

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
INSTITUTO DE MATEMÁTICA, ESTATÍSTICA E FÍSICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO EM FÍSICA BACHARELADO - ÊNFASE EM
FÍSICA DOS OCEANOS

MARIO GÖELZER DAS NEVES

**INFLUÊNCIA DA BATIMETRIA NA CIRCULAÇÃO
SUPERFICIAL E INTERMEDIÁRIA NA REGIÃO DA CADEIA
DE VITÓRIA-TRINDADE, ES.**

Rio Grande
Dezembro de 2017

MARIO GÖELZER DAS NEVES

**INFLUÊNCIA DA BATIMETRIA NA CIRCULAÇÃO
SUPERFICIAL E INTERMEDIÁRIA NA REGIÃO DA CADEIA
DE VITÓRIA-TRINDADE, ES.**

Trabalho de Conclusão apresentado à comissão de Graduação de Bacharelado em Física da Universidade Federal do Rio Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Física.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Paulo Henrique
Rezende Calil

Rio Grande
Dezembro de 2017

MARIO GÖELZER DAS NEVES

**INFLUÊNCIA DA BATIMETRIA NA CIRCULAÇÃO
SUPERFICIAL E INTERMEDIÁRIA NA REGIÃO DA CADEIA
DE VITÓRIA-TRINDADE, ES.**

Este Trabalho foi julgado adequado para
obtenção dos créditos da disciplina Trabalho
de Conclusão de Curso em Física Bacha-
relado e aprovado em sua forma final pela
Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: _____

Prof. Dr. Paulo Henrique Rezende Calil, FURG
Doutor pela Universidade do Havaí em Manoa, EUA

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Paulo Henrique Rezende Calil, FURG
Doutor pela Universidade do Havaí em Manoa, EUA

Prof. Dr. Fabrício Sanguinetti Cruz de Oliveira, FURG
Doutor pela Universidade de São Paulo – São Paulo, SP

Dr. Fernando Carvalho Magalhães, FURG
Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande – Rio Grande, RS

Rio Grande
Dezembro de 2017

RESUMO

A Cadeia Vitória-Trindade (CVT) é uma cadeia quase zonal de montes submarinos localizada em $\approx 20,5^{\circ}\text{S}$, na costa brasileira. Essa característica resulta na interação dessa feição batimétrica com o sistema de correntes de contorno oeste presentes na região. A corrente em níveis superficiais é denominada Corrente do Brasil (CB). Formada em regiões equatoriais, a corrente flui em direção as altas latitudes. Na camada subjacente, a corrente em níveis intermediários, é denominada Corrente de Contorno Oeste Intermediária. Originada na bifurcação da Corrente Sul Equatorial em níveis intermediários em $\approx 25^{\circ}\text{S}$, a corrente flui em direção a regiões equatoriais. O estudo procurou entender o papel das feições batimétricas na circulação em níveis superficiais e intermediários na região da Cadeia Vitória-Trindade através do produto de duas simulações numéricas com diferentes campos batimétricos. Para o escoamento superficial, os resultados obtidos sugerem que os bancos e montes submarinos que formam cadeia se comportam como uma barreira, interrompendo o padrão de fluxo da CB como um fluxo resultante médio de sucessivas células de recirculação e induzindo a formação de uma corrente bem definida através de canais formados pelos montes submarinos que formam a cadeia. O resultado do processo é um aumento do transporte da corrente ao cruzar a CVT flui em direção as altas latitudes. A análise dos resultados também sugere que as feições batimétricas desintensificam os processos turbulentos em regiões ao norte da cadeia. No escoamento intermediário a presença das feições batimétricas desintensificam o transporte da CCI através da CVT e a formação de processos turbulentos ao norte da cadeia. Este trabalho faz parte do projeto REMARSUL

Palavras-Chave: Corrente do Brasil, Corrente de Contorno Oeste Intermediária, Cadeia Vitória-Trindade.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE ABREVIATURAS	10
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Cadeia Vitória-Trindade	11
1.2 Corrente do Brasil	12
1.3 Corrente de Contorno Oeste Intermediária	19
2 JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS	24
2.1 Justificativa	24
2.2 Objetivos	24
3 METODOLOGIA	25
3.1 O modelo numérico	25
3.2 Determinação da seção	26
3.3 Rotação do referencial	28
3.4 Média, Desvio Padrão e Variância	28
3.5 Cálculo do transporte e energia cinética turbulenta média	29
3.6 Interface CB-CCI	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 Interface CB-CCI	31
4.2 Transporte, velocidade e profundidade	31
4.2.1 Corrente do Brasil	31
4.2.2 Corrente de Contorno Oeste Intermediária	34
4.3 Campo de velocidade	37
4.3.1 Corrente do Brasil	37
4.3.2 Corrente de Contorno Oeste Intermediária	39
4.4 Campo de energia cinética turbulenta	41
4.4.1 Corrente do Brasil	41
4.4.2 Corrente de Contorno Oeste Intermediária	44
5 CONCLUSÃO	45
5.1 Corrente do Brasil	45
5.2 Corrente de Contorno Oeste Intermediária	46
5.3 Considerações finais	47

6 BIBLIOGRAFIA	48
---------------------------------	-----------

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1:	<i>Mapa batimétrico da região da Cadeia Vitória-Trindade e os principais montes submarinos. Os dados batimétricos são originados da versão TOPO (UCSD-SIO, 2011, versão 14.1). (Motoky e Motoky, 2011)</i>	11
Figura 1.2:	<i>Representação esquemática da circulação nos primeiros 100 m. A figura mostra a Corrente das Malvinas (FC), a Corrente do Brasil, a Corrente do Atlântico Sul, a Corrente de Benguela, a Corrente Sul-Equatorial, a Corrente das Agulhas (AC) e sua retroflexão, a Corrente Circumpolar Antártica, o sistema de correntes equatoriais e o Giro de Angola. As linhas tracejadas são as isóbatas de 200 m e 1000 m. A região destacada mostra a localidade de origem da AT.(Stramma & England, 1999).</i>	12
Figura 1.3:	<i>Representação esquemática da circulação de 100 m a 500 m. Destaque para a Contra-corrente Norte do Brasil (NBUC) e a região de formação da ACAS. As linhas tracejadas são as isóbatas de 200 m e 1000 m. (Stramma & England, 1999).</i>	13
Figura 1.4:	<i>À esquerda: mapa batimétrico e a posição das estações hidrográficas. À direita: representação esquemática do padrão de escoamento da CB. Cada linha sólida representa um transporte de 2 Sv. (Stramma et al., 1990).</i>	14
Figura 1.5:	<i>Em cima: em 50 m de profundidade (a) Velocidade geostrófica, derivada de campo de T-S, calculada a partir de dados de CTD OEI. (b) Velocidades não divergentes observadas calculadas de dados ADCP OEII. (c) Velocidades não divergentes obeservadas calculadas a partir de dados ADCP PRO-ABROLHOS. As linhas pretas representam as trajetórias dos derivadores. (Soutelino et al., 2011). Em baixo: campos médios de velocidade obtidos por (Soutelino et al., 2013) para simulação de 5 anos. À esquerda: cálculo desconsiderando a batimetria. À direita: cálculo considerando a batimetria.</i>	15
Figura 1.6:	<i>Posição das observações hidrográficas e XBT e o padrão de circulação da CB na região da CVT. (Evans et al., 1983).</i>	16
Figura 1.7:	<i>Malha amostral do cruzeiro ABII. Os círculos amarelos correspondem a localização das estações hidrográficas. As isóbaras estão representadas em linhas cinza contínuas e os números em preto correspondem as radiais dos cruzeiros (Passos, 2011).</i>	17
Figura 1.8:	<i>Interpretação do padrão meandrante da CB como uma onda de Rossby baroclínica (Schmid, 1995).</i>	17

Figura 1.9:	<i>Dois tipos de formação do vórtice de Vitória a partir de um jato recirculante desenvolvido no processo de bifurcação da CB no talude do embaimento.</i>	18
Figura 1.10:	<i>Estimativas de transporte e velocidade máxima da CB, entre 10°S e 25°S. Adaptado de (Garfield, 1990).</i>	19
Figura 1.11:	<i>Representação esquemática do padrão de fluxo médio na camada intermediária no Atlântico Sul Oeste. A região em verde representa a plataforma continental e é delimitada pelo continente (amarelo) e a isóbata de 300m. Na bacia oceânica o contornos indicam as isóbatas de 1000 e 3000 metros. As abreviações representam a Corrente das Malvinas (FC), a Corrente de Contorno Oeste Intermediária (IWBC) e a Contra Corrente Norte do Brasil (NBUC). Para comparação foi inserida a circulação representada esquematicamente por (Peterson & Stramma, 1991). A figura ainda apresenta o Vórtice de Zapiola e o parte do sistema de correntes equatoriais. (Boebel, 1999).</i>	20
Figura 1.12:	<i>Trajetórias dos flutuadores marcadas a partir da Bifurcação de Santos, distinguindo os flutuadores que deslocaram-se em direção a sul (azul) e em direção norte (verde). A cor magenta representa os poucos flutuadores que imergiram. Algumas trajetórias demonstram o escape parcial de água da corrente para offshore. (Legeais, 2012).</i>	21
Figura 1.13:	<i>À esquerda: trajetórias na região entre 20°S e 16°S. As cores distinguem os flutuadores que foram desviados totalmente (amarelo) ou parcialmente (vermelho) da corrente de contorno. A cor azul representa os flutuadores desviados que permaneceram fora da corrente. A trajetória verde representa dois flutuadores que fluíram através da CVT pelo estreito canal formado entre os Bancos de Abrolhos e Besnard. À direita: trajetórias entre 13°S e 4°S, ilustrando o baixo número de flutuadores que entram na corrente vindos de offshore comparado ao número de flutuadores que escapam da corrente em direção offshore. O espaçamento entre vetores representam 30 dias. Os contornos representam as isóbatas de 800, 2000 e 4000 metros (Legeais, 2012).</i>	22
Figura 1.14:	<i>Estimativas de transporte da camada intermediária no contorno oeste do Oceano Atlântico Sul. Tabela baseada na compilação de SCHMID et al. (2000), somada aos resultados apresentados na Figura 9c de SCHMID e GARZOLI (2009) e outros trabalhos. "Oceanus 133":1993. WOCE A9:1991 a 1993. Marathon/9: Nov.a Dez./1984. Meteor 15/1-2: Dez./1990 a Jan./1991. Meteor 15/3: Fev. a Mar. de 1991. IGY: International Geophysical Year (1957-1959). Flutuadores Argo: Jan./2006 a Dez./2008.</i>	23
Figura 3.1:	<i>Campos batimétricos nas resoluções de 0,02° (direita) e 0,06° (esquerda).</i>	25
Figura 3.2:	<i>À esquerda: posição dos transectos I, II e III. À direita: perfil batimétrico dos transectos I, II e III nas resoluções de 0,02° e 0,06°.</i>	26
Figura 3.3:	<i>Segmento de reta (l) (azul) parametrizado no plano xy.</i>	27

Figura 3.4:	<i>Representação da rotação do referencial uv. A aplicação da matriz de rotação origina um novo referencial $u'v'$. Na representação o eixo u' é perpendicular a direção da reta l.</i>	28
Figura 3.5:	<i>Representação do cálculo do transporte, onde Δl é a distância (constante) entre dois pontos da reta l, Δz é a distância entre dois níveis da coordenada Z e V_{ik} é a velocidade da corrente que atravessa a seção.</i>	29
Figura 4.1:	<i>Perfil de velocidade média integrada horizontalmente em cada transecto. As linhas tracejadas indicam os limites da CB e CCI.</i>	32
Figura 4.2:	<i>Perfil de velocidade média nos transectos I, II e III nas resoluções de $0,02^\circ$ (em cima) e $0,06^\circ$ (em baixo) de 0 a 1000 metros. A linha contínua destacada representa a isolinha de 0 m/s.</i>	34
Figura 4.3:	<i>Campo de velocidade horizontal média na profundidade de 100 metros representando a CB nas resoluções de $0,02^\circ$ (esquerda) e $0,06^\circ$ (direita).</i>	37
Figura 4.4:	<i>Campos de velocidades horizontais médias sazonais na profundidade de 100 metros nas resoluções de $0,02^\circ$ (esquerda) e $0,06^\circ$ (direita).</i>	38
Figura 4.5:	<i>Campo de velocidade horizontal média na profundidade de 800 metros representando a CCI nas resoluções de $0,02^\circ$ (esquerda) e $0,06^\circ$ (direita).</i>	39
Figura 4.6:	<i>Campos de velocidades horizontais médias sazonais na profundidade de 800 metros nas resoluções de $0,02^\circ$ (esquerda) e $0,06^\circ$ (direita).</i>	40
Figura 4.7:	<i>Campos de Energia Cinética Turbulenta Média nas resoluções de $0,02^\circ$ (esquerda) e $0,06^\circ$ (direita) entre as latitudes de $17^\circ S$ e $22^\circ S$ e longitudes de $33^\circ W$ e $42^\circ W$ na profundidade de 800 metros.</i>	42
Figura 4.8:	<i>Campos de Energia Cinética Turbulenta média sazonais na profundidade de 100 metros nas resoluções de $0,02^\circ$ e $0,06^\circ$.</i>	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1:	Dados do modelo com resoluções de $0,06^\circ$ e $0,02^\circ$	27
Tabela 4.1:	Valores de transporte da Corrente do Brasil (CB) e Corrente de Contorno Oeste Intermediária (CCI) nos transectos I, II e III nos períodos de verão, outono, inverno, primavera e total.	36

LISTA DE ABREVIATURAS

ABB	Banco de Abrolhos
ACAS	Água Central do Atlântico Sul
AIA	Água Intermediária Antártica
AT	Água Tropical
BSB	Banco de Besnard
BSP	Passagem de Besnard
CAS	Corrente do Atlântico Sul
CB	Corrente do Brasil
CCA	Corrente Circumpolar Antártica
CCI	Corrente de Contorno Oeste Intermediária
CGB	Banco de Congress
CNB	Corrente Norte do Brasil
CM	Corrente das Malvinas
CSE	Corrente Sul Equatorial
CVT	Cadeia de montes submarinos Vitória-Trindade
ET	Embaçamento de Tubarão
MTG	Monte Submarino de Montague
ROMS	Regional Ocean Modeling System
VA	Vórtice de Abrolhos
VTR	Monte Submarino de Vitória
VV	Vórtice de Vitória

1 INTRODUÇÃO

1.1 Cadeia Vitória-Trindade

A Cadeia Vitória-Trindade (CVT) é uma cadeia quase zonal de montes submarinos localizada em $\approx 20,5^{\circ}\text{S}$ na bacia do Atlântico Sul (Figura 1.1). Com cerca de 950 km de comprimento, a cadeia se estende de 39°W a 28°W . Composta por aproximadamente 30 montes submarinos, denominados morfologicamente como edifícios vulcânicos. Os montes submarinos são em sua maioria de formato cônico, constituídos por elevação no sopé, edifício vulcânico principal e topo planar. A altura típica de um vulcão de 4000 metros. A maioria destes edifícios teve o topo perdido devido à erosão com ondas do mar, formando os denominados bancos. A parte emersa da cadeia é formada pelo arquipélago de Martim Vaz e pela ilha de Trindade, localizados no extremo leste da cadeia (Motoky et al., 2012).

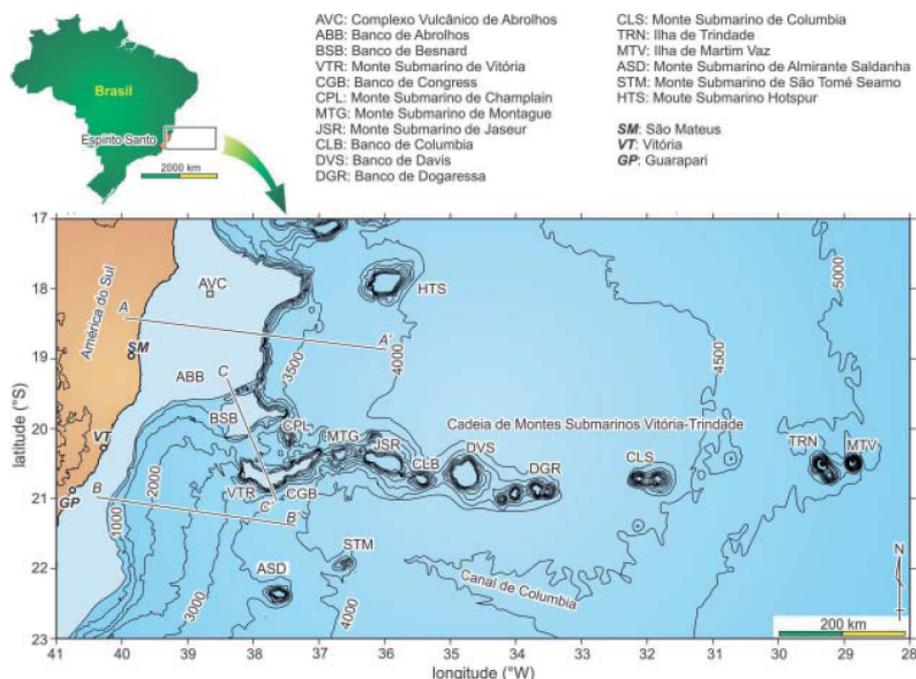


Figura 1.1: Mapa batimétrico da região da Cadeia Vitória-Trindade e os principais montes submarinos. Os dados batimétricos são originados da versão TOPO (UCSD-SIO, 2011, versão 14.1). (Motoky e Motoky, 2011)

Cada edifício vulcânico da CVT apresenta características individuais. A região de estudo encontra-se no extremo oeste da cadeia e compreende o Banco de Abrolhos (ABB), o BSB, o VTR, o CGB e o Monte Submarino de Montague (MTG). De acordo com Motoky et al. (2012), o BSB, o VTR e o CGB são considerados fragmentos desintegrados da plataforma continental, logo possuem diferenças morfológicas comparadas aos demais edifícios, como por exemplo, a forma não cônica e o topo planar com grande extensão.

1.2 Corrente do Brasil

A circulação oceânica na Bacia do Atlântico Sul é formada por um sistema complexo de correntes. Stramma & England (1999) sugerem a divisão desse sistema de correntes em corrente superficial, intermediária e de fundo. A corrente superficial é composta pela Água Superficial/Água Tropical (AT) e a Água Central do Atlântico Sul (ACAS). A AT é formada na região equatorial e caracterizada por altos valores de temperatura e salinidade (Figura 1.2). A massa de água ocupa as profundidades superficiais (até 100 m), sendo a primeira massa de água a compor a CB. O aporte ocorre na região considerada de formação da CB, em aproximadamente 15°S, latitude de bifurcação da Corrente Sul Equatorial (CSE). Após a formação, a AT é transportada em direção as altas latitudes pela CB e no trajeto mistura-se com águas costeiras, menos salinas e mais frias.

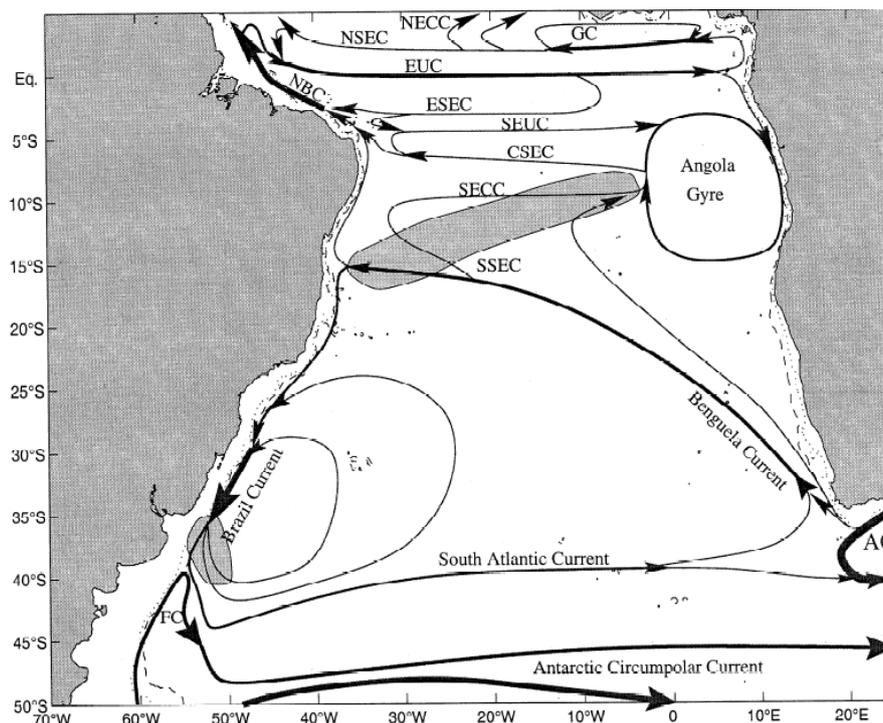


Figura 1.2: Representação esquemática da circulação nos primeiros 100 m. A figura mostra a Corrente das Malvinas (FC), a Corrente do Brasil, a Corrente do Atlântico Sul, a Corrente de Benguela, a Corrente Sul-Equatorial, a Corrente das Agulhas (AC) e sua retroflexão, a Corrente Circumpolar Antártica, o sistema de correntes equatoriais e o Giro de Angola. As linhas tracejadas são as isóbatas de 200 m e 1000 m. A região destacada mostra a localidade de origem da AT.(Stramma & England, 1999).

A ACAS é formada pela subducção de águas da termoclina sazonal para a termoclina permanente na região da Confluência Brasil-Malvinas (Figura 1.3). Assim como a AT, a ACAS tem salinidade elevada e circula em níveis picnoclínicos (100 m a 500 m). Após o “afundamento” a água desloca-se para leste transportada pela Corrente do Atlântico Sul (CAS). Uma vez na borda leste da bacia, parte da massa é transferida para a bacia do Índico e parte segue com a corrente de contorno leste associada ao Giro Subtropical do Atlântico Sul, a Corrente de Benguela. Transportada para regiões equatoriais pela Corrente de Benguela, a ACAS encontra a CSE e é transportada em direção a costa brasileira. A bifurcação da CSE em níveis picnoclínicos ocorre em aproximadamente 20°S, onde parte da ACAS desloca-se em direção a região equatorial através da Contra-corrente Norte do Brasil e outro fluxo para as altas latitudes com a CB, completando o giro.

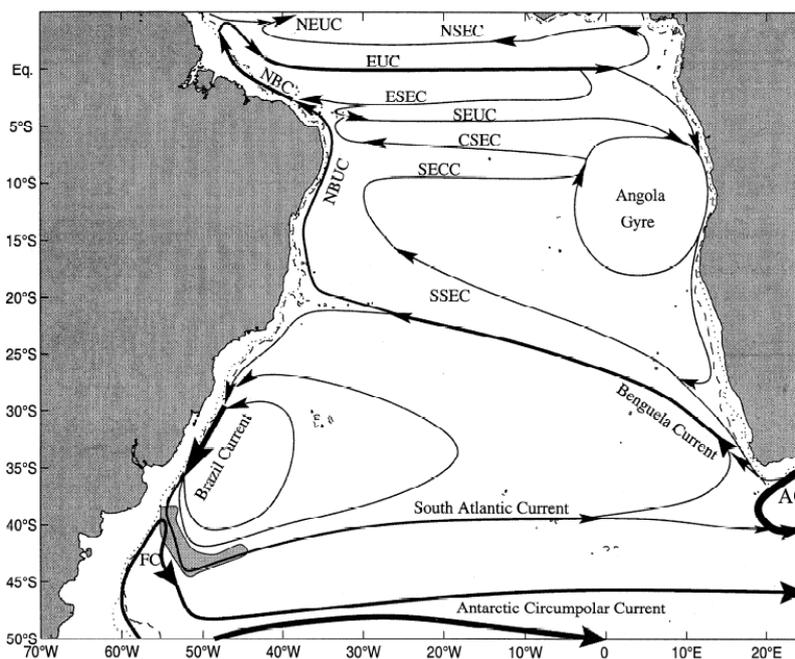


Figura 1.3: Representação esquemática da circulação de 100 m a 500 m. Destaque para a Contra-corrente Norte do Brasil (NBUC) e a região de formação da ACAS. As linhas tracejadas são as isóbatas de 200 m e 1000 m. (Stramma & England, 1999).

A variação da latitude de bifurcação da CSE em níveis superficiais e picnoclínicos foi descrita por Rodrigues et al. (2007). Através de simulações numéricas, os autores atribuíram às variações da latitude de bifurcação em diferentes profundidades e da posição da latitude de bifurcação como consequência das variações sazonais do rotacional da tensão de cisalhamento do vento.

Corrente do Brasil ao largo da costa brasileira

Na bibliografia a costa brasileira é comumente dividida em costa leste e costa sudeste. Considera-se a latitude onde a CVT se encontra ($\approx 20^\circ\text{S}$), como a latitude de separação das regiões. A CB percorre a costa brasileira de aproximadamente 15°S , na bifurcação da CSE, até aproximadamente 35°S , na região da Confluência Brasil-Malvinas.

A dinâmica geostrófica da CB na costa leste foi descrita por Stramma et al. (1990). Os autores utilizaram radiais hidrográficas históricas do WODC – World Oceanographic

Data Center, sugerindo um transporte de 8 Sv pela CSE. Após a bifurcação cerca de 4 Sv são transferidos para Corrente Norte do Brasil (CNB) e 4 Sv para CB, deslocando-se para sul junto a quebra da plataforma. Em 16°S a plataforma continental sofre um alargamento, com isso a CB se afasta da costa, existindo a possibilidade de formação de uma célula de recirculação (Figura 1.4).

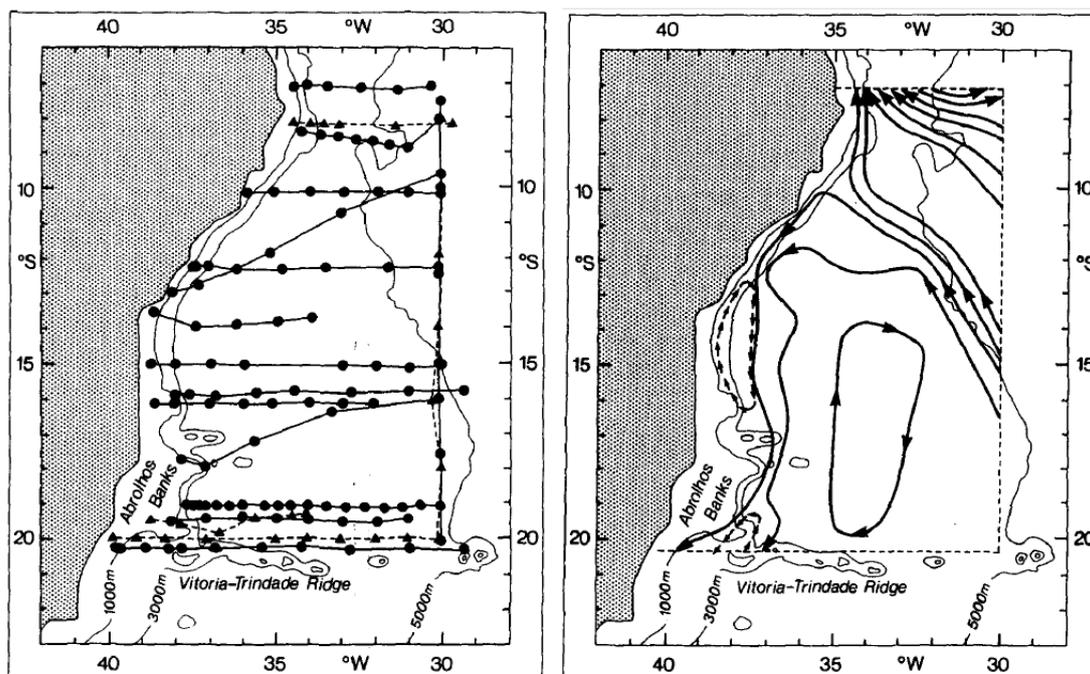


Figura 1.4: À esquerda: mapa batimétrico e a posição das estações hidrográficas. À direita: representação esquemática do padrão de escoamento da CB. Cada linha sólida representa um transporte de 2 Sv. (Stramma et al., 1990).

Em Soutelino et al. (2011) e Soutelino et al. (2013), através de dados coletados e experimentos numéricos, a dinâmica da CB, a norte de 20°S, é descrita como um escoamento com sucessivas células de recirculação. Entre elas destacam-se duas feições anticiclônicas, o Vórtice de Royal Charlotte, localizado entre os Bancos Royal Charlotte e Abrolhos e o Vórtice de Abrolhos (VA), localizado ao largo do ABB. Essas estruturas vorticais possuem cerca de 200 km de diâmetro e seriam geradas pelo efeito combinado do padrão da batimetria e da instabilidade baroclínica provocada pelo fluxo em direção oposta da corrente subjacente. Os autores concluem que a CB não se concentra em um jato bem definido e sim como um fluxo resultante médio desses vórtices sucessivos (Figura 1.5).

Em 20,5°S a CB encontra a CVT. Os pioneiros em descrever o comportamento da CB nessa região foram Evans et al. (1983). Através de dados de estações hidrográficas e XBT, mostraram uma CB fluindo através dos dois canais mais próximos a costa (Figura 1.6). Calculando a velocidade geostrofica a partir de uma estrutura térmica detalhada, os autores sugeriram um transporte de 3,8 Sv relativo ao nível de 500 metros e velocidade de 0,52 m/s. A maior parte do transporte ocorre no canal formado entre o CGB e o VTR. Não há nenhum movimento zonal relevante antes da cadeia em direção offshore, porém destaca-se um movimento zonal em direção oeste à medida que a corrente se desloca para sul, após cruzar a CVT. Essas águas juntam-se a CB aumentando seu volume. Em 21,4°S,

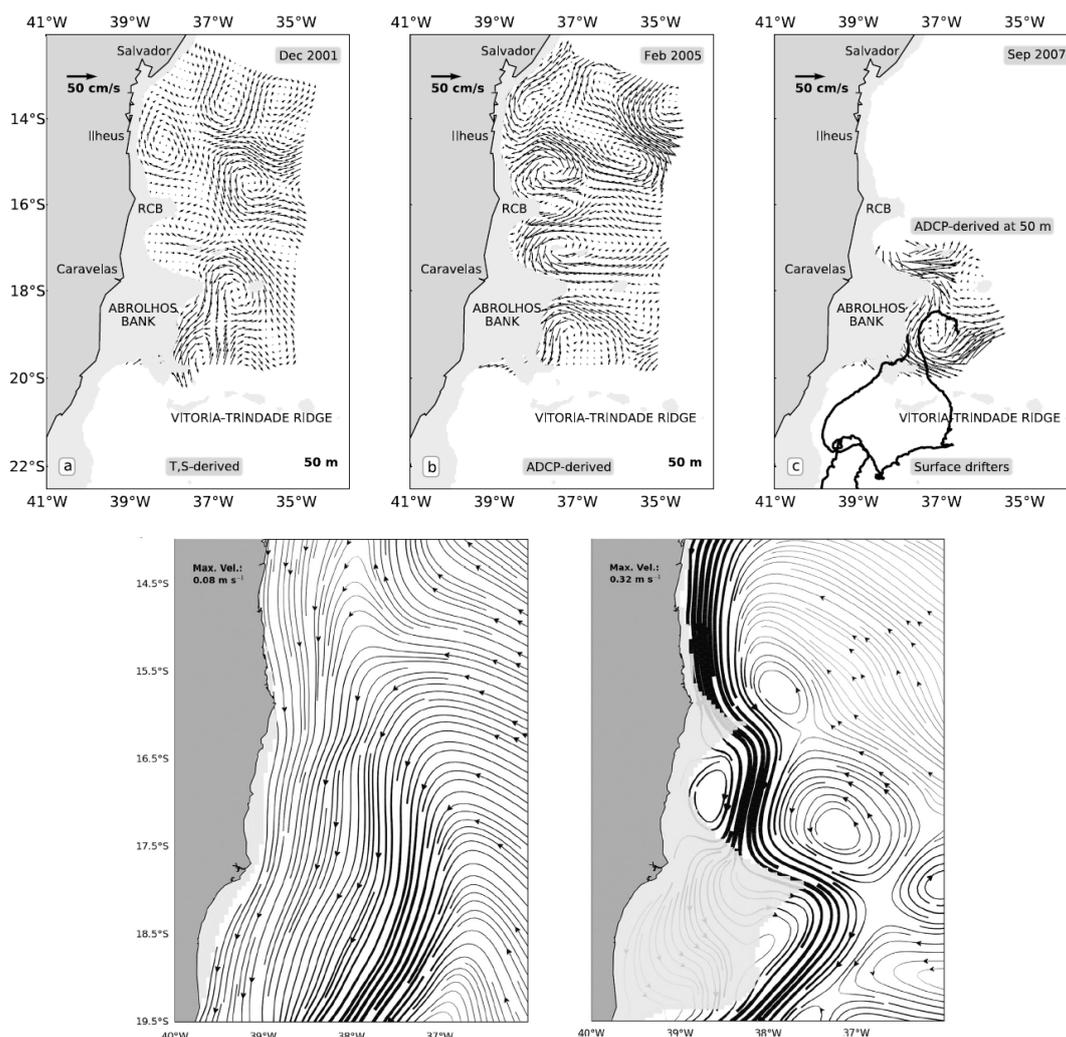


Figura 1.5: Em cima: em 50 m de profundidade (a) Velocidade geostrófica, derivada de campo de T-S, calculada a partir de dados de CTD OEI. (b) Velocidades não divergentes observadas calculadas de dados ADCP OEI. (c) Velocidades não divergentes observadas calculadas a partir de dados ADCP PRO-ABROLHOS. As linhas pretas representam as trajetórias dos derivadores. (Soutelino et al., 2011). Em baixo: campos médios de velocidade obtidos por (Soutelino et al., 2013) para simulação de 5 anos. À esquerda: cálculo desconsiderando a batimetria. À direita: cálculo considerando a batimetria.

a CB é caracterizada por um fluxo bem organizado junto a plataforma com transporte de 4,4 Sv e velocidade de 0,61 m/s. Dois anos depois (Evans & Signorini, 1985), com dados hidrográficos e perfiladores de corrente, observaram uma CB fluindo por canais além do VTR e uma corrente em sentido oposto em níveis intermediários.

Uma importante contribuição para entendimento da circulação superficial baroclínica de mesoescala na região da CVT foi apresentada por Passos (2011). A partir de dados hidrográficos (Figura 1.7) obtidos por perfiladores CTD (Projeto Abrolhos), dados climatológicos oriundos do World Ocean Atlas 2001 (WOA01) e imagens termais do satélite Modis, a autora construiu campos de velocidades tridimensionais nos períodos de verão e inverno, obtendo como resultado dois padrões distintos. Na radial 3, o fluxo foi divi-

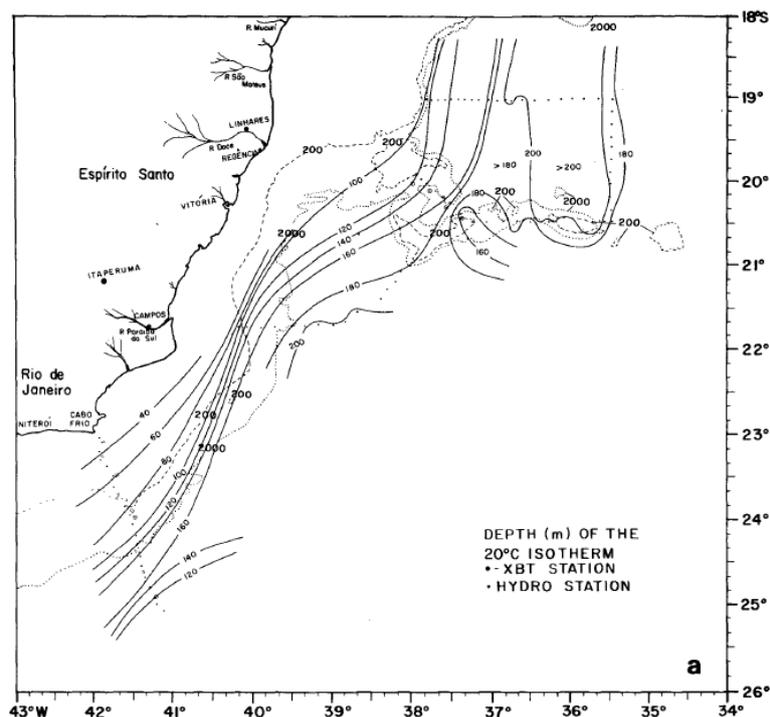


Figura 1.6: Posição das observações hidrográficas e XBT e o padrão de circulação da CB na região da CVT. (Evans et al., 1983).

dido em três canais formados pela BSP, entre o BSB e o VTR e entre o VTR e o oceano interior. No verão a CB apresentou um padrão trifurcado, isto é, fluíu através dos três primeiros canais. Com velocidade máxima de 0,1 m/s, transporte de 0,1 Sv e profundidade de 100 metros no Canal 1, velocidade máxima de 0,28 m/s, transporte de 2,6 Sv e 800 metros de profundidade no Canal 2 e velocidade máxima de 0,19 m/s, transporte de 3 Sv e 500 metros de profundidade no Canal 3. Ao sul da cadeia a CB segue o fluxo ao largo do talude devido à presença de uma célula de recirculação chamada de Vórtice de Vitória (VV) reorganizando-se em fluxo bem definido mais ao sul. No inverno a CB apresentou um padrão bifurcado, com fluxo na direção sul e através dos Canais 1 e 2, se reorganizando ao sul sem a presença do VV. Com velocidade máxima de 0,13 m/s, transporte de 0,8 Sv e profundidade de 300 metros no Canal 1 e velocidade máxima de 0,31 m/s, transporte de 5,8 Sv e profundidade de 500 metros.

Caspel (2009) em seu estudo sobre a variabilidade temporal do transporte de volume da CB nas imediações da CVT, obteve um valor de transporte de $3,3 \pm 2,1$ Sv a partir de dados XBT (Projeto MOVAR) e de $5,1 \pm 0,9$ Sv a partir de saída de simulação numérica de alta resolução. O autor observou uma CB com fluxo de baixa intensidade no fim do outono e primavera e praticamente restrito aos Canais 1 e 2. Já nos meses de verão e inverno, a CB possui um fluxo mais intenso e fluindo através dos Canais 1, 2 e 3. Com fluxo mais intenso, a CB torna-se mais instável ao passar CVT, essa instabilidade gera um meandramento da corrente, podendo levar a formação do VV. O comportamento observado pelo autor concorda parcialmente ao observado por Passos (2011)

O VV é uma feição característica ao sul da CVT. Schmid et al. (1995) foram os primeiros a descrever essa estrutura. A partir de dados hidrográficos, derivadores e imagens

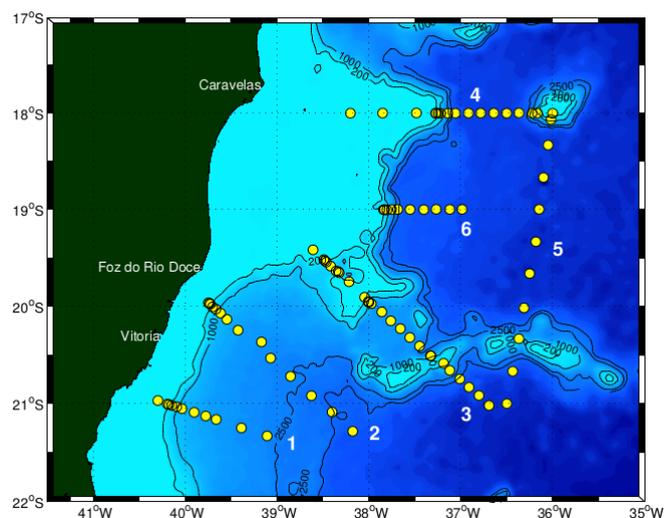


Figura 1.7: *Malha amostral do cruzeiro ABII. Os círculos amarelos correspondem a localização das estações hidrográficas. As isóbaras estão representadas em linhas cinza contínuas e os números em preto correspondem as radiais dos cruzeiros (Passos, 2011).*

de satélite da temperatura superficial da água do mar, os autores caracterizaram o vórtice como ciclônico, centrado em 20,5°S, com raio de aproximadamente 25 km, velocidade superficiais de 0,5 m/s e profundidade de 400 metros. Silveira et al. (2008) sugerem que a formação do VV, assim como os Vórtices de Cabo São Tomé e Cabo Frio é devido o fluxo comportar-se como uma onda de Rossby propagando-se para sul (Figura 1.8). A instabilidade é gerada pelo cisalhamento vertical do sistema de correntes de contorno oeste. Os três vórtices representariam os três cavados, indicando que os vórtices não são estacionários.

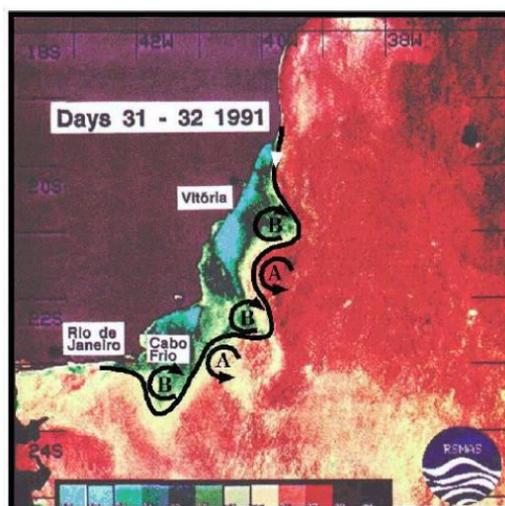


Figura 1.8: *Interpretação do padrão meandrante da CB como uma onda de Rossby baroclínica (Schmid, 1995).*

Servino (2014) sugere que a formação do VV ocorre por pelo menos dois mecanismos distintos: (i) pelo fechamento de meandros associados ao desenvolvimento e insta-

bilidades baroclínicas; ou (ii) a partir de um jato recirculante desenvolvido no processo de bifurcação da CB no talude do Embaimento de Tubarão (ET), região de formação da feição (Figura 1.11).

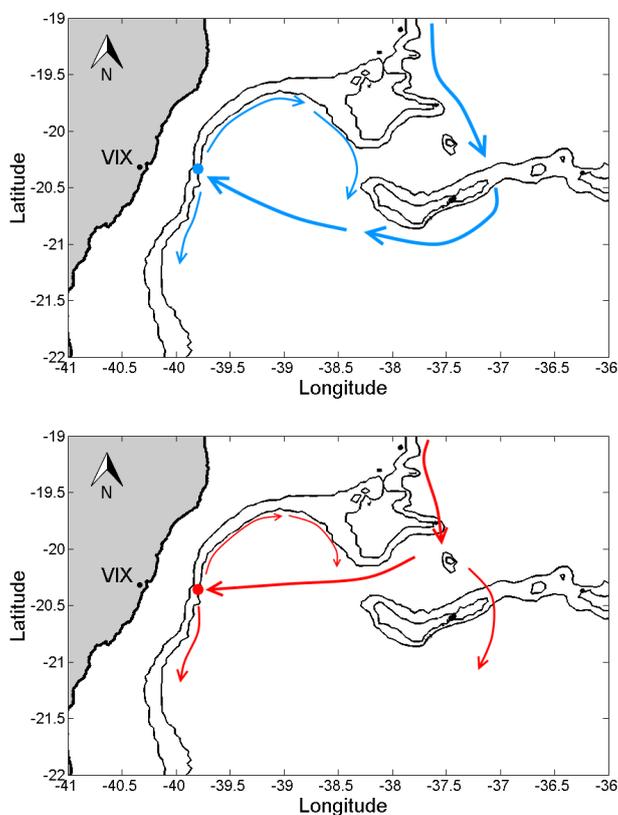


Figura 1.9: *Dois tipos de formação do vórtice de Vitória a partir de um jato recirculante desenvolvido no processo de bifurcação da CB no talude do embaimento.*

A costa sudeste é a região com o maior número de estudos sobre a dinâmica da CB. Ao sul do ET a corrente passa a receber um aporte de águas vindas de leste, com isso aumenta em valores de transporte e profundidade. Na mesoescala ocorrem meandramentos por processo de instabilidade baroclínica que ocorre no sistema de correntes de contorno. Na larga escala, entre o Cabo de São Tomé e Cabo Frio o fluxo organiza-se em jato bem definido. Mattos (2006) ainda observou uma célula de recirculação anticiclônica, quase-estacionária, que se estende de aproximadamente 20°S até cerca de 26°S. O autor utilizou dados de estações hidrográficas.

Evans et al. (1983), Signorini (1978), Lima (1997), Miranda & Castro (1979), Evans & Signorini (1985), Garfield III (1990), Stramma (1989), Muller et al. (1998), Campos et al. (1995) e Arruda Souza (2000) são alguns dos estudos que estimam os valores de velocidade, transporte e profundidade da CB na região. A figura 1.10 apresenta uma tabela com valores de velocidade, transporte e profundidade da CB de 9°S até 25°S.

Lat (S)	Transp. (Sv)	Vel.máx.(m/s)	Prof. ref. (m)	Período de medição	Fonte
9-13°	4,1	0,31	390-510	Set. 1926	STRAMMA <i>et al.</i> (1990)
15°	6,0	0,16	470-530	Fev. 1975	STRAMMA <i>et al.</i> (1990)
19°	6,5	0,72	500	Set a Out. 1967	MIRANDA e CASTRO (1981)
19°	5,3	0,50	500	Abr. 1982	EVANS <i>et al.</i> (1983)
19.25°	5,7	0,19	470-640	Jun. 1970	STRAMMA <i>et al.</i> (1990)
20.28°	3,8/6,8	0,52	500/1000	Abr. 1982	EVANS <i>et al.</i> (1983)
20.3°	1,6	0,24	590-630	Jan. 1975	STRAMMA <i>et al.</i> (1990)
~20.5°	2,6	0,28	800	Mar. 2005	PASSOS (2011)
~20.5°	5,6	0,31	500	Set. 2004	PASSOS (2011)
21.40°	4,4	0,61	500	Abr. 1982	EVANS <i>et al.</i> (1983)
22°	5,2	0,19	500-1300	Jul.	SIGNORINI (1978)
22°	5,5+-2,6	-	Correntômetro	Fev. 1994 a Mai. 1995	LIMA (1997)
22°	2,6+-1,2	-	Correntômetro		LIMA (1997)
23°	4,4	0,52	500-1300	Jul.	SIGNORINI (1978)
23°	2,2/2,7	0,49	550	Jul. 1968	MIRANDA e CASTRO (1979)
23°	11	0,50	Pegasus	Abr. 1982 ou 1983	EVANS e SIGNORINI (1985)
23°	6	0,70	Pegasus	Out. 1983	GARFIELD III (1990)
23°	10,1/10,9	-	600/1300	Fev. 1983	STRAMMA (1989)
23.30°	8	0,75	500-1300	Jul.	SIGNORINI (1978)
24°	7,5	0,25	1300		FISHER (1964)
24°	14	0,62	500-1300	Jul.	SIGNORINI (1978)
24°	4,1/7,8	0,31	500/1000	Abr. 1982	EVANS <i>et al.</i> (1983)
24°	9,6/10,1	-	600/1300	Nov. 1972	STRAMMA (1989)
24°	1,3	-	Correntômetro	~1992 - 23 meses de medição	MULLER <i>et al.</i> (1998)
24.3°	13,2	0,68	500-1300	Jul.	SIGNORINI (1978)
25°	7,3	0,70	750	Jan.	CAMPOS <i>et al.</i> (1995)
25-25.3°	2+-1	1,00	Correntômetro	Dez. 1992 a Mai. 1994	DE ARRUDA SOUZA (2000)

Figura 1.10: Estimativas de transporte e velocidade máxima da CB, entre 10°S e 25°S. Adaptado de (Garfield, 1990).

1.3 Corrente de Contorno Oeste Intermediária

A principal massa de água que circula nas camadas intermediárias da Bacia do Atlântico Sul é a Água Intermediária Ántartica (AIA). A AIA é caracterizada por altos valores de oxigênio e baixos valores de salinidade. No Atlântico Sul, a AIA é formada nas regiões superficiais na Frente Subantártica e ao norte da passagem de Drake e Corrente das Malvinas (Stramma *et al.*, 1999). Boebel *et al.* (1999) consideram a principal região de formação da AIA na Frente Subantártica no Pacífico. Entrando no Atlântico Sul pela passagem de Drake, a AIA flui para norte através da CM até a zona de Confluência. A partir da região da Confluência a AIA segue para leste junto a CAS e pela Corrente Circumpolar Antártica (CCA). Em aproximadamente 40°W parte da AIA recircula no Vórtice de Zapiola. Próximo a Cordilheira Meso-Atlântica a CCA e a CAS são cinematicamente indistinguíveis. Na borda leste, parte da AIA segue com a CCA em direção ao Índico e parte recircula com o Giro Subtropical. No retorno a borda oeste, a Corrente Sul Equatorial intermediária bifurca-se em aproximadamente 30°S (Figura 1.11). A porção que segue para sul junta-se a CB, enquanto a porção que flui para norte forma a Corrente de Contorno Oeste Intermediária (CCI).

No estudo de Boebel *et al.* (1997), a CCI foi observada quase continuamente de 28°S até 2°S. Trajetórias de flutuadores indicam um jato de 30 ± 5 km de largura e uma espessura de 400 m e velocidade média de aproximadamente 30 cm/s. Esses valores sugerem um transporte de 4 ± 2 Sv. Essa estimativa compara-se a valores observados por Schmid (1998) de 7,7 Sv em 19°S, 4,0 Sv em 21°S e 2,7 Sv em 24°S. Ainda segundo Boebel *et al.* (1999), a CCI forma células de recirculação de mesoescala ao sul da CVT, devido a fortes variações de orientação do talude. Os autores ainda observaram que mais a norte da

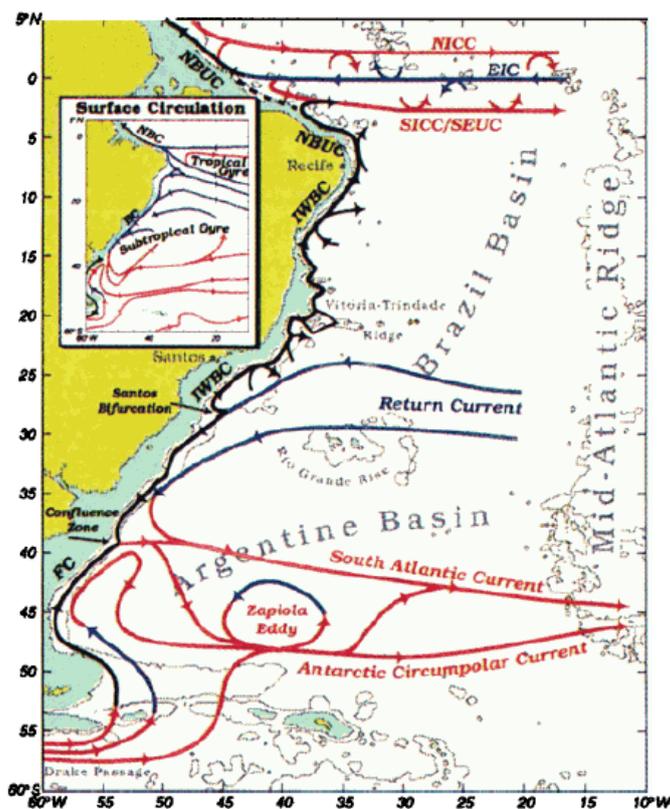


Figura 1.11: Representação esquemática do padrão de fluxo médio na camada intermediária no Atlântico Sul Oeste. A região em verde representa a plataforma continental e é delimitada pelo continente (amarelo) e a isóbata de 300m. Na bacia oceânica os contornos indicam as isóbatas de 1000 e 3000 metros. As abreviações representam a Corrente das Malvinas (FC), a Corrente de Contorno Oeste Intermediária (IWBC) e a Contra Corrente Norte do Brasil (NBUC). Para comparação foi inserida a circulação representada esquematicamente por (Peterson & Stramma, 1991). A figura ainda apresenta o Vórtice de Zapiola e o parte do sistema de correntes equatoriais. (Boebel, 1999).

CVT, entre 5°S e 17°S, alguns flutuadores “desprenderam-se” da corrente e tiveram suas trajetórias desviadas para o interior do oceano, indicando um mecanismo no qual águas intermediárias de origem subtropical entram no regime tropical.

Uma importante contribuição para o entendimento da dinâmica da CCI foi dada por Legeais et al. (2012). Através de observações lagrangeanas, os autores analisaram as trajetórias de 100 flutuadores derivando no nível de 800 dbar (experimento SAMBA) e dividiram a corrente latitudinalmente em três regiões. Na primeira região, entre 27°S e 20°S, a CCI apresenta-se em um fluxo bem definido. A orientação do talude causa um escape parcial de água da corrente. Em aproximadamente 24°S, a CCI possui velocidade média de 0,10 a 0,15 m/s, aumentando à medida que a corrente flui na direção equatorial, atingindo cerca de 0,30 a 0,50 m/s em 21°S (Figura 1.12).

Na segunda região, de 20°S a 15°S, a CCI encontra a CVT. A maior parte dos flutuadores atravessou a cadeia pelo canal formado pelo CGB e o VTR, sugerindo um maior transporte neste canal. Muller et al. (1998) mediram uma velocidade de 0,21 m/s em

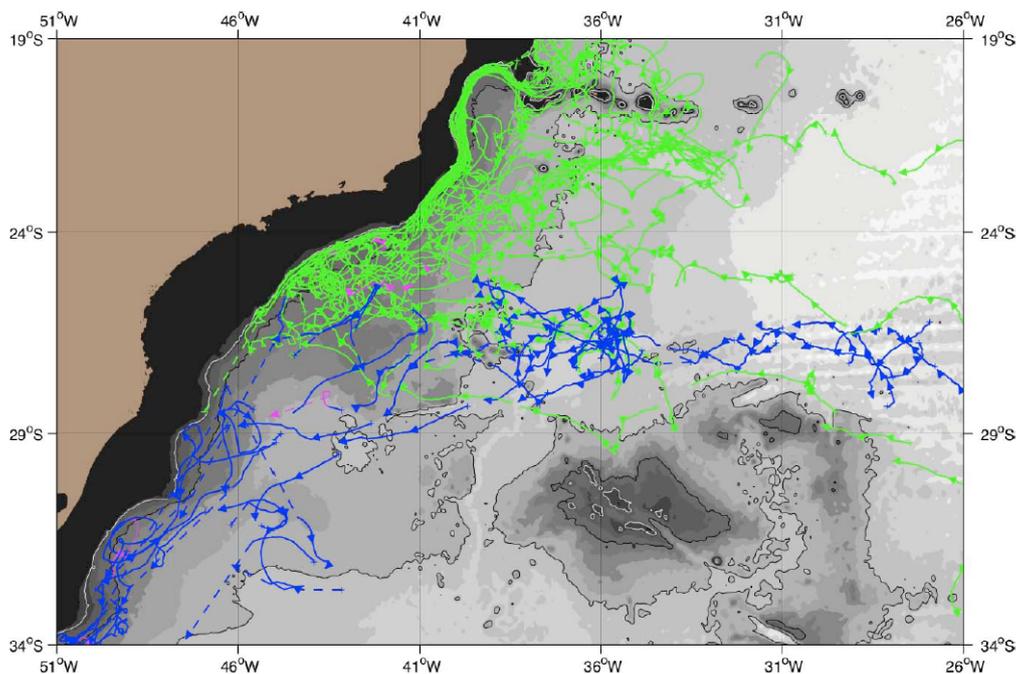


Figura 1.12: Trajetórias dos flutuadores marcadas a partir da Bifurcação de Santos, distinguindo os flutuadores que deslocaram-se em direção a sul (azul) e em direção norte (verde). A cor magenta representa os poucos flutuadores que mergulharam. Algumas trajetórias demonstram o escape parcial de água da corrente para offshore. (Legeais, 2012).

uma profundidade de 950 m e ainda sugeriram que parte do fluxo atravessaria a CVT por outros canais mais a leste. A norte da CVT a CCI muda de um regime relativamente estável, com um fluxo bem definido, para um regime altamente turbulento (Figura 1.13). A intensa atividade de mesoescala é atribuída a batimetria, considerando que os contornos batimétricos irregulares da região favoreçam a desestabilização da corrente. Entre 15°S e 5°S a CCI reorganiza-se novamente em um fluxo bem definido com velocidade média de 0,18 m/s. Também são observadas recirculações de pequena escala. A partir de 5°S parte e da CCI entra no sistema de correntes equatoriais, parte segue para borda leste e compõe o Giro de Angola, localizado na região nordeste da Bacia do Atlântico Sul e parte circunda o giro e retorna a borda oeste com a CSE em níveis intermediários (Figura 1.13). Os autores ainda observaram que o tempo médio para o fluxo percorrer o trajeto de 27°S até 5°S foi de um ano, destacando as latitudes de 27°S a 20°S e 15°S que consideradas as regiões que a água intermediária tem uma maior contribuição no volume da corrente de contorno e as latitudes de 20°S, 18°S e 5°S como regiões onde parte do fluxo escapa da corrente e segue em direção ao oceano aberto.

O transporte da CCI ao largo da costa brasileira foi estimado por diversos estudos. A figura 1.14 apresenta uma tabela com valores de transporte, a base de dados, o método e a referência para as diferentes latitudes. Na região da CVT, o transporte da CCI foi estimado por Schmid et al. (2000) e Schmid & Garzoli (2009). Os primeiros estimaram um transporte de 4,0 Sv logo ao sul da CVT para uma camada compreendida no intervalo de anomalia de densidade $\sigma_0 \in [27.00, 27.35]$. Por sua vez, Schmid & Garzoli (2009), através da utilização de flutuadores Argo, com o intuito de observar a advecção da AIA pelo Atlântico, estimaram um transporte de 10 Sv no nível de 800 a 1100 dbar.

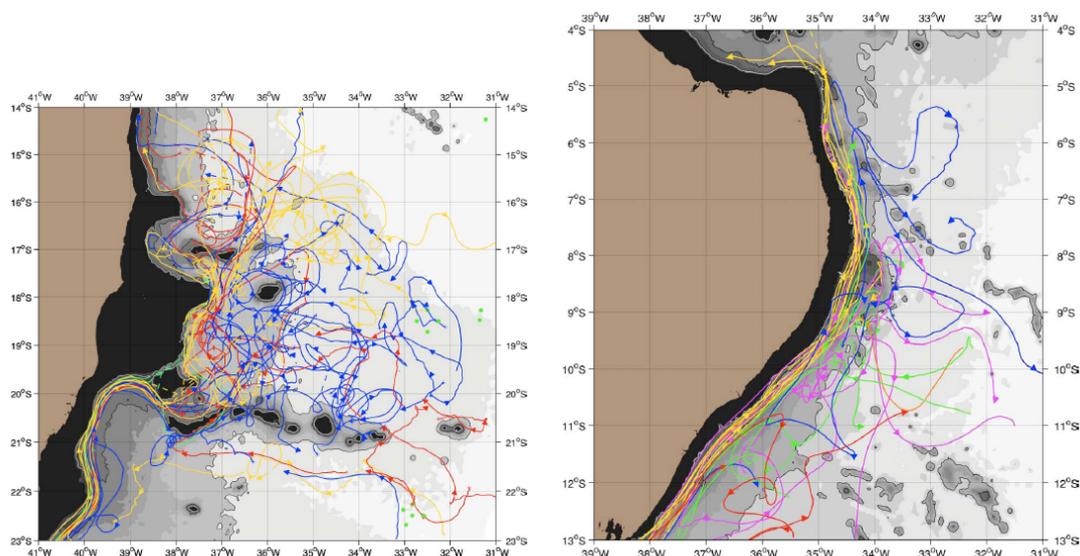


Figura 1.13: À esquerda: trajetórias na região entre 20°S e 16°S . As cores distinguem os flutuadores que foram desviados totalmente (amarelo) ou parcialmente (vermelho) da corrente de contorno. A cor azul representa os flutuadores desviados que permaneceram fora da corrente. A trajetória verde representa dois flutuadores que fluíram através da CVT pelo estreito canal formado entre os Bancos de Abrolhos e Besnard. À direita: trajetórias entre 13°S e 4°S , ilustrando o baixo número de flutuadores que entram na corrente vindos de offshore comparado ao número de flutuadores que escapam da corrente em direção offshore. O espaçamento entre vetores representam 30 dias. Os contornos representam as isóbatas de 800, 2000 e 4000 metros (Legeais, 2012).

Lat. (S)	Transp. (Sv)	Base de Dados	Método	Fonte
5°	1,5	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
6°	2,0	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
7°	5,0	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
8°	0,5	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
8°	~25	IGY	Modelo inverso	FU (1981)
9°	2,2	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
10°	0,5	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
11°	2,2	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
11°	~17	Oceanus 133	Modelo inverso	SCHMID <i>et al.</i> (2000)
12°	-2,0	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
13°	1,0	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
14°	0,5	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
15°	-1,0	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
16°	-1,5	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
17°	0,5	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
18°	2,0	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
19°	1,0	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
19°	3,4	WOCE A19	σ_0 27.00- σ_1 31.0	LEGEAIS <i>et al.</i> (2012)
19°	7,7	WOCE A9	$\sigma_0 = 27.00-27.35$	SCHMID <i>et al.</i> (2000)
19°	8,8	Meteor 15/3	Método dinâmico	BOEBEL <i>et al.</i> (1997)
19°	~9	WOCE A9	Modelo inverso	SCHMID <i>et al.</i> (2000)
20°	10,0	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
20.7°	4,0	Meteor 15/1-2	$\sigma_0 = (27.00-27.35)$	SCHMID <i>et al.</i> (2000)
21°	5,0	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
21°	4,8	Meteor 15/1-2	Método dinâmico	BOEBEL <i>et al.</i> (1997)
22°	1,0	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
23°	-2,0	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
23°	~5	Oceanus 133	Modelo inverso	SCHMID <i>et al.</i> (2000)
24°	1,0	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
24°	2,9	Meteor 15/1-2	Método dinâmico	BOEBEL <i>et al.</i> (1997)
24°	~5	IGY	Modelo inverso	FU (1981)
24.3°	2,3	Meteor 15/1-2	$\sigma_0 = 27.00-27.35$	SCHMID <i>et al.</i> (2000)
25°	2,0	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
26°	1,2	Meteor 15/3	Método dinâmico	BOEBEL <i>et al.</i> (1997)
26°	6,0	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
27°	2,2	Argo	800 - 1100 dbar	SCHMID e GARZOLI (2009)
27°	0,5	Marathon/9	$\sigma_0 = 27.2$	ZEMBA (1991)
27°	-0,6	Marathon/9	1300 dbar	ZEMBA (1991)
27°	-0,8	Meteor 15/3	Método dinâmico	BOEBEL <i>et al.</i> (1997)
27.1°	-1,4	Meteor 22/3	$\sigma_0 = 27.00-27.35$	SCHMID <i>et al.</i> (2000)

Figura 1.14: Estimativas de transporte da camada intermediária no contorno oeste do Oceano Atlântico Sul. Tabela baseada na compilação de SCHMID *et al.* (2000), somada aos resultados apresentados na Figura 9c de SCHMID e GARZOLI (2009) e outros trabalhos. "Oceanus 133":1993. WOCE A9:1991 a 1993. Marathon/9: Nov.a Dez./1984. Meteor 15/1-2: Dez./1990 a Jan./1991. Meteor 15/3: Fev. a Mar. de 1991. IGY: International Geophysical Year (1957-1959). Flutuadores Argo: Jan./2006 a Dez./2008.

2 JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS

2.1 Justificativa

Somente mais recentemente tem-se estudado mais detalhadamente a circulação oceânica nas regiões adjacentes a Cadeia de Vitória-Trindade. A circulação nesta região é caracterizada por um sistema de correntes de contorno oeste, formado pela Corrente do Brasil em níveis superiores, até cerca de 400 metros, a Corrente de Contorno Oeste Intermediária em níveis intermediários, de 400 a 1000 metros, além de um fluxo em direção as altas latitudes na camada profunda, associada ao escoamento da Água Profunda do Atlântico Norte. Caracterizada por uma batimetria complexa, composta por montes submersos a poucas dezenas de metros da superfície do mar e uma plataforma com intensa mudança de orientação, a região apresenta padrões complexos de escoamento e tem despertado o interesse da comunidade acadêmica.

2.2 Objetivos

- Geral

Investigar a influência das feições topográficas na circulação oceânica em níveis superficiais e intermediários na região da Cadeia de Vitória-Trindade, ES, através do produto de duas simulações numéricas com campos batimétricos de diferentes resoluções.

- Específicos

(i) Calcular a variabilidade espacial e temporal dos transportes, velocidades máximas e profundidades médias das correntes através da Cadeia Vitória-Trindade.

(ii) Calcular a variabilidade espacial e temporal dos campos de velocidade e energia cinética turbulenta na região entre as latitudes de 17°S e 24°S e longitudes de 33°W e 42°W da Corrente do Brasil e Corrente de Contorno Oeste Intermediária.

3 METODOLOGIA

3.1 O modelo numérico

O *Regional Ocean Modeling System* (ROMS) é um modelo de circulação oceânica de escala regional. Desenvolvido a partir do *S-coordinate Rutgers University Model* (SCRUM), de Song e Haidvogel. Com um código sofisticado que possibilita uma grande economia de tempo e algoritmos preditores-corretores para um aumento da estabilidade e precisão, o modelo é amplamente utilizado pela comunidade científica devido à ampla gama de aplicações. Os principais atributos do modelo são a utilização das equações primitivas com temperatura potencial, salinidade e uma equação de estado, as aproximações hidrostáticas e de Boussinesq, opção para advecção de terceira ordem, opção para advecção de Smorlarkiewicz para traçadores, opção para fontes e sumidouros, coordenada horizontal ortogonal curvilinear, grade Arakawa C, coordenada vertical sigma, superfície livre e tratamento especial para viscosidade e a difusividade (Shchepetkin & Williams, 2005).

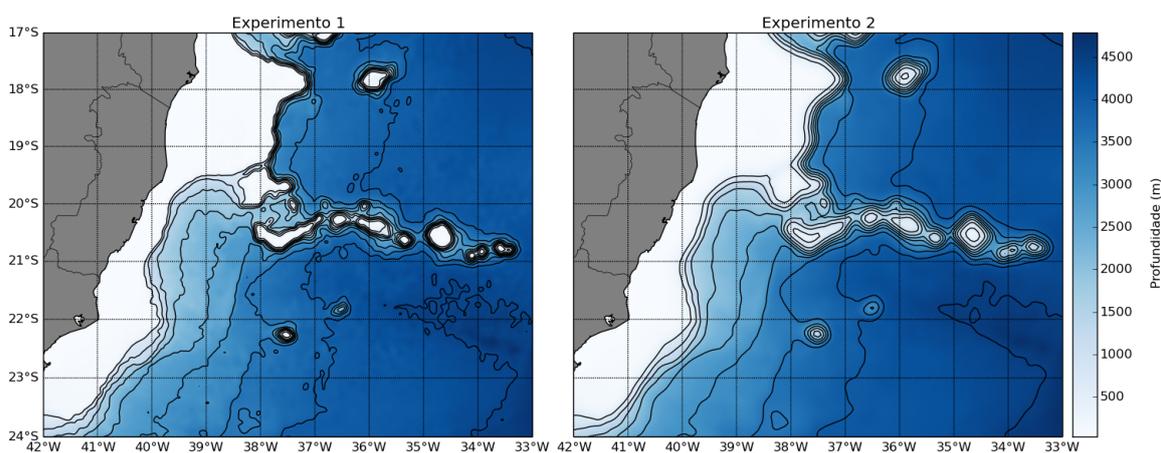


Figura 3.1: Campos batimétricos nas resoluções de $0,02^\circ$ (direita) e $0,06^\circ$ (esquerda).

Para investigar as questões propostas foram analisadas saídas diárias no período de 5 anos (2000-2004) de duas simulações numéricas. As simulações possuem mesmas condições iniciais e de contorno, com resolução vertical baseada no sistema de coordenada sigma com 30 níveis e coordenada horizontal ortogonal. Os experimentos 1 e 2 utilizam resoluções horizontais de $0,02^\circ$ e $0,06^\circ$ respectivamente. As resoluções distintas

geram diferentes campos batimétricos (Figura 3.1). Para análise dos campos de velocidade e Energia Cinética Turbulenta média (ECT) foi escolhida uma área formada entre as latitudes 17°S e 24°S e as longitudes 33°W e 42°W. O comportamento das correntes na região da CVT é observado através de três seções denominadas transectos I, II e III. O transecto I representa o canal formado entre o ABB e o BSB, o transecto II, o canal formado entre o BSB e o VTR e o transecto III, o canal formado entre o VTR e o MTG (Figura 3.2).

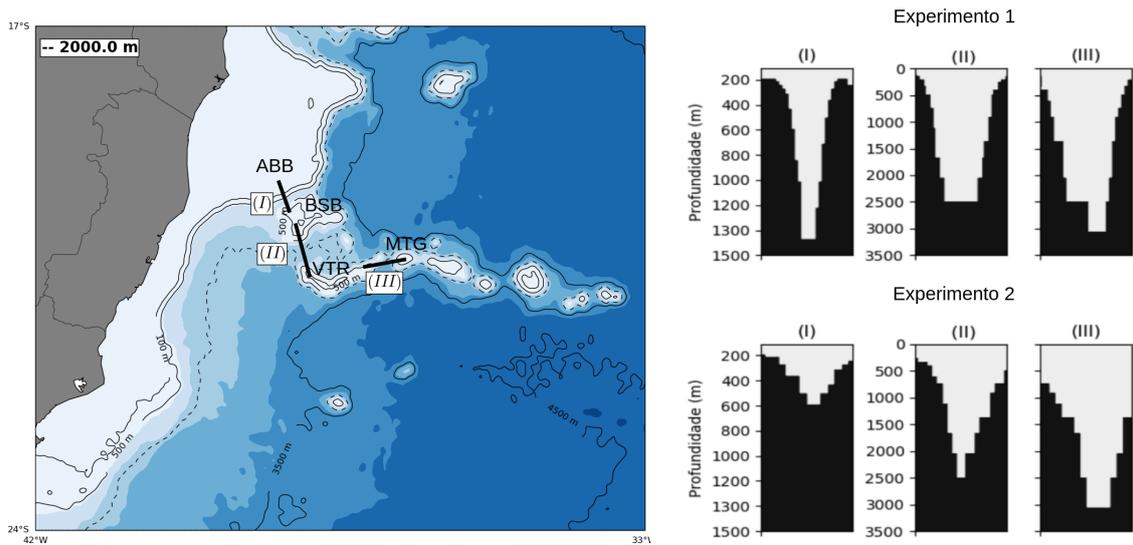


Figura 3.2: À esquerda: posição dos transectos I, II e III. À direita: perfil batimétrico dos transectos I, II e III nas resoluções de 0,02° e 0,06°.

As feições batimétricas da CVT são representadas de formas distintas nos experimentos. No experimento 1, o topo planar do ABB está aproximadamente a 50 metros da superfície, enquanto o BSB, o VTR e o MTG estão aproximadamente a 100 metros. No experimento 2 as profundidades são de 50 metros para o ABB, 100 metros para BSB, 400 metros para o VTR e 500 metros para MTG. Os "cortes" nos picos dos montes são consequências da menor resolução do campo batimétrico no experimento 2. Por outro lado, as profundidades máximas dos canais representados pelos transectos I, II e III são de 1400, 2500 e 3000 metros no experimento 1 e de 600, 2500 e 3000 metros no experimento 2. A tabela 3.1 apresenta os demais dados do modelo.

3.2 Determinação da seção

Para determinação da seção é parametrizado um segmento de reta (l) no plano xy . A parametrização gera um novo sistema de coordenada l . A equação paramétrica da reta, segundo Winterle (2000), é:

$$l(x(k), y(k)) = \begin{cases} x(k) = \left(\frac{lon_f - lon_0}{nk}\right)k + lon_0 \\ y(k) = \left(\frac{lat_f - lat_0}{nk}\right)k + lat_0 \end{cases}$$

Onde lon_0 e lon_f são os pontos da matriz que representam as longitudes inicial e final, lat_0 e lat_f são os pontos da matriz que representam as latitudes inicial e final, k é o parâmetro e nk é o número de pontos escolhidos no segmento de reta l , onde $k \in [0, nk]$. O valor da variável (velocidades zonal e meridional) em um ponto da reta l será igual ao do ponto no plano xy mais próximo.

Tabela 3.1: Dados do modelo com resoluções de $0,06^\circ$ e $0,02^\circ$.

Número de Pontos em X	120	361
Número de pontos em Y	145	433
Numéros de níveis em S	30	30
Latitude máxima	24°S	24°S
Latitude mínima	17°S	17°S
Longitude máxima	42°W	42°W
Longitude mínima	33°W	33°W
Profundidade máxima	5000 m	5000 m
Resolução horizontal	≈ 6 km	≈ 2 km

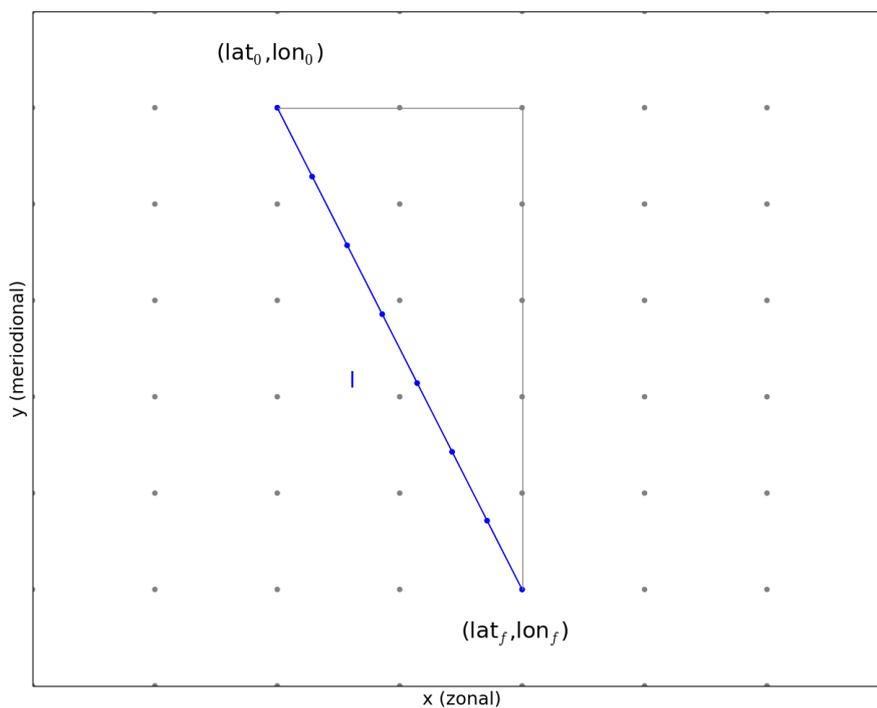


Figura 3.3: Segmento de reta (l) (azul) parametrizado no plano xy .

3.3 Rotação do referencial

O estudo necessita do conhecimento da velocidade da corrente na direção perpendicular a reta l . Para isso é necessário fazer a rotação do referencial formado pelas componentes u (zonal) e v (meridional) da velocidade. A rotação gera um novo referencial formado pelas componentes da velocidade u' e v' (Figura 3.3). A componente da velocidade usada será a que estiver no eixo perpendicular a reta l .

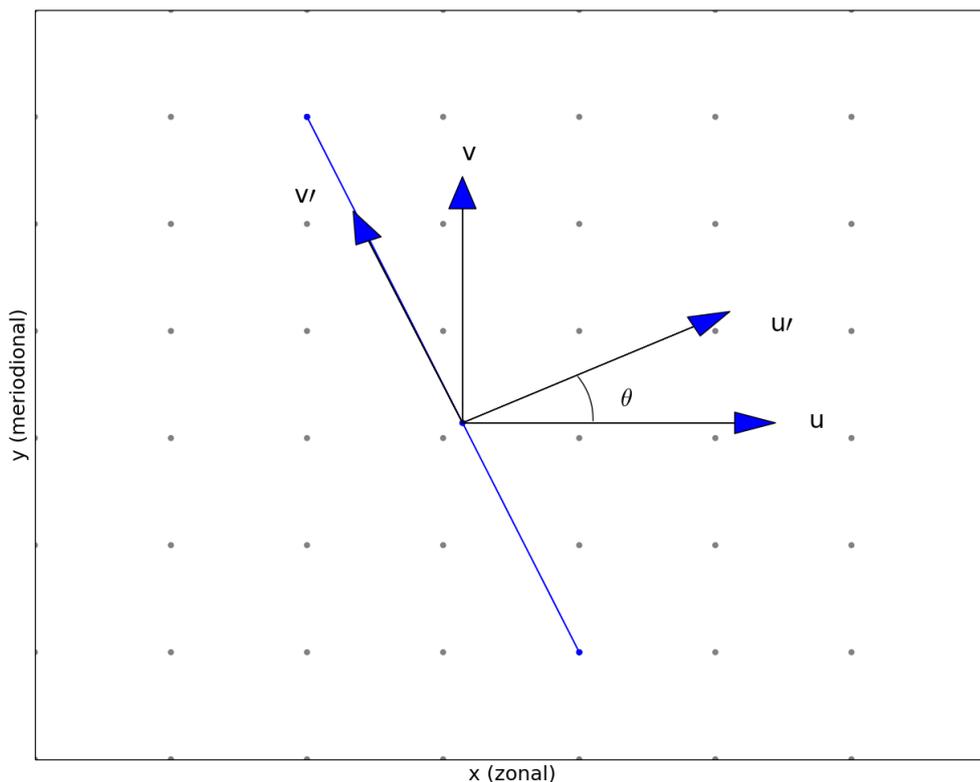


Figura 3.4: *Representação da rotação do referencial uv . A aplicação da matriz de rotação origina um novo referencial $u'v'$. Na representação o eixo u' é perpendicular a direção da reta l .*

A equação para a rotação do referencial, segundo Watari (2003), é:

$$\begin{bmatrix} u' \\ v' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$$

3.4 Média, Desvio Padrão e Variância

Em um determinado conjunto de números inteiros, a média é obtida pelo ordenamento e contagem dos elementos. A média aritmética dos valores de um determinado dado é obtida tomando a sua soma e dividindo pelo tamanho do dado ou quantidade de elementos

que o dado possui, n .

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j \quad (3.1)$$

Similarmente, a variabilidade dos valores de um dado pode ser medida pelos desvio padrão s e a variância s^2 (Kreyszig, 2006).

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2 \quad (3.2)$$

3.5 Cálculo do transporte e energia cinética turbulenta média

O transporte corresponde à quantidade de fluido transportado através de um conduto ou o volume de determinada parcela de fluido que passa em determinada seção de um conduto por unidade de tempo. Essa propriedade é medida pelo produto da velocidade fluido e da área que representa a seção por onde o fluido escoa. Como a unidade da área é m^2 e a velocidade tem unidade m/s , o transporte é dado por m^3/s . (Brunetti, 2008). Para o cálculo, o sistema de coordenada sigma é transformado em um sistema de coordenada ortogonal z . Na seção, a corrente flui por um subárea que compõe a área total da seção formada no plano lz . A velocidade é interpolada para o centro da subárea como a média dos valores das velocidades nos pontos que formam os vértices (Figura 3.4).

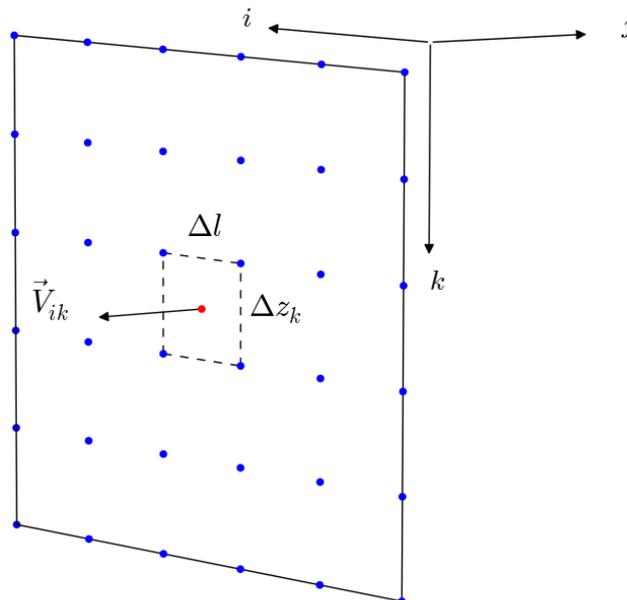


Figura 3.5: Representação do cálculo do transporte, onde Δl é a distância (constante) entre dois pontos da reta l , Δz_k é a distância entre dois níveis da coordenada Z e V_{ik} é a velocidade da corrente que atravessa a seção.

Logo a equação para o cálculo do transporte (T) é:

$$\vec{T}_{ik} = \vec{V}_{ik} \Delta l \Delta z \quad (3.3)$$

Onde T_{ik} é o transporte na subárea, Δl é a distância entre dois pontos da reta l e Δz é a distância entre dois pontos na coordenada vertical. O valor de Δz depende da resolução vertical.

O transporte total para uma área determinada será a soma do transporte de cada subárea que a compõe.

$$\vec{T}_{Total} = \sum_{i,k} \vec{T}_{ik} \quad (3.4)$$

Para o cálculo da Energia Cinética Turbulenta (ECT) é considerado que a escala dos processos oceânicos é representada na separação, da grandeza oceânica dependente do tempo, em duas componentes, a componente média, representando a larga escala e a componente que representam desvios em torno desta média, denominada anomalia. A anomalia está relacionada ao movimento turbulento. Então podemos descrever a velocidade como uma soma entre a componente média e a anomalia:

$$\mathbf{v} = \bar{\mathbf{v}} + \mathbf{v}' \quad (3.5)$$

De modo análogo, a energia cinética pode ser separada em uma componente média e uma turbulenta, logo denominamos a energia cinética turbulenta média (\overline{ECT}) como:

$$\overline{ECT} = \frac{1}{2}(\overline{u'^2} + \overline{v'^2}) \quad (3.6)$$

Onde $\overline{u'^2}$ é a média dos quadrados da parcela turbulenta da componente zonal da velocidade e $\overline{v'^2}$ é a média dos quadrados da parcela turbulenta da componente meridional da velocidade (McWilliams, 2006).

3.6 Interface CB-CCI

Para determinar o sistema CB-CCI é preciso estimar um nível de referência (NR) que delimite as regiões de escoamento de cada componente. Um dos critérios para determinação do NR considera conhecer e determinar índices termohalinos e interfaces de massas de água, de modo a interface das correntes ser equivalente a interface ACAS-AIA. Essa abordagem é denominada *Critério Termodinâmico* e utiliza teoremas de (Sh-tokman, 1946). O *Critério Dinâmico* considera o conhecimento da estrutura de correntes baroclínicas da região, de modo a configuração do escoamento ser essencialmente baroclínica de primeiro modo, isto é, com um único nível de inversão do vetor velocidade entre a superfície e o fundo (Silveira, 2004).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram calculados os transportes médio e sazonal e suas variabilidades, velocidade máxima e profundidade média para as correntes de contorno oeste superficial (CB) e intermediária (CCI) entre os transectos I, II e III, onde valores negativos são considerados fluxos em direção as altas latitudes e valores positivos deslocamentos em direção equatorial. Também foram descritos os campos de velocidades horizontais médio e sazonais entre as latitudes de 17°S e 24°S e longitudes de 33°W e 42°W e os campos de energia cinética turbulenta média e sazonais entre as latitudes de 17°S e 22°S e longitudes de 33°W e 42°W, referentes as profundidades de 100 m e 800 m, representando a CB e CCI respectivamente. As quantidades médias corespondem ao período de 5 anos, enquanto as quantidades sazonais correspondem a médias dos meses de verão (janeiro, fevereiro e março), outono (abril, maio e junho), inverno (julho, agosto e setembro) e primavera (outubro, novembro e dezembro).

4.1 Interface CB-CCI

O critério utilizado para determinação da interface CB-CCI foi inspirado no critério dinâmico. A velocidade média de cada seção foi integrada na horizontal e o limite entre as correntes foi considerado a profundidade onde o valor absoluto da velocidade é mínimo.

$$\bar{v}(i, k) \rightarrow \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{v}_{ik} = \bar{V}(k) \quad (4.1)$$

A CB é definida da superfície até a profundidade do primeiro mínimo, onde $|\bar{V}(k-1)| > |\bar{V}(z_1)| < |\bar{V}(k+1)|$. Já a CCI é definida como o fluxo entre a profundidade z_1 e a profundidade do segundo mínimo, onde $|\bar{V}(k-1)| > |\bar{V}(z_2)| < |\bar{V}(k+1)|$. A figura 4.1 apresenta os perfis de $\bar{V}(z)$ para cada transecto. As profundidades obtidas serão descritas na seção seguinte. A figura 4.2 apresenta os perfis de velocidade média para os transectos I, II e III nas resoluções de 0,02° e 0,06°.

4.2 Transporte, velocidade e profundidade

4.2.1 Corrente do Brasil

A tabela 4.1 apresenta os valores de transporte da CB e CCI nos transectos I, II e III nos períodos de verão, outono, inverno, primavera e total. No comportamento médio, na resolução de 0,02°, a CB apresentou um padrão trifurcado, onde os três ramos cruzam a

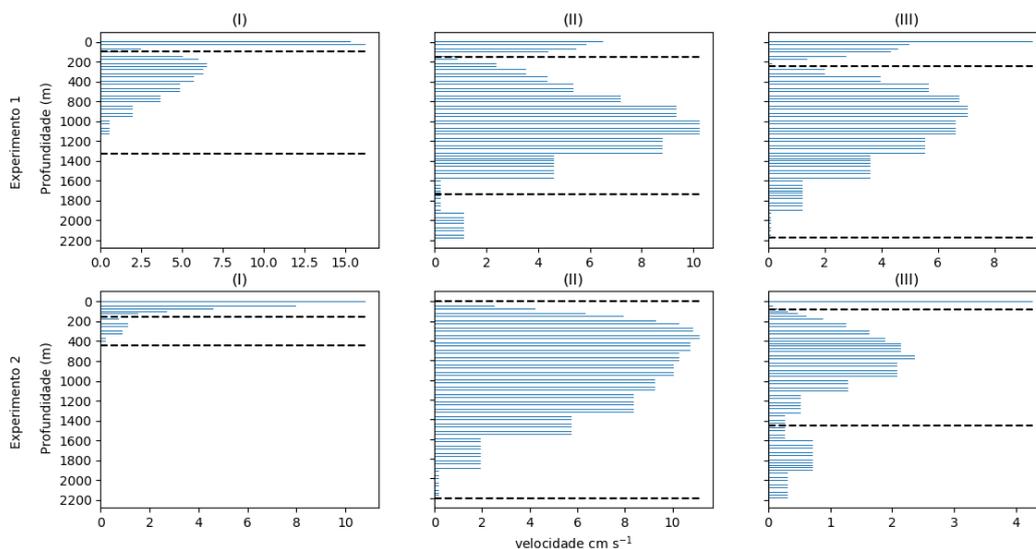


Figura 4.1: *Perfil de velocidade média integrada horizontalmente em cada transecto. As linhas tracejadas indicam os limites da CB e CCI.*

cadeia por canais formados entre o ABB e o BSB (Transecto I), entre o BSB e o VTR (Transecto II) e entre o VTR e o MTG (Transecto III). O transporte total obtido foi de $-1,73 \pm 3,10$ Sv, onde cada ramo transporta cerca de 1/3 do transporte total. Esse valor corresponde aos valores apresentados na literatura, como Evans (1983) que observou um valor de $-3,8$ Sv e Stramma (1990) e Caspel (2009) que sugerem um transporte de $-1,6$ Sv e $-3,3 \pm 2,1$ Sv respectivamente. O ramo que cruza a CVT através do transecto I apresenta uma velocidade máxima em torno de $0,28$ m s⁻¹, ocupa os primeiros 80 metros e transporta cerca de $-0,54 \pm 0,61$ Sv. O ramo que cruza a CVT pelo transecto II tem profundidade de 160 metros, possui uma velocidade máxima de $0,17$ m s⁻¹ e transporte de $-0,59 \pm 1,22$ Sv e o ramo que cruza através do transecto III possui uma velocidade de $0,12$ m s⁻¹, profundidade de 200 m e transporta $-0,60 \pm 1,27$ Sv. Na resolução de $0,06^\circ$ a CB apresenta um padrão bifurcado, cruzando a CVT por um ramo principal através do transecto I e um ramo menor através do transecto III. Não foi observado sinal da CB através do transecto II (Figura 4.1). O transporte total é de aproximadamente $-0,80 \pm 2,0$ Sv, onde cerca de 90% flui pelo transecto I. O valor obtido corresponde somente a observação de Stramma (1990), sendo subestimado quando comparado aos valores observados por Evans (1983) e Caspel (2009). O ramo principal possui uma velocidade máxima de $0,15$ m s⁻¹, profundidade de 160 m e transporte de $-0,70 \pm 1,16$ e o ramo menos intenso ocupa os primeiros 60 m, possui velocidade máxima de $0,07$ m s⁻¹ e transporte de $-0,10 \pm 0,84$ Sv.

No comportamento sazonal foram calculados os valores médios de transporte para todas estações. No verão a resolução de $0,02^\circ$ apresentou transportes através de transecto I, II e III de aproximadamente $-0,47 \pm 0,66$ Sv, $-0,91 \pm 1,22$ Sv e $-0,86 \pm 1,40$ Sv, totalizando um transporte de $-2,24 \pm 3,28$, ocorrendo uma intensificação do transporte em cerca de 2 vezes nos transectos II e III e uma menor variabilidade quando comparados ao comportamento médio. Já na resolução de $0,06^\circ$, a CB apresenta um padrão bifurcado, fluindo pelos transectos I e III, ocorrendo uma intensificação e uma menor variabilidade

do fluxo quando comparado ao comportamento médio. Foram obtidos para os transectos I, e III transportes de $-0,97 \pm 1,19$ e $-0,15 \pm 1,40$, totalizando um transporte de $-1,12 \pm 2,59$ Sv. Os valores obtidos nas resoluções de $0,02^\circ$ e $0,06^\circ$ correspondem ao valor observado por Passos (2011) que obteve um transporte total através da CVT de $-2,6$ Sv para o período de verão.

No outono, na resolução de $0,02^\circ$, a corrente apresenta um padrão trifurcado, ocorrendo uma desintensificação e um aumento da variabilidade, onde o transporte total obtido foi de $-1,46 \pm 3,81$ Sv. Deste total a maior parte do fluxo cruza a CVT através do transecto III, com aproximadamente $-0,90 \pm 1,33$ Sv. No transecto I, o transporte obtido foi de $-0,50 \pm 0,75$. Por fim o fluxo através do transecto II é de cerca de $-0,1 \pm 1,73$ Sv. Na resolução de $0,06^\circ$, a CB flui apenas pelo transecto I. O fluxo apresenta uma sutil desintensificação e aumento da variabilidade. O fluxo no transecto I transporta $\approx -0,53 \pm 1,12$ Sv. Já o fluxo pelo transecto III contribui apenas para a variabilidade.

No inverno a corrente apresenta um padrão trifurcado, na resolução de $0,02^\circ$. O transporte total obtido foi cerca de $-1,29 \pm 2,06$ Sv, havendo uma desintensificação e uma maior variabilidade. Os transectos I, II e III apresentam transporte de $-0,45 \pm 0,51$ Sv, $-0,66 \pm 0,63$ Sv e $-0,18 \pm 0,92$ Sv respectivamente. Na resolução de $0,06^\circ$, a CB cruza a CVT preferencialmente pelo transecto I, onde foi obtido um transporte de $-0,49 \pm 1,11$ Sv. Já o transecto III apresenta transporte de $-0,08 \pm 0,92$ Sv. Assim como no outono o transporte é desintensificado e ocorre um aumento variabilidade, com um transporte total de $-0,57 \pm 2,03$ Sv. Os valores obtidos subestimam o resultado obtido por Passos (2011), que observou um transporte de $-5,6$ Sv no período de inverno.

Por fim, na primavera a resolução de $0,02^\circ$ apresentou um padrão trifurcado com um transporte total de $\approx 2,1 \pm 2,36$ Sv. Esse valor demonstra uma intensificação e uma menor variabilidade da corrente em relação ao comportamento médio. Considerando o transporte entre os transectos foram obtidos, $-0,75 \pm 0,41$ Sv, $-0,82 \pm 0,74$ Sv e $-0,51 \pm 1,21$ Sv para os transectos I, II e III. Na resolução de $0,06^\circ$ o fluxo apresenta um padrão bifurcado com transporte total de $-1,15 \pm 2,35$, onde o fluxo no transecto I apresenta transporte de $-0,84 \pm 1,14$ Sv e no transecto III de $-0,31 \pm 1,21$ Sv. Assim como no mês de verão o fluxo aumenta sua intensidade e diminui a variabilidade em comparação ao comportamento médio.

Os resultados obtidos divergem em parte do estudo de Caspel (2009), o autor observou um fluxo de baixa intensidade no fim do outono e primavera e restrito as regiões dos transectos I e II e um fluxo intenso através dos transectos I, II e III no verão e inverno, enquanto nas saídas, tanto de $0,02^\circ$ e $0,06^\circ$, os fluxos mais intensos ocorreram na primavera e verão e os menos intensos nos meses de outono e inverno. Outra divergência ocorre com o estudo de Passos (2011), a autora descreveu o fluxo da CB através da CVT com um padrão trifurcado no verão, não presente na resolução $0,06^\circ$, e com a formação do VV. Já no inverno a CB fluiria apenas pelos dois transectos mais próximos a costa e não haveria a presença do VV.

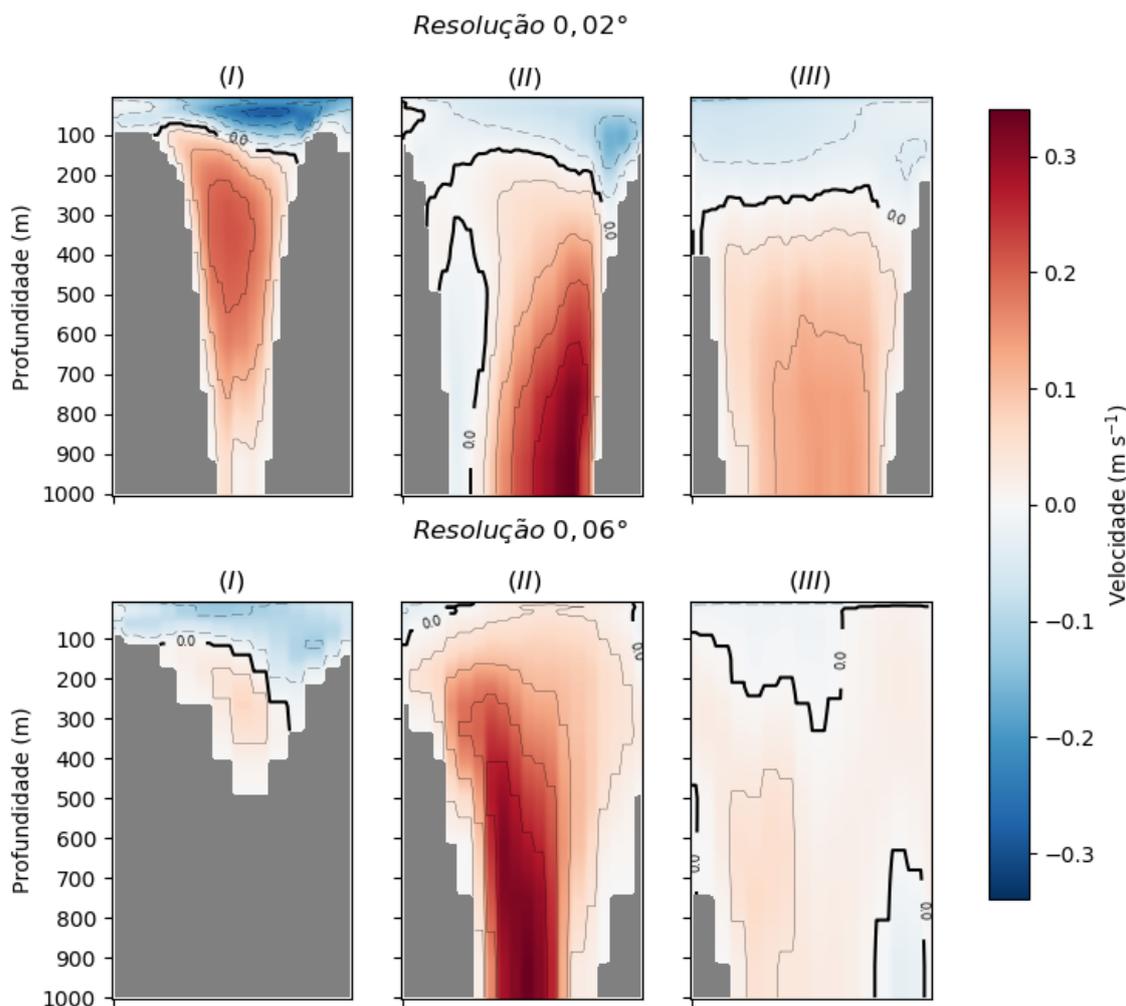


Figura 4.2: Perfil de velocidade média nos transectos I, II e III nas resoluções de $0,02^\circ$ (em cima) e $0,06^\circ$ (em baixo) de 0 a 1000 metros. A linha contínua destacada representa a isolinha de 0 m/s.

4.2.2 Corrente de Contorno Oeste Intermediária

Na resolução de $0,02^\circ$ a CCI apresentou um padrão trifurcado no comportamento médio. Foi obtido um transporte total de $13,23 \pm 11,55$ Sv. No transecto I a corrente apresentou velocidade máxima de $0,34 \text{ m s}^{-1}$, ocupando a profundidade entre 100 e 1300 metros e transporte de $1,77 \pm 1,35$ Sv, no transecto II foram obtidos transporte e velocidade máxima de $6,77 \pm 5,95$ Sv e $0,34 \text{ m s}^{-1}$ e profundidade de 160 a 1300 metros e no transecto III a corrente ocupa a profundidade de 200 a 1600 metros, com velocidade máxima de $0,16 \text{ m s}^{-1}$ e transporte de $4,69 \pm 4,25$ Sv. Na resolução de $0,06^\circ$ a CCI apresentou um padrão bifurcado com transporte total de $17,92 \pm 11,54$ Sv. Deste total cerca de 90% cruza a CVT pelo transecto II, que apresenta velocidade máxima de $0,33 \text{ m s}^{-1}$, ocupando todos 2000 primeiros metros e transportando $15,97 \pm 6,22$ Sv. O transecto I possui o fluxo menos intenso e com menor espessura, com velocidade máxima de $\approx 0,1 \text{ m s}^{-1}$, transporte de $0,15 \pm 0,51$ Sv e ocupando a profundidade de 160 a 500 metros. Já no transecto III o fluxo apresentou velocidade máxima de $\approx 0,1 \text{ m s}^{-1}$, transporte de $1,80 \pm 4,81$ Sv e ocupando a profundidade de 60 a 1100 metros. Os valores obtidos concordam

com os resultados presentes na literatura, como em Schmid *et al.* (2000) que obtiveram resultados de 7,7 e ≈ 9.0 Sv, Boebel *et al.* (1997) com 8,8 Sv e Schmid & Garzoli (2009) que observaram um valor de 10,0 Sv.

Com relação ao comportamento sazonal, no verão, a corrente na resolução de $0,02^\circ$ apresentou um padrão trifurcado, com um transporte total de $\approx 13,0 \pm 12,16$ Sv. Esse valor representa uma pequena desintensificação e pequeno aumento da variabilidade quando comparado ao comportamento médio. Os fluxos pelos transectos I, II e III são equivalentes a $1,76 \pm 1,49$ Sv, $5,81 \pm 6,40$ Sv e $5,40 \pm 4,27$ Sv respectivamente. Já na resolução de $0,06^\circ$, assim como no comportamento médio, a corrente flui preferencialmente pelo transecto II, ocorrendo uma leve desintensificação e aumento da variabilidade, totalizando um transporte de $17,26 \pm 10,54$ Sv. Os fluxos pelos transectos I, II e III são equivalentes a $\approx 0,1 \pm 0,51$ Sv, $15,35 \pm 5,44$ Sv e $1,95 \pm 4,59$ Sv.

No período de outono, análogo ao comportamento médio, a corrente apresentou um padrão trifurcado para a resolução de $0,02^\circ$, no entanto parte do fluxo do transecto III é deslocado para o transecto II. O fluxo através do transecto I permanece praticamente constante com transporte de $1,80 \pm 1,49$ Sv. Por sua vez, nos transectos II e III os transportes foram de $8,32 \pm 6,82$ Sv (II) e $2,81 \pm 3,47$ Sv (III). O transporte total de $\approx 13,0 \pm 11,8$ Sv é intensificado e com menor variabilidade quando comparado ao comportamento médio. Na resolução de $0,06^\circ$ o fluxo mantém-se principalmente através do transecto II, com transporte de $16,48 \pm 7,48$ Sv. Os fluxos através dos transectos I e III foram de $0,15 \pm 0,50$ Sv (I) e $1,69 \pm 4,32$ Sv (III). O transporte na estação foi de $18,32 \pm 12,3$ Sv, apresentando uma pequena intensificação e diminuição de variabilidade.

No inverno o fluxo através do transecto I, na resolução de $0,02^\circ$, permanece constante com transporte de $1,65 \pm 1,41$ Sv. Já os fluxos através dos transectos II e III novamente se equilibram apresentando valores de $7,74 \pm 4,22$ Sv e $5,63 \pm 3,43$ Sv respectivamente. O transporte total de $\approx 15,0 \pm 9,0$ Sv foi o mais intenso e com menor variabilidade obtido em relação ao comportamento médio. Na resolução de $0,06^\circ$ o fluxo permanece principalmente através do transecto II, com transporte de $15,57 \pm 4,78$ Sv, porém ocorre um aumento do fluxo através do transecto III chegando ao valor de $2,59 \pm 4,22$ Sv. O transecto I segue contribuindo menos de 1% para o fluxo total, com $0,21 \pm 0,51$ Sv. O transporte total de $18,37 \pm 9,51$ Sv, assim como na resolução de $0,02^\circ$, foi o mais intenso e com menor variabilidade quando comparado ao comportamento médio.

Na primavera, o fluxo na resolução de $0,02^\circ$ apresenta transporte total de $11,84 \pm 11,46$ Sv. O fluxo através dos transectos I, II e III foram de $1,89 \pm 0,97$ Sv, $5,09 \pm 5,46$ Sv e $4,86 \pm 5,03$ Sv respectivamente, ocorrendo uma desintensificação e uma maior variabilidade quando comparado ao comportamento médio. Na resolução de $0,06^\circ$ a intensidade da corrente através do transecto III volta a diminuir e apresenta um valor de $1,03 \pm 5,77$ Sv. Já os transportes nos transectos I e II obtidos foram de $0,17 \pm 0,49$ e $16,33 \pm 6,75$ Sv, totalizando um transporte total através da CVT de $17,53 \pm 13,0$ Sv.

Tabela 4.1: Valores de transporte da Corrente do Brasil (CB) e Corrente de Contorno Oeste Intermediária (CCI) nos transectos I, II e III nos períodos de verão, outono, inverno, primavera e total.

	V					O			I			P			Total		
	0,02°	0,06°	0,02°	0,06°	0,06°	0,02°	0,06°	0,06°	0,02°	0,02°	0,06°	0,02°	0,06°	0,02°	0,06°	0,06°	0,06°
CB	Vel máx. (m/s)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Profundidade(m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Transporte (Sv)	-0,47 ± 0,66	-0,97 ± 1,19	-0,50 ± 0,75	-0,53 ± 1,12	-0,45 ± 0,51	-0,49 ± 1,11	-0,75 ± 0,41	-0,84 ± 1,14	-0,54 ± 0,61	-0,17	-0,17	-0,17	-0,17	-0,17	-0,17	-0,17
(II)	Vel máx. (m/s)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Profundidade (m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Transporte (Sv)	-0,91 ± 1,22	-	-0,10 ± 1,73	-	-0,66 ± 0,63	-	-0,82 ± 0,74	-	-0,59 ± 1,22	-	-0,59 ± 1,22	-	-0,59 ± 1,22	-	-0,59 ± 1,22	-
(III)	Vel máx. (m/s)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Profundidade (m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Transporte (Sv)	-0,86 ± 1,40	-0,15 ± 1,40	-0,88 ± 1,33	0,00 ± 0,77	-0,18 ± 0,92	0,08 ± 0,92	-0,51 ± 1,21	-0,31 ± 1,21	-0,60 ± 1,27	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
CCI	Vel máx. (m/s)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Profundidade (m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Transporte (Sv)	1,76 ± 1,49	0,06 ± 0,51	1,80 ± 1,49	0,15 ± 0,50	1,65 ± 1,41	0,21 ± 0,51	1,89 ± 0,97	0,17 ± 0,49	1,77 ± 1,35	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
(II)	Vel máx. (m/s)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Profundidade (m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Transporte (Sv)	5,81 ± 6,40	15,35 ± 5,44	8,32 ± 6,82	16,48 ± 7,48	7,74 ± 4,22	15,57 ± 4,78	5,10 ± 5,46	16,33 ± 6,75	6,77 ± 5,95	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
(III)	Vel máx. (m/s)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Profundidade (m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Transporte (Sv)	5,40 ± 4,27	1,95 ± 4,59	2,81 ± 3,47	1,69 ± 4,32	5,63 ± 3,43	2,59 ± 4,22	4,86 ± 5,03	1,03 ± 5,77	4,69 ± 4,25	200 - 1600	200 - 1600	200 - 1600	200 - 1600	200 - 1600	200 - 1600	200 - 1600
Total	Vel máx. (m/s)	13,00 ± 12,16	17,26 ± 10,54	13,00 ± 11,80	16,48 ± 7,48	15,00 ± 9,00	18,37 ± 9,51	11,84 ± 11,46	17,53 ± 13,00	13,23 ± 11,55	17,92 ± 11,54	13,23 ± 11,55	17,92 ± 11,54	13,23 ± 11,55	17,92 ± 11,54	13,23 ± 11,55	17,92 ± 11,54
	Profundidade (m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Transporte (Sv)	13,00 ± 12,16	17,26 ± 10,54	13,00 ± 11,80	16,48 ± 7,48	15,00 ± 9,00	18,37 ± 9,51	11,84 ± 11,46	17,53 ± 13,00	13,23 ± 11,55	17,92 ± 11,54	13,23 ± 11,55	17,92 ± 11,54	13,23 ± 11,55	17,92 ± 11,54	13,23 ± 11,55	17,92 ± 11,54

4.3 Campo de velocidade

4.3.1 Corrente do Brasil

A figura 4.3 apresenta os campos de velocidade horizontal média na profundidade de 100 metros nas resoluções de $0,02^\circ$ e $0,06^\circ$. Os resultados obtidos para o comportamento médio apresentam as principais feições historicamente documentadas na literatura como o VV, o VA e uma CB fluindo em um jato bem definido entre 22°S e 24°S . Em ambas resoluções, entre 17°N e a região da CVT ($\approx 20^\circ$), a CB flui próxima ao talude com um fluxo resultante médio de sucessivas células de recirculação geradas pelo efeito da batimetria e da instabilidade baroclínica provocada pelo fluxo da CCI em direção oposta, como sugerido por Soutelino *et al.* (2011) e Soutelino *et al.* (2013). O VA apresenta-se melhor definido na resolução de $0,06^\circ$, sugerindo que a feição interage com o BSB e o VTR melhores definidos na resolução de $0,02^\circ$ induzindo o fluxo através dos canais representados pelos transectos I, II e III em oposição ao comportamento na resolução de $0,06^\circ$ que flui preferencialmente pelo transecto I. Ao sul da CVT o VV aparece nas duas saídas, apresentando um maior diâmetro na resolução de $0,06^\circ$. Ao sul do ET, região de formação do VV, a corrente se organiza em um jato bem definido como observado por Evans *et al.* (1983) recebendo um aporte de águas da corrente sul equatorial em níveis superficiais e centrais descrito pelos autores.

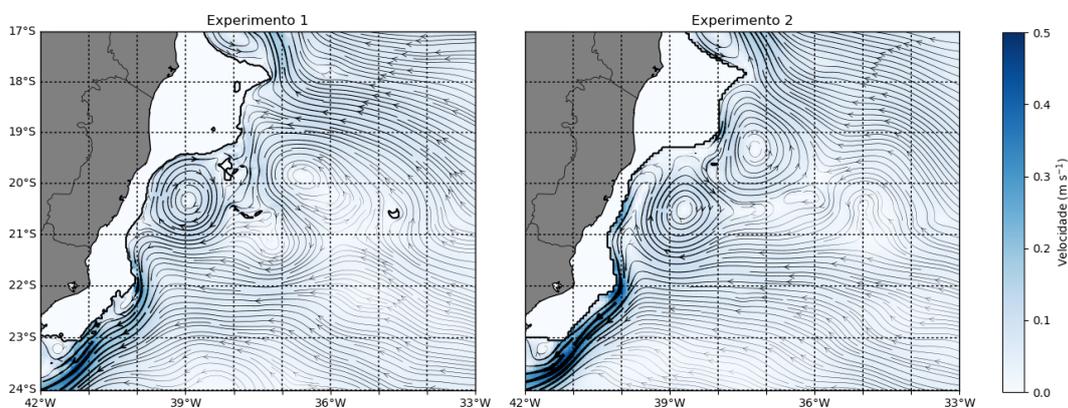


Figura 4.3: *Campo de velocidade horizontal média na profundidade de 100 metros representando a CB nas resoluções de $0,02^\circ$ (esquerda) e $0,06^\circ$ (direita).*

A figura 4.4 apresenta os campos de velocidade horizontal média sazonais na profundidade de 100 metros. Na primavera o comportamento se mantém próximo ao comportamento médio em ambas resoluções. O aumento dos transportes através dos transectos são aparentemente consequência apenas do aumento das velocidades nas regiões como um todo. Na resolução de $0,02^\circ$, esse quadro resulta em um aumento de intensidades do transporte nos transectos I e II. Por sua vez, na resolução de $0,06^\circ$ o fluxo segue preferencialmente pela região representada pelo transecto I, no entanto parte da circulação do VA alimenta um fluxo através do transecto III, sendo a estação que apresenta o maior valor de transporte total. Já o verão é o período com maior valor de transporte total na resolução de $0,02^\circ$. Apesar da diminuição da velocidade na região como um todo, quando comparada

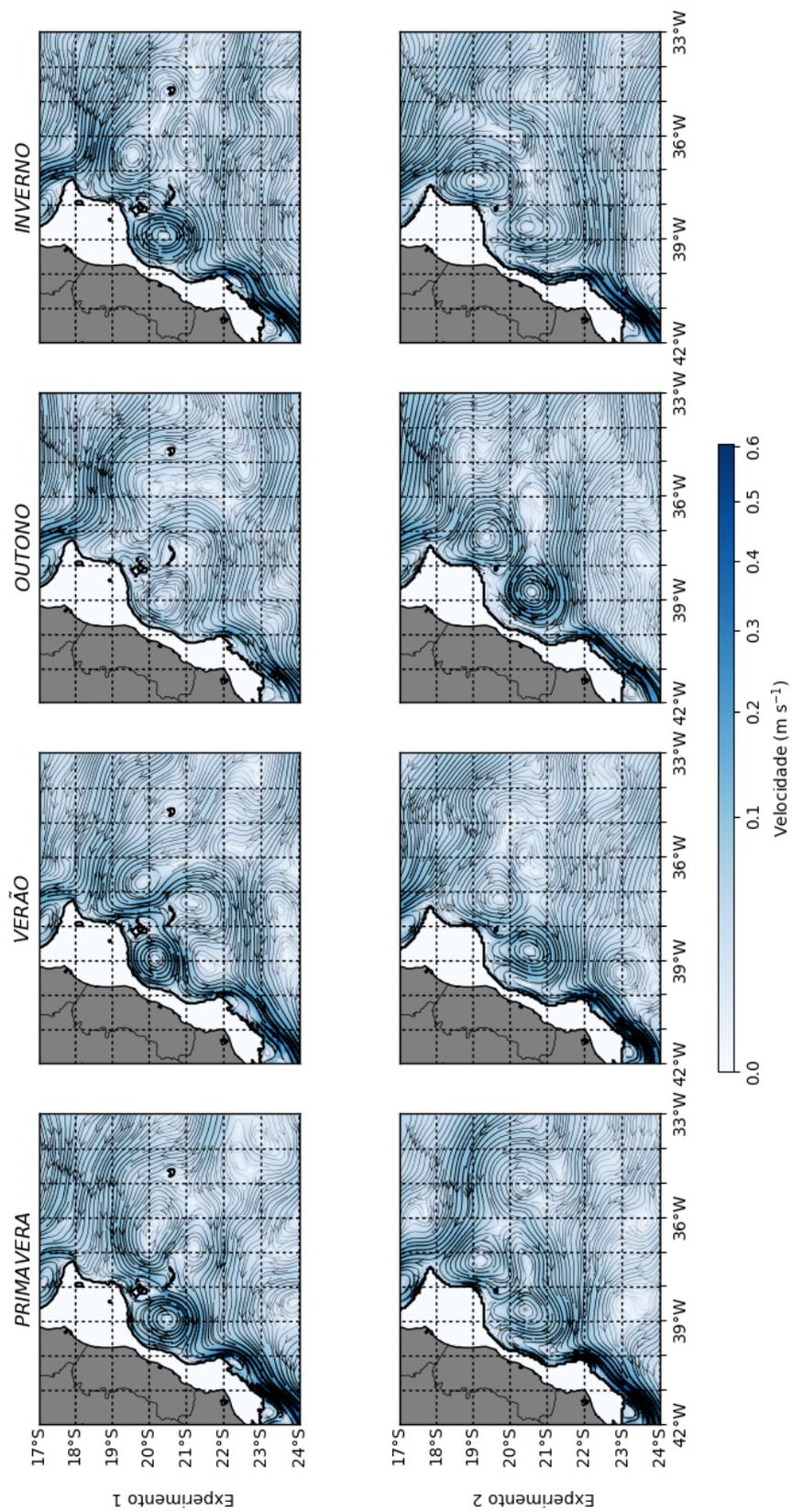


Figura 4.4: Campos de velocidades horizontais médias sazonais na profundidade de 100 metros nas resoluções de $0,02^\circ$ (esquerda) e $0,06^\circ$ (direita).

ao período de primavera, um aumento de fluxo pelos transectos II e III é determinante para obtenção desse resultado. A contribuição para o aumento é dada principalmente pelo fluxo "retido" pelo VA que passa a perder seu sinal. Na resolução de $0,06^\circ$ a corrente continua fluindo preferencialmente pelo transecto I e o VA ainda alimenta um fluxo através do transecto III, no entanto com menor intensidade quando comparada ao período de primavera.

No outono e inverno, períodos de menor intensidade da corrente, os VA e VV estão presentes na resolução de $0,06^\circ$ e apenas no período de inverno para a resolução de $0,02^\circ$. O fluxo na resolução de $0,06^\circ$ se aproxima do comportamento médio, no entanto com menores velocidades e transportes pelos transectos II e III praticamente nulos. Na resolução de $0,02^\circ$ o transecto III apresenta o maior transporte em comparação as diferentes estações sugerindo uma relação entre a ausência do VA e o fluxo através do transecto.

4.3.2 Corrente de Contorno Oeste Intermediária

A figura 4.5 apresenta os campos de velocidade horizontal média na profundidade de 800 metros nas resoluções de $0,02^\circ$ e $0,06^\circ$. O comportamento médio apresentado pela CCI corresponde ao descrito por Legeais *et al.* (2012). Os autores caracterizaram o escoamento entre 24°S e a região da CVT a CCI como um fluxo bem definido junto ao talude. No estudo, ao cruzar a CVT, a corrente apresentou uma velocidade de ≈ 30 a 50 cm s^{-1} e fluiu principalmente pelo canal representado pelo transecto II, sugerindo ainda um fluxo através de canais formados pelos demais montes submarinos mais a leste da cadeia. A análise dos autores ainda observou uma mudança de um regime praticamente estável para um regime altamente turbulento ao cruzar a CVT e o aporte de águas oriundas da CSE em níveis intermediários. Todas estas características são apresentadas nas saídas de ambas resoluções. A região instável ao norte da cadeia é representada no escoamento médio com uma queda brusca da velocidade do fluxo junto ao talude e parte do escoamento se deslocando para leste junto a cadeia formando uma célula de circulação anticiclônica com diâmetro de $\approx 500 \text{ km}$.

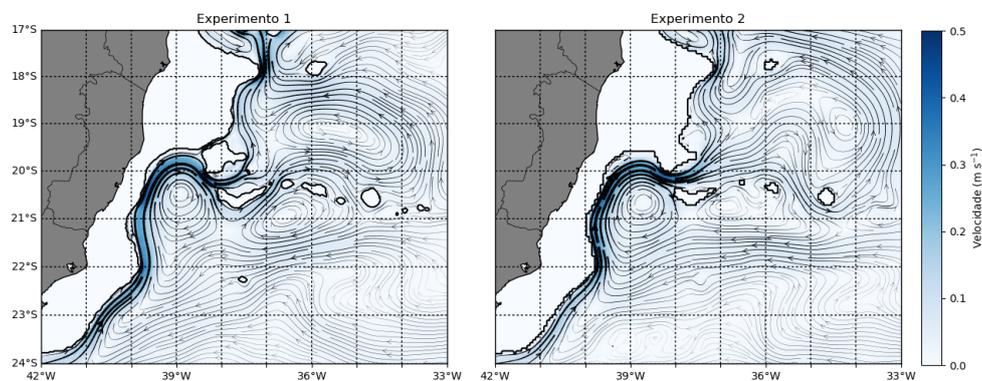


Figura 4.5: Campo de velocidade horizontal média na profundidade de 800 metros representando a CCI nas resoluções de $0,02^\circ$ (esquerda) e $0,06^\circ$ (direita).

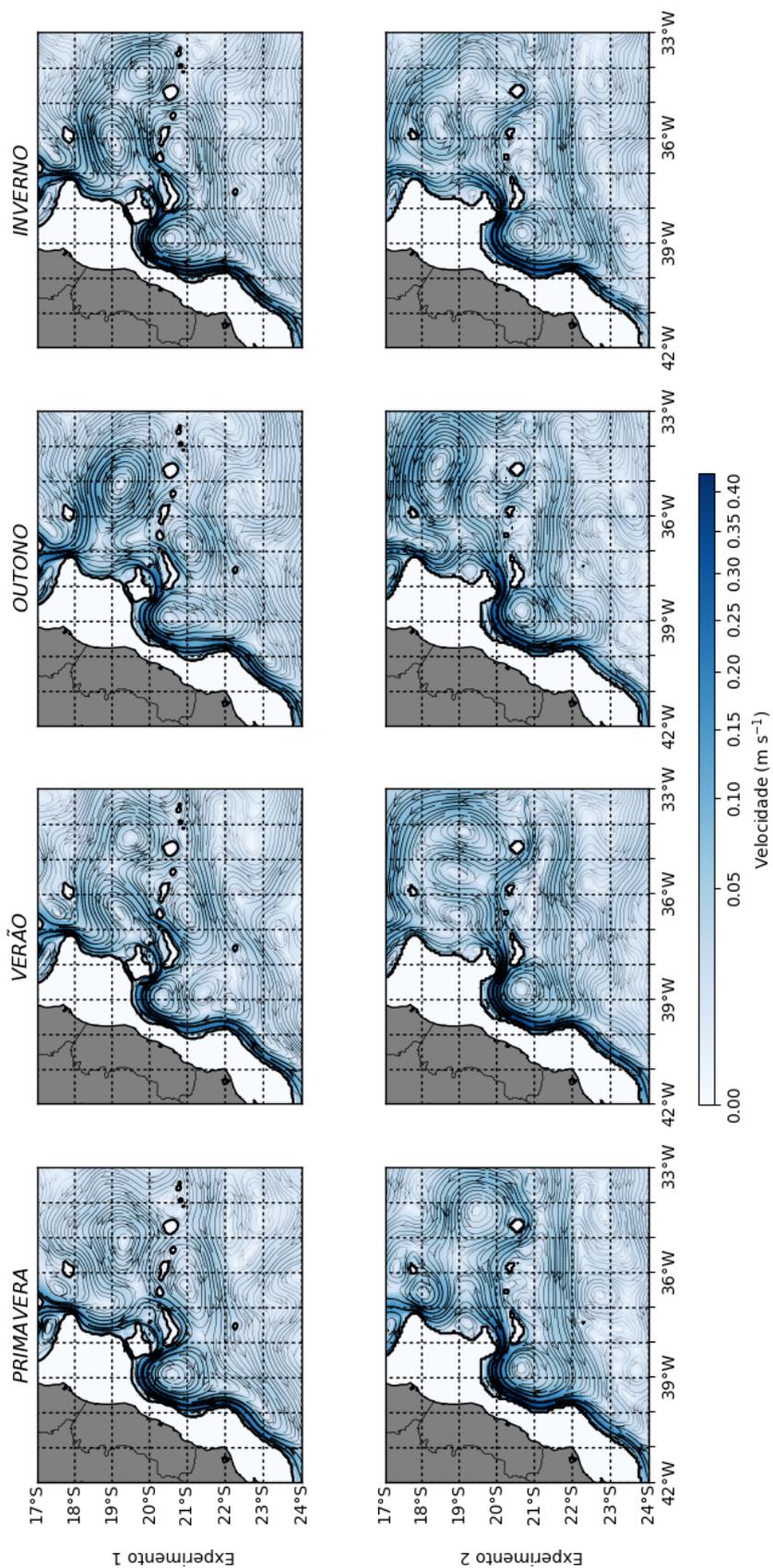


Figura 4.6: Campos de velocidades horizontais médias sazonais na profundidade de 800 metros nas resoluções de $0,02^\circ$ (esquerda) e $0,06^\circ$ (direita).

A figura 4.6 apresenta os campos de velocidade horizontal média sazonais na profundidade de 800 metros nas resoluções de $0,02^\circ$ e $0,06^\circ$. Os períodos de verão e primavera foram os períodos de menor intensidade da corrente, através dos transectos, obtidos em ambas saídas. Entre 24°S e a CVT a corrente, tanto na resolução de $0,02^\circ$ quanto na resolução de $0,06^\circ$, permanece como um jato bem definido junto ao talude. Na resolução de $0,02^\circ$ os fluxos apresentam um padrão trifurcado, fluindo principalmente pelos transectos II e III. Já na resolução de $0,06^\circ$ os fluxos cruzam a cadeia principalmente pelo canal representado pelo transecto II. A célula de circulação anticiclônica divide-se em pequenas células de circulações ciclônicas e anticiclônicas de menor diâmetro em ambas saídas.

O inverno e outono foram os períodos onde a CCI apresentou as maiores intensidades. O fluxo entre 24°S e a CVT permanece fluindo junto ao talude e com padrão trifurcado na resolução de $0,02^\circ$ e principalmente pelo transecto II na resolução de $0,06^\circ$, ao cruzar a CVT a célula de recirculação anticiclônica presente no comportamento médio torna-se mais simétrica possivelmente pelo aumento da intensidade da corrente, visto que o jato se apresentou mais organizado ao largo do ABB logo ao cruzar a CVT. Este comportamento explica a baixa variabilidade da corrente nestes períodos devido a distância dos transectos do ramo sul da célula de recirculação formada.

4.4 Campo de energia cinética turbulenta

4.4.1 Corrente do Brasil

A figura 4.7 apresenta os campos de ECT média na profundidade de 100 metros nas resoluções de $0,02^\circ$ e $0,06^\circ$. Na resolução de $0,02^\circ$, a região ao sul da CVT apresenta maiores valores de ECT média em comparação a região ao norte, sugerindo uma mudança de regime do fluxo ao cruzar a CVT, de um fluxo estável para um fluxo turbulento. O máximo de ECT média, de $\approx 5,0 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}^2$, ocorre ao sul da cadeia, próximo ao VTR, possivelmente refletindo a interação entre os fluxos através dos transectos II e III e o ramo sul do VV. Outros picos de ECT média são observados na região de borda de plataforma no embaimento ao sul da CVT aparentemente indicando o processo de bifurcação do fluxo entre os transectos II e III que frequentemente incidem em direção ao talude. Na resolução de $0,06^\circ$, tanto a região ao norte como a região ao sul da CVT apresentam valores elevados de ECT média. Os máximos, próximos a $3,0 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}^2$, sugerem a ocorrência de processos turbulentos em ambas regiões. Assim como na resolução de $0,02^\circ$, são observados picos na região entre os canais através da CVT e o VV e na região do talude.

A figura 4.8 apresenta os campos de ECT média sazonais na profundidade de 100 metros nas resoluções de $0,02^\circ$ e $0,06^\circ$. Na primavera, a proximidade do campo de velocidade do comportamento médio reflete os baixos valores de ECT média observados na resolução de $0,02^\circ$. O aumento de intensidade entre os transectos I e II deslocam o máximo para uma região mais próxima a plataforma. Na resolução de $0,06^\circ$, o máximo de intensidade de fluxo pelo transecto III resulta em valores de ECT média próximos a saída do canal representado pela seção. No verão foram observados os maiores valores de ECT média para ambas resoluções, que coincide com os períodos de maiores intensidades do transporte através dos transectos. Na resolução de $0,02^\circ$, o aumento do fluxo através dos transectos II e III resulta em altos valores de ECT média ao sul da cadeia. O máximo ocorre na mesma região do comportamento médio no entanto com maior intensidade, su-

gerindo uma relação entre o fluxo através do transecto III e a ECT média ao sul da cadeia. Na resolução de $0,06^\circ$ a desintensificação do fluxo pelo transecto III desloca novamente o máximo para regiões mais próximas a plataforma ao sul da cadeia. Apesar de ser o período de maiores valores de transporte da corrente através dos transectos, a região ao norte da CVT possui o campo de ECT média com maior amplitude contrastando com o resultado obtido na resolução de $0,02^\circ$.

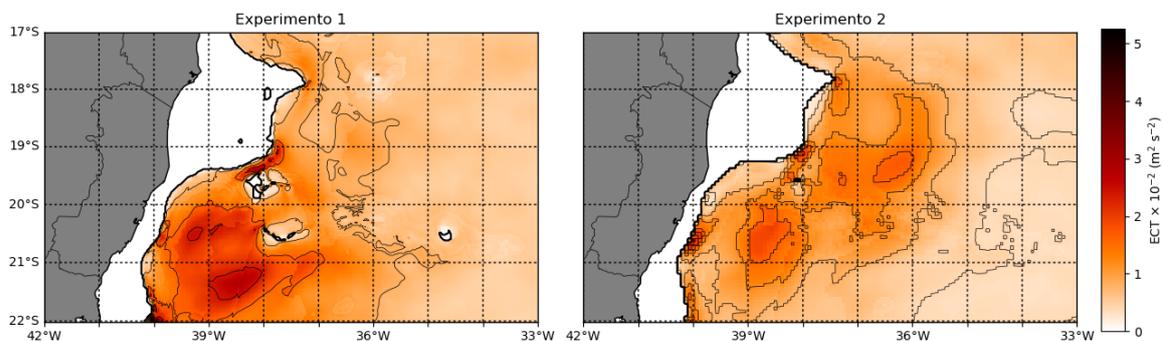


Figura 4.7: Campos de Energia Cinética Turbulenta Média nas resoluções de $0,02^\circ$ (esquerda) e $0,06^\circ$ (direita) entre as latitudes de $17^\circ S$ e $22^\circ S$ e longitudes de $33^\circ W$ e $42^\circ W$ na profundidade de 800 metros.

No outono, o ainda intenso fluxo através do transecto III, na resolução de $0,02^\circ$, resulta em uma região de máximo próxima a saída do canal. Na resolução de $0,06^\circ$, o campo de ECT média se apresenta de uma forma uniforme entre as regiões norte e sul da cadeia. O período é o de menor intensidade do transporte da corrente através dos transectos sugerindo que os máximos ocorram como consequência da interação entre o VA e o VV. Por fim no inverno, a proximidade do comportamento médio, a menor intensidade da corrente através da cadeia resultam em baixos valores de ECT média apresentados tanto ao norte como ao sul da cadeia na resolução de $0,02^\circ$. Na resolução de $0,06^\circ$ o campo de ECT média se mantém uniforme entre as regiões norte e sul da cadeia. Assim como no período de outono, o fluxo através dos transectos é desintensificado quando comparados ao comportamento médio, sugerindo que os valores de ECT encontrados são resultados principalmente de interações entre o VV, VA e a CSE em níveis superficiais.

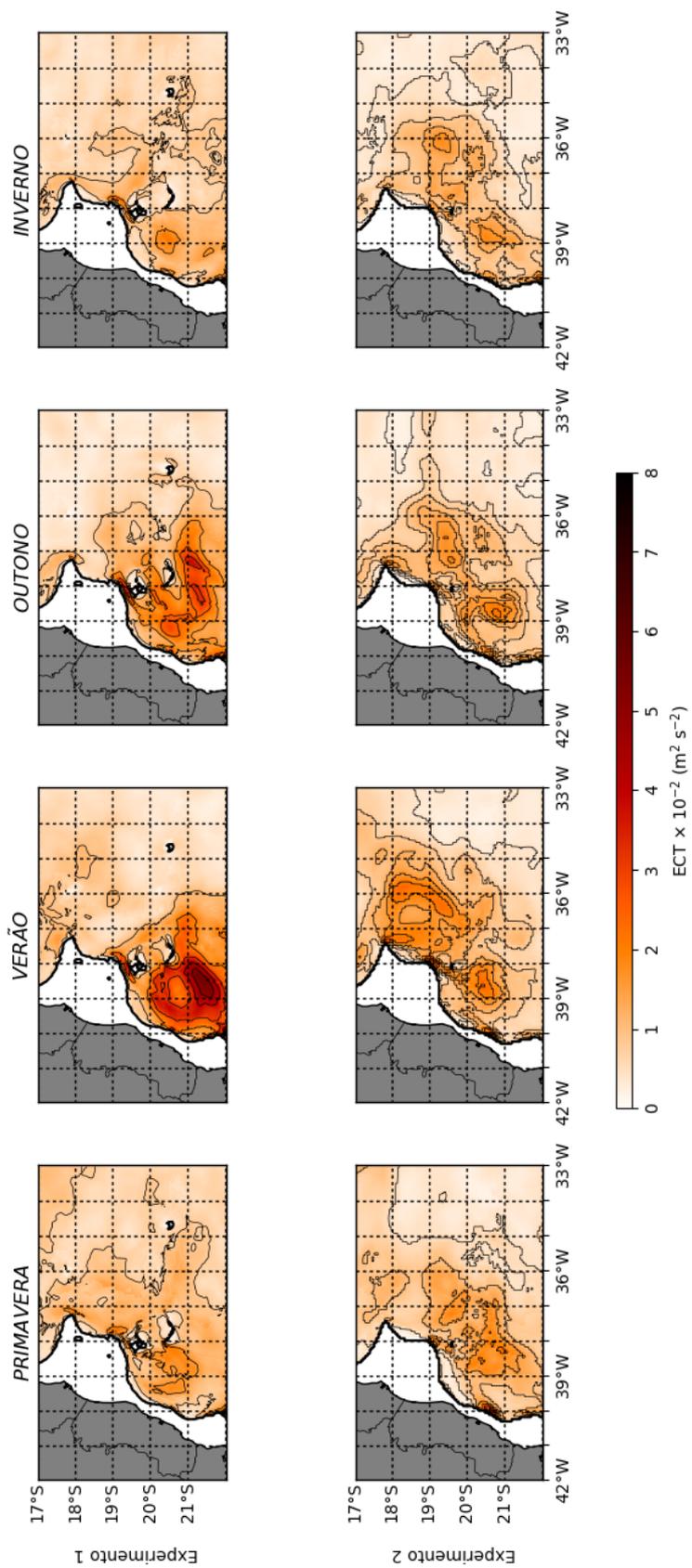


Figura 4.8: Campos de Energia Cinética Turbulenta média sazonais na profundidade de 100 metros nas resoluções de $0,02^\circ$ e $0,06^\circ$.

4.4.2 Corrente de Contorno Oeste Intermediária

Em ambas resoluções a maior amplitude e os maiores valores de ECT são encontrados ao norte da CVT concordando com os resultados de Legeais et al. (2012) que descreveram a mudança de regime sofrida pela corrente ao cruzar a CVT. Na resolução de $0,06^\circ$ são encontrados valores de ECT predominantemente ao norte da cadeia. O máximo aparentemente é consequência da desestabilização da corrente, gerada pela mudança de orientação da costa, ao cruzar a CVT principalmente pelo canal representado pelo transecto II. Na resolução de $0,02^\circ$, regiões de máximo são encontradas ao sul da cadeia. Os valores encontrados sugerem fenômenos turbulentos gerados no processo de bifurcação da corrente e o no padrão de recirculação no Embaimento de Tubarão.

Nos períodos de primavera e verão, em ambas resoluções os campos de ECT média se aproximam do comportamento médio. A diminuição da amplitudes dos campos ao norte da cadeia possivelmente são consequências das leves desintensificações dos fluxos através da cadeia. No outono, a corrente flui principalmente pelo transecto II na resolução de $0,02^\circ$. O máximo de transporte e variabilidade através do transecto explicam os altos valores de ECT encontrados na região. O inverno é o período em que ambas resoluções apresentam os maiores valores de transporte da corrente através da CVT. Na resolução de $0,02^\circ$, este comportamento coincide com o período de menor atividade turbulenta ao sul da cadeia. Na resolução de $0,06^\circ$, tanto no outono quanto no inverno os campos de ECT possuem o mesmo padrão do comportamento médio, ocorrendo predominantemente ao norte da cadeia, diferenciando-se apenas pela intensidade e amplitude dos processos turbulentos.

5 CONCLUSÃO

A Corrente do Brasil e a Corrente de Contorno Oeste Intermediária são componentes do sistema de correntes de contorno oeste presentes na região da CVT. Caracterizada por uma batimetria complexa, composta por montes submersos a poucas dezenas de metros da superfície do mar e uma plataforma com intensa mudança de orientação, a região apresenta padrões complexos de escoamento. O presente trabalho teve como objetivo investigar a contribuição das feições batimétricas para a circulação superficial e intermediária na região da CVT através da comparação de dois produtos do simulador ROMS, com resoluções de $0,02^\circ$ e $0,06^\circ$.

Foram calculados os transportes médio e sazonal e suas variabilidades, velocidade máxima e profundidade média para as correntes de contorno oeste superficial (CB) e intermediária (CCI) entre seções determinadas. Também foram descritos os campos de velocidades horizontais médio e sazonais entre as latitudes de 17°S e 24°S e longitudes de 33°W e 42°W e os campos de energia cinética turbulenta média e sazonais entre as latitudes de 17°S e 22°S e longitudes de 33°W e 42°W , referentes as profundidades de 100 m e 800 m, representando a CB e CCI respectivamente.

5.1 Corrente do Brasil

A Corrente do Brasil apresentou de um modo geral comportamentos distintos nos diferentes produtos. Na resolução de $0,02^\circ$, os parâmetros calculados nas seções mostram uma corrente fluindo através dos três transectos e apesar de pouco intensa se apresenta bem definida. Já na resolução de $0,06^\circ$, a menor interferência das feições batimétricas no escoamento não induz a formação de uma corrente bem definida através dos montes que formam a cadeia, neste caso a CB se apresenta como um fluxo resultante médio do VA, fluindo junto a plataforma. Estes comportamentos resultam em uma corrente mais rápida, mais profunda e com o dobro de transporte na resolução de $0,02^\circ$. Ambas resoluções concordam no comportamento sazonal, apresentando maiores valores de transporte e menor variabilidade da corrente para os períodos de primavera e verão e menores transportes e maiores variabilidades para os períodos de outono e inverno.

O comportamento médio dos campos de velocidade horizontal apoiam o padrão descrito pelos transportes através dos transectos. Na resolução de $0,02^\circ$, as feições batimétricas melhores definidas se comportam como uma barreira, interferindo na formação do VA e induzindo a formação de uma corrente bem definida através da cadeia. Já na resolução de $0,06^\circ$, o VA se apresenta bem definido ao largo do ABB. A resolução infe-

rior das feições batimétricas não interfere na circulação e o padrão de escoamento como um fluxo resultante médio pode ser percebido. O comportamento sazonal dos campos de velocidade horizontal possuem diferenças nas diferentes resoluções. Na resolução de $0,02^\circ$ as principais variações no padrão de escoamento ocorreram ao sul da CVT, geradas principalmente pelas variações das intensidades do fluxo entre os canais formados pelos bancos e montes que formam a cadeia. Por sua vez as variações do padrão de escoamento na resolução de $0,06^\circ$ são decorrentes principalmente da variação da configuração do sistema formado pelo VA e o VV.

Os campos de ECT média, assim como os campos velocidade horizontal, apresentam comportamentos distintos nos diferentes produtos. Na resolução de $0,02^\circ$ os maiores valores ocorrem ao sul da cadeia, enquanto na resolução de $0,06^\circ$ a propriedade é distribuída uniformemente entre as regiões norte e sul da CVT. O resultado sugere que as feições batimétricas se comportam como estabilizadores do escoamento. Possivelmente a formação da corrente induzida pelas feições batimétricas retira energia do escoamento atenuando os processos turbulentos na região ao norte da cadeia. No comportamento sazonal não houveram maiores diferenças. Na resolução de $0,02^\circ$, os máximos mantiveram-se ao sul da cadeia como resultados da interação entre a corrente através dos canais/transectos e o VV. Já na resolução de $0,06^\circ$ as regiões de máximo ocorrem ao norte da cadeia em todos períodos indicando processos turbulentos na interação do VA e a CSE.

5.2 Corrente de Contorno Oeste Intermediária

A CCI, assim como a CB, apresentou nas diferentes resoluções comportamentos distintos. Na resolução de $0,02^\circ$, o cálculo do transporte através dos transectos revelou uma corrente com um padrão trifurcado ao contrário da resolução de $0,06^\circ$ onde a corrente flui preferencialmente pelos canais representados pelos transectos II e III. A baixa contribuição do fluxo através do transecto I é consequência principalmente da menor resolução da feição batimétrica, onde na resolução de $0,06^\circ$ o canal atinge profundidades em torno de 500 metros, enquanto na resolução de $0,02^\circ$ atinge profundidades em torno de 1500 metros. Os valores absolutos de transporte e velocidade máxima são praticamente equivalentes. O fluxo concentrado através do transecto II na resolução de $0,06^\circ$ resulta na maior espessura observada, em torno de 2000 metros.

Os campos de velocidade horizontal média apresentaram comportamentos semelhantes em ambas resoluções. A CCI flui como um jato bem definido junto ao talude ao sul da cadeia recebendo um aporte de águas oriundas na Corrente Sul Equatorial em níveis intermediários. Ao norte da cadeia, a mudança brusca de orientação da costa gera uma célula de recirculação anticiclônica formada por parte da corrente que flui ao longo da cadeia. No comportamento sazonal as maiores variações no padrão de escoamento ao sul da cadeia ocorreram na resolução de $0,02^\circ$. Possivelmente a maior definição das feições batimétricas induz uma recirculação do fluxo no embaimento ao sul da cadeia. Ao norte da cadeia os padrões de recirculação variam entre uma os mais células mais ou menos definidas possivelmente como consequência das variações de intensidade do fluxo através da cadeia.

Os campos de energia cinética turbulenta média refletem o comportamento dos campos de velocidades horizontais. Ao sul da cadeia processos turbulentos são observados pra-

ticamente somente na resolução de $0,02^\circ$. Ao norte da cadeia os processos turbulentos apresentam valores absolutos equivalentes, no entanto na resolução de $0,06^\circ$ possui uma maior amplitude. O comportamento sazonal apresenta poucas variações com relação ao comportamento médio. Processos turbulentos permanecem restritos ao norte da cadeia na resolução de $0,06^\circ$ e presentes nas regiões ao norte e sul da cadeia na resolução de $0,02^\circ$ possivelmente relacionados com a intensidade do fluxo através dos canais formados pelos bancos e montes que compõe a cadeia.

5.3 Considerações finais

O presente estudo teve como objetivo investigar a influência das feições batimétricas no escoamento superficial e intermediário na região da Cadeia Vitória-Trindade. Para a CB, os resultados obtidos sugerem que os bancos e montes submarinos que formam a cadeia se comportam como uma barreira. Este comportamento interrompe o padrão de fluxo médio da CB como resultante de sucessivas células de recirculação e induz a formação de uma corrente bem definida através dos canais. O resultado do processo é um aumento dos valores de transporte da corrente que ao cruzar a CVT flui em direção as altas latitudes. A análise dos resultados também sugere que os bancos e montes submarinos que formam a cadeia agem como estabilizadores do fluxo, diminuindo a ocorrência de processos turbulentos ao norte da cadeia. Para CCI, a presença da CVT desintensifica o fluxo através da CVT e as intensidades e amplitudes dos processos turbulentos ao norte da cadeia.

6 BIBLIOGRAFIA

Arruda Souza M. C., 2000 - A Corrente do Brasil ao largo de Santos: medições diretas. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 169 pp.

Brunetti, F., 2008 - Mecânica dos Fluidos I. 2. ed rev. - São Paulo: Pearson Prentice Hall. ISB 978-85-7605-182-4.

Boebel O., Schmid C., Zenk W., 1997 - Flow and recirculation of Antarctic Intermediate Water across the Rio Grande Rise. *J. Geophys. Res.*, 102(C9):20967-20986.

Boebel O., Davis R. E., Ollitrault M., Peterson R. G., Richardson P. L., Schmid C., Zenk W., 1999 - The intermediate depth circulation of the Western South Atlantic. *Geophys. Res. Lett.*, 26(21):3329-3332.

Campos E. J. D., 1995 - Water mass characteristics and geostrophic circulation in the South Brazil Bight: Summer of 1991. *J. Geophys. Res.*, 100(C9): 18537-18550.

Caspel M. R., 2009 - Variabilidade temporal do transporte de volume da corrente do Brasil nas imediações da cadeia submarina Vitória-Trindade. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Rio Grande. 98 p.

Evans D. L., Signorini S. R., Miranda, L. B., 1983 - A note on the transport of the Brazil Current. *J. Phys. Oceanogr.*, 13: 1732-1738.

Evans D. L., Signorini S. R., 1985 - Vertical structure of the Brazil Current. *Nature*, 315: 48-50.

Garfield III N., 1990 - The Brazil Current at subtropical latitudes. Tese de doutorado. University of Rhode Island. 121 p.

Kreyszig E., 2006 - Advanced Engineering Mathematics. 9th ed. Accompanied by instructor's manual. Includes bibliographical references and index. ISBN-13: 978-0-471-72897-9 ISBN -10: 0-471-72897-7

Legeais J., Ollitrault M., Arhan M., 2012 - Lagrangian observations in the Intermediate Western Boundary Current of the South Atlantic. *Deep-sea Research Part II-topical Studies In Oceanography*, 85, 109-126.

Lima J. A. M., 1997 - Oceanic Circulation on the Brazilian Shelf Break and Slope at 22° S, Ph.D. Thesis, University of New South Wales, 164 p.

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

McWilliams J. C., 2006 - *Fundamentals of Geophysical Fluid Dynamics*. Cambridge University Press. 249 p.

Miranda L. B., Castro B. M., 1979 - Geostrophic flow conditions of the Brazil Current at 19° S. *Ciencia Interamericana*, 22(1-2): 44-48.

Motoki A., Silva S., Sichel S. E., Motoki, K. F., 2011 - Origem dos relevos do maciço Mendanha, RJ, movimento de falhas ou erosão diferencial?: análises geomorfológicas por seppômen e sekkokumen com base do ASTER GDEM. *Anais do 13º Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*.

Motoky A., Motoky K. F., Melo D. P., 2012 - Caracterização da morfologia submarina da Cadeia Vitória-Trindade e áreas adjacentes-ES, com base na batimetria predita do topo versão 14.1. *Revista Brasileira de Geomorfologia*.

Muller T. J., Ikeda Y., Zangenberg N., Nonato L. V., 1998 - Direct measurements of the western boundary currents between 20°S and 28°S. *J. Geophys. Res.*, 103(C3): 5429-5437.

Passos L. G., 2011 - Padrões de escoamento baroclínico de mesoescala ao largo do Embaiamento de Tubarão e do Banco de Abrolhos. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 126 pp.

Rodrigues R. R., Rothstein L. M., Wimbush M., 2007 - Seasonal Variability of the South Equatorial Current Bifurcation in the Atlantic Ocean: A Numerical Study. *Journal of Physical Oceanography*, v. 37, pp. 16–30.

Schmid C., 1998 - Die Zirkulation des Antarktischen Zwischenwassers im Südatlantik, Ph.D. Thesis, University of Kiel, Kiel, Germany.

Schmid C., Schafer H., Podesta G., Zenk W., 1995 - The Vitória Eddy and its Relation to the Brazil Current. *J. Phys. Ocgr.*, 25, 2532-2546,

Schmid C., Garzoli, 2009 - New observations of the spreading and variability of the Antarctic Intermediate Water in the Atlantic. *Journal of Marine Research*.

Servino R. N., 2014 - A bifurcação da Corrente do Brasil no Embaiamento de Tubarão e seu papel na formação de vórtices ciclônicos. Dissertação de Mestrado, Universidade do Espírito Santo, 88 pp.

Shchepetkin F., McWilliams J. C., 2005 - The Regional Oceanic Modeling System (ROMS): A Split-Explicit, Free-Surface, Topography-Following-Coordinate Oceanic Model. *OM*, 9(4), 347–404.

Shtokman V. B., 1946 - A Theory of T-S curves as a method for studying the mixing of water masses in the sea. *J. Mar. Res.*, 6(1):1-24

Signorini S. R., 1978 - Contribuição ao estudo da circulação e do transporte de volume da Corente do Brasil entre o Cabo de São Tomé e a baía de Guanabara. *Bolm Inst. oceanogr.*

Silveira I. C. A., Calado L., Castro B. M., Cirano M., Lima J. A. M., Mascarenhas A. S., 2004 - On the baroclinic structure of the Brazil Current Intermediate Western Boundary Current System. *Geophys Res. Lett.*, 31 L1, 4308-4313.

Silveira I. C. A., Lima J. A., Schmidt A. C. K., Ceccopieri W., Sartori A., Fontes R. F. C., 2008 - Is the meander growth in the Brazil Current system due to baroclinic stability? *Dynam. Atmos. Oceans*, 45, 187–207.

Soutelino R. G., Silveira I. C. A., Gangopadhyay A., Miranda J. A., 2011 - Is the Brazil Current eddy-dominated to the north of 20°S? *Geophysical Research Letters*, 38, L03.607.

Soutelino R. G., Silveira I. C. A., Gangopadhyay A., 2013 - The roles of vertical shear and topography on the eddy formation near the site of origin of the Brazil Current. *Continental Shelf Research*, v. 70(1), pp. 46-60.

Stramma L. 1990 - Geostrophic transport in the Brazil Current region north of 20° S. *Deep-Sea Res.*, 37: 1875-1886.

Stramma L., England M., 1999 - On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Oceano 1. *Geophys. Res.*, 104(C9): 20863-20883.

Watari K., 2003 - *Mecânica Clássica*. Vol. 2. Livraria da Física.

Winterle P., 2000 - *Vetores e Geometria Analítica*. Makron Books do Brasil Editora Ltda. São Paulo.