3.2 World Ocean Atlas 2005

Os dados do World Ocean Atlas 2005 (WOA2005) são uma atualização das climatologias anteriores do NODC (*National Oceanographic Data Center*) da NOAA. Essa base de dados tem uma origem comum das conhecidas climatologias globais de temperatura e salinidade, a exemplo das que compõem o Climatological Atlas of the World Ocean (LEVITUS, 1982) e suas atualizações em 1994 e 1998.

Os campos médios climatológicos de temperatura e salinidade da WOA2005 têm resolução horizontal de 1°. Esses campos são calculados em escalas de tempo anual, sazonal e mensal utilizando técnicas de análise objetiva. Para o período anual e sazonal a grade vertical, partindo da superfície, contempla a coluna de água até a profundidade de 5500m; em relação à escala mensal a profundidade máxima é 1500m.

3.3 ETOPO1

O ETOPO1 é um modelo global criado em 2008 pelo Centro Nacional de Dados Geofísicos (NGDC), que é um dos órgãos da NOAA. Esse modelo provê uma completa cobertura topográfica e batimétrica desde 90°S a 90°N em latitude e entre 180°W até 180°E em longitude. Sua resolução é de 1 arco-minuto, aproximadamente 1 km x 1 km de definição da superfície terrestre. O ETOPO1 é uma versão melhorada do ETOPO2, possuindo melhor resolução e precisão. Além disso, foi projetado para auxiliar na previsão de fenômenos, modelagem numérica e alerta, como também na simulação da circulação oceânica e visualização da Terra. Maiores informações sobre as fontes e a metodologia utilizada para o desenvolvimento do ETOPO1 estão disponíveis em Amante e Eakins (2009).

3.4 Determinação dos Níveis Isopícnais

Como visto na seção anterior, cada massa de água possui características próprias e, analogamente, uma posição distinta na coluna de água. A disposição vertical de uma massa de água é determinada pelo ajuste hidrostático, assumindo

esta uma localização de acordo com suas propriedades termohalinas. Dessa forma, as massas de água organizam-se verticalmente em faixas de densidade que satisfazem as suas condições de temperatura e salinidade. Não obstante, ao fluírem conforme seu padrão de circulação particular, as massas de água variam de profundidade em virtude de, naturalmente, procurarem ajustar-se hidrostaticamente. Com o propósito de investigar a estrutura de massa de água no oeste do Atlântico Sul, é mister definir a localização vertical destas o mais próximo possível da realidade. Quando se trata em referência métrica na vertical, o que logo vem à mente é a profundidade. No entanto, as massas de água não são delimitadas por níveis de profundidade constantes. Assim como cada massa possui um padrão de circulação distinto, a variação de sua posição vertical também é distinta. O emprego do referencial profundidade no estabelecimento da localização e extensão vertical das massas de água mostra-se, pois, uma aproximação grosseira do que realmente acontece no oceano. Diante disso, podemos concluir que a maneira mais eficaz é determinar os limites extremos da faixa de densidade em que se encontra cada massa de água a ser estudada.

Além da problemática apresentada acima, outra questão vem à tona nesse estudo: qual parâmetro usar para estabelecer que nível isopicnal representa justamente a fronteira entre as massas de água? Relativo a isso, a teoria analítica das curvas Θ -S, revisada por Mamayev (1985), afirma, fundamentando-se em conceitos de termodinâmica da água do mar, que existe uma interface representada por 50% de mistura entre duas (ou três) massas de água contíguas verticalmente. Assim, convencionou-se considerar que os níveis isopicnais que separam as massas de água representam 50% de mistura entre as mesmas.

No entanto, essa tarefa não é tão simples. A definição dos limites verticais de densidade constante, ou seja, os limites isopicnais dos núcleos de cada massa de água está longe de ser um consenso dentro da comunidade científica. Na Tabela 4, estão listados os limites isopicnais utilizados por diversos autores em seus trabalhos. Os valores de densidade são apresentados em σ_θ , quando necessário, foram utilizados os valores correspondentes a σ_1 , σ_2 , e σ_4 calculados por Silveira (2007).

Referência	AT-ACAS	ACAS-AIA	AIA-APAN
Mamayev (1975)	25,70	26,8	-
Miranda (1985)	25,72	26,81	-
Zemba (1991)	-	27,10	27,57
Stramma & England (1999)	25,70	27,10	27,53
Lima (1997)	25,70	27,16	27,61
Schmid et al. (2000)	-	27,0	-
Mémery et al. (2000)	25,6	26,9	27,53
Godoi (2005)	25,91	26,79	-
Schott et al. (2005)	24,5	26,8	-
Mattos (2006)	-	26,9	27,53
Rodrigues et al. (2007)	24,5	26,8	27,53

Tabela 4 – Valores das superfícies isopícnais (em σ_θ) que representam as interfaces entre as massas de água do Oceano Atlântico Sul, região do Giro Subtropical, na literatura. Adaptado de Silveira (2007).

Para a determinação dos níveis isopícnais, fizemos uso de 4 tipos de figura nesse estudo: diagrama Θ -S, mapa de profundidade de isopícnais, perfil de velocidade e mapas horizontal de transporte. Para a confecção das figuras foram utilizados o software MATLAB, como linguagem de programação, e os dados do modelo global OCCAM. A partir da análise dessas figuras, concluímos que os limites isopícnais que melhor definem a extensão vertical das massas de água para a área de estudo são $\sigma_\theta = 25,7$ (AT-ACAS); $\sigma_\theta = 26,8$ (ACAS-AIA) e $\sigma_\theta = 27,53$ (AIA-APAN).

Os diagramas Θ -S foram feitos com base nas médias climatológicas de temperatura potencial e salinidade do OCCAM. As curvas Θ -S correspondem a dois pontos localizados em 5,5°S e 34,5°W e 30,5°S e 39,5°W respectivamente, onde a batimetria do modelo é mais profunda para a região de estudo. Adicionalmente, plotamos contornos isopícnais nos diagramas. Na análise desses diagramas, consideramos quais as isopícnais mais correspondiam aos limites termohalinos,

como também o que melhor define as porções do diagrama característico a cada massa de água.

Os mapas de profundidade das isopicnais foram gerados a partir da média climatológica da profundidade interpolada em relação à densidade. Para a escolha dos níveis isopicnais, foi confrontado o comportamento vertical de cada isopicnal com as faixas de profundidade descritas para as massas de água na literatura. Analogamente, os mapas de transporte foram gerados também baseados em climatologias mensais, por meio do cálculo do transporte meridional integrado entre dois limites isopicnais correspondentes às bordas das camadas de cada massa de água. Os mapas mostram as isolinhas de transporte acumulado para as massas de água em estudo. No intuito de identificar a localização da bifurcação da CSE, foi estabelecido o seguinte procedimento. Primeiramente, os contornos de transporte de volume são plotados e depois a isóbata de 1000 m, indicando, aproximadamente, a região de quebra da plataforma continental, é adicionada ao mapa. A latitude onde ocorre a bifurcação é estimada pela interseção entre a isolinhas de transporte meridional nulo e o contorno da isóbata de 1000 m, conforme mostrado na Figura 12.

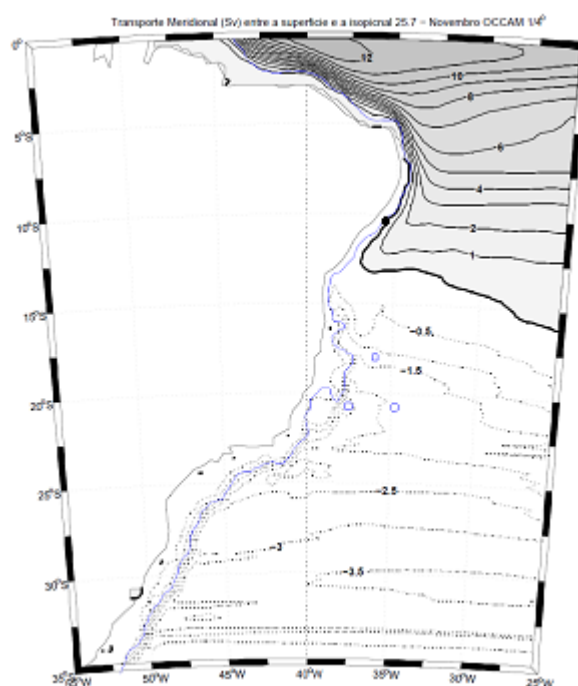


Figura 12 – Mapa horizontal de transporte meridional acumulado entre a superfície e a isopicnal $\sigma_\theta=25,7$ para novembro com base no OCCAM 1/4°. A região de bifurcação é representada pelo círculo preto.

Diferentemente das figuras anteriores, em cujo cálculo foram utilizadas climatologias mensais, os perfis foram construídos fazendo-se uso dos dados mensais para cada ano. Dessa forma, como os dados utilizados do OCCAM 1/4° correspondem ao período de 20 anos (1985 a 2004), contendo cada ano 12 meses, empregou-se 240 arquivos para a confecção dos perfis. Analogamente, como os dados do OCCAM 1/12° utilizados são relativos a 17 anos (1988 a 2004), totalizou-se 204 arquivos. O porquê de não se optar pelos dados climatológicos consiste no propósito de alcançar desvios-padrão dos valores de velocidade e transporte de volume mais representativos da realidade. O cálculo da magnitude do transporte de volume acumulado para os núcleos das massas de água foi efetuado partindo-se da costa até um determinado limite leste. Para cada seção foram escolhidos limites leste distintos que consistem na longitude que delimita a leste a extensão do núcleo de cada massa de água. Esta escolha baseou-se na observação dos perfis de velocidade média, sendo que os limites leste são os mesmos em ambas resoluções, para efeito de comparação. Além disso, foram elaboradas tabelas com as velocidades meridionais máximas e desvio padrão para o núcleo de cada massa de água nas seções zonais em estudo. Para isso, procedemos com a procura do valor máximo de velocidade meridional na área delimitada, verticalmente pelas isopícnais e horizontalmente pela costa e o limite leste estabelecido, considerando os 240 (OCCAM 1/4°) e 204 (OCCAM 1/12°) arquivos. Na Tabela 5 constam os limites leste definidos. Os valores de velocidade e transporte obtidos foram comparados com os apresentados pela literatura.

Massas de Água	5°S	13°S	22°S	30°S
AT	34°W	37,5°W	39°W	47°W
ACAS	34°W	36,5°W	39°W	47°W
AIA	34,2°W	36,5°W	39°W	47°W
APAN	34°W	36,5°W	36,75°W	44°W

Tabela 5 – Limites leste estabelecidos para o cálculo do transporte meridional acumulado nos perfis de velocidade relacionados para cada massa de água.

A validação do modelo foi feita via a verificação da representatividade dos dados do OCCAM para a área de estudo. Para isso, confrontamos os mapas de

profundidade isopicnal produzidos com a climatologia do OCCAM e com a climatologia do World Ocean Atlas 2005. Além disso, no processo de validação, comparou-se os valores de velocidade e transporte de volume com estudos já realizados para a costa do Brasil. Após a validação do modelo para o oeste do oceano Atlântico Sul e escolhidos os níveis isopicnais, realizou-se o estudo da estrutura vertical, transporte de volume, regiões de bifurcação e variação sazonal dos padrões de circulação de cada massa de água que compõe a circulação do oeste do Atlântico Sul.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, adentraremos na análise dos resultados obtidos para a região de estudo. Os resultados apresentados se referem ao estudo de propriedades termohalinas do oceano e do padrão de circulação com base no modelo global OCCAM. Confrontam-se, aqui, as respostas dos dados do OCCAM oriundos das rodadas com diferentes resoluções horizontais de $1/4^\circ$ e $1/12^\circ$; para efeito de simplificação, essas rodadas serão chamadas de OC4 e OC12 respectivamente. Esses resultados são comparados e discutidos, tendo em vista o conhecimento já produzido para o oeste do Oceano Atlântico Sul.

4.1 Batimetria

A topografia é um fator de grande influência na dinâmica oceânica local. Trabalhos como Campos et al. (2000) e Silveira et al. (2004) demonstram a íntima relação existente entre a batimetria e o padrão de circulação da margem continental sudeste brasileira. Analogamente, um conjunto de dados batimétricos de boa qualidade, ou seja, que represente significativamente a topografia real da região, é decisivo na simulação do comportamento do oceano. Assim, comparamos a batimetria do OCCAM $1/4^\circ$ e $1/12^\circ$ com os dados de batimetria global ETOPO1 com resolução de 1 km x 1 km, conforme as figuras abaixo.

As batimetrias do OCCAM apresentaram uma grande semelhança tanto, no que se refere aos resultados do OCCAM $1/4^\circ$ e $1/12^\circ$, como também comparando-se os mapas gerados pelo modelo com o mapa do ETOPO1 (Figura 13). A grade batimétrica do modelo reproduz muito bem a topografia da região de estudo. A batimetria do OCCAM $1/12^\circ$ revela-se mais semelhante ao ETOPO1, o que se deve a sua maior proximidade de resolução, comparado ao OCCAM $1/4^\circ$. Nota-se ainda, a boa representatividade das feições topográficas características da margem brasileira. Em ambos mapas do OCCAM são mostradas claramente a Cadeia de Fernando de Noronha, o Banco Royal Charlote, o Banco de Abrolhos; mais ao sul a Cadeia Vitória-Trindade, o Platô de São Paulo e a Elevação do Rio Grande em concordância com os dados do ETOPO1.

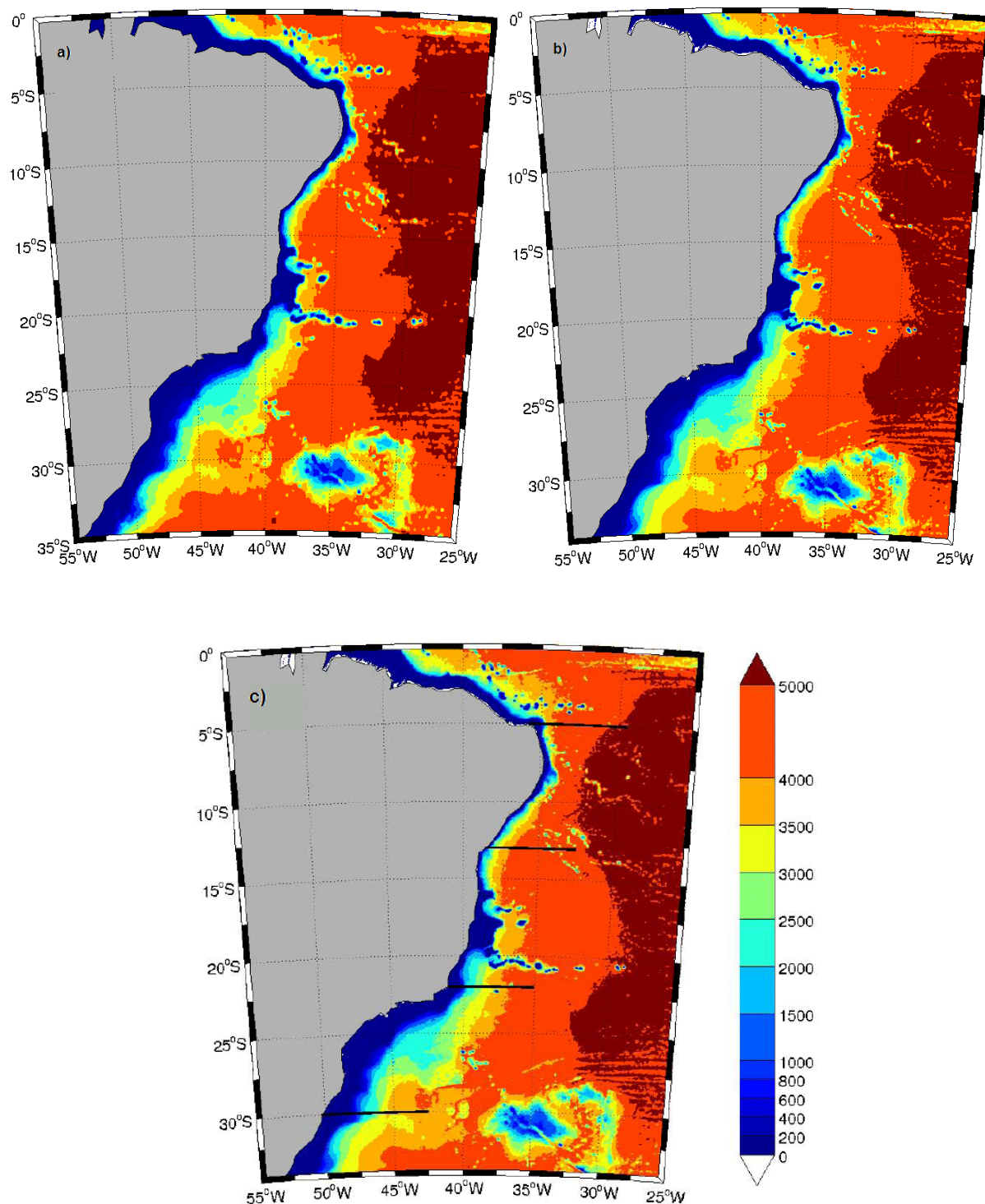


Figura 13 – Batimetria do oeste do Atlântico Sul com base em: a) dados do modelo OCCAM 1/4°; b) dados do modelo OCCAM 1/12°; c) dados do ETOPO1 (1kmx1km). As retas horizontais correspondem às seções zonais escolhidas em 5°, 13°, 22° e 30°S.

4.2 Diagrama Θ -S

No estudo das características termohalinas das massas de água, o modelo também apresentou resultados satisfatórios. Os diagramas temperatura potencial x salinidade Θ -S (Figura 14) expõem os dados do OCCAM $1/4^\circ$ e $1/12^\circ$ com os dados do WOA2005 1° para um ponto em $5,5^\circ\text{S}$ e $34,5^\circ\text{W}$ e outro ponto mais a sul em $30,5^\circ\text{S}$ e $39,5^\circ\text{W}$. Estes pontos foram escolhidos devido à grande profundidade; possibilitando contemplar, assim, todas as massas de água em estudo. O diagrama mostra a curva Θ -S, os limites isopícnais estabelecidos e cada massa de água entre os respectivos níveis. Através da análise da Figura 14a, percebe-se que as resoluções $1/4^\circ$ e $1/12^\circ$ possuem curvas Θ -S bem próximas para toda a coluna de água. Em maior profundidade, vemos a APAN com a menor temperatura e salinidade em torno de 35. Logo acima, encontramos a AIA, caracterizada por uma redução de salinidade, marcando um mínimo desta propriedade física na coluna de água, e temperaturas sutilmente superiores. Na região da termoclina, visualizamos os gradientes positivos próprios da ACAS, variando a temperatura entre $8,5^\circ$ e 20°C e a salinidade de 35 a 36,5 respectivamente. Já em superfície, situa-se a AT a massa de água com os maiores valores de temperatura e salinidade. Observando a Figura 14b, notamos uma curva Θ -S com comportamento semelhante à curva mais a norte em $5,5^\circ\text{S}$. A AIA continua posicionada no mínimo de salinidade, ao passo que, a ACAS permanece na região da termoclina. A principal diferença se refere às propriedades da AT. Em $30,5^\circ\text{S}$, essa massa de água alcança temperaturas menores. Enquanto a AT em $5,5^\circ\text{S}$ ultrapassa os 25°C ; no ponto situado mais ao sul, a AT atinge cerca de 23°C . Até este ponto da análise, podemos perceber que o OCCAM logrou representar bem as peculiaridades termohalinas das principais massas de água do Atlântico Sul na área de estudo.

Comparando-se aos dados modelados aos dados observados da WOA05, notamos na Figura 14a que nas camadas AIA e APAN as curvas são praticamente coincidentes. As leves diferenças começam a aparecer exatamente após a interseção da curva WOA05 com o contorno da isopícnal $\sigma_\theta = 26,8$. Os dados do WOA05 apontam uma ACAS mais salina e com menor temperatura que a modelada.

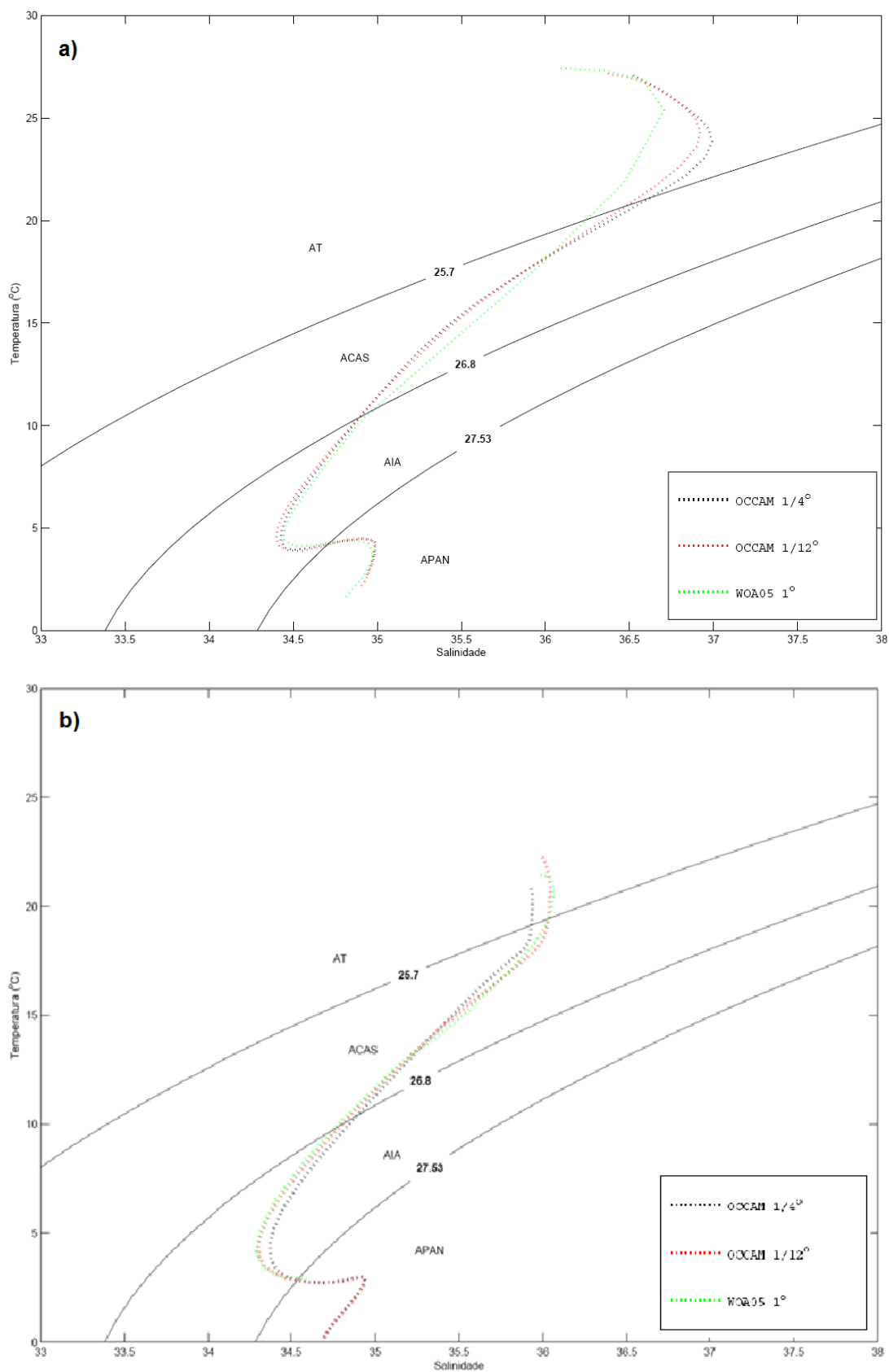


Figura 14 – Diagrama com as curvas Θ -S segundo o OCCAM 1/4°, OCCAM 1/12° e WOA05 1° para um ponto localizado em (a) 5,5°S e 34,5°W e em (b) 30,5°S e 39,5°W. Os contornos isopícnais representam os limites verticais entre as massas de água estudadas.

Aproximando-se da base da AT, os dados observados indicam uma situação inversa em que a AT real é um pouco mais quente e menos salina que a simulada pelo OCCAM. Na Figura 14b, é visível também uma boa correspondência entre as 3 curvas em questão. Agora percebemos que, nesse ponto, o OC4 está mais próximo dos dados observados em todas as camadas ao longo da coluna de água. A simulação OC12, no entanto, apresenta pequenas diferenças relativas aos dados do WOA05, principalmente nas camadas AT e AIA.

Em suma, as discrepâncias encontradas entre o observado e o modelado são pequenas, visto que as curvas são bem próximas e possuem comportamento muito semelhante. Isto revela, portanto, um bom grau de confiabilidade nos dados modelados.

4.3 Mapa de Profundidades das Isopicnais

A Figura 15 mostra as profundidades da isopicnal $\sigma_\theta = 25,7$, relativo ao limite entre a AT a ACAS, obtidas com os dados do OCCAM $1/4^\circ$, $1/12^\circ$ e WOA05 respectivamente. Através do estudo da disposição dessa isopicnal no Atlântico Sul, pode-se compreender a variação vertical das massas de água, neste caso, a variação de profundidade da base da AT e do topo da ACAS. Comparando-se os gráficos do OCCAM $1/4^\circ$, $1/12^\circ$ e WOA05, é possível visualizar um padrão semelhante. Para as 3 situações, a região entre 10°S e 25°S é onde a isopicnal $\sigma_\theta = 25,7$ encontra-se mais profunda. O OC4, no entanto, apresenta valores bem maiores de profundidade atingindo cerca de 200 m. Em ambos gráficos com dados do modelo, observa-se uma língua de profundidades entre 100 e 160 m ao sul de 25°S . Esta língua no WOA05 revela-se mais rasa e menos definida, muito provavelmente em função da menor resolução espacial deste conjunto de dados. Além disso, observa-se também que os dados modelados apresentam profundidades isopicnais mais rasas abaixo de 28°S em relação aos dados observados WOA05.

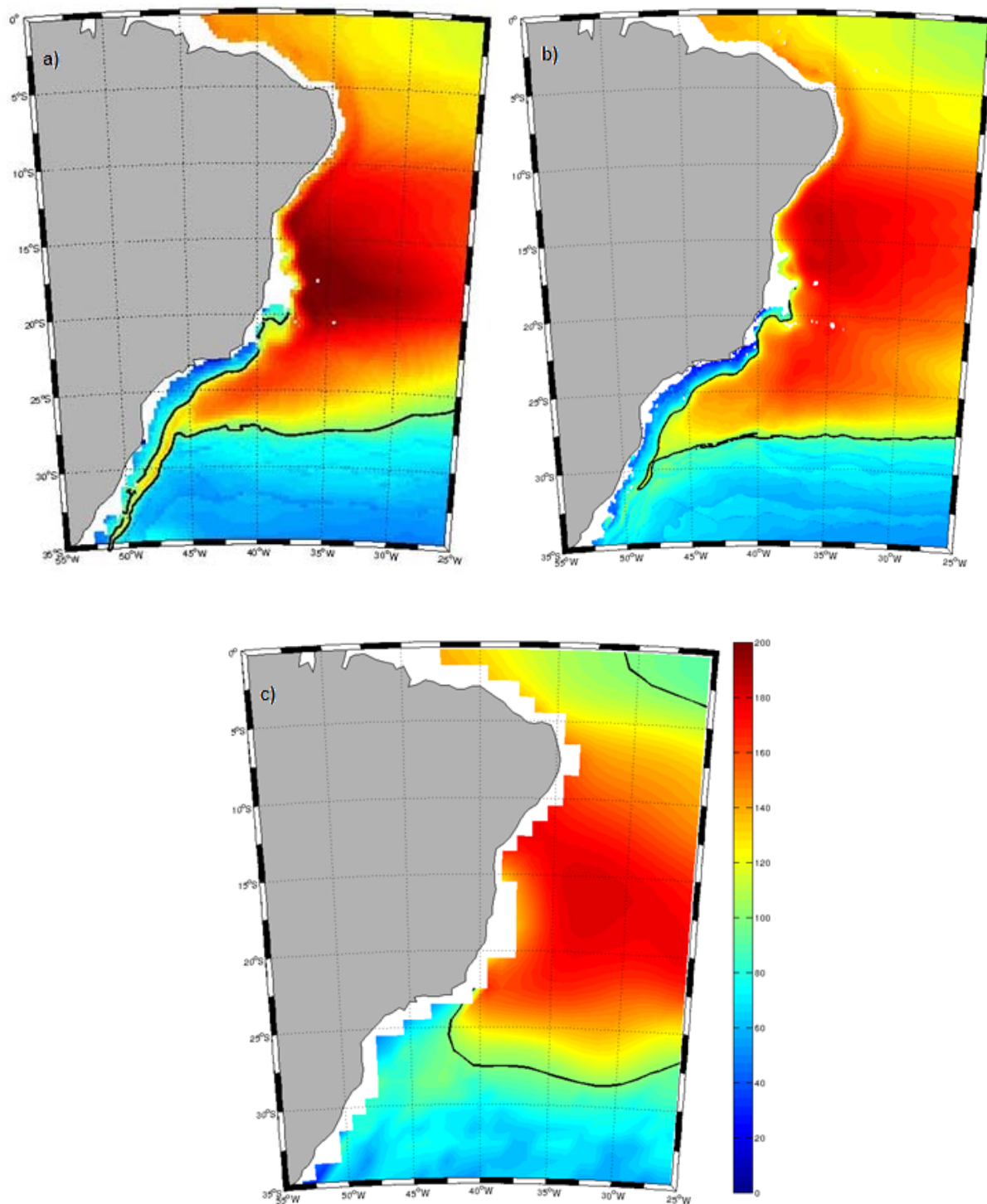


Figura 15 – Profundidades da isopical $\sigma_t = 25.7$ baseada em: a) OCCAM 1/4°; b) OCCAM 1/12°; c) WOA05. A linha espessa representa a profundidade de 100 m.

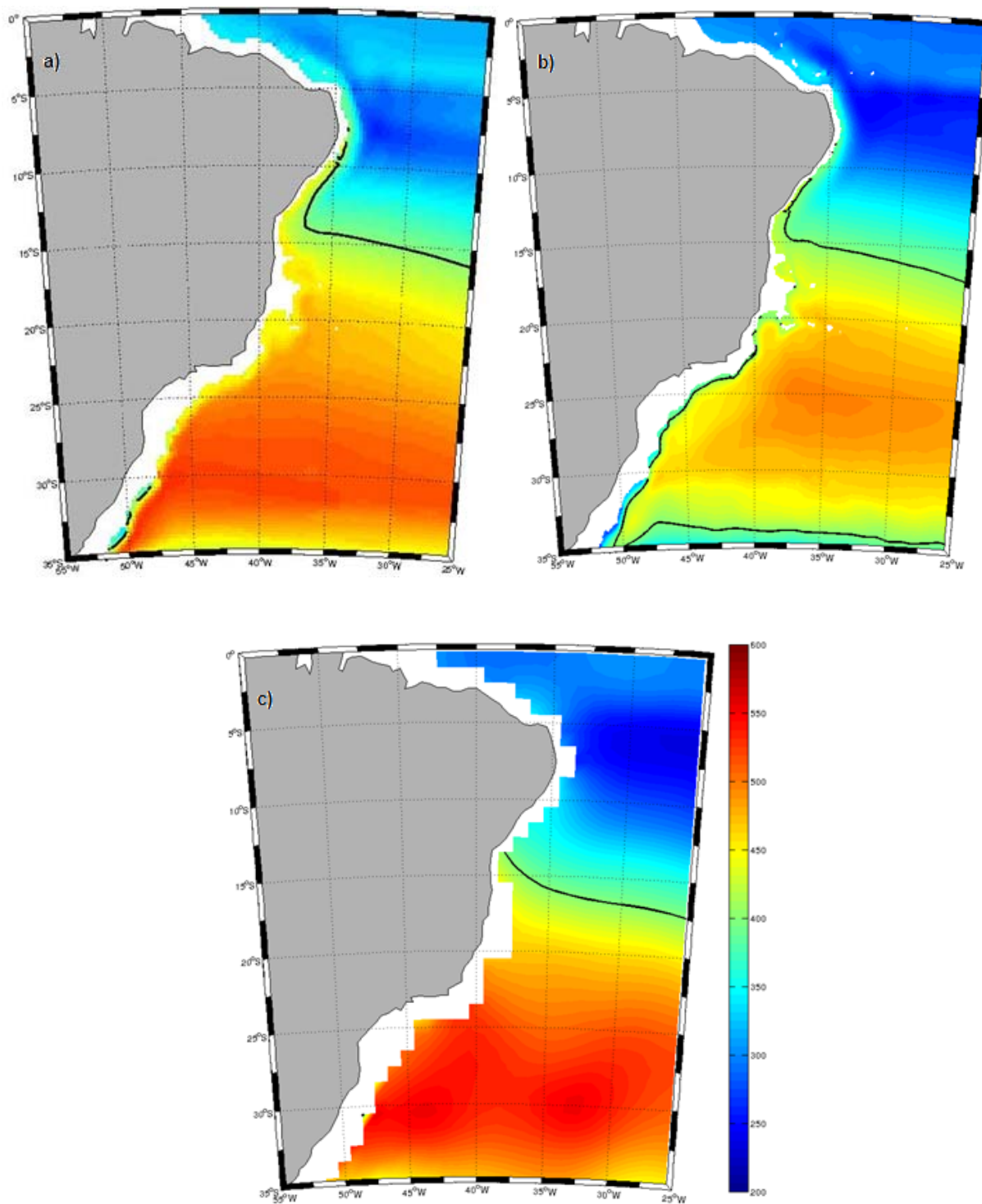


Figura 16 – Profundidades da isopical $\sigma_t = 26.8$ baseada em: a) OCCAM 1/4°; b) OCCAM 1/12°; c) WOA05. A linha espessa representa a profundidade de 400 m.

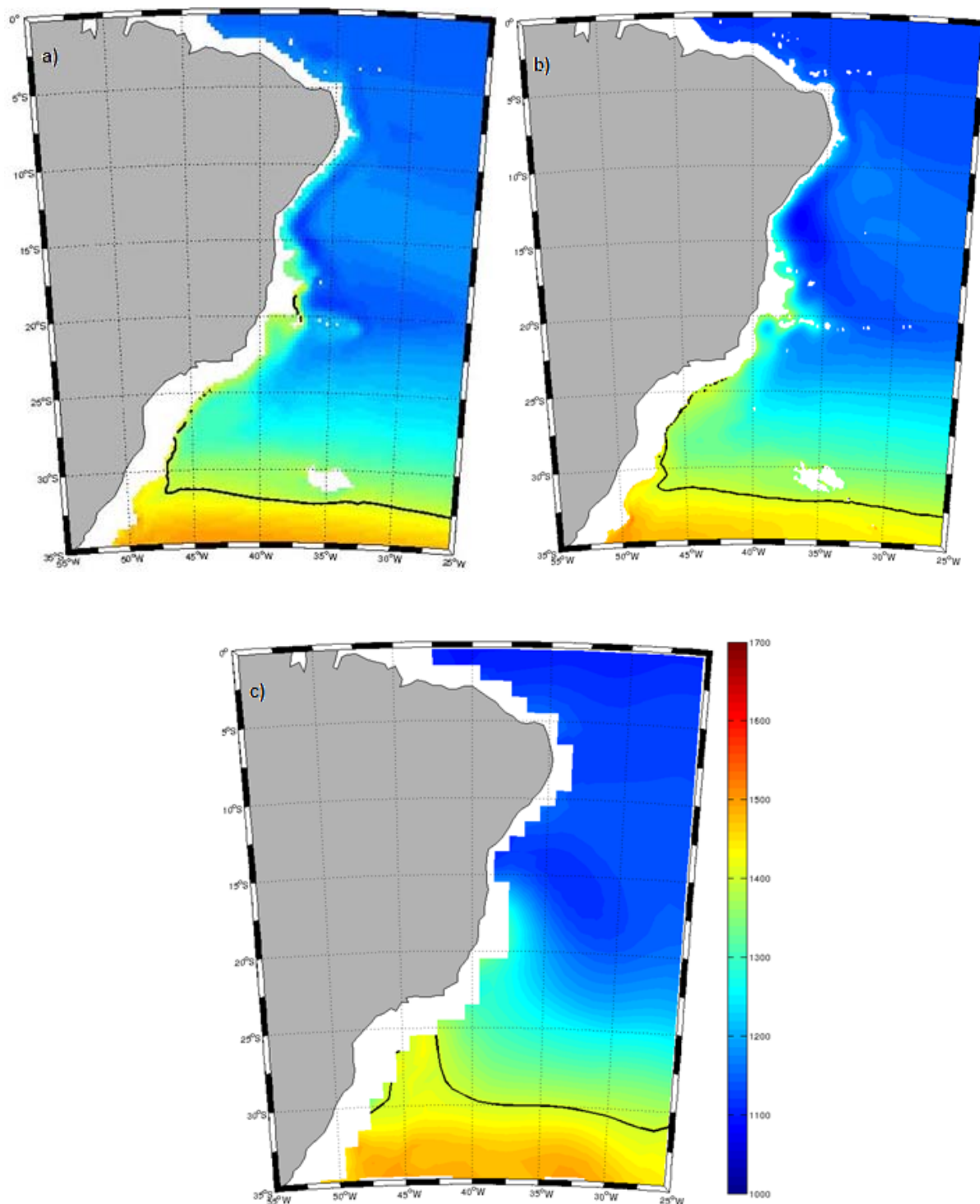


Figura 17 – Profundidades da isopical $\sigma_t = 27.53$ baseada em: a) OCCAM 1/4°; b) OCCAM 1/12°; c) WOA05. A linha espessa representa a profundidade de 1400 m.

Em relação às profundidades da isopical $\sigma_\theta = 26,8$, nível termohalino correspondente à fronteira ACAS/ AIA, os mapas do OCCAM ilustram um aspecto muito parecido, destacando um comportamento crescente da profundidade dessa isopical sentido norte-sul até cerca de 35°S para a resolução de $1/4^\circ$ e até 25°S para $1/12^\circ$. O mapa em $1/4^\circ$ é o que mais se assemelha, em aspectos gerais, aos dados observados. Acima de 20°S , os 3 mapas apresentam pouca diferença. Todavia, a sul de 20°S , as profundidades em OC12 são cerca de 50 a 100 m mais rasa do que as profundidades calculadas com os dados do WOA05.

Os resultados obtidos para a isopical $\sigma_\theta = 27,53$ também são animadores. Tanto os mapas do OCCAM como o do WOA05 mostram a maior parte dos valores, ao norte de 20°S , entre 1000 a 1200 m de profundidade para o limite termohalino que separa a AIA e a APAN (Figura 17). As profundidades isopicais do OCCAM $1/4^\circ$ e $1/12^\circ$ são muito semelhantes, apesar da diferença de resolução. A Elevação do Rio Grande não aparece nos dados do WOA05 devido a sua resolução de 1° ; estando presente, portanto, nos dados modelados, que possuem maior resolução. Ao sul de aproximadamente 25°S , os dados observados do WOA05 mostram profundidades superiores em relação aos mapas do OCCAM.

4.4 Mapas de Transporte de Volume

Nesta seção são apresentados os mapas horizontais de transporte acumulado elaborados com base na climatologia mensal do OCCAM para as resoluções $1/4^\circ$ e $1/12^\circ$. O principal propósito desses resultados é investigar o sítio de bifurcação da CSE no oeste do oceano Atlântico Sul. Para alcançar esse objetivo, os mapas serão analisados, descritos, comparados e discutidos face à literatura presente atualmente.

4.4.1 Água Tropical

Primeiramente, analisaremos os mapas relativos à circulação superficial. As isolinhas de transporte informam a magnitude do transporte integrado desde a superfície oceânica até o nível onde $\sigma_\theta = 25,7 \text{ kg/m}^3$, camada correspondente à AT. Neste nível, as resoluções $1/4^\circ$ e $1/12^\circ$ responderam de maneira bem similar. Para ambas resoluções, os transportes positivos são contemplados no intervalo de 0 a 13

Sv, crescendo em módulo no sentido sul-norte. O leitor pode ver claramente o intenso gradiente de transporte positivo próximo à costa. Esse forte gradiente representa a CNB. O mapa mostra o crescimento gradativo de transporte da CNB, crescimento este percebido através do aumento da quantidade de isolinhas que compõem o gradiente de transporte ao largo da margem continental. No que diz respeito aos transportes negativos, a CB se apresenta inicialmente com alguns meandramentos, melhor observados em $1/12^\circ$, até cerca de 23°S . A sul dessa latitude, a CB torna-se um fluxo organizado ao longo do contorno oeste. Seu transporte de volume atinge aproximadamente $-2,0\text{ Sv}$ e $-2,5\text{ Sv}$ nas resoluções de $1/4^\circ$ e $1/12^\circ$ respectivamente. Em ambos mapas, ocorre um decréscimo em módulo do transporte negativo no nível da AT, sendo registrado, porém, pelo OCCAM $1/12^\circ$, com maior intensidade e posicionado mais a norte.

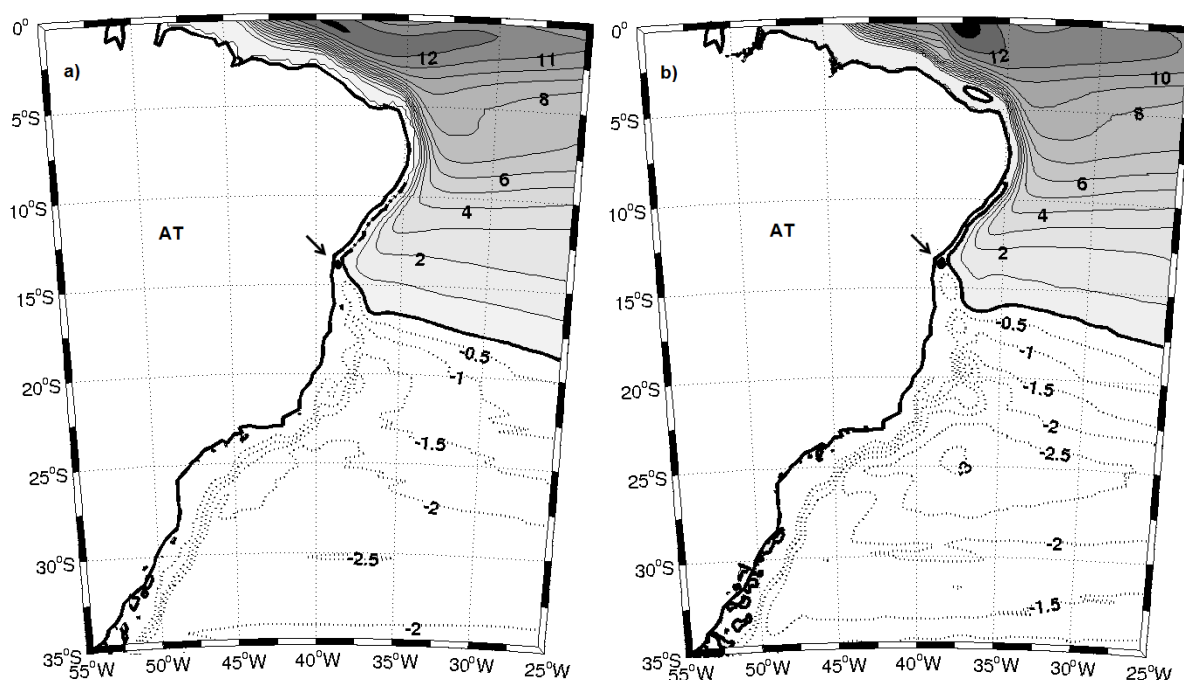


Figura 18 – Mapa horizontal de transporte meridional acumulado entre a superfície e a isopical $\sigma_\theta = 25,7$. A linha espessa representa a isolinha de transporte nulo. a) OCCAM $1/4^\circ$; b) OCCAM $1/12^\circ$. A região de bifurcação é representada pelo círculo preto.

Neste trabalho, com o propósito de consolidar uma padronização metodológica, estabelecemos a isolinha de zero como referência na identificação da BiCSE. A latitude de bifurcação, portanto, será indicada pela região onde o transporte líquido é nulo próximo à isóbata de 1000 m. A localização da BiCSE para a camada AT situa-se em aproximadamente 13°S , conforme os mapas (Figura 18). É importante

salientar que essa latitude de bifurcação é a mesma para as duas resoluções em estudo. O confronto dos resultados com os trabalhos disponíveis na literatura é vitorioso! Rodrigues et al. (2007) baseando-se na média anual da altura dinâmica e no fluxo geostrófico relativo a 1000 dbar, obtidos a partir de dados observados, estimou a BiCSE, na camada superficial, ocorrendo em 14°S. Estes cálculos, conforme os autores, por não considerar as correntes de Ekman, acabam afetando a estimativa da latitude de bifurcação próximo à superfície. Incluindo as correntes de Ekman no cálculo, a posição da bifurcação move-se para norte cerca de 1° de latitude, resultando em uma BiCSE em 13°S, exatamente a latitude calculada pelo OCCAM em ambas resoluções. O comportamento sazonal da BiCSE em superfície apresentou uma variação sazonal de 5° e 2,5° de latitude para OC4 e OC12 respectivamente (Tabela 6), o que difere da variação latitudinal estabelecido pelos autores: 7°. De acordo com Rodrigues et al. (2007) a BiCSE, nos primeiros 400m, assume sua posição mais a norte em novembro e a posição mais a sul em julho. O OCCAM logra uma boa representação desse padrão sazonal, no qual a posição mais ao norte ocorre nos meses de novembro e os valores de latitude mais ao sul em junho e julho tanto em OC4 como para OC12 (Tabela 6).

Meses	OCCAM 1/4°			OCCAM 1/12°		
	AT	ACAS	AIA	AT	ACAS	AIA
Janeiro	10°S	21°S	29°S	12,5°S	21,5°S	29°S
Fevereiro	11,5°S	21,5°S	29°S	13°S	21,5°S	29,5°S
Março	13°S	21,5°S	29°S	13°S	22,5°S	29°S
Abril	14,5°S	22,5°S	29°S	13,5°S	22,5°S	29°S
Maio	15°S	24°S	29°S	14°S	24°S	29°S
Junho	15°S	24°S	32,5°S	14,5°S	25°S	35°S
Julho	15°S	23,5°S	29°S	14,5°S	22°S	32,5°S
Agosto	14°S	23,5°S	29°S	14°S	22°S	29°S
Setembro	13,5°S	22°S	29°S	13°S	22°S	29,5°S
Outubro	13°S	22°S	29°S	13°S	21,5°S	29°S
Novembro	10°S	21,5°S	29°S	12°S	21°S	29°S
Dezembro	10,5°S	21,5°S	29°S	12,5°S	21,5°S	30°S

Tabela 6 – Latitudes de bifurcação da CSE para os níveis da AT, ACAS e AIA, durante o ano segundo o OCCAM 1/4° e OCCAM 1/12°.

Além disso, os nossos resultados combinam com a latitude da BiCSE de aproximadamente 12°S, estimada por Soutelino (2008) através da análise das funções de corrente geostrófica para o verão (janeiro, fevereiro e março) climatológico com dados do WOA01.

4.4.2 Água Central do Atlântico Sul

Para este nível também obtemos uma representação bastante semelhante entre as resoluções empregadas neste estudo. Os mapas ilustram bem a SNB rumando para norte no contorno oeste (Figura 19). A SNB chega a atingir um transporte de 6-7 Sv, incorporando-se, em aproximadamente 13°S, à CNB. Essa corrente, por sua vez, segue em seu caminho para norte crescendo em transporte. A Figura mostra a porção da CNB, entre as isopicnais $\sigma_\theta = 25,7$ e $\sigma_\theta = 26,8$, alcançando uma magnitude de 10 Sv. Os transportes negativos possuem um padrão crescente, em módulo, no sentido norte-sul com máximos de -6 Sv ($1/4^\circ$) e -5 Sv ($1/12^\circ$).

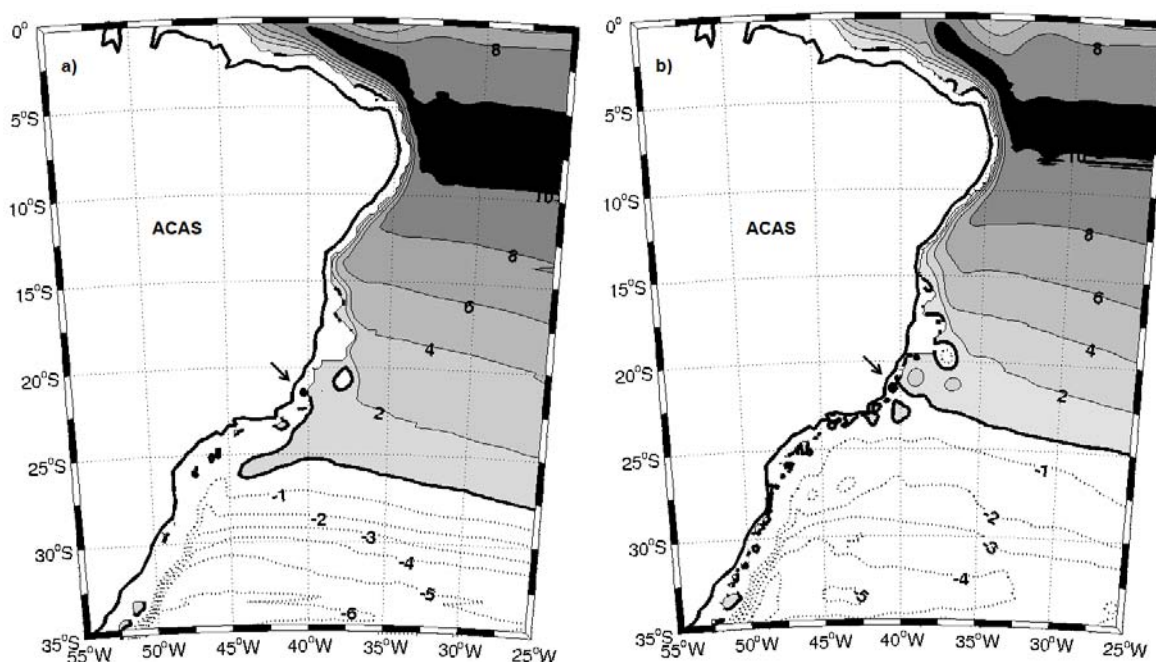


Figura 19 – Mapa horizontal de transporte meridional acumulado entre as isopicnais $\sigma_\theta = 25,7$ e $\sigma_\theta = 26,8$. A linha espessa representa a isolinha de transporte nulo. a) OCCAM $1/4^\circ$; b) OCCAM $1/12^\circ$. A região de bifurcação é representada pelo círculo preto.

O sítio de bifurcação da CSE é localizado em aproximadamente em 21°S em ambas resoluções. Comparando o valor encontrado com os apresentados na literatura, vemos que os resultados do OC4 e OC12 são condizentes com as estimativas de Stramma e England (1999), 20°S , Rodrigues et al. (2007), 21°S , e Soutelino (2008), 20°S . A variação sazonal da BiCSE, de acordo com o OCCAM, no nível da ACAS, é $2,5^\circ$ e 4° , em relação a OC4 e OC12 respectivamente (Tabela 6).

Estes valores são contemplados pelos resultados de Rodrigues et al. (2007) que quantificam a variação sazonal da BiCSE em cerca de 3° de latitude. Adicionalmente, a localização máxima a norte da BiCSE ocorrem em novembro ($1/4^\circ$) e dezembro ($1/12^\circ$) e a máxima a sul em maio ($1/4^\circ$) e junho ($1/12^\circ$); a maior resolução, portanto, revela-se mais fiel ao padrão previsto pelos autores.

4.4.3 Água Intermediária Antártica

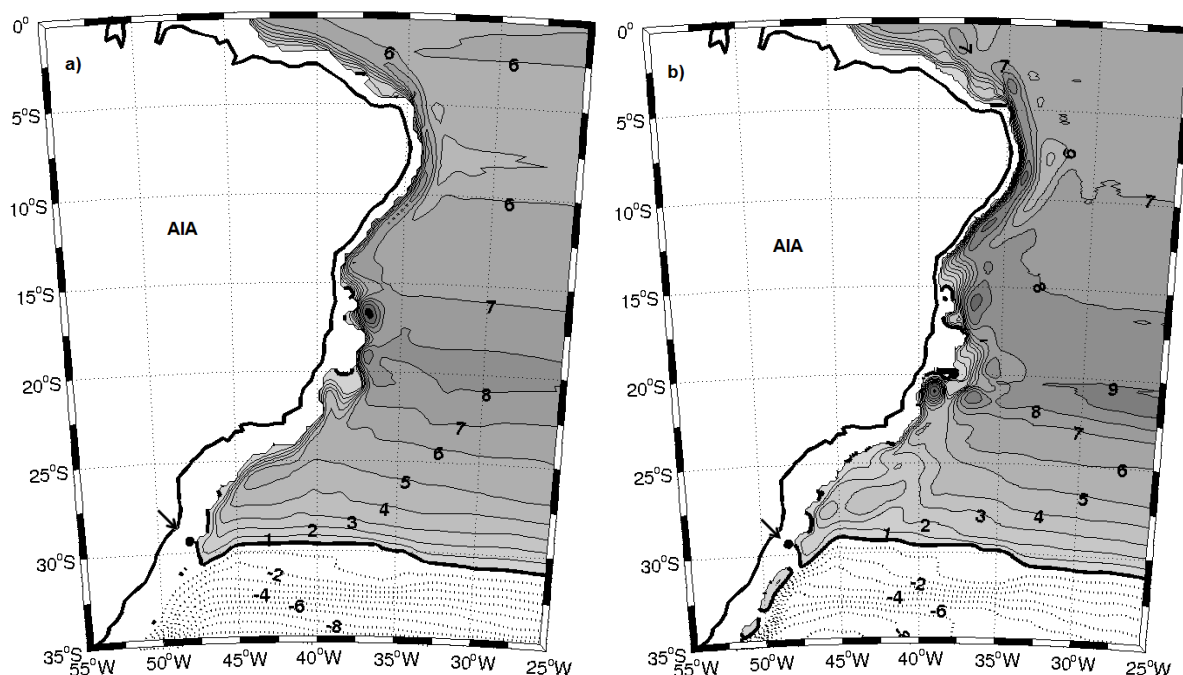


Figura 20 – Mapa horizontal de transporte meridional acumulado entre as isopicnais $\sigma_\theta = 26,8$ e $\sigma_\theta = 27,53$. A linha espessa representa a isolinha de transporte nulo. a) OCCAM $1/4^\circ$; b) OCCAM $1/12^\circ$. A região de bifurcação é representada pelo círculo preto.

A Figura 20 mostra a componente meridional da circulação intermediária. Entre as duas resoluções do OCCAM, não houve muita diferença em aspectos gerais. Seguindo para norte, temos representada a CCI intensificando seu transporte até cerca 15°S , em ambos mapas. Em seu caminho até esse marco de latitude, encontra barreiras topográficas como a Cadeia Vitória-Trindade, o Banco de Abrolhos e o Banco Royal Charlotte, o que provoca o meandramento do fluxo e desenvolvimento de estruturas vorticiais. Observamos um nítido aumento do meandramento da CCI com o aumento da resolução. Ultrapassados tais obstáculos, a CCI começa a adquirir estabilidade, fluído ao largo da costa brasileira, com magnitudes de transporte entre 6 a 8 Sv ($1/4^\circ$) e 6 a 10 Sv ($1/12^\circ$). Fluindo para sul,

encontramos a CB aumentando em transporte atingindo aproximadamente 9 Sv no limite austral da área de estudo. O OCCAM 1/4° esse gradiente de transporte da CB, em níveis intermediários, é levemente mais intenso.

Aqui, semelhante à camada AT, o aumento de resolução não implicou uma diferença significativa na determinação latitudinal média da BiCSE. O sítio de bifurcação, neste nível foi estimado para ocorrer em aproximadamente 29°S. Este resultado se afasta das estimativas de Stramma e England (1999) e Rodrigues et al. (2007). Estes trabalhos sinalizam a latitude de 25°S; o valor aqui obtido, portanto, indica uma localização da BiCSE cerca de 4° mais a sul. Todavia, quando comparamos nosso resultado com o apresentado por Böebel et al. (1999), notamos uma significativa proximidade à latitude de 28°S estabelecido por esses autores. A dinâmica sazonal da BiCSE exibida pelo OCCAM revela amplitudes latitudinais distintas para cada resolução. O OCCAM 1/4° calcula uma variação de 3,5°; o OCCAM 1/12°, no entanto, um valor mais de 2 vezes superior: 7°. A menor resolução representou, portanto, um comportamento mais fiel ao observado por Rodrigues et al. (2007), pois afirmam estes autores que, em profundidades maiores a 600m, a posição da BiCSE varia cerca de 2° de latitude. Apesar das discrepâncias, em relação à amplitude latitudinal de bifurcação, os picos de posição a sul ocorrem nos meses de junho (OC4) e julho (OC12); concordando, assim, com o que propõem Rodrigues et al. (2007). No que concerne à posição mais setentrional, ambas as resoluções mostram 29°S ocorrendo a maior parte no ano, apresentando o OC12 pequenas variações.

4.4.4 Água Profunda do Atlântico Norte

Os mapas de transporte da APAN (Figura 21) ilustram a circulação profunda nas duas resoluções estudadas. A circulação de profundidade é predominantemente de caráter termohalino; não participando, pois, do giro subtropical. Diante disso, observamos um padrão de escoamento da APAN essencialmente meridional com sentido norte-sul (transporte negativo).

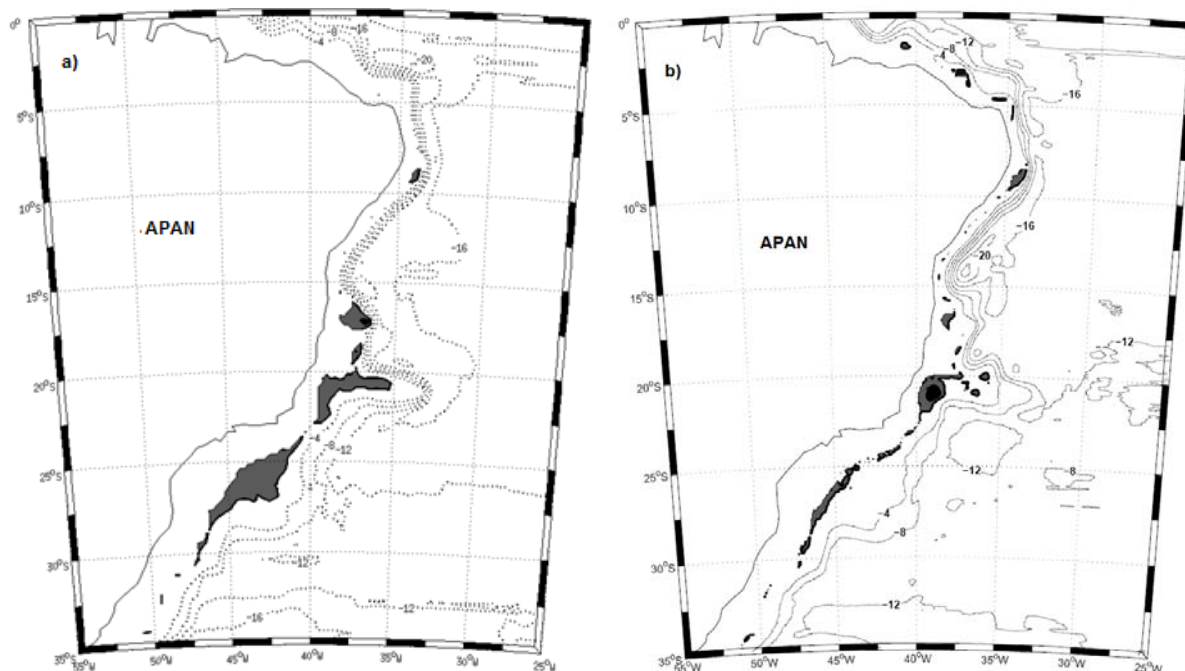


Figura 21 – Mapa horizontal de transporte meridional acumulado entre a isopícnais $\sigma_\theta = 27,53$ e o fundo. A linha espessa representa a isolinha de transporte nulo. a) OCCAM $1/4^\circ$; b) OCCAM $1/12^\circ$.

A CCP é representada com grande clareza em ambos mapas. Percebemos sua localização por meio do expressivo gradiente de transporte meridional presente ao largo da costa brasileira. Assim, a CCP demonstra-se um fluxo bem organizado próximo ao talude variando em transporte de -12 a cerca de -20 Sv. Com o aumento da resolução, notamos uma CCP mais estreita, no entanto, com transportes mais intensos. Ao atingir a latitude de aproximadamente 15°S , esta corrente encontra obstáculos topográficos que impõem o aparecimento de meandros e recirculações. Após certo meandramento, a CCP sofre uma significativa diminuição de transporte. Em $1/4^\circ$, esse enfraquecimento inicia-se em 23°S , recuperando a CCP sua magnitude de transporte anterior em aproximadamente 10° mais a sul. Em $1/12^\circ$, o decaimento de transporte de volume, por sua vez, dá sinais logo em 20°S e começa a crescer em transporte novamente em 33°S . Em ambos casos, com o crescimento em transporte, a CCP também reassume gradativamente a organização do fluxo. Portanto, a resolução de $1/12^\circ$ mostra valores de transporte negativo maiores em módulo, um fluxo mais estreito e a redução de transporte ocorrendo mais a norte e mais bruscamente. Além disso, a maior resolução indicou uma recuperação da magnitude de transporte e da organização mais paulatina.

4.5 Perfis de Velocidade

Com o objetivo de melhor visualizar a estrutura da circulação no oeste do Atlântico Sul, foram elaborados perfis de velocidade para seções zonais ao longo da costa com os dados de modelos nas resoluções de $1/4^\circ$ e $1/12^\circ$. As seções de estudo estão situadas nas latitudes de 5° , 13° , 22° e 30°S . A razão da escolha de seções nessas latitudes específicas consiste no propósito de investigar a estrutura vertical e aspectos da circulação da CNB e das regiões próximas à bifurcação da AT, ACAS e AIA respectivamente. Neste intuito, os perfis a seguir apresentam: i) a distribuição vertical de velocidades meridionais médias nas seções zonais escolhidas, ii) contornos isopícnais que representam os limites verticais relativos a cada massa de água e iii) os transportes calculados para os núcleos de cada massa de água em estudo.

4.5.1 Seção 5°S

A estrutura vertical apresentada nos perfis do OCCAM $1/4^\circ$ e $1/12^\circ$ (Figura 22) é muito semelhante. Nota-se, em ambos perfis, a presença de uma CNB bem definida com velocidade superiores a $0,6\text{ m/s}$. Os maiores valores positivos de velocidade se encontram nos níveis da AT e da ACAS. A profundidade do núcleo da CNB é coincidente: 200 m . Contígua à CNB, observa-se uma contracorrente que atinge uma velocidade média de $-1,5\text{ m/s}$. Essa contracorrente também é evidenciada por Schott et al. (2005) em sua seção zonalmente inclinada a 5°S . Estes autores afirmam que esse contrafluxo é significativo a ponto de reduzir o transporte líquido total da CNB em $4,4\text{ Sv}$. Em virtude disso, houve, neste trabalho, a preocupação de escolher um limite leste da AIA que não englobasse esse contrafluxo; obtendo-se, dessa forma, um valor mais próximo do real transporte da CNB no nível intermediário. A CNB se estende verticalmente até cerca de 1000 m de profundidade, seu núcleo localiza-se aproximadamente em 200 m e sob a isóbata de 1500 m ; o que também se evidencia em Schott et al. (2005) que se basearam em dados observacionais de nove cruzeiros no período de 1990 a 2004 em 5°S . Tanto na resolução de $1/4^\circ$ e $1/12^\circ$, como também em Schott et al. (2005), percebe-se que a isopícnal $\sigma_\theta = 27,53$ separa exatamente a CNB da CCP, revelando-se um limite

isopical que satisfatoriamente representa a interface entre a circulação intermediária e profunda nesta região.

Em relação à CCP, a profundidade do núcleo da APAN é de aproximadamente 2000 m para as duas resoluções do modelo. Todavia, este núcleo na simulação do OC4 mostra um deslocamento de cerca de 2° de longitude a leste em relação ao OC12. Além disso, no perfil de maior resolução, a máxima velocidade meridional média da CCP é superior em 0,1 m/s. A seção de 5°S em Schott et al. (2005), apresenta o núcleo da CCP na mesma profundidade que a encontrada com o OCCAM. Comparando-se as velocidades observadas no trabalho de Schott e as modeladas pelo OCCAM para a CCP, conclui-se que o máximo da velocidade média observada, aproximadamente 0,2 m/s, é o mesmo da simulação do OC4. A simulação em $1/4^\circ$, por sua vez, mostra também uma localização do limite leste do núcleo da CCP semelhante aos dados observados, estando posicionadas as isotacas de -0,05 m/s aproximadamente em $34^\circ45'\text{W}$. No entanto, os dados em $1/12^\circ$ é que apresentam maior similaridade com a topografia da região, sendo importante frisar que a longitude em que ocorre a quebra do talude continental é coincidente: 35°W . A Tabela 7 mostra as velocidades meridionais máximas para os núcleos das massas de água.

5°S	OCCAM $1/4^\circ$	OCCAM $1/12^\circ$
AT	$1,15 \pm 0,08$	$1,11 \pm 0,07$
ACAS	$1,15 \pm 0,08$	$1,12 \pm 0,07$
AIA	$0,71 \pm 0,10$	$0,88 \pm 0,09$
APAN	$-0,23 \pm 0,03$	$-0,30 \pm 0,05$

Tabela 7 – Velocidade meridional máxima em m/s para os núcleos das massas de água para a seção em 5°S .

Dentre os transportes de volume respectivos a cada massa de água na Figura 22, a ACAS possui os valores mais próximos, diferenciando-se por apenas 0,3 Sv. Percebe-se ainda que é na camada acima da isopical $\sigma_\theta=26,8$ onde os transportes médios têm menos diferença, sendo, portanto, abaixo deste nível encontradas diferenças superiores a 1 Sv. A AIA apresenta uma diferença de 1,7 Sv, enquanto que a APAN 4,1 Sv. Esse fato se deve, principalmente, a três causas. Primeiramente, a distância de resolução horizontal, sendo a $1/12^\circ$ 3 vezes superior à

1/4°, influi diretamente na definição da batimetria. Como pode-se constatar nos perfis, as diferenças batimétricas influenciam mais as camadas abaixo de $\sigma_\theta = 26.8$, conseqüentemente as camadas AIA e APAN. O fator resolução, da mesma forma com que na batimetria, contribui para a maior ou menor definição do fluxo. Diante disso, observa-se que as maiores magnitudes de transporte são apresentadas pelo OC12, devido aos fluxos possuírem maior definição. Finalmente, outro fator favorece à resposta em ambas resoluções ser mais próxima acima de 400 m. Como o gradiente de temperatura e salinidade nesta região é muito mais pronunciado, em relação a profundidades maiores, o OC4 também consegue capturar bem os fluxos relativos à AT e ACAS. As discrepâncias nos resultados obtidos sob diferentes resoluções, portanto, tornam-se mais evidentes em regiões de gradiente suave, onde cabe, por sua vez, ao OC12 a melhor representação da circulação.

Apesar das poucas estimativas de transporte de volume para esta região na literatura, são comparados aqui os resultados do modelo com duas importantes referências: Silveira et al. (1994) e Schott et al. (2005). A Tabela 2, extraída de Silveira et al. (1994), mostra três seções próximas à 5°S, as seções 10 a 6°S, 11 a 5°30'S e a 12 a 4°48'S. Os valores de transporte foram calculados por extrapolação da altura geopotencial pela técnica de Reid and Mantylla (1976). Este cálculo geostrófico de transporte foi efetuado relativo a 3 profundidades de referência: 150 m para a camada superficial, 500 m para o nível subpicnoclínico e 1000 m para o nível intermediário.

Para se confrontar os valores obtidos com o modelo OCCAM aos valores dessa referência, é necessário, primeiramente analisar a correspondência entre as profundidades isopícnais e as assumidas. Em relação à camada superficial, vemos que a profundidade de $\sigma_\theta = 25,7$ é aproximadamente 150 m, coincidindo com a profundidade escolhida na referência. Essa concordância também ocorre no nível intermediário, onde a isopícnal $\sigma_\theta = 27,53$ e a profundidade assumida possuem aproximadamente a mesma posição na coluna de água. Observa-se, no entanto, que as profundidades de $\sigma_\theta = 26,8$ giram em torno de 300 a 350 m, diferindo significativamente da profundidade relativa à base da ACAS admitida no trabalho de Silveira et al. (1994).

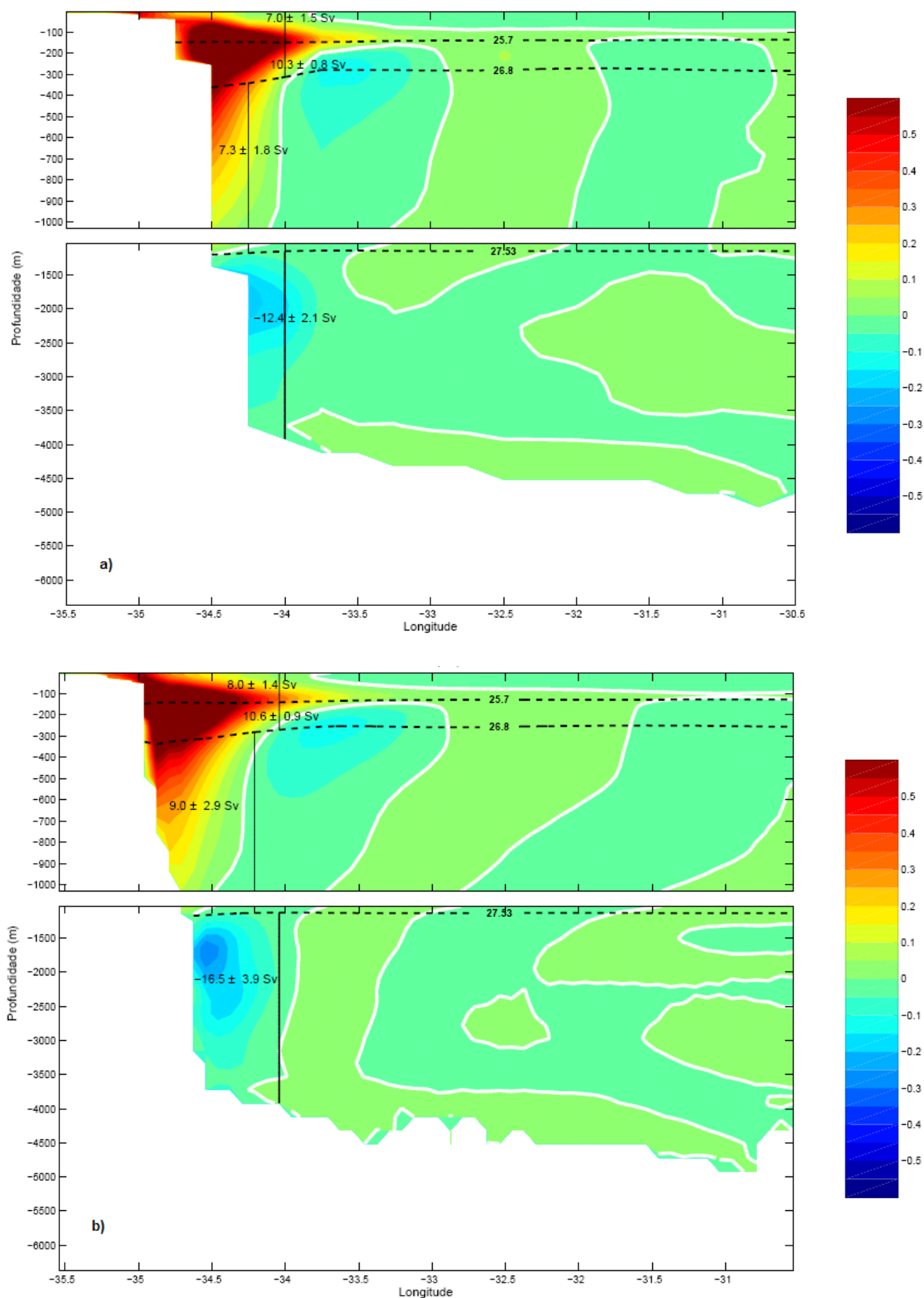


Figura 22 – Perfil de velocidade meridional na seção zonal de 5°S. Valores de velocidades positivos (negativos) indicam sentido para norte (sul). Espaçamento entre as isolinhas de 0,05 m/s. OCCAM 1/4° (acima); OCCAM 1/12° (abaixo).

Agora, partindo-se à análise comparativa dos transportes, as estimativas do OC12 para a AT revelam-se as mais próximas dos valores observados nas 3 seções. Esses valores encontram-se entre 8,3 a 10 Sv, enquanto que o modelo calcula um transporte meridional de $8,0 \pm 1,4$ Sv. A maior resolução possibilitou uma melhor definição do fluxo, o que justifica a estimativa de transporte mais fiel à observada. Em relação à ACAS, os resultados observacionais mostram uma faixa de 9,6 a 11,8 Sv, ou seja, bastante próxima da flutuação atribuída a essa massa de água em OC4 e OC12, $10,3 \pm 0,8$ Sv e $10,6 \pm 0,9$ Sv, respectivamente. Isso pode ser explicado pelo fato de as maiores velocidades na camada ACAS estarem concentradas acima de $\sigma_\theta = 26,8$. Considerando-se, transporte integrado de 0 a 500m de profundidade (AT+ACAS), vemos que os resultados modelados estão mais condizentes com os valores de transporte medidos nas seções 10 e 11, no entanto, o OC12 estima $18,6 \pm 2,0$ Sv, comparando-se, assim, à magnitude de transporte observada na seção 12. Comparando-se os transportes da AIA, é onde encontramos as maiores disparidades: Silveira et al. (1994) estabelecem valores entre 1,2 e 3,2 Sv em suas seções, que muito diferem das estimativas modeladas, 7,3 e 9,0 Sv. Para nós, o principal fator que causa essa não congruência é a diferença na metodologia adotada. É possível perceber claramente nos perfis modelados que, abaixo de 500 m, as velocidades são inferiores a 0,4 m/s. O referencial de 500 m como topo da AIA implica na subestimação da magnitude de seu transporte nesta região. No entanto, quando analisamos o transporte integrado da superfície até 1000 m, que coincide com $\sigma_\theta = 27,53$, as semelhanças aparecem. Os autores acharam, em 1994, em sua seção a $4^\circ 48'S$ cerca de 24,9 Sv, ao passo que o OC4 apresentou uma magnitude de transporte praticamente equivalente, 24,6 Sv. Percebemos assim, uma boa correspondência entre os dados modelados pelo OCCAM e os valores encontrados por Silveira et al. (1994).

Os resultados do modelo OCCAM em $5^\circ S$ são ainda mais acurados quando comparados às observações de Schott et al. (2005). Como o limite isopical inferior da AT estabelecido pelos autores difere significativamente do escolhido neste trabalho, comparemos inicialmente o transporte integrado até $\sigma_\theta = 26,8$; nível isopical utilizado em ambos trabalhos. O transporte médio integrado modelado na resolução de $1/4^\circ$; 17,3 Sv; é o que apresenta maior proximidade com o observado; 17,6 Sv. O referencial isopical da interface AIA-APAN usado pelos pesquisadores é

$\sigma_1 = 32,15$, fazendo-se a conversão deste valor para σ_θ obtém-se o mesmo índice isopical aqui utilizado. Em seguida, verificamos que, relativo ao transporte da AIA, as estimativas estão ainda mais similares. Tanto OC4 como OC12 conseguiram modelar muito bem o transporte da AIA, sendo que a maior resolução garantiu o resultado incrivelmente representativo de 9 Sv frente aos 8,9 Sv de Schott et al. (2005). Como forma de corroborar o êxito do OCCAM em simular a CNB, realizemos ainda a comparação dos resultados considerando o fluxo em sua totalidade. Assim, temos que o transporte integrado da superfície ao nível $\sigma_\theta = 27,53$ somam $24,6 \pm 2,9$ Sv e $27,6 \pm 3,7$ Sv para OC4 e OC12 respectivamente. O valor da estimativa obtida com maior resolução é novamente mais real em relação aos $26,5 \pm 3,7$ Sv resultantes do cálculo com dados observados. Vale ressaltar também que em OC12 a variabilidade sazonal do transporte da CNB foi fielmente representada.

No que concerne à circulação profunda, a análise dos resultados do OCCAM, em comparação a Schott et al. (2005) foi conduzida da seguinte forma. Somamos os valores de transporte desde $\sigma_\theta = 27,53$ até o fundo, unificando assim os referenciais verticais dos dois trabalhos. Obedecendo a esse artifício metodológico, obtemos o transporte de volume com cerca de $16,5 \pm 3,9$ Sv para sul, considerando a maior resolução, em face dos 24,3 Sv oriundos das observações em 5°S. Em 2002, no entanto, os mesmos autores estimaram um transporte de 20 Sv para a APAN. Embora, em primeira vista, a estimativa do modelo pareça um pouco distante do valor real, é interessante investigar mais a fundo com o fim de encontrar razões que elucidem esse fato. No estudo realizado por Schott et al. (2005) o transporte de volume atribuído à APAN possui uma variabilidade relativamente alta, representada por um desvio-padrão de 8,3 Sv. Essa variabilidade, inerente ao fluxo composto pela APAN, possivelmente não foi captada pelo modelo, subestimando esse valor, o que resultou em certa distância entre o modelado e o observado.

4.5.2 Seção a 13°S

Em 13°S, a primeira característica do perfil que nos chama a atenção é, em ambas resoluções, a CB começando a aparecer (Figura 23). A CB ainda está bem rasa, com cerca de 50 m de profundidade. De acordo com a Tabela 8, atinge cerca de $-0,18 \pm 0,09$ m/s (OC4) e $-0,22 \pm 0,15$ m/s (OC12). O núcleo de transporte positivo

começa a descer na coluna de água, dando lugar à CB em superfície. Em outras palavras, o processo de bifurcação deu-se início. Na seção 4.4.1 observamos que a BiCSE no nível da AT ocorre em 13°S para ambas resoluções. Tal fato também é evidenciado aqui, pois a CB incipiente é perceptível nos perfis. Além disso, os valores de transporte acumulado $0,3 \pm 0,7$ Sv (OC4) e $0,7 \pm 1,2$ Sv (OC12) podem ser considerados praticamente nulos; indicando, assim, a proximidade da isolinha de zero. Com isso, através da visualização do contexto vertical da circulação, certificamos a representação da bifurcação da AT em aproximadamente 13°S pelo modelo OCCAM.

13°S	OCCAM 1/4°	OCCAM 1/12°
AT	$-0,18 \pm 0,09$	$-0,22 \pm 0,15$
ACAS	$0,36 \pm 0,05$	$0,42 \pm 0,10$
AIA	$0,36 \pm 0,05$	$0,40 \pm 0,10$
APAN	$-0,13 \pm 0,02$	$0,19 \pm 0,05$

Tabela 8 – Velocidade meridional máxima em m/s para os núcleos das massas de água na seção em 13°S.

Avançando-se em profundidade, vemos a SNB seguindo seu caminho para norte e transportando a ACAS e a AIA. Os valores de velocidade não diferem muito entre as resoluções, sendo as máximas velocidades meridionais médias da SNB em torno de 0,4 m/s. O mesmo podemos afirmar sobre os transportes, cuja maior diferença de valor entre OC4 e OC12 é de 0,5 Sv na camada AIA. Embora não tenha influenciado o cálculo do transporte do núcleo da SNB, a melhor definição da batimetria, em OC12, modifica significativamente a morfologia do fluxo. Notamos que SNB é menos intensa que a porção da CB correspondente (ACAS+AIA) em 5°S. Isso acontece porque, caminhando-se para sul, a região de bifurcação das massas de água que compõem a SNB torna-se mais próxima.

Logo abaixo, encontra-se a CCP fluindo com uma considerável magnitude de transporte e como seu fluxo bem organizado próximo ao talude. Entre as resoluções há uma discrepância de transporte de -2,6 Sv, tendo, em OC12, a CCP maiores intensidade e variabilidade sazonal. Isso é explicado pela maior definição da estrutura do fluxo, associado ao melhor delineamento da batimetria.

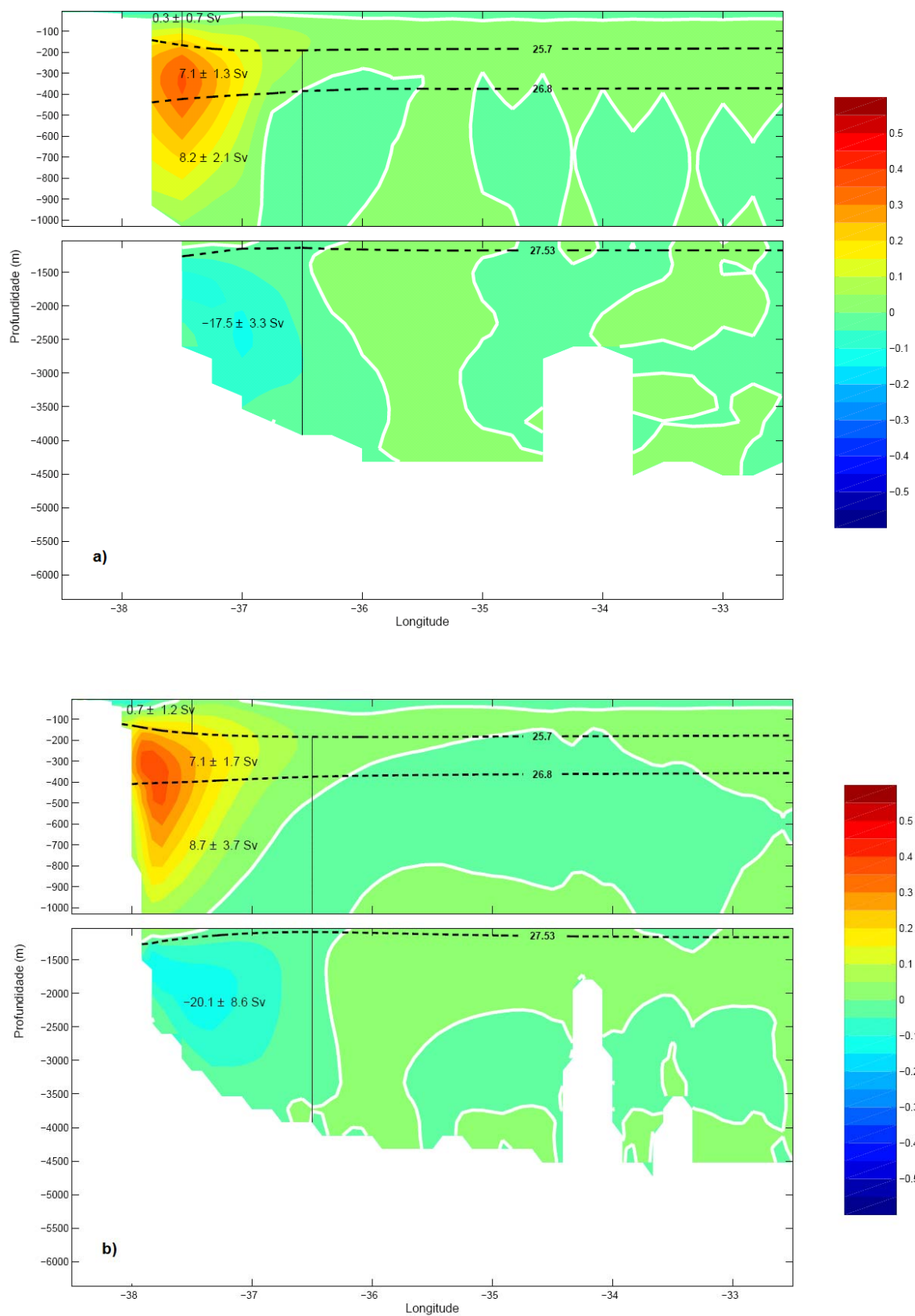


Figura 23 – Perfil de velocidade meridional na seção zonal de 13°S. Valores de velocidades positivos (negativos) indicam sentido para norte (sul). Espaçamento entre as isolinhas de 0,05 m/s. OCCAM 1/4° (acima); OCCAM 1/12° (abaixo).

4.5.3 Seção a 22°S

Em seu caminho para sul, a CB adquire maior expressividade, crescendo em transporte e em extensão vertical. A Figura 24 mostra um padrão de estrutura vertical de massa de água bem definido. Podemos visualizar, em ambas resoluções, a CB atingindo o nível da ACAS. Em consequência, acontece, de forma gradativa, a inversão de sentido do fluxo na região da termoclina para sul. Em suma, a estrutura vertical da circulação segue se transformando conforme migramos nosso olhar para latitudes mais ao sul. Nesse novo cenário, a CB e a CCP fluem para sul, enquanto que a CCI segue seu rumo para norte.

O OCCAM, nas definições $1/4^\circ$ e $1/12^\circ$, ilustra a CB com velocidades médias que atingem $-0,4$ e $-0,45$ m/s, podendo alcançar as velocidades máximas de $-0,43 \pm 0,15$ e $-0,55 \pm 0,15$ m/s, respectivamente (Tabela 9). Essas estimativas são acordes com a velocidade máxima de $-0,55$ m/s medida por Signorini (1978) e Lima (1997) para a mesma latitude e por Silveira et al. (2004) em 23°S ao longo da radial TRANSCOBRA. Sobre a estrutura do fluxo, vemos que as duas resoluções mostram o núcleo da CB centrado em 50 m e com cerca de 300 m de profundidade. As versões do OC4 e OC12 conseguem modelar a forma quase parabólica do núcleo da CB que, segundo Silveira (2007), é uma morfologia característica de outras correntes de contorno oeste cuja leve assimetria é explicada pela interação com a batimetria. Os dados do TRANSCOBRA mostram a CB com uma extensão vertical mais profunda, 450-500 m. Além disso, nesta radial, o núcleo da CB situa-se sobre a isóbata de 1000 m, ao contrário do que acontece nas simulações do OCCAM, onde o núcleo está posicionado sobre a plataforma. Essa disposição do núcleo da CB também é exibida nas observações de Evans & Signorini (1983) em $21^\circ40'\text{S}$. Adicionalmente, o recente trabalho de Silveira et al. (2008), utilizando dados correntográficos do fundeio Marlim em $22^\circ40'\text{S}$, encontrou o núcleo CB centrado em 50m, com dimensões verticais de até 350 m.

A CCI é mostrada pelo modelo ocupando principalmente os níveis da ACAS e AIA fluindo junto ao talude. De acordo com a resolução, esta corrente assume uma extensão vertical maior ($1/4^\circ$), superior a 2000 m ou menor ($1/12^\circ$), cerca de 1700 m.

O núcleo da CCI tem centro em 650-700 m em ambos perfis. Sobre essa configuração, os dados Marlim mostram o núcleo da CCI aproximadamente 200 m mais profundo, porém ocupando uma menor porção da coluna de água. Já os dados do TRANSCOBRA, a CCI possui o núcleo em 800-900m e espessura de aproximadamente 1300 a 1500 m. Adicionalmente a velocidade média máxima estimada para o núcleo é de 0,22 m/s, sendo a máxima velocidade de $0,24 \pm 0,12$ m/s, calculada por OC12, mais condizente com esse valor. A estimativa acima também se compara bem com os 0,3 m/s computados por Böebel et al. (1999).

22°S	OCCAM 1/4°	OCCAM 1/12°
AT	$-0,43 \pm 0,15$	$-0,55 \pm 0,15$
ACAS	$-0,31 \pm 0,21$	$-0,43 \pm 0,17$
AIA	$0,16 \pm 0,06$	$0,24 \pm 0,12$
APAN	$-0,08 \pm 0,02$	$-0,17 \pm 0,05$

Tabela 9 – Velocidade meridional máxima em m/s para os núcleos das massas de água na seção em 22°S.

Aqui encontramos uma situação oposta à que encontramos nas seções anteriores. Em 22°S, os níveis em que as duas resoluções mais diferem são os relativos à AT e ACAS. Esse fato pode ser explicado principalmente analisando-se a representação da CB em cada resolução. Em OC4 a CB aparece como um fluxo bem inferior ao apresentado em OC12, o que pode ser observado pela relação de quase 2:1 do transporte calculado para a AT entre esta e aquela resolução. Em maior resolução, o núcleo aparece bem mais definido e robusto, ocupando praticamente metade da camada ACAS entre o talude e o limite leste. Em outras palavras, com a melhor definição da CB, a CCI tem a sua espessura diminuída. Dessa maneira, o transporte para sul da AT é aumentado, ao passo que, na camada ACAS, o valor do transporte positivo decresce em relação à resolução inferior, resultando em um transporte líquido nulo.

No que concerne à região de bifurcação da ACAS, somos convidados a pensar, considerando-se as observações no parágrafo anterior, que OC12 tende a localizar a posição da BiCSE no nível da ACAS em latitudes mais a norte em relação

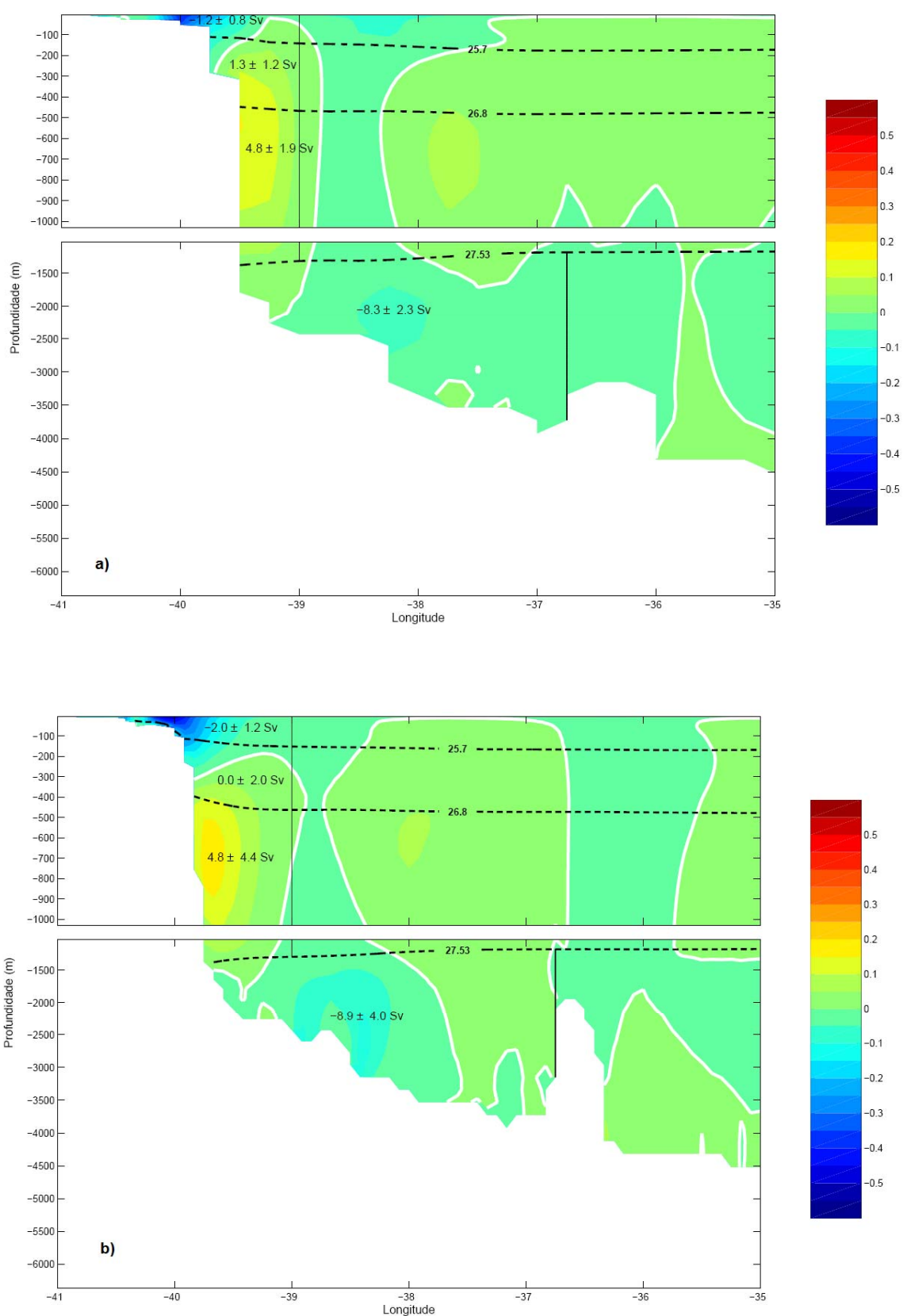


Figura 24 – Perfil de velocidade meridional na seção zonal de 22°S. Valores de velocidades positivos (negativos) indicam sentido para norte (sul). Espaçamento entre as isolinhas de 0,05 m/s. OCCAM 1/4° (a); OCCAM 1/12° (b).

à OC4, pois o transporte líquido nulo, ou seja, o sinal da iminência da inversão de fluxo para sul é primeiramente mostrado pelos dados em maior resolução. Essa tendência pode ser verificada, mais explicitamente, na dinâmica sazonal da BiCSE, no nível da ACAS, relacionada na Tabela 6.

A revisão na literatura da CB em 22° e em latitudes adjacentes, apresenta-nos estimativas de transporte que variam de 2 Sv (Miranda & Castro, 1979) a 11 Sv (Evans & Signorini, 1985). Diante disso, com o objetivo de realizar uma análise mais precisa em relação à seção em 22°S especificamente, decidimos por fazer a comparação de nossos resultados com dados obtidos em 22°S de latitude. Iniciemos com a estimativa de transporte da CB por Signorini et al. (1989) em sua seção em 22°S, a partir de medições de XBT. Em seu trabalho, o autor calculou um transporte de -3,2 Sv relativo à superfície isobárica de 500 dbar e horizontalmente partindo-se da isóbata de 100 m até 39°W, coincidentemente a longitude do limite leste aqui escolhido. Este valor é muito próximo ao transporte de -3,4 Sv para a CB em OC12, obtido através da integração do transporte negativo até a mesma profundidade. Outra importante referência para essa análise é Lima (1997). Esse autor estimou de transporte de volume da CB de $-5,5 \pm 2,6$ Sv baseado em três fundeios correntográficos alinhados zonalmente em 22°S. Esse valor se distancia um pouco do transporte obtido neste trabalho. Considerando-se que, ao adotar um limite leste para realizar a comparação entre as resoluções, o valor do transporte ficou subestimado em 1/12°; portanto calculamos também o transporte da CB, de fato, para efeito de confronto com a referência. Temos, então, uma CB simulada no OC12 com 5,1 Sv, valor representativo do real em relação ao auferido por Lima (1997).

A camada AIA apresenta magnitudes de transporte equivalentes – 4,8 Sv – mesmo tendo o fluxo para norte uma maior ou menor definição conforme a resolução. Este valor se revela uma boa estimativa quando comparado aos estudos da circulação intermediária na literatura. Schmid (1998) propõe um transporte de 4,0 Sv em 21° S. Em 22°S, novamente viemos citar Lima (1997), o qual determinou $5,1 \pm 2,8$ Sv para a CCI. Um pouco mais a sul, em 23°S, o clássico trabalho de Böebel et al. (1999) estabelece um transporte de $4,0 \pm 2$ Sv, enquanto que os dados do TRANSCOBRA em Silveira et al. (2004) delegam a essa corrente de contorno oeste a magnitude de $3,6 \pm 0,8$ Sv. Como podemos perceber, as estimativas apresentadas

em estudos anteriores, confirmam a confiabilidade dos dados modelados pelo OCCAM neste nível.

Em maior profundidade, uma situação interessante acontece. O OC4 e OC12 exibem para a APAN transportes bem próximos, $-8,3 \pm 2,3$ Sv e $-8,9 \pm 4,0$ Sv respectivamente. Porém, ao confrontar os dois perfis, vemos a clara diferença de aspecto das representações da APAN por cada resolução. Esse fato pode ser explicado devido ao encontro da corrente profunda com barreiras topográficas, neste caso o Banco de Abrolhos em 18°S e a Cadeia Vitória-Trindade em $20^{\circ}30'\text{S}$, que além de provocar uma redução de transporte de volume (Figura 24), acarreta uma variação e desorganização do fluxo. Dessa maneira, a CCP que, nas seções zonais anteriores, foi representada com estrutura bem semelhante, devido ao seu grau de organização; aqui, em 22°S , possui um fluxo sujeito às intempéries batimétricas, o que resulta numa representação distinta de sua morfologia de acordo com a resolução. Em OC4, o fluxo para sul mantém-se íntegro de 39° até 36°W . Em OC12, ao contrário, o fluxo nesse intervalo de longitudes aparece interrompido por um significativo fluxo para norte. A congruência nas estimativas de transporte pode ser explicada pelo fato de que o aumento na resolução, ao mesmo tempo que favoreceu a melhor definição do fluxo negativo da APAN, trouxe à tona um contrafluxo positivo; reduzindo, assim, o valor do transporte para sul. Esse quadro acabou por contrabalancear as diferenças de resolução para a camada APAN e equiparar os valores de transporte para este nível.

4.5.4 Seção a 30°S

Nessa latitude, antes de começarmos a comparação entre as duas resoluções, é necessário tratar sobre os fenômenos oceanográficos evidenciados por ambas. Nota-se, primeiramente, o desenvolvimento da CB, crescendo em transporte ao mesmo tempo que se afasta da plataforma continental e expande-se verticalmente atingindo aproximadamente 650 m de profundidade (Figura 25). A essa latitude, a CB transporta a AT e a ACAS integralmente, compondo um fluxo bem organizado com sentido sul. Essa intensificação reportada em Peterson & Stramma (1991) é bem representada pelo modelo OCCAM. Em relação à extensão vertical da CB nessa região, o estudo de Müller et al. (1998), com dados de fundeios

do WOCE, aponta que a CB alcança, em 28°S, profundidades de pelo menos 670 m, valor comparável aos perfis médios em 30°S obtidos com base no OCCAM. Em nível intermediário, o contrário acontece com a CCI, que enfraquece em seu transporte para norte, dando sinais da proximidade da região de bifurcação da CSE neste nível; para, enfim, toda a coluna de água fluir consonantemente rumo ao sul.

A estrutura vertical apresentada nos perfis é bem semelhante. Devido à melhor resolução, o OCCAM 1/12° apresenta as velocidades maiores em módulo. O núcleo da CB atinge máximos de $-0,34 \pm 0,08$ m/s em OC12, enquanto que em OC4 os valores correspondentes são $-0,23 \pm 0,06$ m/s, inferior em 0,11 m/s (Tabela 10). Recentes estimativas de velocidade meridional, através de flutuadores superficiais, no trabalho de Oliveira et al. (2009) para a latitude de 30°15'S, propõem um valor de $-0,47 \pm 0,18$ m/s. Comparando-se o modelado com o observado, percebemos que o fluxo da CB possivelmente foi subestimado pelo OCCAM.

30°S	OCCAM 1/4°	OCCAM 1/12°
AT	$-0,23 \pm 0,06$	$-0,34 \pm 0,08$
ACAS	$0,23 \pm 0,05$	$-0,34 \pm 0,08$
AIA	$-0,09 \pm 0,03$	$-0,11 \pm 0,04$
APAN	$-0,12 \pm 0,03$	$-0,12 \pm 0,03$

Tabela 10 – Velocidade meridional máxima em m/s para os núcleos das massas de água na seção em 30°S.

Uma importante feição para este estudo é exibida no perfil com resolução horizontal de 1/4°. Trata-se da região de bifurcação da CSE intermediária, indicada no perfil pelo valor de transporte líquido praticamente nulo na camada AIA. Neste nível, percebemos a CB crescendo em espessura e transporte, tendendo a reverter o sentido do fluxo na camada AIA para sul. Ao analisarmos os transportes para cada massa de água estimados em OC12, constatamos uma situação intrigante. Com o aumento da resolução, os transportes negativos, que nas outras seções estudadas mostraram uma intensificação devido a uma definição mais aguçada do fluxo para sul, em 30°S respondem de forma contrária. A versão OC4 é quem, por sua vez, exhibe os transportes mais negativos, sendo nos níveis da ACAS e APAN onde a diferença entre as resoluções chega a 0,8 Sv. A explicação para este fenômeno se

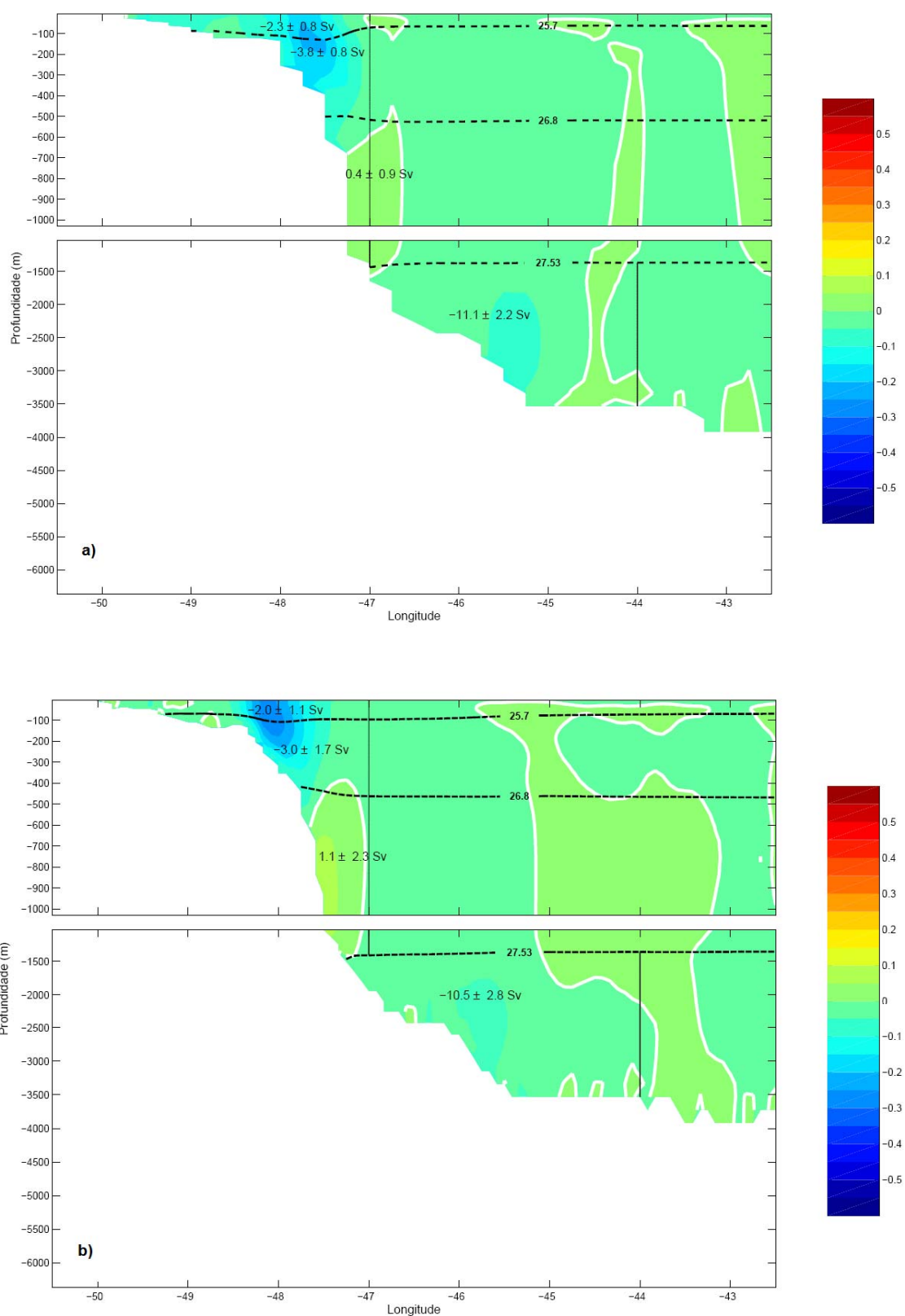


Figura 25 – Perfil de velocidade meridional na seção zonal de 30°S. Valores de velocidades positivos (negativos) indicam sentido para norte (sul). Espaçamento entre as isolinhas de 0,05 m/s. OCCAM 1/4° (a); OCCAM 1/12° (b).

assemelha um pouco ao que acontece na seção em 22°S na camada APAN. Ao examinarmos as figuras, concluímos que o aumento na resolução, resultando em uma melhor captura da estrutura dos fluxos, dando maior expressividade aos fluxos positivos não captados em OC4. Como consequência, em OC12, houve um aumento do transporte líquido positivo da AIA, enquanto que os transportes negativos foram reduzidos em módulo. Apesar de o aumento do transporte na camada AIA ter sido de 0,7 Sv, não implicando em uma diferença significativa na localização média da BiCSE neste nível. Este fato parece elucidar características do comportamento sazonal da BiCSE intermediária. A Tabela 6 mostra uma suave tendência de deslocamento para sul da BiCSE em OC12 em comparação a OC4 evidenciada principalmente entre os meses de junho a setembro. Devido à intensificação da CCI residual em OC12, a região de transporte líquido nulo tende a ser adiada em relação à trajetória do fluxo, o que implica na ocorrência da bifurcação um pouco mais a sul.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho, investigamos aspectos diversos sobre a estrutura vertical das massas de água como também do padrão de circulação no oeste do Atlântico Sul. Assim, cabe elencar os principais resultados atingidos com o fim de sumarizar e, ao mesmo tempo, sintetizar o conhecimento obtido com a interpretação e discussão dos resultados.

Em relação às propriedades termohalinas, este trabalho demonstrou, através da comparação com dados da climatologia WOA05, que o OCCAM conseguiu uma representação próxima da realidade no que concerne tanto às temperatura e salinidade características de cada massa de água ao longo da coluna de água, como também ao comportamento e dinâmica vertical dos níveis isopícnais escolhidos para toda a área de estudo. Nesse intuito, as análises com o OCCAM permiti-nos afirmar que a isopícnal $\sigma_\theta = 25,7$ assume as maiores profundidades na faixa entre as latitudes de 10° a 25°S ; $\sigma_\theta = 26,8$, por sua vez, apresenta-se mais profunda a sul de 20°S ; já o nível $\sigma_\theta = 27,53$ dispõe-se em praticamente toda a extensão da área de estudo em 1000-1200 m, aumentando em profundidade a sul de 30°S .

Os mapas horizontais de transporte de volume acumulado refletiram o padrão de circulação de cada massa de água. Pudemos localizar a latitude de bifurcação climatológica da CSE para as camadas do oceano respectivas a AT, ACAS, AIA. Assim, na camada superficial do oceano, a BiCSE ocorreu aproximadamente em 13°S , onde inicia-se o processo de formação da CB para sul e da CNB para norte. Em 21°S , evidenciamos a BiCSE na camada ACAS, ao passo que, em níveis intermediários, constatamos a BiCSE em 29°S . Sobre o padrão de circulação abaixo de 1500m, observamos a CCP com um alto grau de organização fluindo próxima ao talude. Em seu caminho, depara-se com obstáculos naturais da topografia, desenvolvendo meandros e estruturas vorticais, e posteriormente recuperando a organização de fluxo anteriormente estabelecida.

A partir da análise dos perfis verticais, podemos aguçar a compreensão da dinâmica oceânica vertical na CNB e nas proximidades das regiões de bifurcação da

AT, ACAS e AIA. Em 5°S, observamos a CNB em seu rumo para norte transportando a AT, ACAS e AIA totalizando um transporte de cerca de 17 Sv, enquanto que 12 a 16 Sv fluem para sul na circulação termohalina. Na seção de 13°S, constatamos o início na bifurcação no nível da AT, originando a CB. Logo abaixo deste nível há a SNB transportando a ACAS e AIA rumo a norte, enquanto a APAN continua seu caminho para sul. Em seguida, comprovamos a proximidade da BiCSE na seção de 22°S, onde a CB aparece melhor estruturada e espessa transportando a AT e ACAS. A CCI, nesta latitude, transporta a AIA e flui em sentido norte. Já em 30°S, verificamos que a coluna de água está começando a fluir completamente para sul, devido ao início da bifurcação da AIA. Especialmente após a análise e discussão dos perfis, podemos afirmar que o aumento de resolução em 3 vezes, contribuiu para uma melhor representação da batimetria e da estrutura e variabilidade sazonal dos fluxos; sendo, portanto, propício para o estudo dos padrões de circulação e da estrutura vertical de massa de água no oeste do oceano Atlântico Sul.

Percebemos, após esse processo investigativo, a representatividade dos dados simulados pelo modelo OCCAM para área de estudo, pois apresentou bons resultados frente à literatura disponível atualmente. Diante disso, podemos concluir que o modelo oceânico global OCCAM é uma potente ferramenta de compreensão das propriedades físicas e circulação oceânica do oeste do Atlântico Sul para a pesquisa em Oceanografia Física.

REFERÊNCIAS

AMANTE, C.; EAKINS, B. W. ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. **NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24**, 19 p, mar. 2009.

BISHOP, J. K. B.; ROSSOW, W. B. Spatial and temporal variability of global surface solar irradiance. **Journal of Geophysical Research**, v. 96, p. 16,839-16,858, 1991.

BÖEBEL, O. et al. The intermediate depth circulation of the Western South Atlantic. **Geophysical Research Letters**, v. 26, n. 21, p. 3329–3332, 1999.

BRYAN K. A numerical method for the study of the circulation of the world ocean. **Journal of Computational Physics**, v. 4, n. 3, p. 347–376, 1969.

CAMPOS, E. D. J. et al. Shelf break upwelling driven by Brazil Current cyclonic meanders. **Geophysical Research Letters**, v. 27, n. 6, p. 751–754, 2000.

CIRANO, M. et al. A circulação oceânica de larga-escala na região oeste do Atlântico Sul com base no modelo de circulação global OCCAM. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 24, n. 2, p. 209-230, 2006.

COX MD. A primitive equation 3-dimensional model of the ocean. **GFDL Ocean Group Technical report 1**. Geophysical Fluid Dynamics Laboratory/ NOAA, Princeton University, Princeton, E.U.A, 143 p, 1984.

DENGLER M et al. Break-up of the Atlantic deep western boundary current into eddies at 8°S. **Nature**, v. 432, n. 23/30, p. 1018–1020, 2004.

DONNERS, J.; DRIJFHOUT, S. S. The Lagrangian view of South Atlantic interocean exchange in a global ocean model compared with inverse model results. **Journal of Physical Oceanography**, v. 34, p.1019–1035, 2004.

- DONNERS, J.; DRIJFHOUT, S. S. Water mass transformation and subduction in the South Atlantic. **Journal of Physical Oceanography**, 2005.
- EMILSON, I. The shelf and coastal waters off Southern Brazil. **Boletim Instituto Oceanográfico**, v. 17, n. 2, p.101–112, 1961.
- EVANS, D. et al. A note on the transport of the Brazil Current. **Journal of Physical Oceanography**, v. 13, p. 1732–1738, 1983.
- EVANS, D.; SIGNORINI, S. R. Vertical structure of the Brazil Current. **Nature**, v. 315, p. 48–50, 1985.
- FU, L. The general circulation and meridional heat transport of the subtropical South Atlantic determined by inverse method. **Journal of Physical Oceanography**, v. 11, p. 1171–1193, 1981.
- GODOI, S. S. **Dinâmica quase-geostrófica do sistema Corrente do Brasil no embaçamento de São Paulo (23,5°-27°S)**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005, 133 p.
- GOURETSKY, V. V.; JANCKE, K. **A new hydrographic data set for the South Pacific: synthesis of WOCE and historical data**. WHP SAC Technical report 2, 1996.
- KALNAY, E. et al. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.77, p. 437–471, 1996.
- LARGE, W. G. et al. Sensitivity to Surface Forcing and Boundary Layer Mixing in a Global Ocean Model: Annual Mean Climatology. **Journal of Physical Oceanography**, v. 27, p. 2418-2446, 1997.
- LARQUÉ, L. et al. On the intermediate and deep water flows in the South Atlantic Ocean. **Journal of Geophysical Research**, v. 102, n. 12, p. 12.425–12.440, 1997.

LEVITUS, S. **Climatological atlas of the World Ocean**. NOAA/ERL GFDL Professional Paper 13, New Jersey, 1982, 173 pp.

LIMA, J. A. M. **Oceanic circulation on the Brazil Current shelf break and slope at 22°S**. Tese de Doutorado, University of New South Wales, Austrália, 1997, 144 p.

MAMAYEV, O. I. Temperature-salinity analysis of world ocean waters. **Elsevier Scientific Publishing**., Amsterdam, 1975, 374 pp.

MATTOS, R. A. **Feições de meso e grande escalas da Corrente do Brasil ao largo do sudeste brasileiro**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006, 126 pp.

MÉMERY, L. et al. The water masses along the western boundary of the south and equatorial Atlantic, **Progress in Oceanography**, v. 47, p. 69–98, 2000.

MIRANDA L. B. Forma de correlação T-S de massa de água das regiões costeira e oceânica entre o Cabo de São Tomé (RJ) e a Ilha de São Sebastião (SP), Brasil. **Boletim Instituto Oceanográfico**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 105–119, 1985.

MIRANDA, L.; CASTRO FILHO B. M. Condições do movimento geostrófico das águas adjacentes a Cabo Frio (RJ). **Boletim Instituto Oceanográfico**, v. 28, n.2, p. 79–83, 1979.

MÜLLER TJ et al. Direct measurements of the western boundary currents between 20°S and 28°S. **Journal of Geophysical Research**. v. 103, n. C3, p. 5429–5437, 1998.

NUNES-RIBONI, I. et al. Lagrangian circulation of Antarctic Intermediate Water in the subtropical South Atlantic. **Deep Sea Research**, v. 2, n. 52, p. 545–564, 2005.

OLIVEIRA et al. Brazil Current surface circulation and energetic observed from drifting buoys. **Journal of Geophysical Research**. v. 114, n. C10006, 2009.

PETERSON R & STRAMMA L. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. **Progress in Oceanography**, v. 26, n. 1, p. 1–73, 1991.

REID, J. L.; MANTYLLA, A. W. The effect of geostrophic flow upon coastal sea elevations in northern North Pacific, **Journal of Geophysical Research**, v. 81, p. 3100–3110, 1976.

REID, J. L. et al. On the characteristics and circulation of the southwestern Atlantic Ocean. **Journal of Physical Oceanography**, 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.

RODRIGUES, R. R. et al. Seasonal Variability of the South Equatorial Current Bifurcation in the Atlantic Ocean: A Numerical Study. **Journal of Physical Oceanography**, v. 37, p. 16–30, 2007.

ROSSOW, W. B.; SCHIFFER, R. A. ISCCP Cloud Data Products. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.72, p. 2–20, 1991.

SANDWELL, D. T.; SMITH, W. H. F. **Marine Gravity from satellite Altimetry**. The Geological Data Center, Scripps Inst. Of Oceanography, La Jolla, 1995.

SCHMID C. **Die Zirkulation des Antarktischen Zwischenwassers im Südatlantik**, University of Kiel, Kiel, Germany, 1998.

SCHMID, C. et al. Dynamics of the Intermediate Water in the Subtropical South Atlantic. **Journal of Physical Oceanography**, v. 30, p. 3191–3211, 2000.

SCHOTT, F. A. et al. On the boundary flow off Brazil at 5 – 10°S and its connection to the interior tropical Atlantic. **Geophysical Research Letters**, v. 29, n. 17, p. 1840, 2002.

SCHOTT, F. A. et al. The Shallow and Deep Western Boundary Circulation of the South Atlantic at 5°–11°S. **Journal of Physical Oceanography**, v. 35, p. 2031-2053, 2005.

SEMTNER, A. J. **A general circulation model for the World Ocean**. Technical report 9, Department of Meteorology, University of California, Los Angeles, 1974, 99 p.

SIEDLER, G., T. J. et al. **The zonal WOCE sections in the south atlantic**. In The South Atlantic Circulation: Present and Past Circulation, Wefer et al. (editors). Springer-Verlag, Berlin, 1996.

SIGNORINI, S. R. On the circulation and the volume transport of the Brazil Current between the Cape of São Tomé and Guanabara Bay. **Deep Sea Research**, v. 25, n. 5, p. 481–490, 1978.

SILVEIRA, I. C. A. et al. On the origins of the North Brazil Current. **Journal of Geophysical Research**, v. 99, n. C11, p. 22.501–22.512, 1994.

SILVEIRA I. C. A. et al. A Corrente do Brasil ao largo da Costa Leste Brasileira. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 48, n. 2, p. 171–183, 2000.

SILVEIRA, I. C. A. et al. On the baroclinic structure of the Brazil Current-Intermediate Western Boundary Current System. **Geophysical Research Letters**, v. 31, n. 14, p. 161–210, 2004.

SILVEIRA I. C. A. **O Sistema Corrente do Brasil na Bacia de Campos**, RJ . Tese de Livre Docência. Instituto Oceanográfico USP, SP, Brasil, 2007, 160 p.

SILVEIRA, I. C. A. et al. Is the meander growth in the brazil current system off Southeast Brazil due to baroclinic instability?. **Dynamics of Atmosphere and Oceans**, 2008, 21 p.

SPENCER, R. W. Global oceanic precipitation from the MSU during 1979-91 and comparisons to other climatology. **Journal of Climate**, v. 6, p. 1301-1326, 1993.

SOUTELINO R. G. **A Origem da Corrente do Brasil**. Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico USP, SP, Brasil, 2008, 101 p.

STRAMMA, L. The Brazil Current transport south of 23°S. **Deep Sea Research**, v. 36, p. 639–646, 1989.

STRAMMA, L. et al. Geostrophic transport in the Brazil Current region north of 20°S. *Deep-Sea Res.*, v. 37, n. 12, p. 1875–1886, 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.

SVERDRUP H. U. et al. **The Oceans: their physics, chemistry and general biology**. Englewood Cliffs, Prentice-Hall Inc., 1942, 1087 p.

TOMCZAK, M.; GODFREY, J. S., 1994. **Regional Oceanography: an introduction**. Pergamon Press, London. 422 p.

TSUCHIYA, M., L. D. et al. Water-mass distributions in the western South Atlantic; A section from South Georgia Island (54S) northward across equator. **Journal of Marine Research**, v. 52, p. 52-81, 1994.

WEATHERLY, G. On deep-current and hydrographic observations from a mudwave region and elsewhere in the Argentine basin. **Deep Sea Research**, v. 40, n. 4/5, p. 939–961, 1993.

WIENDERS, N. et al. Circulation at the western boundary of the South and Equatorial Atlantic: exchanges with the ocean interior. **Journal of Marine Research**, v. 58, p. 1007–1039, 2000.

XIE, P.; ARKIN, P. A. Analyses of global monthly precipitation using gauge observations, satellite estimates and numerical model predictions. **Journal of Climate**, v. 9, p. 840-858, 1996.

ZEMBA, J. C. **The structure and transport of the Brazil Current between 27° and 36° South**. Tese de Doutorado, Massachusetts Institute of Technology and Woods Hole Oceanographic Institution, Massachusetts, 1991, 160 pp.