

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
CENTRO DE ESTUDOS DO MAR
PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS COSTEIROS E OCEÂNICOS

REGIANE MOURA

**CARACTERIZAÇÃO DA CORRENTE SUL ATLÂNTICA A PARTIR DE
DERIVADORES RASTREADOS POR SATÉLITE**

Pontal do Paraná

2011

REGIANE MOURA

**CARACTERIZAÇÃO DA CORRENTE SUL ATLÂNTICA A PARTIR DE
DERIVADORES RATREADOS POR SATÉLITE**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos, Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciência da Terra da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Marone

Co-orientador: Prof. Dr. Ronald Buss de Souza

Pontal do Paraná

2011

REGIANE MOURA

**CARACTERIZAÇÃO DA CORRENTE SUL ATLÂNTICA A PARTIR DE
DERIVADORES RATREADOS POR SATÉLITE**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos, Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciência da Terra da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Eduardo Marone – UFPR

Prof. Dr. Carlos Alexandre Domingos Lentini –
UFBA

Prof. Dr. João Antônio Lorenzetti - INPE

Pontal do Paraná, 28 de Março de 2011

M929c Moura, Regiane
Caracterização da Corrente Sul Atlântica a partir de derivadores rastreados por satélite / Regiane Moura. – Pontal do Paraná, 2011. 72 f.; 29 cm.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Marone.
Co-orientador: Prof. Dr. Ronald Buss de Souza.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos, Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

1. Circulação Oceânica. 2. Derivadores Lagrangianos. 2. Corrente Sul Atlântica. I. Título. II. Eduardo Marone. III. Ronald Buss de Souza. IV. Universidade Federal do Paraná.

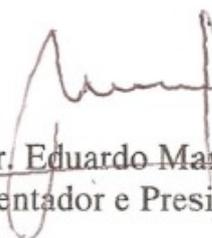
CDD 551.46

“Caracterização da Corrente Sul Atlântica a partir de derivadores rastreados por satélite”

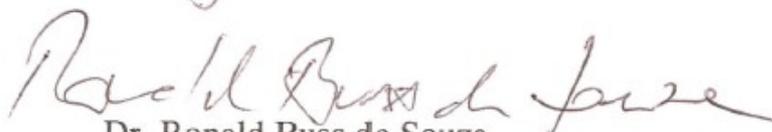
POR

Regiane Moura

Dissertação nº 84 aprovada como requisito parcial do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:



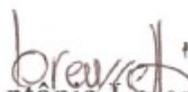
Dr. Eduardo Marone
Orientador e Presidente



Dr. Ronald Buss de Souza
Co-orientador



Dr. Carlos Alexandre Domingos Lentini
Membro Examinador



Dr. João Antônio Lorenzetti
Membro Examinador

Curitiba, 28/03/2011.



Curso de Pós-Graduação em Sistemas
Costeiros e Oceânicos da UFPR
Centro de Estudos do Mar - Setor Ciências da Terra - UFPR
Avn. Beira-mar, s/n.º - Baln. Pontal do Sul - Pontal do Paraná - Paraná - Brasil
Tel. (41)3511 8644 - Fax (41)3511 8644 - www.cem.ufpr.br/pgsisco - pgsisco@ufpr.br

TERMO DE APROVAÇÃO

Regiane Moura

Caracterização da Corrente Sul Atlântica a partir de derivadores rastreados por satélite

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Sistemas Costeiros e Oceânicos, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

Dr. Eduardo Marone
Orientador e Presidente

Dr. Ronald Buss de Souza
Co-Orientador

Dr. Carlos Alexandre Domingos Lentini
Membro Examinador

Dr. João Antônio Lorenzetti
Membro Examinador

Pontal do Paraná, 28/03/2011.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos, seu corpo docente e funcionários a oportunidade de realizar este trabalho, em especial ao meu orientador, Prof. Dr. Eduardo Marone, a disposição e orientação.

Agradeço ao Dr. Ronald Buss de Souza a co-orientação e possibilidade de trabalhar no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, estendendo o agradecimento ao Laboratório de Meteorologia e Oceanografia por Satélites (LAMOS – CRS/INPE) a infraestrutura e apoio.

Aos orientadores, obrigada pelas discussões, conversas e amizade.

Ao amigos do Grupo de Física Marinha (GFM – CEM/UFPR) e do Centro de Estudos do Mar/UFPR, obrigada pelo apoio e amizade nessa caminhada.

Agradeço a CAPES e ao INCT da Criosfera (704222/2009) a bolsa de estudos. Ao PROANTAR, CIRM e CNPq o apoio aos projetos SOS-Climate (520189/2006) e INCT da Criosfera.

Agradeço ao M.Sc. Luis Eduardo de Souza Moraes e ao Prof. Dr. Arcilan Trevenzoli Assireu a montagem do banco de dados e parte das rotinas em Matlab® utilizadas neste trabalho. Agradeço também à M.Sc. Bruna Cerrone por parte das rotinas utilizadas e pelas conversas e discussões, ao Dr. Leopoldo Rota de Oliveira e ao Prof. Dr. Carlos Alexandre Domingos Lentini as contribuições dadas a este trabalho. A Dr. Tatiana Walter ao apoio, incentivo e amizade.

Aos professores da Universidade Federal de São Carlos, em especial a Dra. Ducinei Garcia, o Dr. Nelson Studart Filho e Dr. Anselmo Ortega Boschi.

Aos velhos amigos de São Carlos, novos amigos de Rio Grande e Santa Maria, obrigada!!

Aos meus familiares e amigos, em especial, ao Yuri, pelas conversas, paciência, parceria e motivação.

Agradeço a todos que me ajudaram a concluir mais uma etapa, muito obrigada!

“Tudo se desfaz e se reagrupa, se aproxima e continua. Nada é sólido.”

Heráclito de Éfeso

RESUMO

Nos últimos trinta anos, os derivadores rastreados por satélite tem sido muito utilizados no estudo da circulação oceânica. Neste trabalho foram utilizados dados de 996 derivadores oriundos de programas nacionais e internacionais, possibilitando o cálculo do campo de velocidade média e turbulenta, energias cinéticas média e turbulenta, bem como os parâmetros de escoamento segundo a teoria de Taylor, com o intuito de caracterizar a Corrente Sul Atlântica (CSA). A CSA compõe o limite sul do Giro Subtropical no Oceano Atlântico Sul e possui forte interação com outras correntes, como, por exemplo, a Corrente Circumpolar Antártica. Sua caracterização é importante para a compreensão dos processos de transferência de sal, calor e momento, que determinam sua influência na atmosfera e, conseqüentemente, no clima. As regiões de maior variabilidade observadas foram na Confluência Brasil-Malvinas e na região entre 48 – 49°S e 42 – 37°W, onde a Frente Polar gira e funde-se com a Frente Subantártica. Os maiores valores de velocidade média estimados encontram-se na origem da CSA e na Corrente das Malvinas (CM). A intensidade média da CSA é de aproximadamente 30 cm.s⁻¹. Maiores valores de intensidade de corrente são observados em sua origem decaindo na direção leste. A CSA é composta por um sistema que contém um eixo principal e dois ramos, norte e sul. A CSA-N alimenta a Corrente de Benguela e a CSA-S escoar à leste em direção ao Oceano Índico. O padrão de escoamento observado para a CSA apresenta característica meandrante e alta variabilidade nas regiões onde há interação desta com outras correntes e feições de meso-escala.

Palavras-chave: Circulação Oceânica; Derivadores Lagrangianos; Corrente Sul Atlântica.

ABSTRACT

Over the past thirty years the satellite-tracked drifters have been extensively used in the study of ocean circulation. This work uses data of 996 drifters from national and international programs, enabling the calculation of mean and eddy velocity field, mean and eddy kinetic energy field and flow parameters according to Taylor's theory, in order to characterize the South Atlantic Current (SAC). The SAC is the southern boundary of the subtropical gyre in the South Atlantic Ocean and has strong interaction with other currents, such as the Antarctic Circumpolar Current. Its characterization is important for understanding the processes of salt, heat and momentum transfer, which determine their influence on atmosphere and thus on climate. The observed areas of greatest variability was in the Brazil-Malvinas Confluence and the region between 48 to 49°S and 42 to 37°W, where the Polar Front turn and merges with the Subantarctic Front. The highest estimated values of average speed are at the SAC's source and Malvinas Currents (MC). The mean intensity of SAC's flow is approximately 30 cm.s^{-1} . Higher values of current intensity are observed at its origin decaying towards east. The SAC comprises a system containing a main axis and two branches, north and south. The N-SAC feeds the Benguela Current and the S-SAC leaks to the east toward the Indian Ocean. The flow pattern observed for the SAC presents meandering characteristics and high variability in the regions where it interacts with other currents and mesoscale features.

Keywords: Oceanic Circulation; Lagrangian Drifters; South Atlantic Current

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1 Circulação oceânica.....	21
2.1.1 Propriedades físicas.....	22
2.1.2 Parâmetros de escoamento turbulento.....	24
Escala integral lagrangiana.....	24
Coeficiente de difusão turbulenta.....	25
2.2 Circulação superficial média no Oceano Atlântico Sul.....	26
3 ORIGEM E TRATAMENTO DOS DADOS.....	38
3.1 Conjunto de dados.....	38
3.2 Derivadores rastreados por satélite.....	41
3.3 Filtragem dos dados.....	42
3.4 Caixas geográficas.....	44
3.5 Campo de velocidade média de corrente.....	45
3.6 Energia cinética.....	45
3.7 Escala integral lagrangiana.....	45
3.8 Coeficiente de difusão turbulenta.....	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.1 Campo de velocidade média de corrente.....	47
4.2 Energia cinética.....	57
4.3 Parâmetros de escoamento turbulento.....	60
5 CONCLUSÃO.....	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

LISTA DE SIGLAS

AOML – *Atlantic Oceanographic & Meteorological Laboratory*

CA – Corrente das Agulhas

CB – Corrente do Brasil

CBg – Corrente de Benguela

CBM – Confluência Brasil-Malvinas

CCA – Corrente Circumpolar Antártica

CCB – Corrente Costeira do Brasil

CCNE – Contracorrente Norte Equatorial

CCSE – Contracorrente Sul Equatorial

CG – Corrente da Guiné

CM – Corrente das Malvinas

CNB – Corrente Norte do Brasil

COROAS – Circulação Oceânica na Região Oeste do Atlântico Sul

CSA – Corrente Sul Atlântica

CSA-N – Ramo Norte da Corrente Sul Atlântica

CSA-S – Ramo Sul da Corrente Sul Atlântica

CSE – Corrente Sul Equatorial

CSE-C – Ramo Central da Corrente Sul Equatorial

CSE-E – Ramo Equatorial da Corrente Sul Equatorial

CSE-N – Ramo Norte da Corrente Sul Equatorial

CSE-S – Ramo Sul da Corrente Sul Equatorial

EA – Extensão das Agulhas

ECM – Energia Cinética Média

ECT – Energia Cinética Turbulenta

FGGE – *First GARP Global Experiment*

FP – Frente Polar

FR – Convergência entre a Frente Sub-Antártica e Frente Polar

FSA – Frente Sub-Antártica

FST – Frente Subtropical

GARP – *Global Atmospheric Research Program*

GEOSS – *Global Earth Observing System of Systems*

GOAL – Grupo de Oceanografia de Altas Latitudes

GOOS – *Global Ocean Observing System*

GS – Giro Subtropical

INCT – Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia

INTERCONF – Interação oceano-atmosfera na região da Confluência Brasil-Malvinas

MEDS – *Marine Environmental Data Center*

NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration*

OAS – Oceano Atlântico Sul

PNBoia – Programa Nacional de Boias

PROANTAR – Programa Antártico Brasileiro

PTT – Plataforma de Transmissão por Telemetria

SE – Subcorrente Equatorial

SSE – Subcorrente Sul Equatorial

TSM – Temperatura da Superfície do Mar

UNESCO – *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*

WOCE/TOGA – *World Ocean Circulation Experiment/ Tropical Ocean Global
Atmosphere*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Circulação superficial média do Oceano Atlântico Sul.....	16
Figura 1.2: Distribuição dos derivadores nos oceanos.....	18
Figura 1.3: Representação esquemática das correntes superficiais.....	19
Figura 2.1: Representação do escoamento de grupo bidimensional.....	22
Figura 2.2: Diagrama conceitual da circulação superficial média do Oceano Atlântico Sul.....	26
Figura 2.3: Diagrama conceitual da circulação das águas intermediárias à leste do Atlântico Sul e em torno do sul da África.....	28
Figura 2.4: Estrutura da circulação superficial de larga escala no Oceano Austral..	31
Figura 2.5: Coeficiente de difusividade turbulenta a partir de derivadores lagrangianos no Oceano Atlântico.....	32
Figura 2.6: Comparação entre o mapa de velocidade residual e o mapa do coeficiente de difusividade turbulenta.....	33
Figura 2.7: Radiais 1,2 e 3 para o desenvolvimento do balanço energético da ECT sobre a CSA.....	34
Figura 2.8: Transporte médio zonal lagrangiano no Oceano Atlântico Sul.....	36
Figura 2.9: Componente zonal da velocidade obtida por flutuadores e derivadores superficiais entre 0° e 10°E e de 10°W a 0° (à norte de 37°S).....	37
Figura 3.1: Gráfico comparativo da cobertura temporal dos seis bancos de dados.	40
Figura 3.2: Trajetória dos derivadores rastreados por satélite para cada banco de dados utilizado no trabalho.....	40
Figura 3.3: Croqui de um derivador lagrangiano.....	41
Figura 3.4: Ilustração da lógica de posições sequenciais utilizada.....	43
Figura 3.5: Número de derivadores e observações disponíveis em cada caixa de 0,5° x 0,5°	44

Figura 4.1: Setores representativos das principais regiões.....	47
Figura 4.2: Intensidade média de corrente e desvio padrão médio.....	49
Figura 4.3: Componentes zonal e meridional do campo de velocidade.....	50
Figura 4.4: Componentes turbulentas zonal e meridional do campo de velocidade.....	51
Figura 4.5: Histograma das intensidades médias de corrente em intervalos de 5° de longitude.....	53
Figura 4.6: Representação esquemática do escoamento da Corrente Sul Atlântica.....	56
Figura 4.7: Energias cinéticas média e turbulenta.....	58
Figura 4.8: Escalas integrais lagrangianas temporal e espacial em função das componentes turbulentas zonal e meridional.....	61
Figura 4.9: Coeficiente de difusividade turbulenta zonal e meridional.....	62
Figura 4.10: Coeficiente de difusividade turbulenta zonal e meridional em função das componentes turbulentas zonal e meridional.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Número de derivadores e série de dados utilizadas no trabalho.....	39
Tabela 4.1: Valores da intensidade média e desvio padrão médio; componentes médias e turbulentas do campo de velocidade de corrente.....	48
Tabela 4.2: Valores médios de \bar{V} e desvio padrão médio para os transectos na CSA	54
Tabela 4.3: Valores médios de \bar{V} e desvio padrão médio para os transectos na CSA-N e na CSA-S.....	54
Tabela 4.4: Valores médios da ECM, ECT e ECT/EC _{total} para a área de estudo.....	57
Tabela 4.5: Valores médios da ECM, ECT e ECT/EC _{total} para os transectos na CSA, CSA-N e CSA-S.....	59
Tabela 4.6: Valores médios dos parâmetros de escoamento e velocidades residuais para os setores.....	63
Tabela 4.7: Valores dos parâmetros de escoamento da CSA, CSA-N e CSA-S.....	64

1. INTRODUÇÃO

A caracterização das correntes oceânicas, em particular a descrição de seu campo de velocidade e energia, é de fundamental importância para a compreensão dos processos de transferência de sal, calor e momento nos oceanos. Estes processos, por sua vez, determinam a influência dos oceanos na atmosfera e, conseqüentemente, no clima.

No Oceano Atlântico Sul há um grande giro de circulação superficial (fig. 1.1), centrado em latitudes subtropicais, e limitado ao norte pela Corrente Sul Equatorial (CSE) e ao sul pela Corrente Sul Atlântica (CSA), formando assim, o Giro Subtropical. Ao norte, a CSE fluindo de leste para oeste, se bifurca quando atinge a costa brasileira formando a Corrente Norte do Brasil (CNB), que flui para norte junto à costa, e a Corrente do Brasil (CB) que flui no sentido sul. Aproximadamente entre 36°S e 39°S, a CB encontra-se com a Corrente das Malvinas (CM), na região conhecida como Confluência Brasil-Malvinas (CBM). Quando a CB se separa da costa, ou seja, quando reverte sua direção, entre 40°S e 46°S, origina-se a Corrente Sul Atlântica.

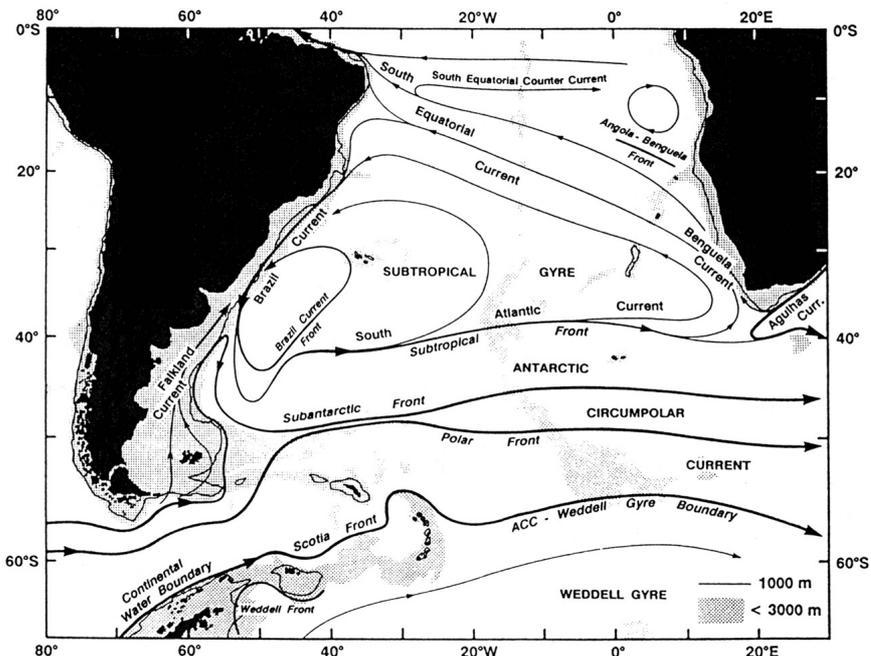


Figura 1.1: Circulação superficial média do Oceano Atlântico Sul (Fonte: Peterson & Stramma, 1991).

O estudo da dinâmica dos oceanos se dá pela determinação de seu estado e sua cinética. O primeiro é determinado pelo campo de massa, determinado por sua vez pela distribuição de calor e sal (além das forças internas agindo sobre ele); enquanto que a determinação da cinética se dá pela distribuição de suas correntes.

Pickard (1968) propõe como indicador lagrangiano de correntes de superfície qualquer flutuante que derive com mínima influência do vento, ou seja, que possua pequena porção de sua área exposta sobre a superfície da água. Para estudar o estado e a cinética de grandes áreas oceânicas, muitos projetos utilizaram derivadores lagrangianos de diferentes tipos como indicadores do campo de correntes. As sucessivas posições dos derivadores ao longo do tempo, quando plotadas, dão informação sobre suas trajetórias e conseqüentemente das correntes em questão (Assireu *et al.*, 1998). Derivadas, estas informações permitem a determinação da velocidade e energia das correntes. A abordagem lagrangiana permite o mapeamento da estrutura horizontal do campo de fluxo através da determinação de linhas de corrente. Mais recentemente, é cada vez mais comum a utilização de derivadores rastreados por satélite.

Tais derivadores são flutuadores que comportam equipamentos de aquisição e transmissão de dados, alimentados por um conjunto de baterias e acoplados a uma vela submersa (Assireu, 2003). Os derivadores superficiais fornecem medidas de corrente e temperatura da superfície do mar (TSM) e tornaram-se uma ótima ferramenta para observar processos, como transporte turbulento de momento e calor. Suas trajetórias lagrangianas são dispostas em caixas ou *bins* com o propósito de gerar mapas do campo de velocidade de corrente e, a partir disto, estimar o campo turbulento (Lumpkin, 2003).

A tecnologia de posicionamento por satélites, no início dos anos 70, permitiu monitorar a posição dos derivadores de superfície em qualquer parte do oceano em intervalos de tempo curtos e, conseqüentemente o estudo da circulação global (Lumpkin & Pazos, 2007). A figura 1.2 apresenta o arranjo de derivadores dispostos no oceano atualmente.

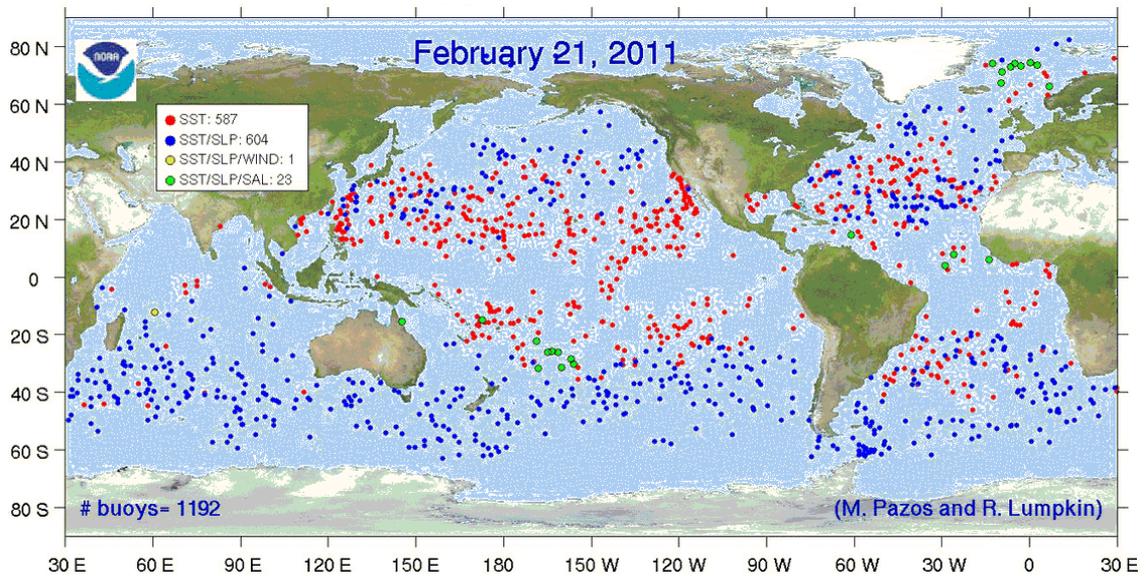


Figura 1.2: Distribuição dos derivadores nos oceanos (Fonte: Pazos & Lumpkin, 2011).

Segundo Oliveira (2008), vários autores já utilizaram dados oriundos de boias para descrever a variabilidade de larga escala no Hemisfério Sul ou a variabilidade de meso-escala na região da CBM (e.g., Patterson, 1985; Piola *et al.*, 1987; Olson *et al.*, 1988; Figueroa & Olson, 1989; Shafer & Krauss, 1995). O próprio Oliveira (2008) é um exemplo destes estudos, além de Souza (2000), Souza & Robinson (2004) e Cerrone (2010). Entretanto, segundo Souza *et al.* (2008), novos dados oriundos de vários programas internacionais e nacionais para o Oceano Atlântico Sudoeste, ainda não foram usados para uma descrição mais detalhada das correntes marinhas na região sul do Oceano Atlântico Sul.

Na bibliografia consultada não foram encontrados trabalhos de caracterização da CSA a partir de derivadores rastreados por satélite. Os trabalhos de circulação superficial no Oceano Atlântico Sul envolvendo a CSA não são específicos para essa corrente ou utilizaram equipamentos e tratamento de dados diferentes. A proposta deste trabalho é caracterizar a CSA em todo o seu eixo zonal, da costa sul-americana à costa sul-africana. Assim, a região de estudo foi delimitada entre as latitudes de 30° a 50°S e 65°W a 5°E, abrangendo a parte sul do Giro Subtropical, no Oceano Atlântico Sul (fig. 1.3).

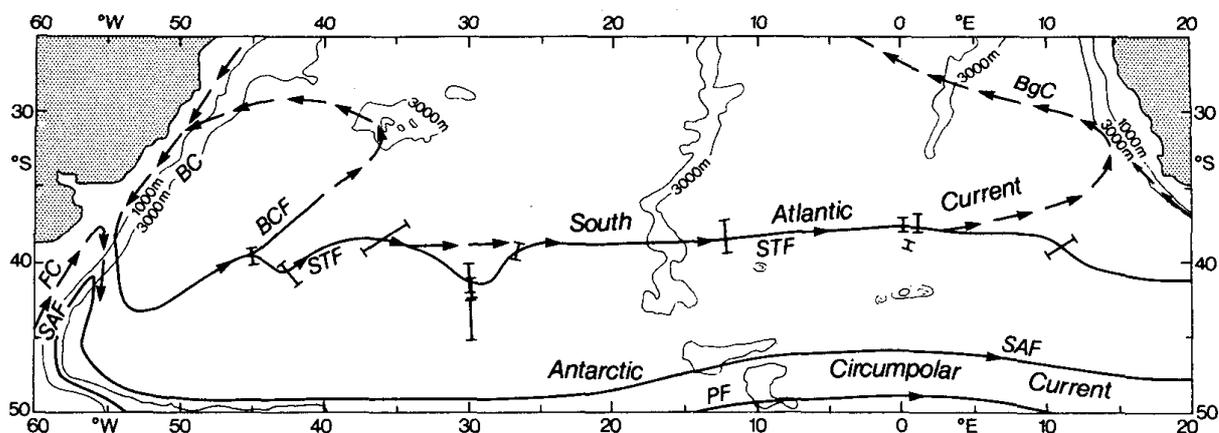


Figura 1.3: Representação esquemática das correntes superficiais no Oceano Atlântico Sul (Fonte: Stramma & Peterson, 1990)

O presente trabalho de pesquisa está inserido no contexto do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia da Criosfera, que é dedicado ao estudo da variabilidade de diferentes componentes da massa de gelo planetária (gelo marinho antártico, geleiras e o manto de gelo antártico, geleiras andinas, permafrost) e sua resposta às mudanças climáticas (Simões, 2008). Particularmente, este trabalho é uma extensão do projeto “Estudo da interação oceano-atmosfera na região da Confluência Brasil-Malvinas e sua relação com processos oceânicos e atmosféricos subantárticos e antárticos” (INTERCONF).

O INTERCONF, iniciativa multidisciplinar e interinstitucional, tem por objetivo principal o estudo da dinâmica da região oceânica e atmosférica do Oceano Atlântico Sudoeste e sua relação com os processos oceânicos e atmosféricos dos ambientes de altas latitudes no Oceano Atlântico e Austral (Souza *et al.*, 2008)

Deste modo, no intuito de complementar aos esforços do INTERCONF e do INCT Criosfera, o objetivo geral do presente trabalho é verificar e analisar os padrões de variabilidade espacial e temporal da Corrente Sul Atlântica no Oceano Atlântico Sul, utilizando dados lagrangianos pretéritos medidos por bóias de deriva em vários programas nacionais e internacionais.

Para atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos são estabelecidos:

- 1) Decompor e estimar o campo de velocidade de corrente, bem como suas perturbações;
- 2) Identificar as regiões mais energéticas através das estimativas das energias cinéticas média e turbulenta;
- 3) Estimar e analisar os parâmetros de escoamento turbulento: escalas integrais de tempo e espaço para a região;
- 4) Estimar e analisar os coeficientes de difusividade turbulenta.

O documento está estruturado de modo a apresentar no capítulo 2 os subsídios teóricos à compreensão dos fenômenos de circulação oceânica, suas propriedades e respectivo equacionamento. Mais especificamente, apresenta-se um subitem que descreve a circulação superficial no Oceano Atlântico Sul, com os principais estudos realizados nesta região. O capítulo 3 apresenta a origem e o tratamento dos dados utilizados, com a descrição dos programas e os equacionamentos matemáticos a que os dados foram submetidos. O capítulo 4 é composto pela apresentação e discussão dos resultados. No Capítulo 5 são feitas as conclusões do trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta, dentre as referências bibliográficas consultadas, os princípios para a compreensão do estudo realizado, bem como, trabalhos que orientam esta dissertação. Inicialmente são demonstrados os princípios físicos de interesse para a compreensão da circulação oceânica e, em seguida, discutí-los para o Oceano Atlântico Sul.

2.1 Circulação oceânica

O estudo sobre a dinâmica das correntes oceânicas é de fundamental importância para o entendimento do clima na Terra. Tais correntes distribuem calor e com isso equilibram o clima do planeta.

As correntes oceânicas são geradas basicamente pela combinação de dois fatores: (1) o atrito do vento e (2) a variação da densidade da água do mar (Pickard, 1968). A circulação gerada pelo vento ocorre principalmente nas primeiras centenas de metros de profundidade, ou seja, nas camadas superficiais. Já a circulação termohalina, tem seus efeitos em águas profundas, sendo que a variação da densidade é causada por variações na temperatura, entre as regiões de baixas e altas latitudes no interior do oceano, ou salinidade. Em algumas regiões, as correntes oceânicas podem gerar meandros, que podem resultar em anéis (ou vórtices), caracterizando as feições de meso-escala.

Segundo Pickard (1968), são basicamente duas as maneiras de descrever um fluxo em determinado fluido: o método euleriano, que especifica o campo de velocidade do fluido em cada ponto do espaço; e o método lagrangiano, que descreve a trajetória de cada parcela fluida em função do tempo. Em ambos os casos, o espaço é referido a um sistema de eixos estacionário em relação à terra.

No presente trabalho, as propriedades físicas relacionadas ao estado de movimento estudado, foram: velocidade de corrente, energia cinética e parâmetros de escoamento segundo a teoria de Taylor (1920), a saber: escalas

integrais lagrangianas e coeficiente de difusividade turbulenta. Para isso, utilizou-se um conjunto de dados pretéritos coletados por derivadores (ver capítulo 3).

2.1.1 Propriedades físicas

Descrevemos um campo fluido pelas velocidades em diferentes pontos do campo. No estudo dos campos encontram-se três tipos de quantidades: escalares, vetoriais e tensoriais (Sissom & Pitts, 1979). Em oceanografia física, a velocidade é sem dúvida a principal componente a ser mensurada para o estudo de circulação das correntes oceânicas. Com esta variável é possível descrever os tipos de movimento e, assim, caracterizar o tipo de fluxo (Thorpe, 2007).

Dado o campo de velocidade, $\mathbf{V} = \mathbf{i}u + \mathbf{j}v + \mathbf{k}w$, a equação diferencial para uma *linha de corrente* em duas dimensões (plano x - y) pode ser obtida por:

$$u = \frac{dx}{dt} \text{ e } v = \frac{dy}{dt} \text{ (eq. 2.1)}$$

e, a figura 2.1 apresenta o escoamento de grupo bidimensional, apresentando os pontos de velocidade mínima e máxima dentro de cada grupo (Sissom & Pitts, 1979).

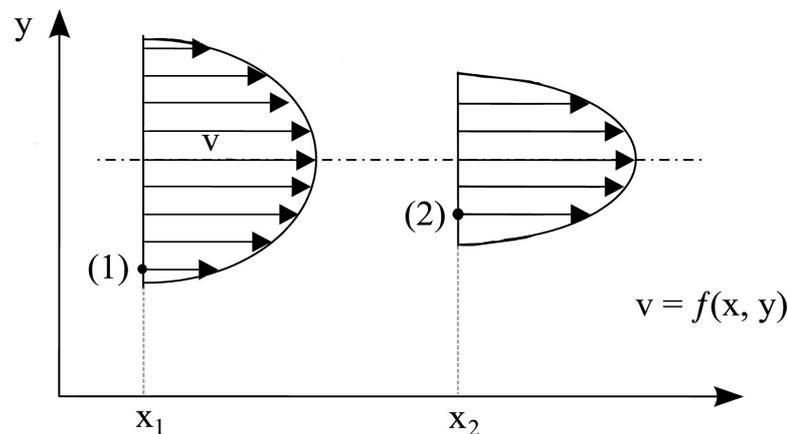


Figura 2.1: Representação esquemática do escoamento de grupo bidimensional. Os pontos 1 e 2 representam os pontos de mínimo e a linha tracejada, os pontos de máximo ou ponto de inflexão para o escoamento de grupo (Fonte: Sissom & Pitts, 1979)

Se a aceleração local for nula, $\partial \mathbf{V} / \partial t = 0$, o movimento é considerado *estacionário*. A velocidade não varia com o tempo, embora ela possa variar de ponto a ponto no espaço. Eliminando o tempo dt na equação 2.1, temos:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{v}{u} \Rightarrow v dx = u dy \quad (\text{eq. 2.2})$$

Deste modo tem-se a velocidade dependendo somente da posição.

Em 1883, Osborne Reynolds, quando injetava corantes em correntes num tanque, observou dois tipos distintos de escoamento (Sissom & Pitts, 1979):

- *Escoamento laminar*: em velocidades relativamente baixas as partículas se movem muito regularmente, permanecendo paralelas em todas as partes, movendo-se ao longo de uma linha reta.
- *Escoamento turbulento*: em velocidades mais elevadas, as partículas se interrompem e movem-se em sentido contrário ao da corrente, até que o fluxo se torna turbulento em toda a parte.

O escoamento turbulento é caracteristicamente não-estacionário. Desta forma, para um entendimento completo, o fluxo deve ser tratado tanto como estacionário ($\bar{\mathbf{V}} = F(x, y, z)$) quanto como não-estacionário ($\mathbf{V}' = G(x, y, z, t)$).

Neste caso, a velocidade \mathbf{V} compõe-se de um valor médio $\bar{\mathbf{V}}$ e das componentes de flutuação caótica (componente turbulenta) da velocidade u' , v' e w' , isto é, $\mathbf{V} = \bar{\mathbf{V}} + i u' + j v' + k w'$ ou, na direção x , $u = \bar{u} + u'$. Desta forma, o campo de velocidade é dividido, no movimento bidimensional, em uma média temporal $\bar{\mathbf{V}}$ e um desvio sobre a média \mathbf{V}' . Portanto as componentes zonal e meridional são dadas por:

$$u = \bar{u} + u' \quad \text{e} \quad v = \bar{v} + v' \quad (\text{eq. 2.3})$$

O produto dessas perturbações em cada elemento de grade pode ser obtido por:

$$\overline{u' u'} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u'_i u'_i \quad \text{e} \quad \overline{v' v'} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v'_i v'_i \quad (\text{eq. 2.4})$$

As componentes das perturbações da velocidade no oceano, isto é, u' e v' são principalmente devido a vórtices e meandros, se as flutuações de alta frequência, como ondas inerciais e marés, forem removidas. Assim, as componentes das

velocidades turbulentas contêm informações oriundas do campo de meso-escala (Schäfer & Krauss, 1995).

Logo, com os parâmetros definidos acima podem ser calculadas: velocidade média de corrente, velocidade turbulenta, energias cinéticas média e turbulenta (ver capítulo 3), bem como os parâmetros de escoamento.

2.1.2 Parâmetros de escoamento turbulento

Entender os mecanismos que controlam as propriedades de transporte e da camada de mistura a partir de vórtices de meso-escala é a fundamental para o entendimento da circulação dos oceanos. Uma parametrização do efeito destes vórtices na circulação de larga-escala é importante tanto para modelos climáticos como para estudos *in situ* dos processos dinâmicos (Sallée *et al.*, 2008; Stammer, 1998) .

Nos últimos anos, houve um aumento nos estudos utilizando formalismo estatístico a partir de dados coletados com flutuadores de sub-superfície e derivadores superficiais, principalmente nos oceanos Atlântico e Pacífico (Cerrone, 2010; LaCasce, 2008; Oliveira, 2008; Sallée *et al.*, 2008, Zhurbas & Oh, 2004; Assireu, 2003; Lumpkin *et al.*, 2002).

O formalismo lagrangiano é bem adequado para descrever o transporte turbulento, já que o movimento segue os elementos infinitesimais do fluido. Na mesma linha de pensamento, as contribuições mais importantes incluem os trabalhos realizados por: Taylor (1920), que estudou a estatística do deslocamento de uma única partícula num fluido; Richardson (1926), que estudou a dispersão de um par de partículas; e Batchelor (1949, 1952), que estabeleceu uma conexão entre o movimento estatístico da partícula num fluido e o campo de concentração da difusão contaminante (Yeung, 2002).

Escalas integrais lagrangianas

Os parâmetros de escoamento segundo a teoria de Taylor (1920) consideram o escoamento turbulento como homogêneo e estacionário.

Assim, pode-se definir a escala integral temporal T por:

$$T = \int_0^{\infty} R(\tau) d\tau ; \text{ onde } R(\tau) = \frac{1}{\bar{V}'^2 T_{max}} \int_0^{T_{max}} V'(t) V'(t+\tau) dt \quad (\text{eq. 2.5})$$

sendo $R(\tau)$ a função de autocorrelação.

Segundo Thorpe (2007), o menor período (τ), em que R “corta” o primeiro zero da integral, fornece uma medida aproximada da escala de tempo no qual o movimento continua a ser coerente. De acordo com a equação 2.5, a escala integral espacial L pode ser estimada a partir da componente turbulenta e da escala integral temporal por:

$$L = \sqrt{\bar{V}'^2} T \quad (\text{eq. 2.6})$$

A escala integral temporal é o período em que a partícula permanece fortemente correlacionada com si mesma, e a escala integral espacial é a distância percorrida no instante T (Sallée *et al.*, 2008; Schäfer & Krauss, 1995; Figueroa & Olson, 1989; Krauss & Böning, 1987). Os valores de T e L razoáveis são de 2 a 6 dias e de 20 a 50 km, respectivamente (Thorpe, 2007).

Coefficiente de difusão turbulenta

A difusão é um processo aleatório das moléculas e ocorre sempre que há um gradiente de concentração, potencial ou de pressão de qualquer espécie molecular (Sears & Salinger, 1979). Essa força motriz produz o transporte de um componente da mistura de uma região de alta concentração para uma região de baixa concentração. O fenômeno pode ser descrito como um transporte de matéria ou transferência de massa. Como se trata de um processo de mistura, as moléculas distribuem-se por todo o volume. Se a mistura passar por uma agitação, o processo passa a ser considerado turbulento, ou difusão turbulenta. A partir da equação 2.5, o coeficiente de difusividade lateral turbulenta (K) é estimado por:

$$K = \bar{V}'^2 \int_0^t R(\tau) d\tau = \bar{V}'^2 T \quad (\text{eq. 2.7})$$

2.2 Circulação superficial no Oceano Atlântico Sul

A circulação superficial no Oceano Atlântico Sul (OAS) engloba um Giro Subtropical (GS) anticiclônico (fig. 2.2) de larga escala formado pela Corrente Sul Equatorial (CSE), Corrente do Brasil (CB), Corrente Sul Atlântica (CSA) e Corrente de Benguela (CBg) (Stramma & England, 1999, Reid *et. al.*, 1977).

Centrado em latitudes subtropicais próximas de 36°S , o GS estende-se entre $23 \pm 1^{\circ}\text{S}$ e $46 \pm 1^{\circ}\text{S}$ (Núñez-Riboni *et al.* 2005). Alcança profundidades entre 500 e 1000 m (Peterson & Stramma, 1991), sendo que o limite norte possui profundidade em torno de 200m e o limite sul cerca de 800m.

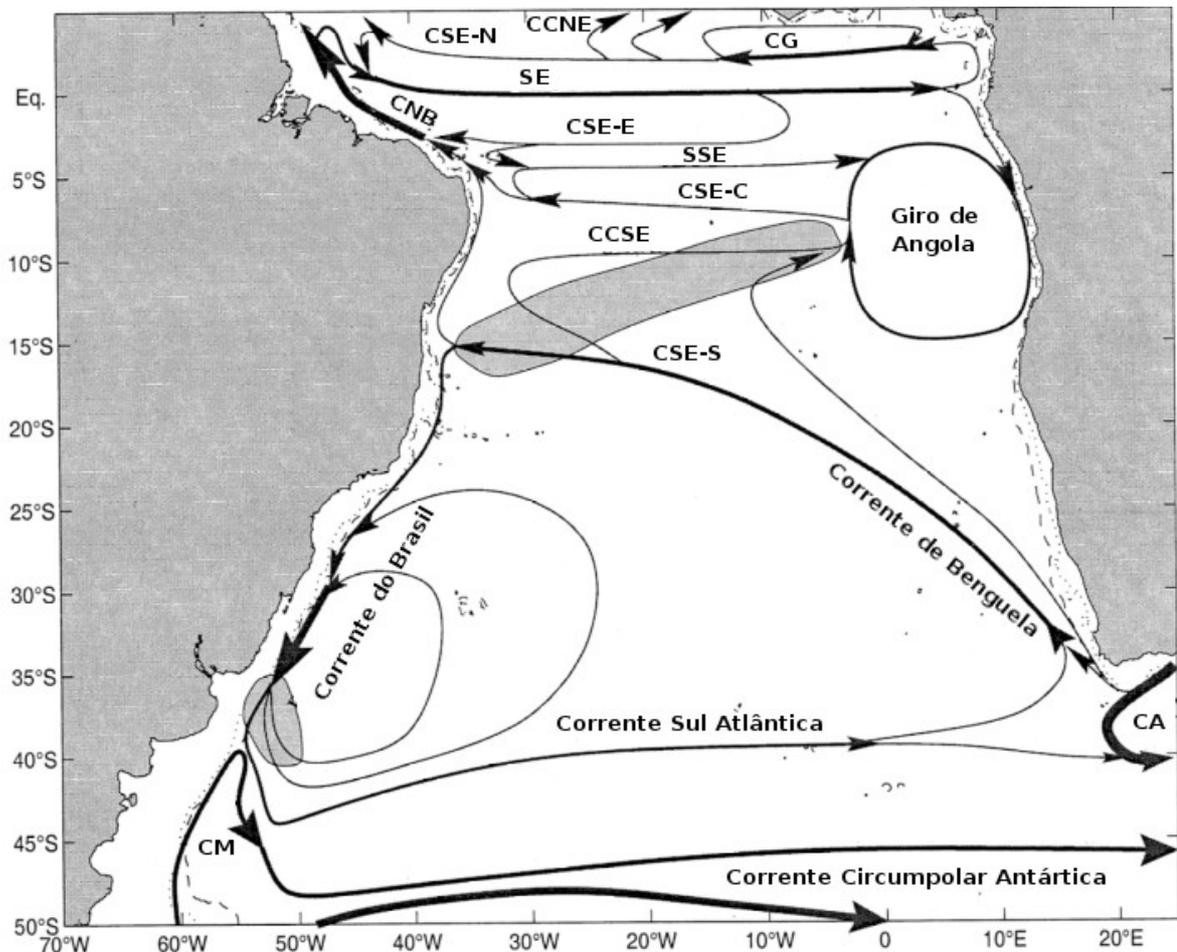


Figura 2.2: Diagrama conceitual da circulação superficial média do Oceano Atlântico Sul, indicando: Contracorrente Norte Equatorial (CCNE); Ramo Norte da Corrente Sul Equatorial (CSE-N); Corrente da Guiné (CG); Subcorrente Equatorial (SE); Ramo Equatorial da Corrente Sul Equatorial (CSE-E); Subcorrente Sul Equatorial (SSE); Corrente Norte do Brasil (CNB); Ramo Central da Corrente Sul Equatorial (CSE-C); Contracorrente Sul Equatorial (CCSE); Ramo Sul da Corrente Sul Equatorial (CSE-S); Corrente das Malvinas (CM); e Corrente das Agulhas (CA) (Fonte: Adaptado de Stramma & England, 1999).

Ao norte a CSE flui em direção nordeste, entre 22°S e 32°S aproximadamente (Núñez-Riboni, *et al.* 2005), e possui três núcleos: o ramo sul (CSE-S), o ramo central (CSE-C) e o ramo norte (CSE-N). Ao atingir as proximidades do talude continental, em aproximados 15°S (Castro *et al.*, 2006), bifurca-se formando duas correntes que fluem em sentidos opostos: a Corrente Norte do Brasil (CNB) que flui para norte e a Corrente do Brasil (CB) fluindo em sentido sul (Peterson & Stramma, 1991). Parte da CNB deflete para norte, e então para leste, integrando-se à Contracorrente Norte Equatorial (CCNE).

A CB flui em direção sul fechando o contorno oeste do Giro Subtropical. Estende-se até aproximadamente 40°S, podendo alcançar até 46°S (Gan *et al.*, 1998), ao longo da costa. Uma parte do ramo flui para leste e outra parte dá origem à uma célula de recirculação, ou sub-giro ciclônico (Stramma & Peterson, 1990; Reid *et al.*, 1977).

Ao sul de 50°S, a Corrente Circumpolar Antártica (CCA) move-se em direção leste a partir da Passagem de Drake. É dirigida principalmente por ventos de oeste, entre 45 e 55°S aproximadamente (Danilov, *et al.*, 2003). Parte do ramo flui em direção norte, nas proximidades da Bacia Argentina, originando a Corrente das Malvinas (CM) (Gan *et al.*, 1998; Schäfer & Krauss, 1995).

Oliveira (2008) observou um forte escoamento associado à uma parte da CCA, marcado pela Frente Sub-Antártica (FSA) ao longo do ramo sul da Bacia Argentina (~ 49°S). Um escoamento zonal associado à Frente Polar (FP) próximo de 52°S, porém seguindo seu caminho, essa última gira em direção norte (~ 42°W) fundindo-se com a FSA entre 49°S – 40°W (Orsi *et al.*, 1995).

A CM flui em direção norte, transportando águas mais frias ao longo da costa, onde encontra a CB (~ 38 – 40°S) e então inverte sua direção à leste. Aproximadamente entre 36°S e 39°S (média entre inverno e verão), a CB encontra-se com a CM, região também conhecida como Confluência Brasil-Malvinas (CBM) (Stramma & Peterson, 1990; Reid *et al.*, 1977).

À leste da CBM, a retroflexão da CB possui um escoamento meandrante em direção nordeste que se divide em dois ramos: um fluindo em direção leste marcando a origem da CSA (40°S – 50°W) e o outro originando a célula de

recirculação da CB. A posição da CBM varia sazonalmente, sendo localizada mais ao norte durante o inverno austral e mais ao sul durante o verão (Castro *et al.*, 2006; Gan *et al.*, 1998; Stramma & Peterson, 1990). O campo de escoamento médio da CBM aparece centrado próximo de 42°S – 53°W (Oliveira, 2008).

A Corrente Sul Atlântica é centrada em aproximadamente 40°S, com características meandranes variando entre 33°S e 46°S. O núcleo da CSA, identificado pelo valor mais alto do transporte médio zonal, foi localizado em 44°S, por Núñez-Riboni *et al.* (2005).

À sudeste da CBM, encontra-se uma elevação conhecida por *Zapiola Rise*, centrado em 45°S e 45°W e estendendo-se por 1000 km na direção zonal e 600 km na direção meridional. Algumas observações *in situ* revelam a presença de uma circulação anticiclônica em torno da elevação (Saraceno *et al.*, 2009).

Fechando o Giro Subtropical, a corrente de contorno leste, denominada Corrente de Benguela (CBg) fluindo para nordeste, é alimentada pelos fluxos da CSA e pela intrusão de águas do Oceano Índico através da retroflexão da Corrente das Agulhas (fig. 2.3).

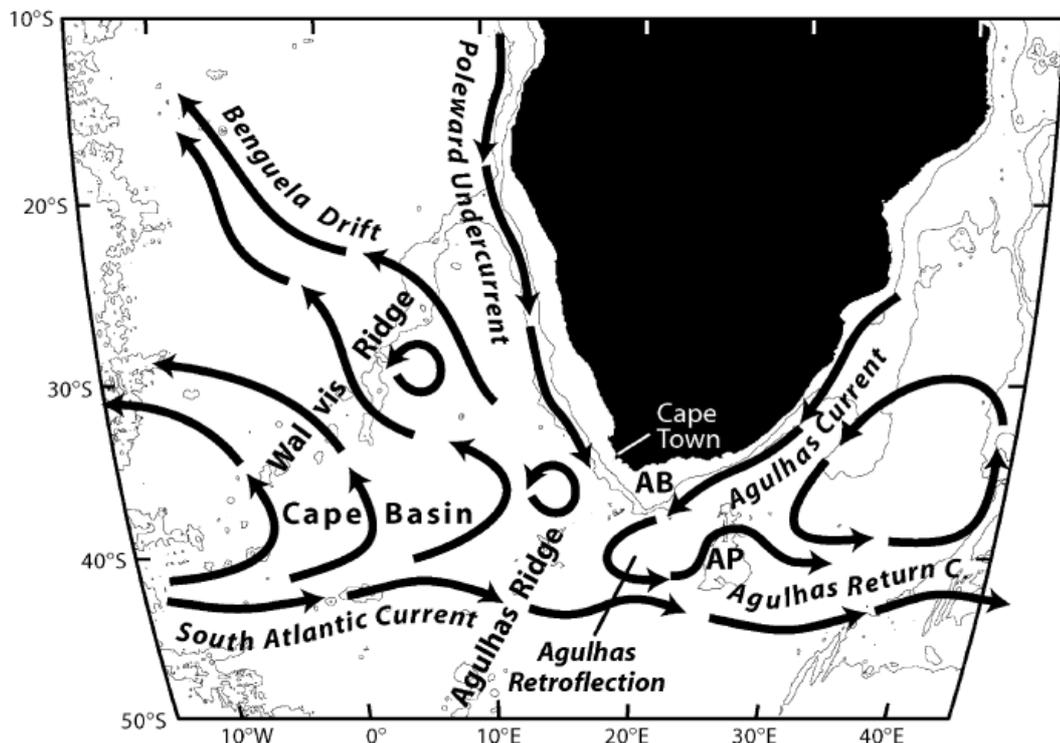


Figura 2.3: Diagrama conceitual da circulação das águas intermediárias à leste do Atlântico Sul e em torno do sul da África. AB refere-se ao Banco das Agulhas e AP ao Platô das Agulhas (Fonte: Richardson *et al.*, 2003)

O Oceano Atlântico Sul passou a ser melhor estudado a partir de 1978 com o *First GARP Global Experiment* (FGGE), como parte do *Global Atmospheric Research Program* (GARP), que operou entre 1967 e 1982. O esforço internacional envolveu agências de pesquisa de oito países com o intuito de investigar a meteorologia e a oceanografia no Hemisfério Sul, entre 20°S e 65°S. Mais de 300 derivadores de superfície foram dispostos no oceano com o objetivo de medir a pressão atmosférica ao nível do mar e a temperatura superficial destas águas oceânicas (Large & van Loon, 1989; Garret, 1980; UNESCO, 1978).

Patterson (1985) utilizou dados coletados por 316 derivadores, agrupados em caixas de 5° de latitude e 5° de longitude (5° lat/lon), para estimar valores da circulação superficial média, bem como as energias cinéticas. Valores de energia cinética total por unidade de massa, em intervalos menores que 200 cm².s⁻², foram encontrados em áreas isoladas do Giro Subtropical; e valores de até mais de 4000 cm².s⁻² no sul da África, onde a Corrente das Agulhas encontra a Corrente Circumpolar Antártica. Segundo o autor, a distribuição da energia cinética é altamente zonal. Valores maiores que 200 cm².s⁻² foram observados na CSE e na CCA e valores menores que 200 cm².s⁻², na região entre essas correntes. A distribuição da Energia Cinética Turbulenta (ECT) é influenciada pelas correntes de contorno oeste. Os valores de ECT menores que 100 cm².s⁻² são encontrados em regiões entre 10°S e 20°S e valores maiores que 4000 cm².s⁻², nas proximidades da costa sul da África.

Piola *et al.* (1987) utilizaram 280 derivadores para estimar o campo de velocidade de corrente ao sul de 20°S, dispostos em caixas de 4° lat/lon. Os valores de Energia Cinética Média (ECM) e ECT encontrados foram de 200 e 500 cm².s⁻², na CB; de 500 e 300 cm².s⁻², na CM e de 200 e 1200 cm².s⁻², na CBM, aproximadamente, estando de acordo com Patterson (1985). Na região central do giro subtropical, os valores de ECM e ECT encontrados foram de 15 e 230 cm².s⁻².

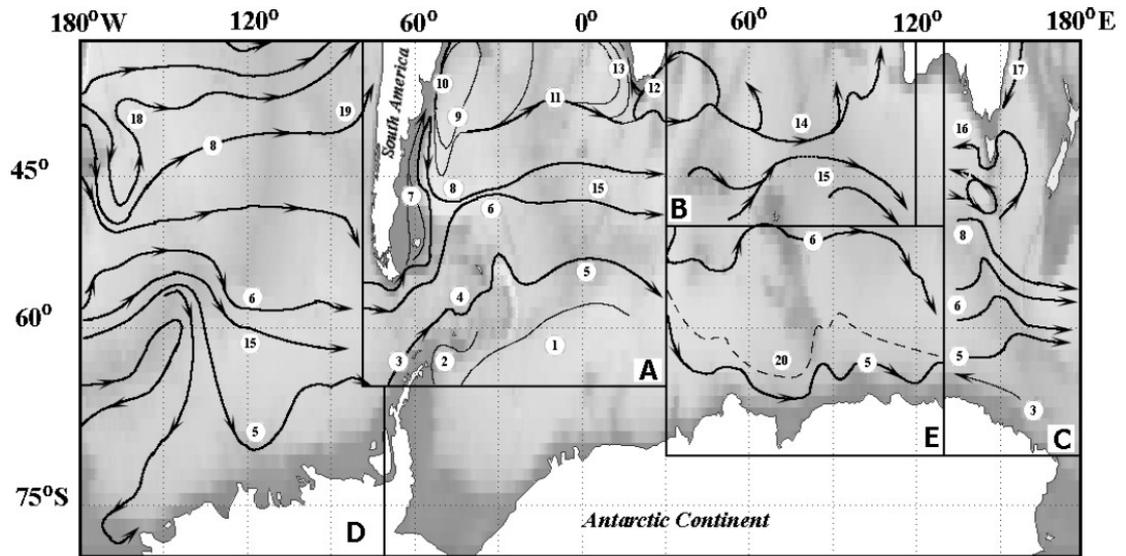
Johnson (1989) utilizou dados coletados por 300 derivadores, agrupados em caixas em 5° lat/lon e estimou valores para as escalas integrais temporais, obtendo 14 dias para a velocidade zonal e 11 dias para a meridional, aproximadamente. Os valores das energias cinéticas estimados são menores

quando comparados com Patterson (1985) e Piola *et al.* (1987). Os valores de ECT, para o contorno oeste do OAS, ficam em torno de $500 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-2}$. As regiões mais energéticas, segundo este estudo, são a costa sul da África e a porção oeste do Atlântico.

Os parâmetros de escoamento segundo a teoria de Taylor (1920), foram estudados por Figueroa & Olson (1989). Os autores estimaram valores para as escalas integrais lagrangianas (espacial e temporal), bem como o coeficiente de difusividade e dispersão. Perceberam que, a partir de um certo tempo, a curva de difusão e dispersão tem uma tendência a divergir devido ao cisalhamento médio da corrente.

Danilov *et al.* (2003) organizaram um resumo dos resultados da média mensal da circulação superficial no Oceano Austral a partir das trajetórias coletadas pelo FGGE entre 1978 e 1980. Apontaram regiões com valores significativos para as energias cinéticas, para a variação da posição da CBM e para o alcance da CB. A CBM oscila somente entre 40°S e 45°S e a CB alcança até 48°S , mas não penetra na CCA. A figura 2.4 apresenta o mapa da circulação superficial de larga escala no Oceano Austral gerado a partir de um conjunto de trabalhos realizados na região com os dados do FGGE.

Da realização do FGGE até os dias atuais, diversos programas aprofundam o estudo do Oceano Atlântico Sul fazendo uso de derivadores rastreados por satélite. Entre eles, Stramma & Peterson (1990), contando com uma base de dados hidrográficos histórica, investigaram o limite hidrográfico do Giro subtropical: com a CCA; com a Frente Subtropical (FST); e com a CSA. Os autores estimaram o volume de transporte da CSA sendo de 30 Sv podendo alcançar até 37 Sv, nas proximidades da Bacia Argentina, que é comparável ou até mais forte que a CB. A medida que a CSA flui para leste, antes de girar e alcançar a CBg, o volume de transporte é reduzido a algo como 15 Sv, aproximadamente.



- | | | | |
|----|---------------------------------|----|---|
| A | (Peterson & Stramma, 1991) | B | (Stramma, 1992) |
| 1 | Giro do Mar de Weddell | 14 | Corrente Sul Indiana |
| 2 | Frente do Mar de Weddell | 15 | Corrente Circumpolar Antártica |
| 3 | Contorno de águas continentais | C | (Rintoul & Sokolov, 2001) |
| 4 | Frente do Mar da Escócia do Sul | 16 | Corrente da Tasmânia |
| 5 | limite Sul da CCA | 17 | continuação da Corrente Leste Australiana |
| 6 | Frente Polar | D | (Reid, 1986) |
| 7 | Corrente das Malvinas | 18 | Corrente do Pacífico Sul |
| 8 | Frente Sub-Antártica | 19 | Corrente do Peru |
| 9 | Frente da Corrente do Brasil | E | (Orsi <i>et al.</i> , 1995) |
| 10 | Corrente do Brasil | 20 | frente sul da CCA |
| 11 | Corrente Sul Atlântica | | |
| 12 | Corrente das Agulhas | | |
| 13 | Corrente de Benguela | | |

Figura 2.4: Estrutura da circulação superficial de larga escala no Oceano Austral (Fonte: Danilov *et al.*, 2003).

Schäfer & Krauss (1995) utilizaram um elevado número de dados, obtidos por 130 derivadores dispostos no Oceano Atlântico Sul durante os anos de 1990 a 1993 com o intuito de estudar os parâmetros de escoamento turbulento. Os valores médios encontrados para as escalas integrais espaciais foram $L_u = 37$ km e $L_v = 28$ km, para todo o Atlântico Sudoeste. Os coeficientes de difusividade lateral turbulenta (K) variam no Atlântico Sul entre 2×10^7 e 8×10^7 $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. A

escala integral temporal (T) ficou em aproximadamente 5 dias, estando de acordo com outros trabalhos realizados na CB e na CBM (Cerrone, 2010; Oliveira, 2008; Assireu, 2003).

Também com o uso de derivadores superficiais, informações da escala integral lagrangiana espacial e temporal foram obtidas para regiões do Oceano Atlântico a partir de análises do comportamento dispersivo, ou seja, pelo coeficiente de difusividade turbulenta (Stammer, 1998; Schäfer & Krauss, 1995; Krauss & Böning, 1987).

Zhurbas & Oh (2004) utilizaram dados de derivadores para estimar o coeficiente de difusividade turbulenta nos oceanos Pacífico e Atlântico. Os autores encontraram uma intensa difusividade em todas as corrente de contorno oeste e na faixa equatorial. No OAS, em particular, os maiores valores encontram-se em áreas da CB e na Retroflexão das Agulhas.

Há duas regiões com valores de $K > 8 \times 10^7 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ no OAS. A primeira entre $35^\circ\text{S} - 45^\circ\text{S}$ e $55^\circ\text{W} - 35^\circ\text{W}$ relacionada à CBM; e a segunda entre $32^\circ\text{S} - 44^\circ\text{S}$ e $6^\circ\text{E} - 22^\circ\text{E}$ relacionada à Retroflexão das Agulhas. Tais regiões apresentam também os maiores valores para ECT. Entre 28°S e 35°S , há uma região com valores de K entre 4×10^7 e $8 \times 10^7 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ atravessando zonalmente o OAS (fig. 2.5).

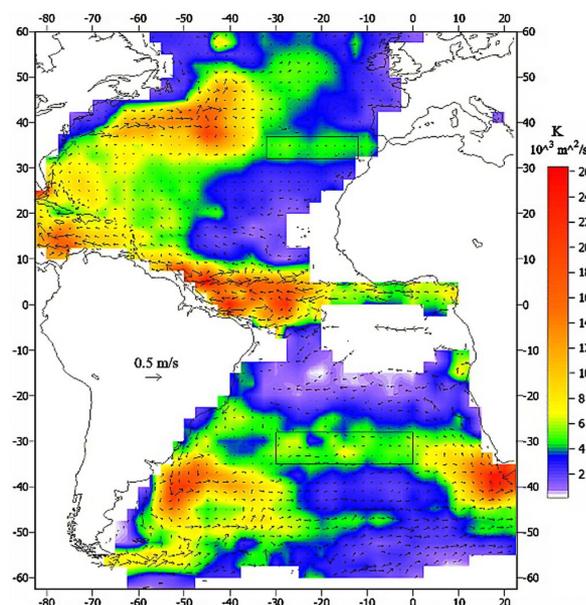


Figure 2.5: Coeficiente de difusividade turbulenta a partir de derivadores lagrangianos no Oceano Atlântico. Os vetores indicam a velocidade média de corrente (Fonte: Zhurbas & Oh, 2004).

Florenchie & Verron (1998), apresentam na figura 2.6 os mapas comparando a componente turbulenta de meso-escala ($\overline{V'^2}$) com o coeficiente de difusividade turbulenta (K) para o Oceano Atlântico Sul. Os dados altimétricos foram obtidos pelos satélites TOPEX/Poseidon e ERS 1 e dispostos em caixas de 5° lat/lon, concordando com a eq. 2.7 (pág. 25) quando escrita para a menor variação da escala de tempo t , dando origem a:

$$K = \overline{V'^2} \quad (\text{eq. 2.8})$$

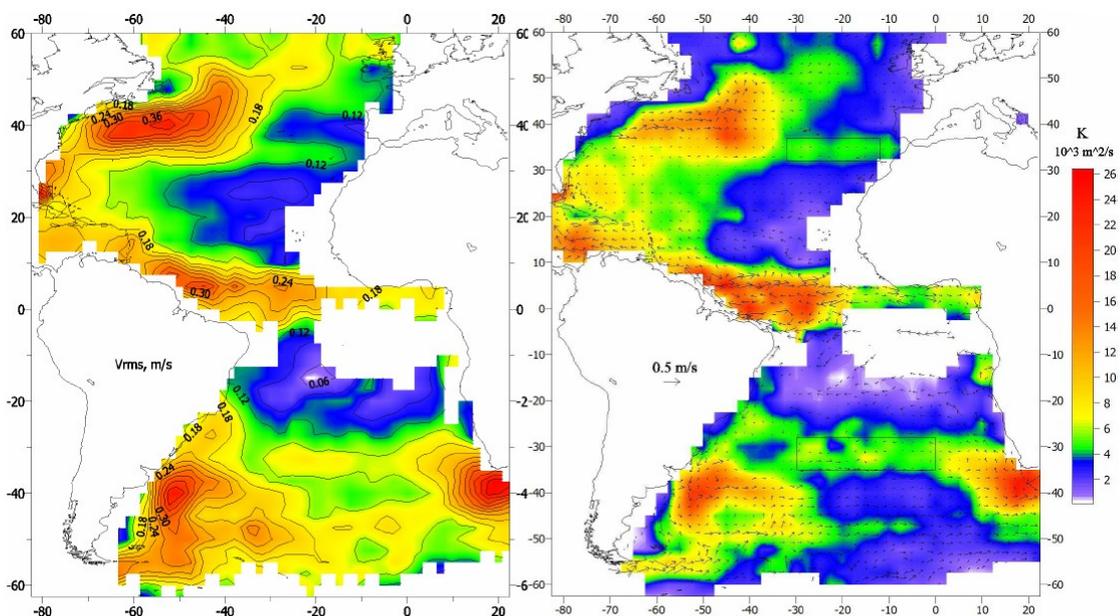


Figura 2.6: Comparação entre o mapa de velocidade residual (esq.) e o mapa do coeficiente de difusividade turbulenta (dir.) (Fonte: Florenchie & Verron, 1998).

Richardson (1983) apresenta quatro motivos, citando Holland *et al.* (1983), Shimitz & Holland (1982) e Price (1983), para indicar a relevância do entendimento da energia cinética turbulenta das correntes oceânicas: primeiro, em regiões onde a ECT é maior a Energia Cinética Média (ECM) pode ser influenciada por esta, o que indica que a a ECT é muito significativa dinamicamente; segundo, os valores de mínimo e máximo da energia turbulenta podem servir como indicadores de fontes e sumidouros de energia de acordo com os padrões geográficos; terceiro, a distribuição da ECT auxilia na elaboração de modelos mais realísticos de circulação oceânica; e quarto, a ECT sendo

proporcional ao movimento turbulento horizontal, torna-se importante para identificar as variações em regiões específicas.

Oliveira (2008) determinou um panorama energético do Oceano Atlântico Sudoeste, utilizando o diagrama de Lorenz, que incluiu o balanço de energia cinética turbulenta para a CSA. A figura 2.7 esboça três radiais associadas ao eixo principal da CSA, aproximadamente em: (1) 40°S – 49°W, (2) 39°S – 43°W e (3) 39°S – 39°W. Tais latitudes concordam com a definição já citada por Núñez-Riboni *et al.* (2005).

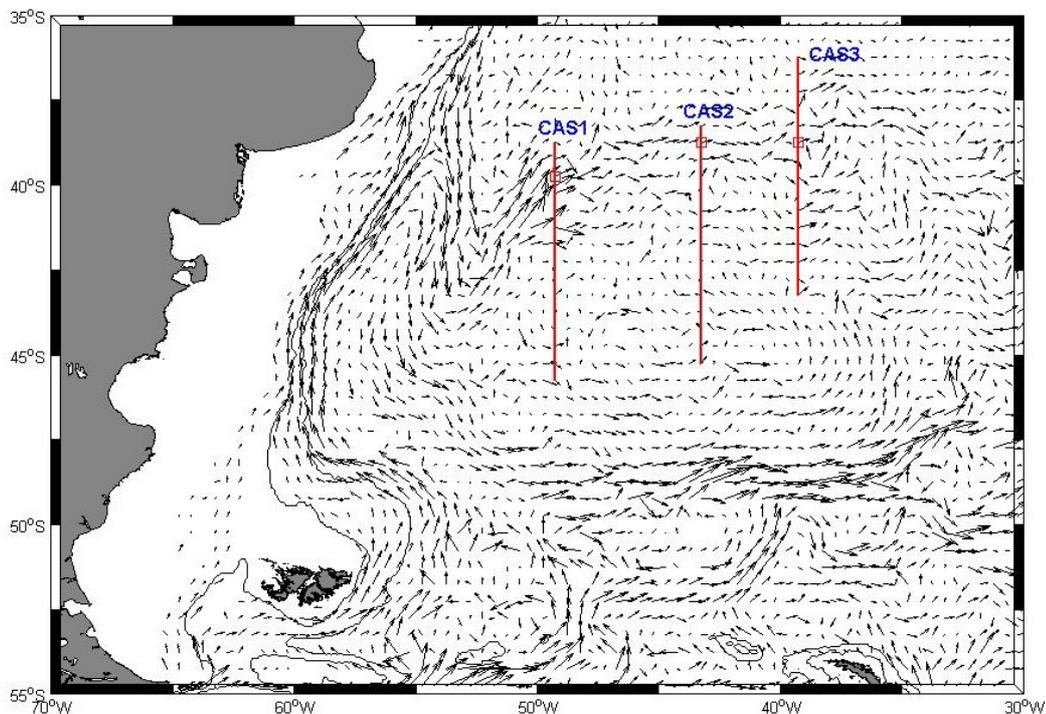


Figura 2.7: Radiais 1,2 e 3 para o desenvolvimento do balanço energético da ECT sobre a CSA. Quadrados sobre as radiais marcam seu eixo principal (Fonte: Oliveira, 2008).

Na radial 1, a Energia Cinética Turbulenta (ECT) é bem maior que a Energia Cinética Média (ECM), indicando uma forte atividade turbulenta neste local. Essa região é dominada por vórtices, provavelmente liberados (ou desprendidos) da região da CBM. A segunda radial está sobre a *Zapiola Rise* apresentando ECM menor (22 a 91 $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-2}$) e relativamente ECT maior (150 a 500 $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-2}$). As energias (ECM e ECT) diminuem da posição 1 para a posição 2, provavelmente decorrentes do processo de maior estabilidade dinâmica nesta

radial. Entretanto a ECT continua mantendo-se superior à ECM. Na radial 3, o campo turbulento de meso-escala da própria CSA pode estar atuando como uma forçante turbulenta sobre a mesma, ou seja, dirigindo o escoamento médio. O campo turbulento de meso-escala interage com o campo médio fornecendo energia para o segundo (Oliveira, 2008).

Schäfer & Krauss (1995) estimaram os valores da ECT na CM próximos de $500 \text{ cm}^2.\text{s}^{-2}$. O valor máximo encontrado foi de $1600 \text{ cm}^2.\text{s}^{-2}$ na região da CBM, decaindo em direção leste com a CSA.

Souza & Robinson (1998) estimaram valores médios da ECM e ECT para a CB e a CSA. Na média, a ECM da CB foi de $801 \text{ cm}^2.\text{s}^{-2}$ e $59 \text{ cm}^2.\text{s}^{-2}$ para a CSA. A ECT para a CB e CSA foi estimada em torno de 1294 e $3268 \text{ cm}^2.\text{s}^{-2}$, respectivamente. Os mesmos autores, encontraram o valor da ECM para a Corrente Costeira do Brasil (CCB) variando entre 17 e $145 \text{ cm}^2.\text{s}^{-2}$. Os resultados indicam que a maior parte da energia (CCB e CSA) são perturbações de pequena escala e atividade turbulenta ao invés de estar no fluxo médio (Souza & Robinson, 2004).

Núñez-Riboni *et al.* (2005) calcularam o transporte médio zonal a partir do campo de velocidade (figura 2.8) para cada grau de latitude. Para a parte sul do Giro Subtropical, a CSA tem o valor aproximado de 8,5 Sv na direção leste. Enquanto que, a parte norte é de 9,3 Sv na direção oeste. Os valores indicam que os ramos do Giro Subtropical são bem equilibrados. A tendênciado do movimento das correntes, nas respectivas latitudes, concordam com trabalhos já citados.

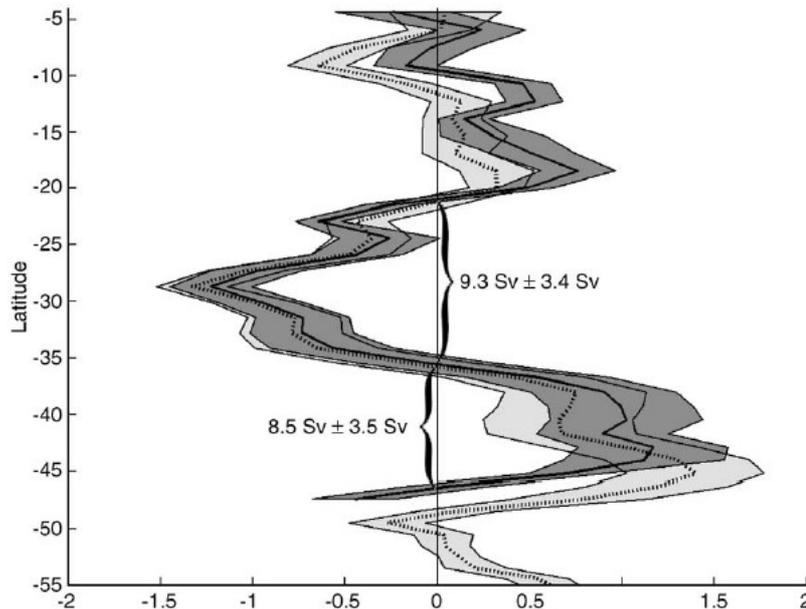


Figura 2.8: Transporte médio zonal lagrangiano no Oceano Atlântico Sul. O transporte da CSA e da parte norte do Giro Subtropical são indicados (Fonte: Núñez-Riboni *et al.*, 2005).

Richardson (2007) utilizou em seu trabalho derivadores de superfície e flutuadores de sub-superfície (800m de profundidade, aproximadamente) com o objetivo de analisar o escoamento das águas superficiais e intermediárias escoando do Oceano Índico para o Oceano Atlântico. O autor encontrou uma nova feição, em direção oeste, a partir da Retroflexão das Agulhas, denominada de Extensão das Agulhas (EA) que divide a CSA em dois ramos: norte e sul.

A maioria dos derivadores próximos a parte sul do ramo (abaixo de 41°S) continuaram à leste ao sul das Agulhas e a maioria dos derivadores próximos ao ramo norte (acima de 41°S) derivaram para nordeste, em direção à Corrente de Benguela, e giraram em direção oeste entre 30°S e 35°S.

Vários flutuadores derivaram ao longo da CSA entre as latitudes de 35°S e 50°S. Próximos de 15°W, a CSA se divide em dois ramos: um ao norte de 40°S e o outro ao sul de 43°S, ocasionando uma área com poucas trajetórias, centrada nas proximidades de 41°S, entre 15°W e 5°W.

Segundo Richardson (2007), a topografia pode causar a divisão no fluxo da CSA. A elevação *Discovery Seamounts*, localizada próximo de 42°S – 1°E, encontra-se à 426 m de profundidade. A *RSA Seamount*, localizada próxima de 40°S – 6°W, possui uma profundidade de 260 m. À oeste destas elevações

encontra-se a Ilha de Gonçalo Álvares (é um dos cumes emersos da dorsal meso-atlântica) e a elevação *McNish Seamount* com profundidade mínima de 150 m. É provável que tais elevações, bem como a ilha, bloqueiem parcialmente o fluxo da CSA ou permitem sua divisão em dois ramos contribuindo assim com o fluxo da Extensão das Agulhas à oeste. A figura 2.9 apresenta a intensidade da corrente zonal, (a) obtida por flutuadores e (b) por derivadores superficiais.

Os valores de ECT estimados para a região da Retroflexão das Agulhas foram maiores que $3000 \text{ cm}^2.\text{s}^{-2}$, sendo o máximo de $3650 \text{ cm}^2.\text{s}^{-2}$. A ECT para a região é considerada a mais alta do Oceano Atlântico medida a partir de derivadores. Próximo de $0^\circ - 10^\circ\text{W}$ e 45°S os maiores valores estimados de velocidade média são referentes à CSA, apresentando a ECT relativamente baixa ($\sim 40 \text{ cm}^2.\text{s}^{-2}$).

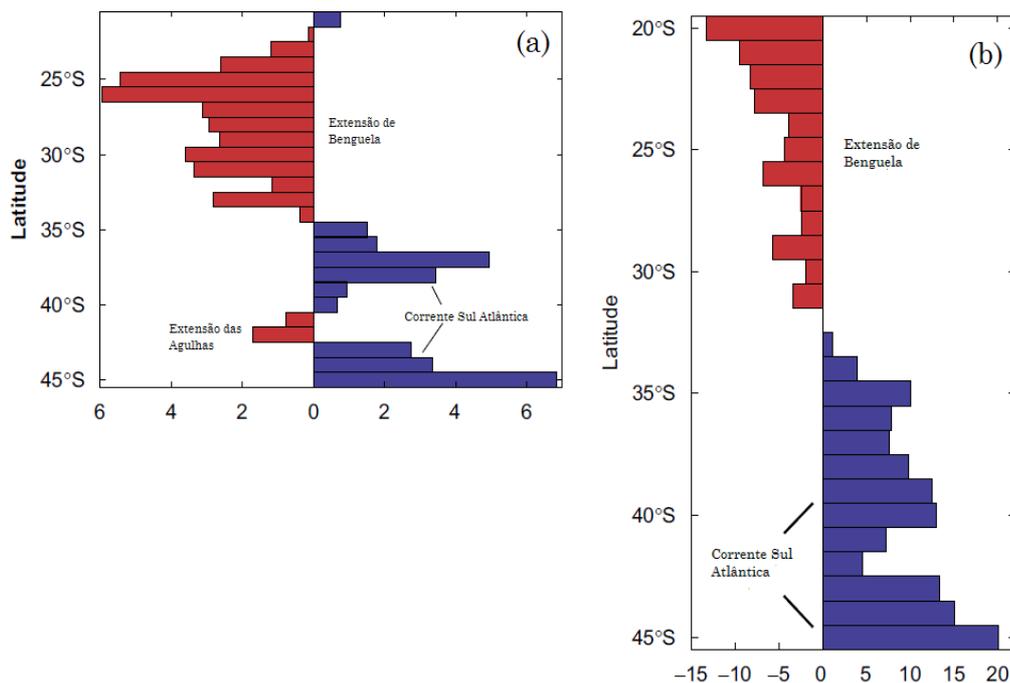


Figura 2.9: Componente zonal da velocidade obtida por (a) flutuadores de sub-superfície ($\sim 800 \text{ m}$) e (b) derivadores superficiais entre 0° e 10°E e de 10°W a 0° (à norte de 37°S). Os dados foram agrupados em caixas de 1° lat/lon (Fonte: Richardson, 2007).

Segundo Richardson (2007), a Extensão das Agulhas pode continuar em direção oeste, atravessar a dorsal meso-atlântica e alcançar longitudes próximas de 25°W , misturando-se com as águas do ramo norte da CSA, eixo este que alimenta a Corrente de Benguela.

3. ORIGEM E TRATAMENTO DOS DADOS

Este capítulo apresenta os dados utilizados para a caracterização da Corrente Sul Atlântica, incluindo os seus programas de origem. Os derivadores lagrangianos são brevemente explicados e a sequência de manipulação dos dados é demonstrada matematicamente.

3.1 Conjunto de dados

Para a realização deste trabalho foram utilizadas 1442 séries de dados de 996 derivadores oriundos de seis bancos de dados nacionais e internacionais (tab. 3.1), com domínio público dispostos em sítios específicos.

O primeiro conjunto de dados foi obtido através de derivadores oriundos do *Marine Environmental Data Center* (MEDS), correspondendo também aos dados coletados pelo *Atlantic Oceanographic & Meteorological Laboratory* (AOML). Os dados são de domínio público e estão dispostos no endereço http://www.medsdmm.dfo-mpo.gc.ca/meds/Prog_Int/CLIVAR/SVP/kiel/Data_e.asp

O segundo conjunto foi obtido por derivadores oriundos do Programa de Derivadores Lagrangianos da Divisão de Oceanografia Física do *Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory* (AOML), mantido pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Os dados são de domínio público e disponibilizados pelo *Drifting Buoy Data Assembly Center*, através do endereço <http://www.aoml.noaa.gov/envids/gld/index.php>.

O terceiro conjunto foi obtido através de dados oriundos do projeto *Circulação Oceânica na Região Oeste do Atlântico Sul* (COROAS).

O quarto conjunto de dados foi obtido através do *Programa Nacional de Boias* (PNBoia) com domínio público e disponibilizado no endereço <http://www.dsr.inpe.br/pnboia/pnboia.html>.

O quinto conjunto foi obtido através de derivadores oriundos do *Grupo de Oceanografia de Altas Latitudes* (GOAL) executado pelo *Programa Antártico Brasileiro* (PROANTAR).

O sexto conjunto de dados foi obtido através de derivadores oriundos do programa *Global Ocean Observing System* (GOOS), mantido pela UNESCO e integrante do programa *Global Earth Observing System of Systems* (GEOSS).

Um conjunto de dados, correspondentes aos mesmos derivadores, porém com períodos de cobertura complementares ou parcialmente sobrepostos, foram fundidos visando maior cobertura temporal, eliminando-se os dados dos períodos coincidentes. Foram criadas, assim, 20 novas séries híbridas de dados.

Tabela 3.1: Número de derivadores e série de dados utilizadas no trabalho

Fonte	Derivadores	Séries de dados	Horas	Período
MEDS	230	254	89.952	01/11/1989 a 01/04/2006
AOML	563	725	115.536	02/11/1989 a 31/07/2005
COROAS	13	28	20.760	17/02/1993 a 02/07/1995
PNBoia	27	240	55.104	14/04/1999 a 02/06/2007
GOAL	144	165	11976	11/01/2003 a 12/07/2005
GOOS	6	10	15.696	22/09/2004 a 06/10/2006
Híbridos	13	20	68.424	11/1997 a 11/2005
Total	996	1442	377.448	01/11/1989 a 02/06/2007

A figura 3.1 apresenta um gráfico comparativo da cobertura temporal – que abrange o período de novembro de 1989 à junho de 2007 – e número de boias operantes por mês (eixo y) de todos os bancos de dados. Os dados foram tratados para o conjunto do período. Desta forma, os resultados encontrados referem-se ao período global, e não à variações sazonais. Para a observação sazonal seria necessário decompor cada conjunto de dados por períodos mensais ou anuais, e resolvê-los através de rotinas computacionais para cada parâmetro, significando um esforço computacional demasiadamente grande e desnecessário para os objetivos deste trabalho. A figura 3.2 apresenta as trajetórias obtidas pelo conjunto de dados do presente trabalho.

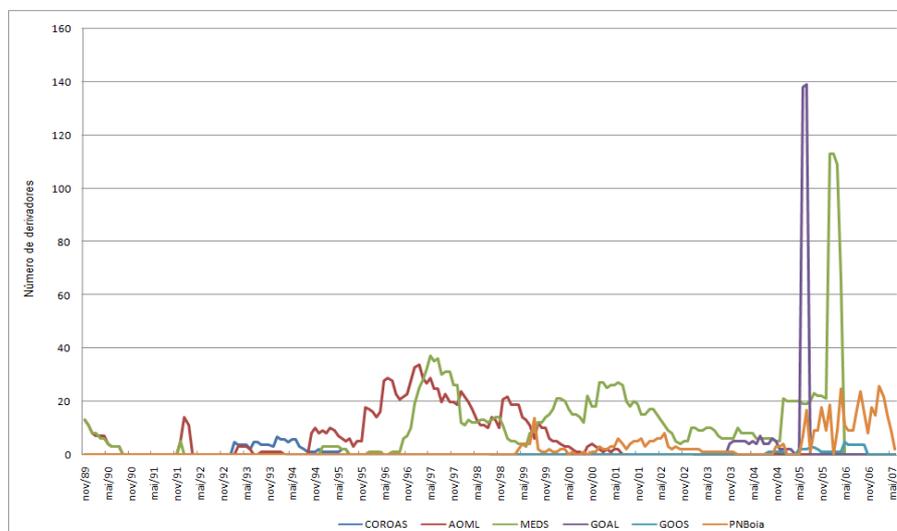


Figura 3.1: Gráfico comparativo da cobertura temporal dos seis bancos de dados (Fonte: adaptado de Moraes, 2008).

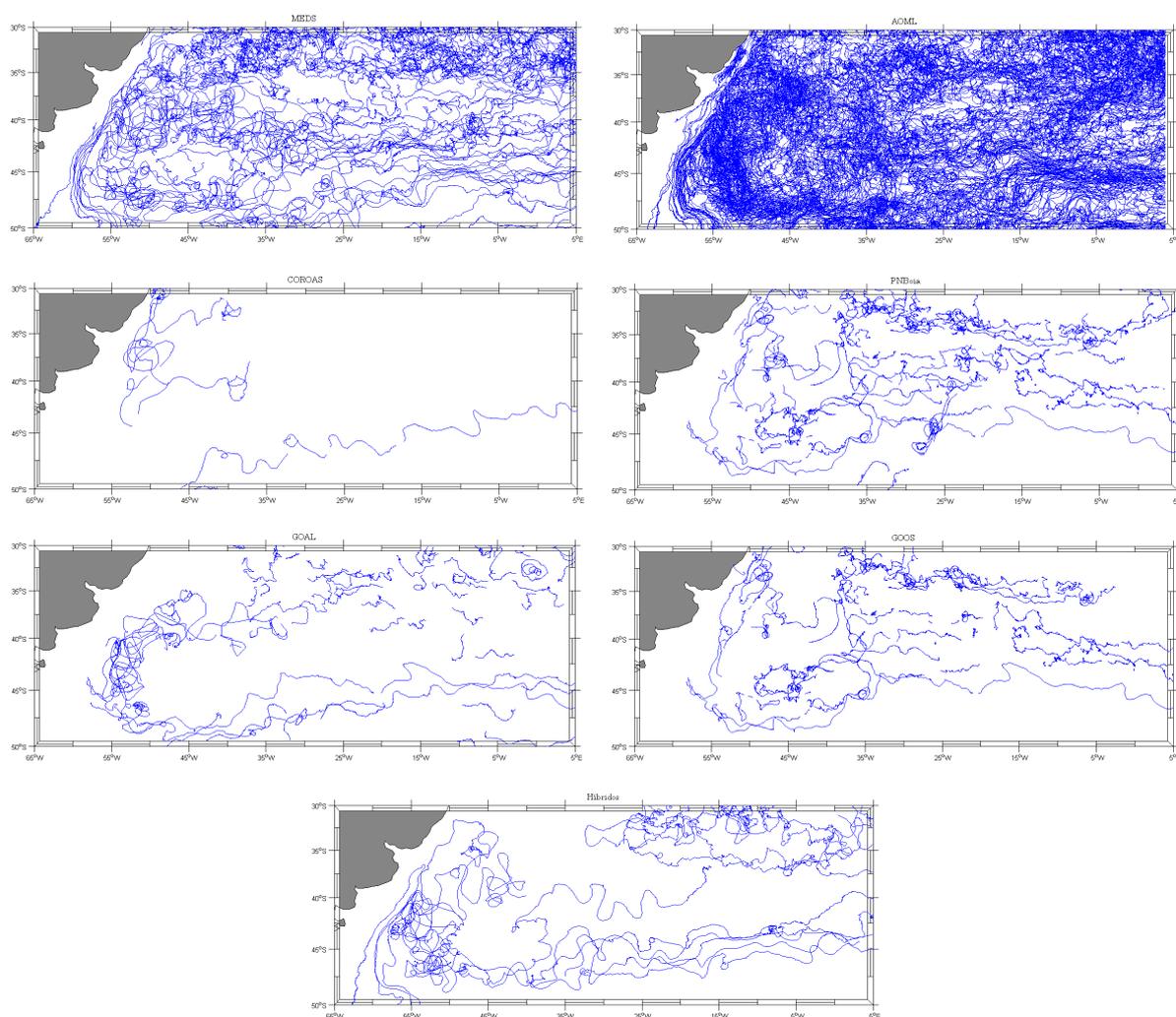


Figura 3.2: Trajetória dos derivadores rastreados por satélite para cada banco de dados utilizado no trabalho.

3.2 Derivadores rastreados por satélite

Os derivadores são rastreados por satélite a partir de medições Doppler através do Sistema ARGOS (Hansen & Poulain, 1996), segmento espacial constituído por dois satélites operacionais de órbita baixa da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). A permanência dos derivadores no campo de visada de cada satélite varia entre 10 e 15 minutos para a nossa região de estudo resultando um número médio de seis posições por dia por boia.

Todos os derivadores utilizados no trabalho são do tipo WOCE/TOGA – *Surface Velocity Programme (World Ocean Circulation Experiment/ Tropical Ocean Global Atmosphere)* (Sybrandy *et al.*,1992; Niller *et al.*,1991). Cada boia consiste de um flutuador e uma vela submersa (fig. 3.3). O flutuador, uma esfera de 0,35m de diâmetro, comporta os equipamentos de aquisição de dados; um conjunto de baterias de longa duração; e uma plataforma de transmissão dos dados coletados (PTT – Plataforma de Transmissão por Telemetria) (Assireu, 2003).

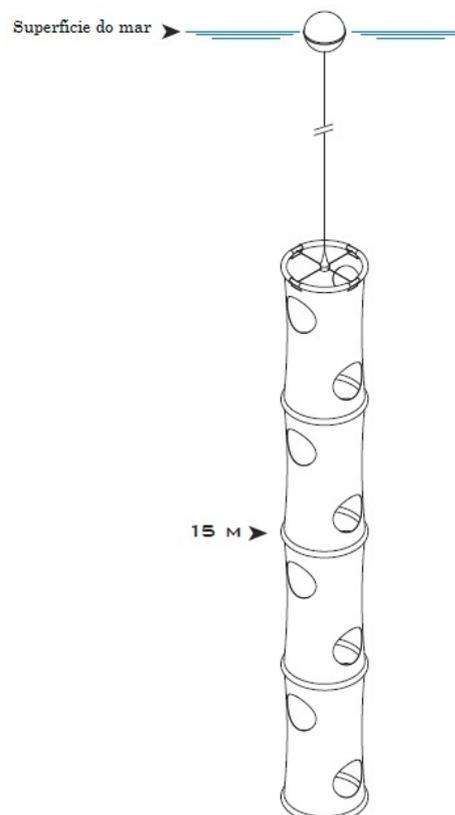


Figura 3.3: Croqui de um derivador lagrangiano.(Fonte: Adaptado de Pacific Gyre, 2010)

A vela submersa possui 7m de comprimento e garante a deriva em conjunto com as massas de água e diminui a influência do vento sobre o flutuador, sendo constituída de um cilindro de tecido e se mantém a aproximadamente 15m de profundidade abaixo do derivador.

Um derivador lagrangiano é considerado um sensor quasi-lagrangiano ou pseudo-lagrangiano, por não seguir perfeitamente uma parcela de água particular. Seu tamanho relativamente grande reage a todas as partículas de água ao seu redor (Souza, 1992). Apesar disso, estes derivadores já estão consagrados enquanto instrumentos que se prestam ao monitoramento de correntes.

Segundo Assireu *et al.*(1998), as sucessivas posições dos derivadores quando plotadas, dão informação sobre suas trajetórias e conseqüentemente as correntes em questão. Isto permite uma avaliação da circulação em termos das tendências de direção das correntes. Os valores quantificados do padrão médio da circulação, ou seja, os valores de velocidades médias das correntes, assim como das direções destas, são calculados a partir da aplicação do método estatístico da regressão linear sobre as componentes zonal e meridional das séries de tempo de posição dos derivadores.

3.3 Filtragem dos dados

Com o intuito de minimizar possíveis erros – a saber: ruído de sensores, geometria da órbita entre satélite e derivador, número de distribuição de mensagens recebidas durante uma passagem orbital, bem como órbitas imprecisas – e garantir a qualidade dos dados, utilizou-se a metodologia proposta por Hansen & Poulain (1996).

O método é descrito para posições em uma dimensão e baseia-se na velocidade entre pontos consecutivos. O primeiro passo é verificar se os dados estão temporalmente sequenciados. Seja a série temporal das posições $x_i = x(t_i)$, dada por uma distribuição temporalmente não uniforme, a velocidade média \bar{V} entre os pontos consecutivos (i e $i+1$) é dada por:

$$\bar{V} = \frac{1}{t_{i+1} - t_i} \int_{t_i}^{t_{i+1}} v(t) dt = \frac{1}{t_{i+1} - t_i} \int_{t_i}^{t_{i+1}} \partial x(t) dt = \frac{x_{i+1} - x_i}{t_{i+1} - t_i} \quad (\text{eq. 3.1})$$

Um valor máximo a partir do qual as velocidades são consideradas suspeitas é escolhido a partir das características da circulação da área de estudo e com observação dos histogramas de velocidades, definido como velocidade de corte (o valor utilizado neste caso foi de 200 cm.s⁻¹). Uma vez detectada a velocidade suspeita entre um par de pontos, o passo seguinte é decidir qual posição do par é uma localização errônea. Para evitar a eliminação imprópria de dados, Hansen & Poulain (1996) propõem um método que considera as sucessivas posições tanto no sentido temporal crescente quanto decrescente da série.

O método utiliza posições sequenciais na direção para frente e para trás – *forward* e *backward* (fig. 3.4). Seguindo para frente, o ponto inicial é verificado como bom e então marcado. Se a velocidade requerida excede o critério imposto inicialmente (velocidade de corte), o segundo ponto é marcado como ruim. O procedimento é então repetido na direção reversa do tempo. Todos os pontos marcados como bons em ambos os sentidos recebem uma marcação como “globalmente bons” e os ruins como “globalmente ruins”. A etapa seguinte remove os dados marcados como ruins que foram verificados em ambos os sentidos.

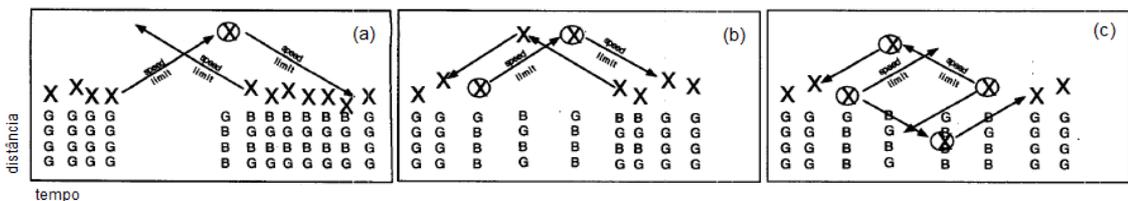


Figura 3.4: Ilustração da lógica de posições sequenciais utilizada. G = Good (marcação boa); B = Bad (marcação ruim) (Fonte: Hansen & Poulain, 1996).

Após este procedimento os dados foram interpolados pelo método polinomial “Cubic Spline” com intervalo de 6 horas (4 valores por dia) e passaram por um filtro passa-baixa tipo *Blackman* para remoção de alta frequência, decorrentes da interação com as marés e ondas inerciais, equivalente há 40 horas, aproximadamente (Assireu, 2003).

3.4 Caixas geográficas

O passo seguinte foi dividir os dados em caixas geográficas em $0,5 \times 0,5$ graus de latitude e longitude. Para tal, dois critérios devem ser satisfeitos para que o escoamento possa ser considerado homogêneo e estacionário de acordo com a teoria de Taylor (Oliveira, 2008; Schäfer & Krauss, 1995), onde cada caixa deve ser menor possível para se obter uma boa resolução espacial e o número de dados por caixa deve ser grande o suficiente para obterem-se resultados significantes.

As informações contidas nas caixas são consideradas medidas independentes se elas resultam de diferentes boias ou da mesma boia, desde que essa bóia permaneça na célula mais do que uma escala integral temporal lagrangiana ($T_L = 5$ dias) (Cerrone, 2010; Oliveira, 2008; Fratantoni, 2001). A figura 3.5 apresenta o número de derivadores e o número de informações por caixa de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ de latitude e longitude.

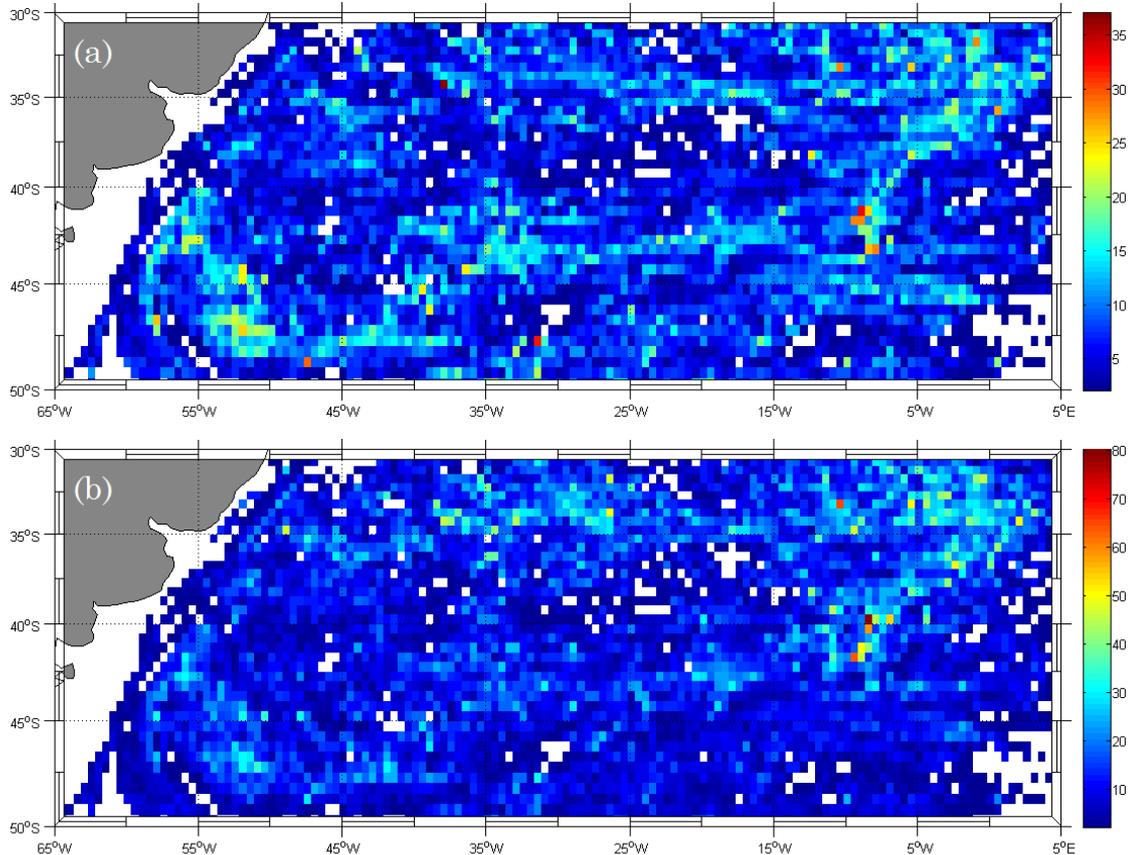


Figura 3.5: Número de (a) derivadores e (b) observações disponíveis em cada caixa de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$. As caixas sem preenchimento não possuem dados ou são dependentes.

3.5 Campo de velocidade média de corrente

Sendo u e v as componentes zonal e meridional de V , a partir da equação (3.1) os valores médios \bar{u} e \bar{v} são dados por:

$$\bar{u} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i \quad \text{e} \quad \bar{v} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i \quad (\text{eq. 3.2})$$

onde N é o número de observações independentes contido na grade. Desta forma, a velocidade média de corrente (\bar{V}) pode ser determinada por:

$$\bar{V} = \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2} \quad (\text{eq. 3.3})$$

O desvio padrão do campo de velocidades é dado por:

$$std = \sqrt{\frac{\sum V^2 - (\sum \bar{V})^2}{N-1}} \quad (\text{eq. 3.4})$$

3.6 Energia cinética

A Energia Cinética Média (ECM), por unidade de massa, é calculada a partir das componentes médias (eq. 3.2) zonal e meridional da velocidade:

$$ECM = \frac{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}{2} \quad (\text{eq. 3.5})$$

e, a Energia Cinética Turbulenta (ECT), por unidade de massa, pelas componentes turbulentas (eq. 2.4) zonal e meridional:

$$ECT = \frac{\overline{u'u'} + \overline{v'v'}}{2} \quad (\text{eq. 3.6})$$

A Energia Cinética Total (EC_{total}) será a soma das equações 3.5 e 3.6:

$$EC_{total} = ECM + ECT \quad (\text{eq. 3.7})$$

3.7 Escala integral lagrangiana

As escalas integrais lagrangianas utilizadas foram derivadas por Schäfer e Krauss (1995) a partir das relações entre as velocidades residuais u' e v' e as escalas temporais integrais T .

Desta forma, as escalas temporais zonal e meridional aplicadas para o Atlântico Sudoeste são:

$$T_u = -0,1 + \frac{42,9}{\sqrt{\bar{u}'^2}} \quad \text{e} \quad T_v = -0,4 + \frac{36,6}{\sqrt{\bar{v}'^2}} \quad (\text{eq. 3.8})$$

A partir das escalas temporais e dos valores residuais, as escalas espaciais zonal e meridional podem ser determinadas a partir da equação 2.6 (pág. 25):

$$L_u = \sqrt{\bar{u}'^2} T_u \quad \text{e} \quad L_y = \sqrt{\bar{v}'^2} T_v \quad (\text{eq. 2.6})$$

3.8 Coeficiente de difusão turbulenta

O coeficiente de difusividade turbulenta zonal e meridional, de acordo com o teorema de Taylor (1920), é definido a partir da equação 2.7 (pág. 25):

$$K_u = \overline{u'^2} T_u \quad \text{e} \quad K_v = \overline{v'^2} T_v \quad (\text{eq. 2.7})$$

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

O capítulo 4 apresenta e discute os resultados obtidos após o tratamento dos dados. Na sequência, são discutidos os resultados para campo de velocidade média de corrente; energia cinética e parâmetros de escoamento turbulento.

4.1 Campo de velocidade média de corrente

Com intuito de aprimorar a discussão e exposição dos resultados, a área de estudo foi dividida em setores que englobam as principais regiões do Oceano Atlântico Sul. A figura 4.1 apresenta os setores, bem como o campo de velocidade de corrente. O setor CM engloba o escoamento da Corrente das Malvinas; o setor CB, a Corrente do Brasil e sua extensão; o setor CBM engloba a Confluência Brasil-Malvinas; o setor CSA a Corrente Sul Atlântica até a longitude de 20°W, aproximadamente; o setor CSA-N engloba o ramo norte da CSA; o setor CSA-S engloba o ramo sul da CSA; e a região onde a Frente Polar encontra-se com a Frente Sub-Antártica foi denominada FR.

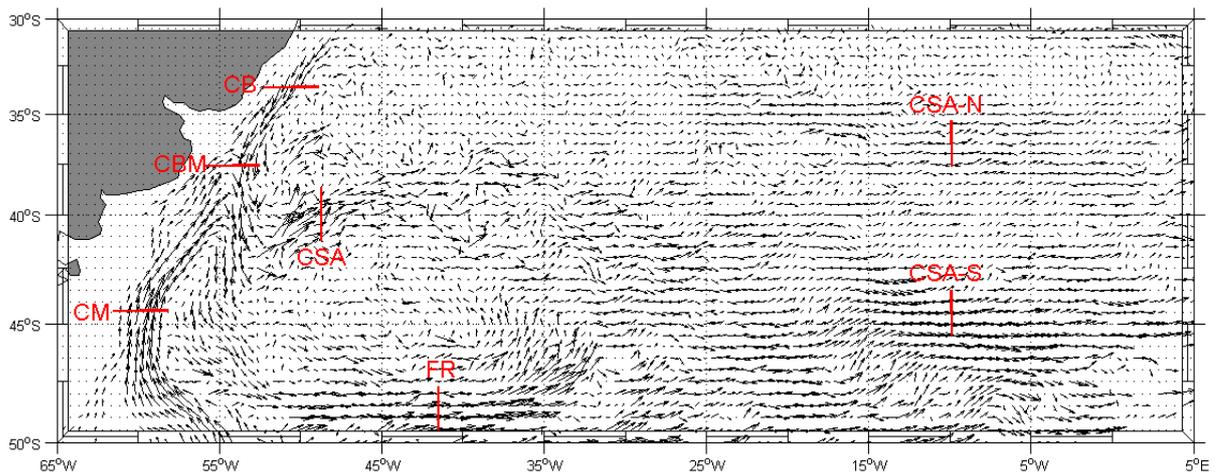


Figura 4.1: Setores representativos das principais regiões discutidas no trabalho referenciadas aproximadamente por: Corrente do Brasil (CB), Corrente das Malvinas (CM), Confluência Brasil-Malvinas (CBM), Corrente Sul Atlântica (CSA), Frente Polar e Frente Sub-Antártica (FR), Ramo norte da CSA (CSA-N) e Ramo sul da CSA (CSA-S).

Foram identificados dois ramos, norte e sul, da Corrente Sul Atlântica que ao decorrer do texto serão denominados como CSA-N (Ramo Norte da CSA) e

CSA-S (Ramo Sul da CSA). A tabela 4.1 apresenta os valores mínimos, médios e máximos da intensidade média de corrente e desvio padrão da média, bem como as componentes médias e turbulentas do campo de velocidade de corrente superficial para esses setores. A figura 4.2 apresenta a intensidade média de corrente e o desvio padrão médio da velocidade.

Tabela 4.1: Valores da intensidade média e desvio padrão médio; componentes médias e turbulentas do campo de velocidade de corrente para os setores na área de estudo.

Setor	Latitude (°S)	Longitude (°W)	\bar{V} (cm.s ⁻¹)			Std.	\bar{u}	\bar{v}	u'	v'
			Mín.	Máx.	Méd.					
CM	36 – 50	61 – 53	1	100	41	11	4	34	7	10
CB	30 – 45	58 – 48	4	83	33	19	3	29	17	21
CBM	38 – 42	53 – 54	14	88	45	34	11	38	25	40
FR	47 – 50	45 – 35	9	95	50	25	49	8	25	13
CSA	35 – 45	50 – 20	1	98	26	15	22	3	20	18
CSA-N	33 – 39	20 – 0	1	54	20	11	18	1	14	11
CSA-S	39 – 46	20 – 0	4	80	38	14	36	2	14	9

O maior valor de intensidade média de corrente (\bar{V}) encontrado foi no setor CM. Outra região que apresenta alto valor de \bar{V} é o setor FR, onde a FP gira e funde-se com a FSA, concordando com o observado por Oliveira (2008). Na região conhecida por *Zapiola Rise* a \bar{V} e o desvio padrão médio do campo de velocidade ficam em torno de 10 cm.s⁻¹, apresentando uma região de maior variabilidade. No setor CSA, os maiores valores encontrados podem estar relacionados às estruturas de meso-escala da CBM próximas da origem da CSA.

Observa-se na figura 4.2a, que o escoamento médio no setor CSA-S apresenta valores próximos de 40 cm.s⁻¹, sendo o valor máximo encontrado igual a 80 cm.s⁻¹. Já os valores no setor da CSA-N, permanecem próximos de 20 cm.s⁻¹. A região entre os ramos da CSA apresenta valores baixos de \bar{V} ($\sim 10 - 15$ cm.s⁻¹). A CSA-N apresenta valores médios de \bar{V} que podem ser interpretados como uma estabilização da corrente. Entretanto, a CSA-S apresenta valores médios de \bar{V} que indicam um aporte de velocidade, provavelmente causado pela interação com a Corrente Circumpolar Antártica (CCA) ou Frente Sub-Antártica (FSA).

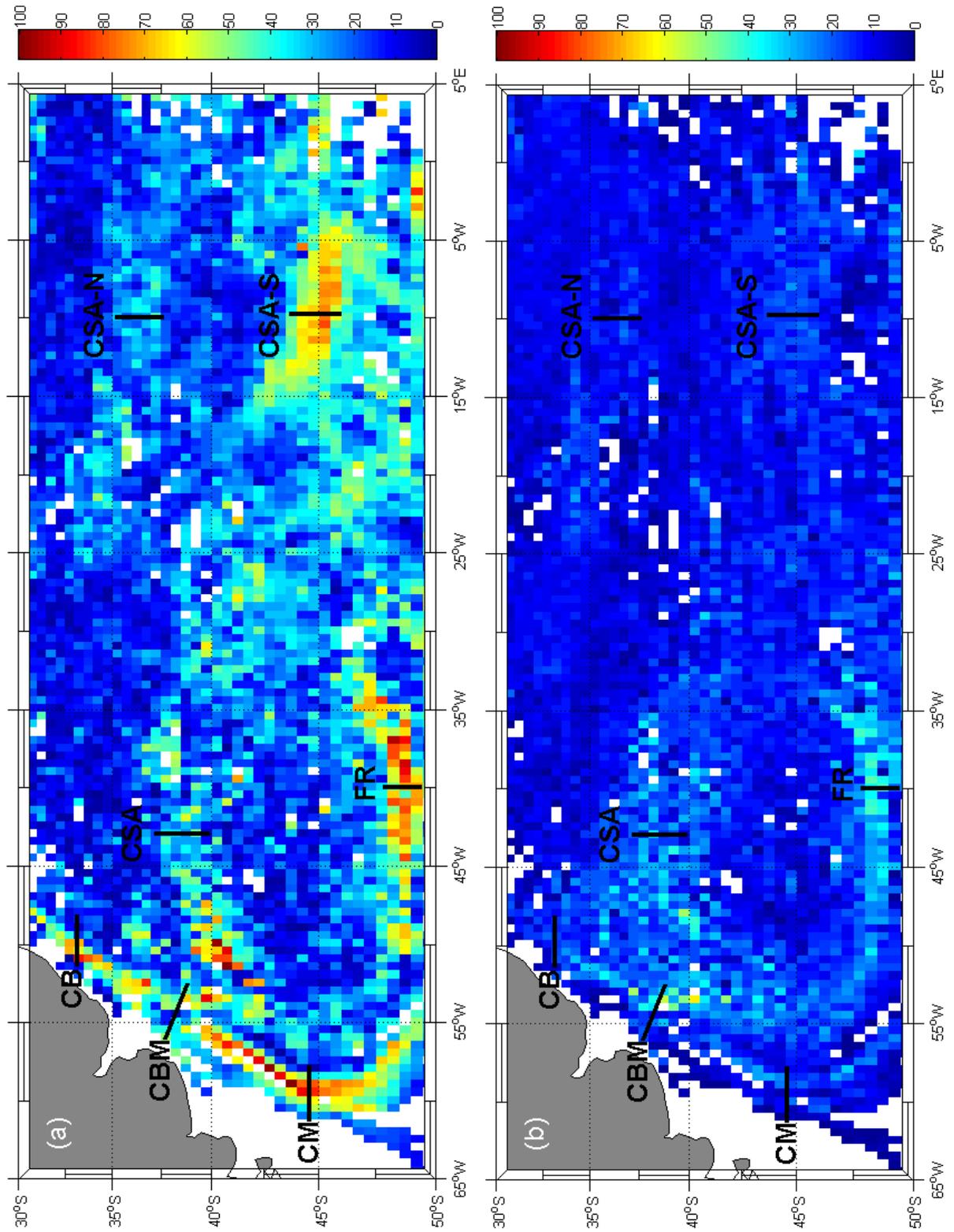


Figura 4.2: Intensidade média de corrente e desvio padrão médio (cm.s⁻¹)

O desvio padrão médio do campo de velocidade pode ser utilizado para representar a variabilidade da circulação oceânica. A região com maior variabilidade é concentrada no setor da CBM, com valores da ordem de 45 cm.s^{-1} . O valor encontrado indica, conforme já observado por Chelton *et al.* (1990), que esta é umas das regiões de maior variabilidade e complexidade do oceano e, portanto, de mais alta energia turbulenta de meso-escala. O maior valor encontrado para o desvião padrão médio encontra-se na latitude média de 40°S e 54°W aproximadamente, com valor de 64 cm.s^{-1} . Tal latitude foi identificada por Oliveira (2008) como sendo o jato de extensão da CB; e por Olson *et al.* (1988), que observaram o ponto de reversão da CB. As componentes médias zonal e meridional do campo de velocidade são apresentadas na figura 4.3.

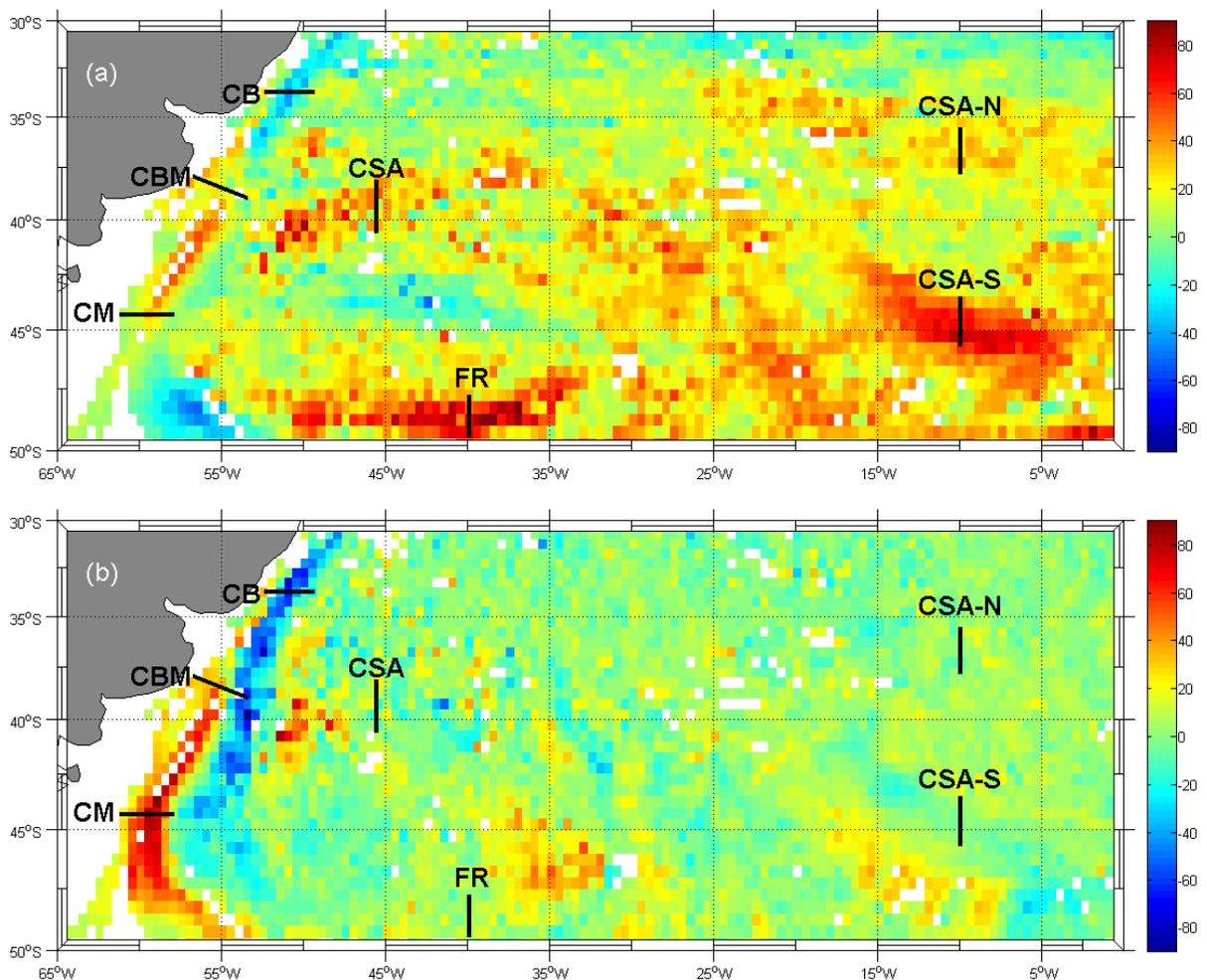


Figura 4.3: Componentes médias zonal (a) e meridional (b) do campo de velocidade (cm.s^{-1}).

Na figura 4.3a, entre os setores da CSA e FR, os valores negativos (positivos) estão relacionados à região do *Zapiola Rise*, indicando o sentido da corrente, ou seja, a parte superior (inferior) do giro anticiclônico. Os valores negativos, entre 30° e 33°S, podem estar associados ao escoamento da CBg fluindo à noroeste. Na figura 4.3b os maiores valores positivos e negativos (módulo) estão associados à CB, CM, CBM e retroflexão da CB. Na figura 4.3b, observa-se os maiores valores (em módulo) no escoamento meridional da CB e da CM.

As componentes turbulentas zonal e meridional do campo de velocidade são apresentadas na figura 4.4.

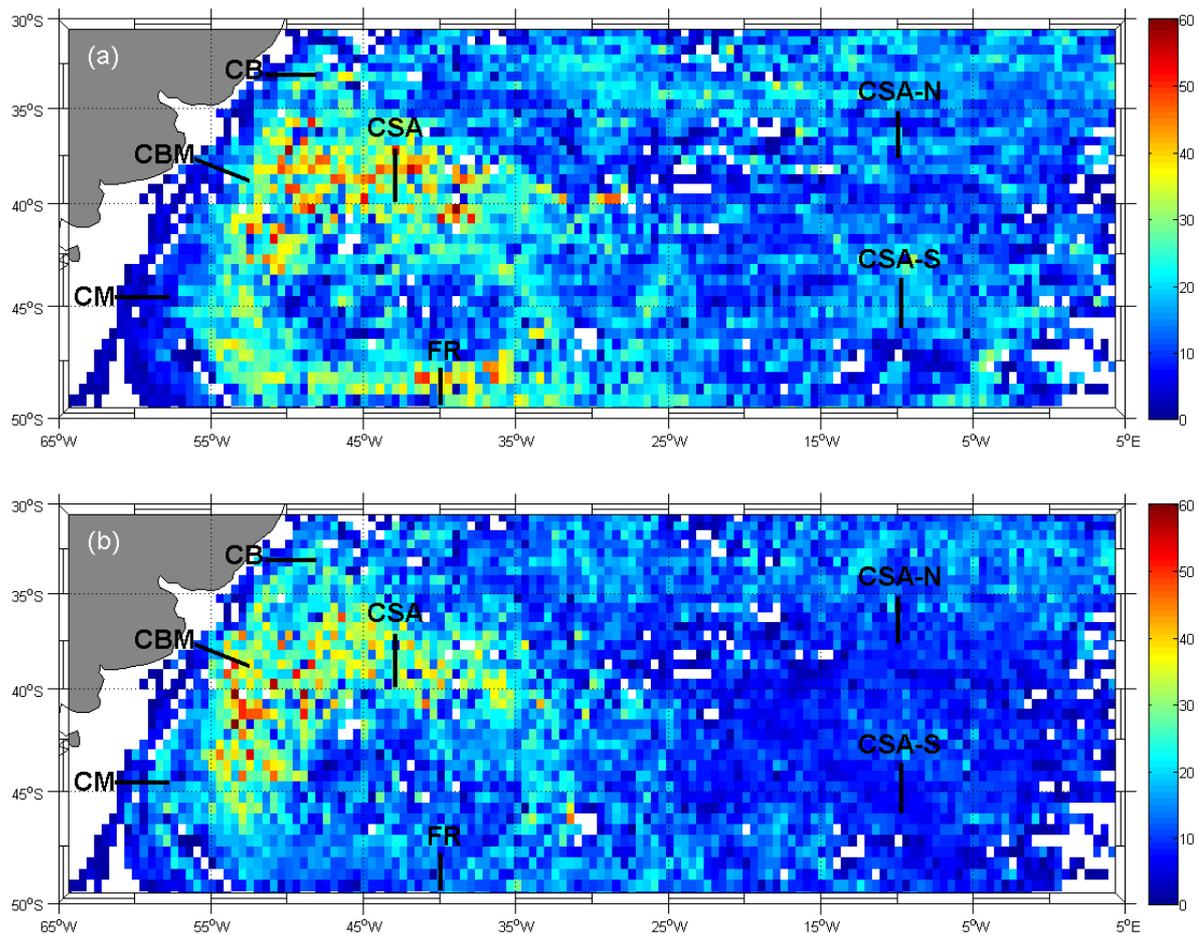


Figura 4.4: Componentes turbulentas (a) zonal e (b) meridional do campo de velocidade ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$).

Na região da CSA e no paralelo da FR (fig. 4.4a), observa-se maiores valores para a componente turbulenta zonal, indicando regiões de maior variabilidade. Tal fato pode estar relacionado à um forte escoamento meandrante em direção leste.

A tendência do escoamento pode ser melhor observada na figura 4.5 que apresenta a intensidade média de corrente, entre 50°W e 5°E, em intervalos de 5° de longitude para cada grau de latitude, podendo desta forma observar as características meandantes do fluxo.

A partir dos histogramas das intensidades médias de corrente apresentados na figura 4.5, foram estabelecidos eixos para transectos em intervalos de 5° de longitude para cada grau de latitude entre 50°W e 0°. No transecto inicial, identificou-se na literatura os valores aproximados de latitude e longitude que indicam a origem da CSA. Considerando o valor da intensidade média de corrente na origem como o máximo em um perfil de escoamento, foi estimado os pontos de mínimo e máximo de latitude que indicam o escoamento de grupo bidimensional (pág. 22).

Assim, tomando-se o histograma de \bar{V} em 50°W, a literatura indica como origem a latitude de aproximadamente 40°S, cujo valor de \bar{V} é de aproximadamente 98 cm.s⁻¹. Observa-se que os valores de \bar{V} ao sul de 40°S decaem até atingir um mínimo em 42°S, voltando a crescer a partir desta latitude. O mesmo ocorre ao norte de 40°S até a latitude 38°S. Os valores determinados como mínimo e máximo, respectivamente, foram anotados nas tabelas 4.2 e 4.3. A seguir, observou-se os valores de \bar{V} à frente deste intervalo de latitudes, buscando identificar o núcleo da corrente nesta longitude permitindo estimar uma tendência ou padrão de escoamento. Assim, em 45°W observa-se o ponto de máximo de \bar{V} em 39°S, e os pontos de mínimo em 37,5°S e 41°S, respectivamente. Tal operação foi realizada sucessivamente até a longitude 0°.

Calculou-se então, os valores médios de \bar{V} e desvio padrão médio do campo de velocidade para cada transecto, cujo resultado é apresentado na última coluna da referida tabela. Por exemplo, em 50°W, este valor resulta em 40 e 18 cm.s⁻¹, respectivamente.

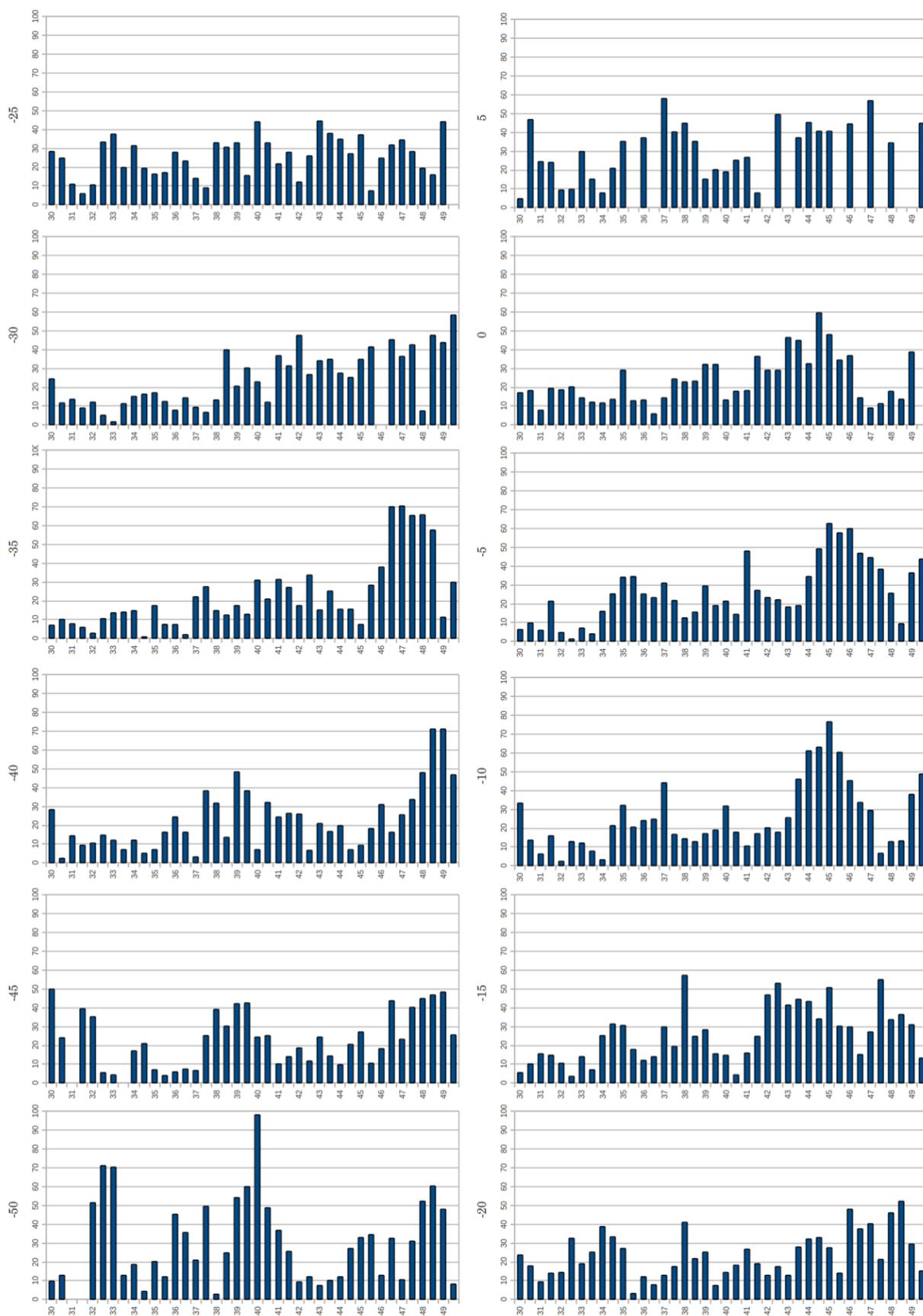


Figura 4.5: Histogramas das intensidades médias de corrente ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$) em intervalos de 5° de longitude.

Tabela 4.2: Valores médios de \bar{V} e desvio padrão médio para os transectos na CSA

Longitude	Latitude	\bar{V} (cm.s ⁻¹)	Std.(cm.s ⁻¹)
-50	38,0 – 42,0	40	18
-45	37,5 – 41,0	30	23
-40	37,5 – 40,5	30	23
-35	37,0 – 40,0	20	14
-30	38,0 – 42,0	28	13
-25	37,5 – 42,5	25	9
Média	–	29	16

Tabela 4.3: Valores médios de \bar{V} e desvio padrão médio para os transectos na CSA-N e na CSA-S

Longitude	CSA-N	\bar{V} (cm.s ⁻¹)	Std.(cm.s ⁻¹)	CSA-S	\bar{V} (cm.s ⁻¹)	Std.(cm.s ⁻¹)
-20	37,5 – 39,5	23	7	40 – 42,5	18	10
-15	36,5 – 39,5	27	9	41 – 44,5	38	11
-10	35,0 – 38,0	25	11	43 – 47,0	49	12
-5	34,0 – 37,0	27	10	44 – 47,5	49	15
0	34,0 – 36,5	14	11	44 – 46,5	38	10
Média	–	23	9	–	38	12

Marcando os transectos na imagem da figura 4.1, do campo de velocidade média, obtem-se a figura 4.6. Observa-se que a partir de 20°S o eixo principal divide-se em dois eixos secundários. Na figura também estão destacados, na cor preta os pontos indicados por Oliveira (2008) como o núcleo do eixo principal da CSA entre 49 e 39°W. Observa-se que os três pontos identificados pelo autor estão contidos no eixo principal identificado no presente trabalho.

Da figura 4.6 observa-se que a variação do intervalo de latitude nos transectos representa a característica meandrante da corrente em todo seu eixo principal e secundários. À oeste, o meandramento, bem como o valor médio de \bar{V} , podem estar relacionados às estruturas de meso-escala da CBM próximas da origem da CSA. À leste, o meandramento pode estar relacionado com os efeitos da Extensão das Agulhas, que pode ser considerada responsável, inclusive, pela divisão do eixo principal da CSA em dois ramos. Desta forma, o observado concorda com Richardson (2007).

Dos valores médios de \bar{V} para os transectos, nota-se que o valor inicial, em 50°W é o maior na região oeste da CSA. De 50°W até 35°W observa-se uma queda

nos valores médios de \bar{V} , o que pode ser efeito da interação da CSA com o giro anticiclônico do *Zapiola Rise*. Efeitos desta interação podem ser observados na figura 4.3a (pág. 52). Entre 35°W e 20°W os valores médios de \bar{V} podem ser considerados mais estáveis.

Após a divisão da CSA em dois ramos, à leste de 20°W, a CSA-N apresenta valores médios de \bar{V} que podem ser interpretados como uma estabilização da corrente. Entretanto, a CSA-S apresenta valores médios de \bar{V} que indicam um aporte de velocidade, provavelmente causado pela interação com a CCA ou FSA.

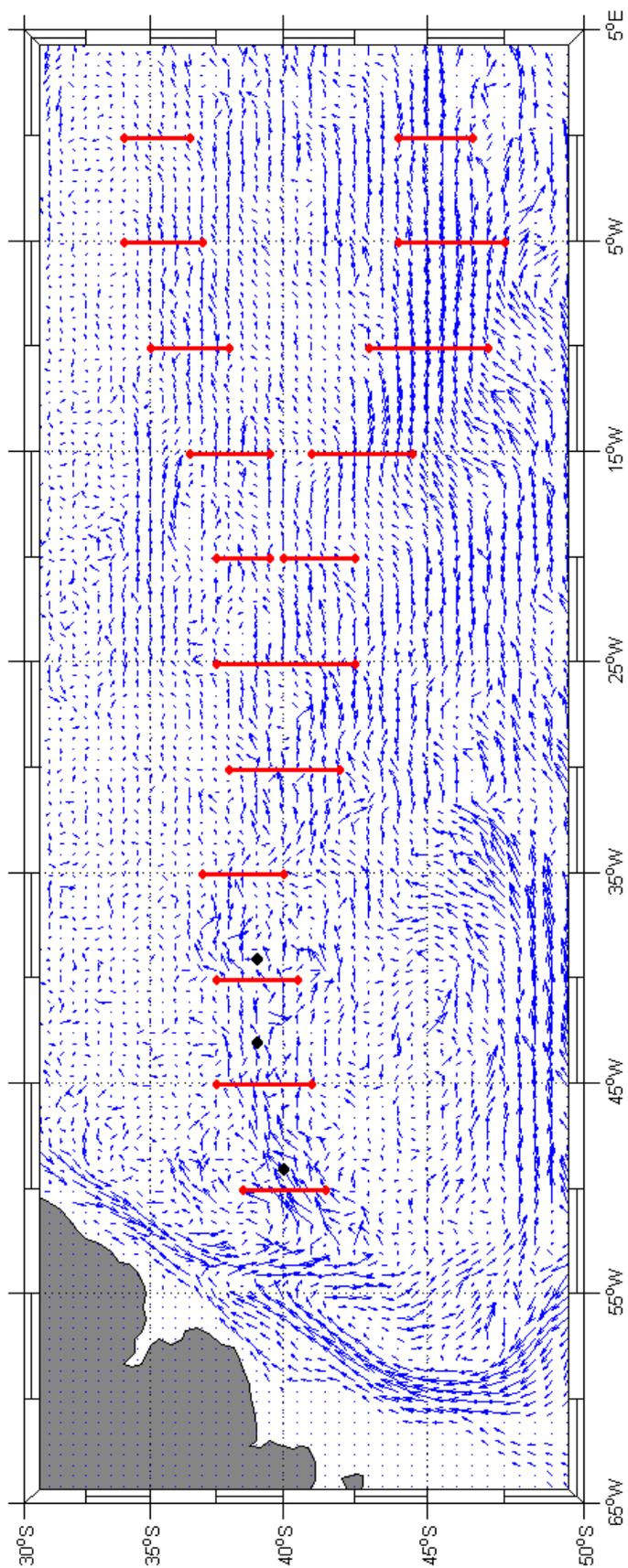


Figura 4.6: Representação esquemática do escoamento da Corrente Sul Atlântica.

4.2 Energia cinética

A tabela 4.4 apresenta os valores das energias cinéticas média (ECM), turbulenta (ECT) e a razão entre a ECT e a energia cinática total (ECT/EC_{total}) para os setores da área de estudo. A razão entre as energias cinéticas turbulenta e total pode ser considerada um indicador do tipo de escoamento em determinada região. Valores próximos de 100% indicam forte atividade turbulenta e próximos de 0% mais estabilidade no escoamento indicando menor variabilidade. A figura 4.7 apresenta as energias cinéticas média (ECM) e turbulenta (ECT).

Observa-se (tab. 4.7 e fig. 4.7a) os maiores valores da ECM na região oeste do OAS, nos setores CM, CBM e FR. A razão nos setores CBM e CSA indicam forte atividade turbulenta de meso-escala e, possivelmente agrega, intensa interação energética do campo médio e turbulento do escoamento. Nos setores CM, FR e CSA-S percebe-se o domínio da ECM sobre a ECT, indicando padrões de escoamento semelhantes, caracterizando um fluxo mais estável.

Tabela 4.4: Valores da ECM, ECT e razão ECT/EC_{total} para os setores da área de estudo

Setor	ECM ($\text{cm}^2.\text{s}^{-2}$)			ECT ($\text{cm}^2.\text{s}^{-2}$)			ECT/EC _{total} (%)
	Mín.	Máx.	Méd.	Mín.	Máx.	Méd.	
CM	1	4978	1062	0	530	113	10
CB	8	3409	714	3	1268	444	38
CBM	92	3864	1189	523	2333	1217	51
FR	39	4506	1489	25	1383	473	24
CSA	1	4790	440	3	2736	492	53
CSA-N	1	1474	253	8	596	183	42
CSA-S	8	3210	863	14	569	160	16

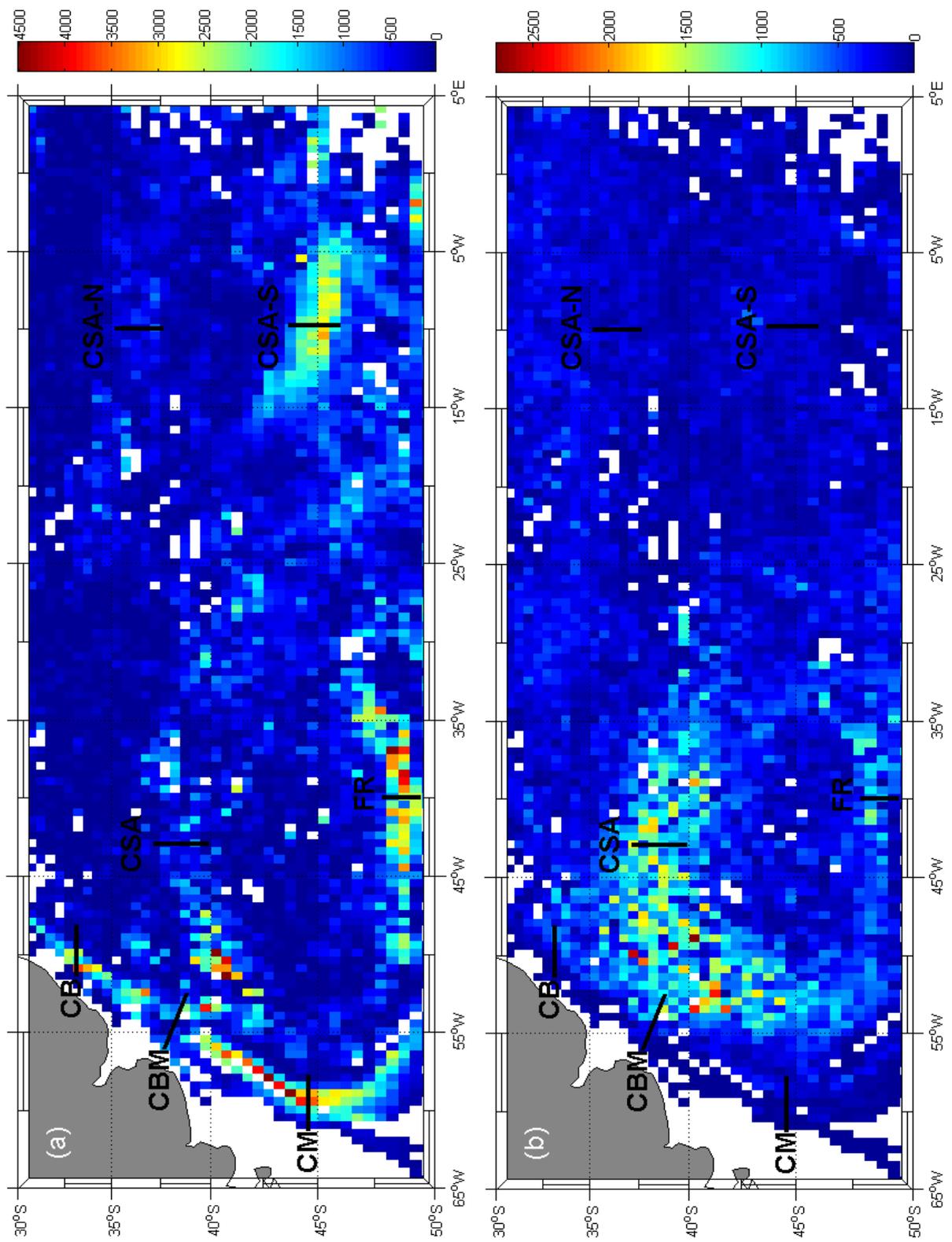


Figura 4.7: Energias cinéticas (a) média e (b) turbulenta ($\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-2}$).

A região interna do Giro Subtropical apresenta valores relativamente baixos ($\sim 100 - 200 \text{ cm}^2.\text{s}^{-2}$). A figura 4.7b apresenta os valores para a ECT associada ao campo de velocidade turbulento de meso escala. O maior valor encontrado para todo o domínio de estudo foi no setor CSA ($\sim 2700 \text{ cm}^2.\text{s}^{-2}$). A maior variabilidade observada concentra-se nos setores CBM e CSA, que podem estar associados com vórtices de meso escala liberados na região (Oliveira, 2008). Na região próxima do setor FR, pode-se notar que a ECM é 3 vezes maior que a ECT. A tabela 4.5 apresenta os valores médios de ECM, ECT e razão $\text{ECT}/\text{EC}_{\text{total}}$ para cada transecto identificado, segundo o procedimento apresentado no item 4.1.

Tabela 4.5: Valores médios da ECM, ECT e razão $\text{ECT}/\text{EC}_{\text{total}}$ para os transectos na CSA, CSA-N e CSA-S

Longitude	CSA – Latitude	ECM ($\text{cm}^2.\text{s}^{-2}$)	ECT ($\text{cm}^2.\text{s}^{-2}$)	ECT/EC_{total} (%)
-50	38,0 – 42,0	1177	705	37
-45	37,5 – 41,0	500	960	66
-40	37,5 – 40,5	537	944	64
-35	37,0 – 40,0	219	440	67
-30	38,0 – 42,0	465	312	40
-25	37,5 – 42,5	366	169	32
Média	–	544	588	52
Longitude	CSA-N	ECM ($\text{cm}^2.\text{s}^{-2}$)	ECT ($\text{cm}^2.\text{s}^{-2}$)	ECT/EC_{total} (%)
-20	37,5 – 39,5	315	73	19
-15	36,5 – 39,5	456	89	16
-10	35,0 – 38,0	363	121	25
-5	34,0 – 37,0	379	167	31
0	34,0 – 36,5	129	184	59
Média	–	328	127	28
Longitude	CSA-S	ECM ($\text{cm}^2.\text{s}^{-2}$)	ECT ($\text{cm}^2.\text{s}^{-2}$)	ECT/EC_{total} (%)
-20	40 – 42,5	174	117	40
-15	41 – 44,5	787	115	13
-10	43 – 47,0	1331	116	8
-5	44 – 47,5	1256	181	13
0	44 – 46,5	801	100	11
Média	–	870	126	13

Da figura 4.7 e dos valores da tabela 4.4, observa-se que a maior variabilidade na CSA descrita anteriormente concentra-se entre 45° e 35° W, onde a ECT é maior que a ECM. Esta variabilidade pode estar associada à vórtices de meso-escala liberados na região e/ou o cisalhamento deste ramo da CSA com a parte superior do giro anti-ciclônico na região do *Zapiola Rise*. A partir de 35° W em sentido leste, as duas energias tendem a diminuir, porém a ECM é maior do que a ECT. Em 0° W na CSA-N, a ECT é maior que a ECM, apresentando maior variabilidade, provavelmente decorrente da interação com a CBg, concordando com o observado por Richardson (2007).

4.3 Parâmetros de escoamento turbulento

A figura 4.8 apresenta os gráficos das escalas integrais lagrangianas em função das componentes turbulentas do campo de velocidade para toda a área de estudo. Os valores médios para as componentes zonal (T_u) e meridional (T_v), para toda a região de estudo, foram de 3,8 e 3,5 dias, respectivamente. Verifica-se que quanto menores os valores da escala temporal, maiores são os valores da componente turbulenta. Portanto, os menores valores de T são observados na região que apresenta maior ECT, como esperado.

Os valores médios da escala espacial para a componente zonal (L_u) foram identificado como 41 km e para a meridional (L_v) como 31 km. A maior parte dos dados concentram-se abaixo da escala temporal de 6 dias. Já os valores de L_u ficaram entre de 41 e 43 km e L_v entre 30 e 35 km, concordando com os valores apresentados na literatura, e.g. Thorpe (2007).

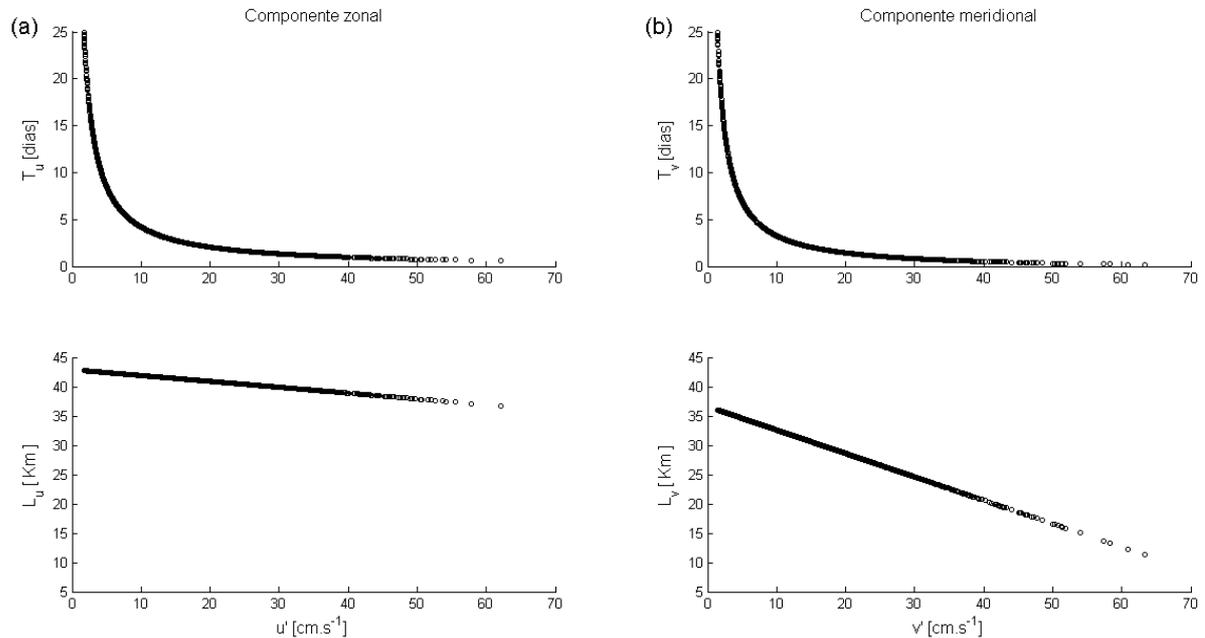


Figura 4.8: Escalas integrais lagrangianas (a) temporal e (b) espacial em função das componentes turbulentas zonal (u') e meridional (v')

Os coeficientes de difusividade turbulenta zonal e meridional são apresentados na figura 4.9. Os maiores valores concentram-se nos setores da CBM, da CSA, FR e no jato de extensão da CB ($\sim 7 \times 10^7 \text{ cm}^2.\text{s}^{-1}$). A maior variação para os setores está presente na componente zonal, entre 9×10^7 e $19 \times 10^7 \text{ cm}^2.\text{s}^{-1}$. A componente meridional, para os mesmos setores, não apresenta variação significativa sendo a média de $7 \times 10^7 \text{ cm}^2.\text{s}^{-1}$. A figura 4.10 apresenta os gráficos do coeficiente de difusividade lateral turbulenta em função das componentes turbulentas do campo de velocidade para toda a área de estudo.

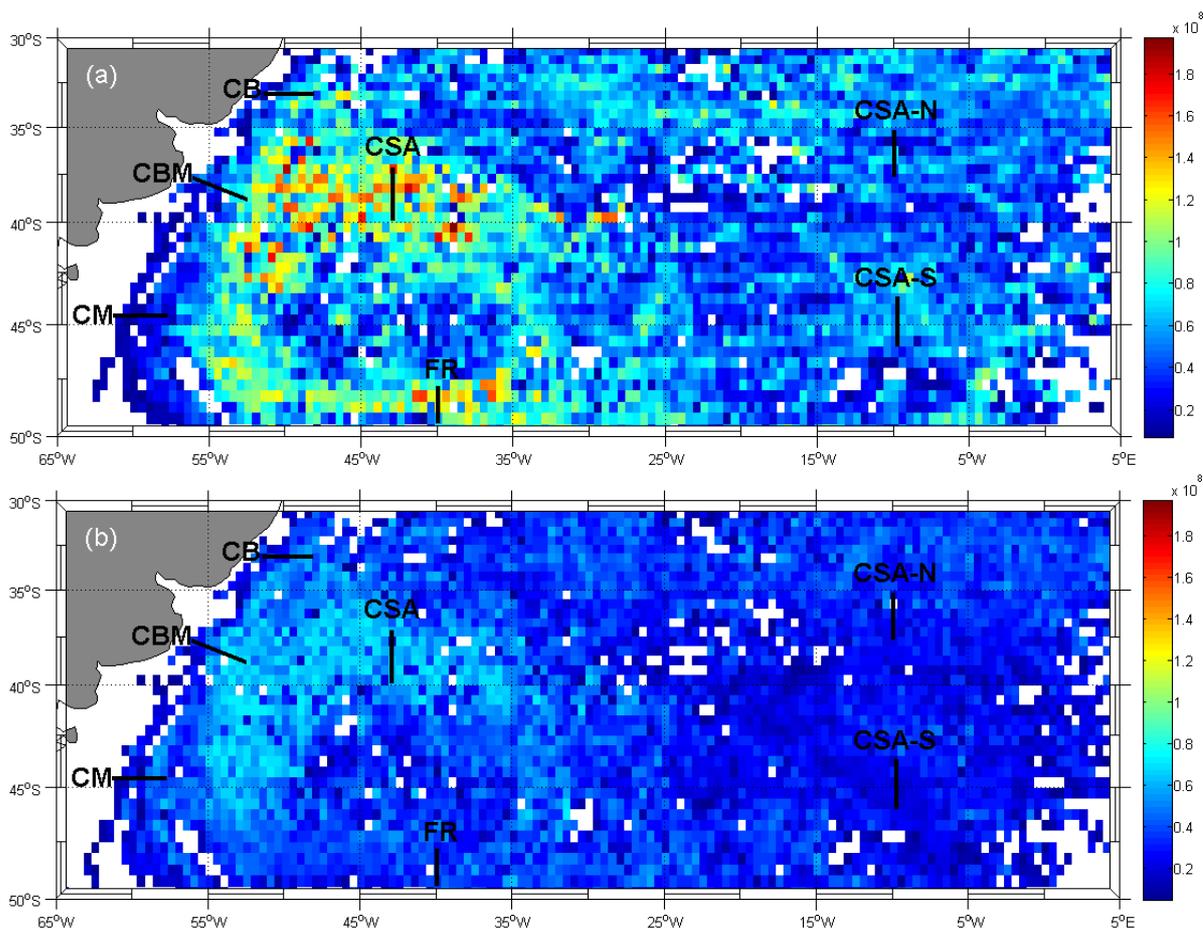


Figura 4.9: Coeficiente de difusividade turbulenta (a) zonal e (b) meridional ($\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$).

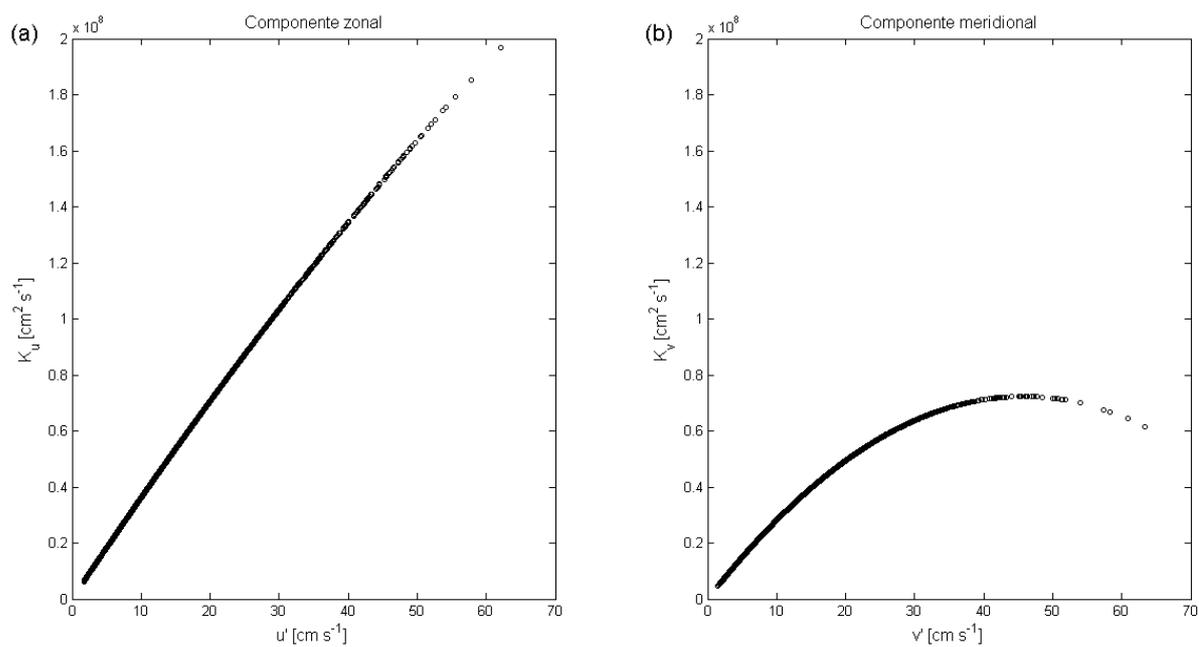


Figura 4.10: Coeficiente de difusividade turbulenta zonal (a) e meridional (b) em função das componentes turbulentas zonal (u') e meridional (v').

De acordo com a figura 4.10a, o maior valor de K_u é de $19,7 \times 10^{-7} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ e de u' é $62 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$. Para o maior valor de K_v (fig. 4.10b) igual a $7,2 \times 10^{-7} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ o valor respectivo de v' é igual a $46 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ e a escala temporal é de 0,6 dias. Segundo Thorpe (2007) os valores razoáveis de T estão entre 2 e 6 dias, assim pode-se considerar os valores de $T < 2$ dias para processos que ocorrem em uma escala de tempo menor, por exemplo, ondas internas ou ondas inercias. Em regiões de maior variabilidade, onde as flutuações são dominantes (maiores valores de ECT), a escala temporal é menor (0,4 a 2 dias) devido à rápida mudança de direção do escoamento. A tabela 4.6 apresenta os valores médios dos parâmetros de escoamento turbulento e valores das componentes turbulentas para os setores da área de estudo.

Tabela 4.6: Valores médios dos parâmetros de escoamento e velocidades residuais para os setores da área de estudo.

Setor	T_u (dias)	T_v (dias)	L_u (km)	L_v (km)	K_u ($\times 10^{-7} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	K_v ($\times 10^{-7} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	u' ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	v' ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)
CM	7,9	4,5	42	32	2,8	3,0	7	10
CB	3,6	2,0	41	28	6,0	4,9	17	21
CBM	1,8	0,6	40	20	8,7	7,0	25	40
FR	2,2	2,6	40	31	8,8	3,6	25	13
CSA	3,1	2,6	41	29	7,1	4,3	20	18
CSA-N	3,5	3,3	35	32	5,0	3,1	14	11
CSA-S	3,3	4,4	41	33	5,2	2,5	14	9

No setor da CM, o valor médio de K_u é menor do que K_v , podendo indicar a dispersão das partículas na direção meridional. Porém, a diferença entre os valores não é tão significativa e como o setor apresenta um valor baixo de ECT (tab. 4.3, pág. 58) pode-se considerar a isotropia da corrente.

Observa-se a anisotropia produzindo valores maiores para a difusividade zonal, concordando com Schäfer & Krauss (1995). De acordo com os autores, o aumento da dispersão das partículas na direção zonal (K_u) é provavelmente devido ao efeito beta, porém é uma questão em aberto.

A tabela 4.7 apresenta os valores mínimos, médios e máximos dos parâmetros de escoamento turbulento para os eixos principal e secundários da

CSA. O ramo principal (CSA) possui a maior variação entre os parâmetros de escoamento, sendo o setor de maior ECT (tab. 4.4, pág. 60) em relação à CSA-N e CSA-S. Os ramos secundários apresentam assim, um caráter mais isotrópico e mais estável dinamicamente.

Tabela 4.7: Valores dos parâmetros de escoamento da CSA, CSA-N e CSA-S

Parâmetro	CSA			CSA-N			CSA-S		
	Mín.	Máx.	Méd.	Mín.	Máx.	Méd.	Mín.	Máx.	Méd.
T_u (dias)	0,6	19,6	3,1	1,2	21,2	3,5	1,4	11,9	3,3
T_v (dias)	0,2	24,2	2,6	1,1	25,0	3,3	1,4	24,3	4,4
L_u (km)	37	43	41	40	43	35	40	43	41
L_v (km)	20	36	29	27	36	32	28	36	33
K_u ($\times 10^{-7} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	0,8	19,7	7,1	0,7	11,2	5,0	1,3	9,7	5,2
K_v ($\times 10^{-7} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	0,5	7,2	4,3	0,4	5,7	3,1	0,5	5,0	2,5

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho analisou dados de 996 derivadores rastreados por satélite, distribuídos entre os anos de 1989 à 2007, oriundos de vários programas nacionais e internacionais. Apesar de não identificar fenômenos sazonais, o trabalho resultou em médias consistentes concordando com o realizado na literatura, permitindo desta forma, auxiliar na caracterização da Corrente Sul Atlântica. Estudos futuros deveriam concentrar-se na separação e análise dos conjuntos de dados analisados sazonalmente.

Os derivadores lagrangianos mostraram-se muito eficientes no estudo e descrição da circulação superficial oceânica. Apresentam baixo custo e fácil aquisição de dados (disponíveis, como no caso deste trabalho, em bases de dados gratuitas em sítios público na internet) e necessitam de ferramentas simples para seu processamento computacional. Vale ressaltar que todo o equacionamento matemático utilizado é oriundo da mecânica clássica e facilmente encontrado na literatura.

Com os valores estimados do campo de velocidade superficial foi possível caracterizar o escoamento da CSA ($\sim 30 \text{ cm.s}^{-1}$), desde sua origem até a bifurcação de seu eixo principal.

A partir dos mapas de direção e intensidade média de corrente zonal e meridional, confirmaram-se os fluxos da CB em sentido sul, da CM para norte, da retroflexão da CB em direção nordeste e o giro anticiclônico no *Zapiola Rise*, padrões já bem fundamentados pela literatura e por diversas metodologias.

O desvio padrão médio do campo de velocidade pode identificar as regiões de maior variabilidade da circulação superficial de corrente e, portanto maior ECT. Os maiores valores foram observados na região da CBM (decrecendo em direção à CSA) e no paralelo da FSA, onde a alta variabilidade pode estar associada aos vórtices oriundos da CBM e da região do *Zapiola Rise*.

A CSA é composta por um sistema que contém um eixo principal e dois ramos, norte e sul. A CSA-N alimenta a Corrente de Benguela e a CSA-S escoar à leste em direção ao Oceano Índico.

Os maiores valores da ECM encontram-se na região oeste do OAS, nos setores CM, CBM e FR. A razão nos setores CBM e CSA indicam forte atividade turbulenta de meso-escala. Nos setores CM, FR e CSA-S percebe-se o domínio da ECM sobre a ECT caracterizando um fluxo mais estável. No setor da CSA-S, o valor da ECM pode estar associado à interação da CSA com a CCA. No setor CSA-N, a ECT é maior que a ECM, apresentando maior variabilidade, provavelmente decorrente da interação com a CBg.

Para os parâmetros de escoamento verificou-se que, quanto menores os valores da escala integral temporal e espacial, maiores são os valores da componente turbulenta. Valores de T menores que 2 dias indicam processos que ocorrem em uma escala de tempo menor, por exemplo, ondas internas ou ondas inercias. Em regiões de maior variabilidade, onde as flutuações são dominantes, a escala temporal é menor (0,4 a 2 dias) devido à rápida mudança de direção do escoamento.

A mesma relação foi observada para os coeficientes de difusividade turbulenta. A maior variabilidade verificada foi para a componente zonal. No setor da CM, o valor médio de K_u é menor do que K_v , podendo indicar a dispersão das partículas na direção meridional. No interior do *Zapiola Rise* e do Giro Subtropical a variação não é significativa, indicando que o processo de mistura ocorre nas regiões de maior ECT, como observado na literatura.

A Corrente Sul Atlântica apresenta uma característica meandrante em todo seu eixo, porém não turbulenta, podendo ser caracterizada como uma corrente estável dinamicamente. A variabilidade é maior nas proximidades das regiões mais energéticas do Atlântico Sul, onde se observa a interação da CSA com outras correntes e feições de meso-escala.

REFERÊNCIAS

- Assireu, A. T.; Stevenson, M. R.; Stech, J. L. (1998). Derivadores Rastreados por Satélite: uma eficiente ferramenta aplicada à Oceanografia. In: IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1998, Santos. Anais, Santos: INPE, p. 783-791.
- Assireu, A. T. (2003). Estudo das características cinemáticas e dinâmicas das águas de superfície do Atlântico Sul Ocidental a partir de derivadores rastreados por satélite. Tese de Doutorado (Oceanografia Física), USP, São Paulo.
- Batchelor, G. K. (1949). Diffusion in a field of homogeneous turbulence, I. Eulerian analysis. *Australian Journal of Scientific Research, Series A: Physical Sciences*, v. 2, p.437-450.
- Batchelor, G. K. (1952). Diffusion in a field of homogeneous turbulence, II. The relative motion of particles. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, v. 48, p. 345-362.
- Castro, B. M.; Lorenzetti, J. A.; Silveira, I. C. A.; Miranda, L. B. (2006). Estrutura termohalina e circulação na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: Rossi-Wongtschowski, C. L. D. B.; Madureira, L. S. P. (eds.). O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil. São Paulo: Edusp, p. 11-120.
- Cerrone, B. N. (2010). Estatísticas da circulação da bacia sul/sudeste brasileira a partir de dados lagrangianos. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil), UFRJ, Rio de Janeiro.
- Chelton, D. B., Schlax, M. G., Witter, D. L., Richmann, J. G. (1990). GEOSAT altimeter observations of the surface circulation of the Southern Ocean. *Journal of Geophysical Research*, v. 95, p. 877-903.
- Danilov, A.I.; Ivanov, L.M.; Klepikov, A.V.; Margolina, T.M. (2003). Analysis of the large-scale dynamics of surface waters in the Southern Ocean with the help of lagrangian drifters. In: Analysis of observations and methods for calculating hydrophysical fields in the ocean. *Physical Oceanography*, v. 13, n. 6, p. 333-354.
- Figueroa, H. A.; Olson, D. B. (1989). Lagrangian statistics in the South Atlantic as derived from SOS and FGGE drifters. *Journal of Marine Research*, v. 47, p. 525-546.
- Florenchie, P.; Verron, J. (1998). South Atlantic ocean circulation: simulation experiments with a quasi-geostrophic model and assimilation of Topex/Poseidon and ERS 1 altimeter data. *Journal of Geophysical Research*, v. 103, p. 24.737-24.758.

- Fratantoni, D. M. (2001). North Atlantic surface circulation during the 1990's observed with satellite-tracked drifters. *Journal of Geophysical Research*, v. 106, p. 22.067-22.093.
- Gan, J.; Mysak, L. A.; Straub, D. N. (1998). Simulation of the South Atlantic Ocean circulation and its seasonal variability. *Journal of Geophysical Research*, v. 103, n. C9, p. 10.241-10.251.
- Garret, J. F. (1980). Availability of the FGGE drifting buoy system data set. *Deep-Sea Research*, v. 27A, p. 1083-1086.
- Hansen, D.; Poulain, P. M. (1996). Quality control and interpolation of WOCE/TOGA drifter data. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 13, p. 900-909.
- Holland, W.; Semtner, A.; Harrison, D. E. (1983). Eddy resolving general circulation models. *Eddies in Marine Science*, edited by A. R. Robinson, Springer-Verlag, New York.
- Johnson, M. A. (1989). Southern ocean surface characteristics from FGGE buoys. *Journal of Physical Oceanography*, v. 19, p. 696-705.
- Kraus, W.; Bönnig, C. W. (1987). Lagrangian properties of eddy fields in the northern North Atlantic as deduced from satellite-traced buoys. *Journal of Marine Research*, v. 45, p. 259-291.
- LaCasce, J. H. (2008). Statistics from lagrangian observations. *Progress in Oceanography*, v. 77, p. 1-29.
- Large, W. G.; van Loon, H. (1989). Large scale, low frequency variability of the 1979 FGGE surface buoy drifts and winds over the Southern Hemisphere. *Journal of Physical Oceanography*, v. 19, p. 216-232.
- Lumpkin, R. (2003). Decomposition of surface drifter observations in the Atlantic Ocean. *Geophysical Research Letters*, v. 30, n. 14, p. 1-4.
- Lumpkin, R.; Pazos, M. (2007). Measuring surface currents with Surface Velocity Program drifters: the instrument, its data, and some recent results. In: Mariano, A., Rossby, T., Kirwan, D. (eds), *Lagrangian Analysis and Prediction of Coastal and Ocean Dynamics*, ed. A, cap. 2, Cambridge Univ. Press, p. 39-67.
- Lumpkin, R.; Treguier, A. M.; Speer, K. (2002). Lagrangian eddy scales in the Northern Atlantic Ocean. *Journal of Physical Oceanography*, v. 32, p. 2425-2440.
- Moraes, L. E. S. (2008). Relatório final de atividades para bolsa PCI modalidade DTI – 7E. INPE, São José dos Campo, 57p.

Niiler, P. P.; Paduan, J. D.; Sybrandy, A. L.; Sombardier, L. (1991). The WOCE/TOGA lagrangian surface drifter. *Proceedings of Oceans*, v. 91, p. 839-843.

Nuñez-Riboni, I.; Boebel, O.; Ollitrault M.; You Y.; Richardson P.L.; Davis, R. (2005). Lagrangian circulation of Antarctic Intermediate Water in the subtropical South Atlantic. *Deep-Sea Research II*, v. 52, p. 545-564.

Oliveira, L. R. (2008). Energética do Atlântico Sudoeste a partir de observações lagrangeanas e de simulações do *Parallel Ocean Climate Model*. Tese de Doutorado (Oceanografia Física), FURG, Rio Grande.

Olson, D. B.; Podestá, G. P.; Evans, R. H.; Brown, O.B. (1988). Temporal variations in the separation of Brazil and Malvinas currents. *Deep-Sea Research*, v. 35, n. 12, p. 1971-1990.

Orsi, A. H.; Whitworth III, T.; Nowlin Jr. W. D. (1995). On the meridional extent and fronts of the Antarctic Circumpolar Current. *Deep-Sea Research I*, v. 42, p. 641-673.

Pacific Gyre. SVP Lagrangian Drifter. <URL:<http://www.pacificgyre.com>> 23 de nov. 2010.

Patterson, S. L. (1985). Surface circulation and kinetic energy distributions in the southern hemisphere oceans from FGGE drifting buoys. *Journal of Physical Oceanography*, v. 15, p. 865-883.

Pazos, M.; Lumpkin, R. (2011). The Global Drifter Program. <URL:<http://www.aoml.noaa.gov/phod/dac/index.php>> 21 de fev. 2011.

Peterson, R. G.; Stramma, L. (1991). Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. *Progress in Oceanography*, v. 26, p. 1-73.

Pickard, G. L. (1968). *Oceanografia física descritiva: Uma introdução*. Rio de Janeiro: Fundação de Estudos do Mar.

Piola, A. R.; Figueroa, H. A.; Bianchi, A. A. (1987). Some aspects of the surface circulation south of 20° S revealed by First GARP Global Experiment drifters. *Journal of Geophysical Research*, v. 92, n. C5, p. 5101-5114.

Reid, J. L.; Nowlin Jr., W. D.; Patzert, W. C. (1977). On the characteristics and circulation of the Southwestern Atlantic Ocean. *Journal of Physical Oceanography*, v. 7, p. 62-91.

Reid, J. L. (1986). On the total geostrophic circulation of the South Pacific Ocean: Flow patterns, tracers, and transports. *Progress in Oceanography*, n. 16, p. 1-16.

- Reynolds, O. (1883). An experimental investigation of the circumstances which determine whether the motion of water shall be direct or sinuous, and of the laws of resistance in parallel channels. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, v. 174, p. 935-982.
- Richardson, L. F. (1926). Atmospheric diffusion shown on a distance-neighbor graph. *Proceedings of the Royal Society London Serie A*, v. 110, p. 709-737.
- Richardson, P. L. (1983). Eddy kinetic energy in the North Atlantic Ocean from Surface drifters. *Journal of Geophysical Research*, v. 88, p. 4355-4367.
- Richardson, P. L. (2007). Agulhas leakage into the Atlantic estimated with subsurface floats and surface drifters. *Deep-Sea Research I*, v. 54, p. 1361-1389.
- Richardson, P. L.; Lutjeharms, J. R. E.; Boebel, O. (2003). Introduction to the "Inter-ocean exchange around southern Africa". *Deep-Sea Research II*, v. 50, p. 1-50.
- Rintoul, S. R.; Sokolov, S. (2001). Baroclinic transport variability of the Antarctic Circumpolar Current south of Australia (WOCE repeat section SR3). *Journal of Geophysical Research*, v. 106, n. C2, p. 2815-2832.
- Saraceno, M.; Provost, C.; Zajaczkowski, U. (2009). Long-term variation in the anticyclonic ocean circulation over the Zapiola Rise as observed by satellite altimetry: Evidence of possible collapses. *Deep-Sea Research I*, v. 56, p. 1077-1092.
- Schäfer, H., Krauss, W. (1995). Eddy statistics in the South Atlantic as derived from drifters drogued at 100m. *Journal of Marine Research*, v. 53, p. 403-431.
- Sallée, J. B.; Speer, K.; Morrow, R.; Lumpkin, R. (2008). An estimate of lagrangian eddy statistics and diffusion in the mixed layer of the Southern Ocean. *Journal of Marine Research*, v. 66, p. 441-463.
- Schmitz, W. J., Jr; Holland, W. R. (1982). A preliminary comparison of selected numerical eddy-resolving general circulation experiments with observations. *Journal of Marine Research*, v. 40, p. 75-117.
- Sears, F. W.; Salinger, G. L. (1979). *Termodinâmica, Teoria Cinética e Termodinâmica Estatística*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois.
- Simões, J. C. (2008). Instituto Nacional de Ciência da Criosfera (INCC). Rio Grande do Sul: UFRGS, 39 p., Projeto de Pesquisa.
- Sissom, L. E.; Pitts D. R. (1979). *Fenômenos de transporte*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara S.A..

Souza, R. B. (1992). Estudo da circulação superficial ao Norte do Estreito de Bransfield, Antártica. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), INPE, São José dos Campos.

Souza, R. B. (2000). Satellite and Lagrangian Observations of mesoscale surface processes in the Southwestern Atlantic Ocean. Tese de Doutorado (Doctor of Philosophy), University of Southampton, Southampton.

Souza, R. B.; Pezzi, L. P.; de Camargo, R.; Moraes, L. E.; Todesco, E.; Soppa, M. A.; Russo, L. (2008). Estudo da interação oceano-atmosfera na região da Confluência Brasil-Malvinas e sua relação com processos oceânicos e atmosféricos subantárticos e antárticos. Santa Maria: INPE, 69 p., Relatório Final.

Souza, R. B.; Robinson, I. S. (1998). Lagrangian and infrared observations of surface currents in the Brazil-Malvinas Confluence Zone. *International Woce Newsletter*, v. 31, p. 32-35.

Souza, R. B.; Robinson, I. S. (2004). Lagrangian and satellite observations of the Brazilian Coastal Current. *Continental Shelf Research*, v. 24, n. 2, p. 241-262.

Stammer, D. (1998). On eddy characteristics, eddy transports, and mean flow properties. *Journal of Physical Oceanography*, v. 28, p. 727-739.

Stramma, L. (1992). The South Indian Ocean Current. *Journal of Physical Oceanography*, v. 22, n. 3, p. 421-430.

Stramma, L.; England, M. (1999). On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. *Journal Geophysical Research*, v. 104, n. C9, p. 20.863-20.883.

Stramma, L.; Peterson, R. G. (1990). The South Atlantic Current. *Journal of Physical Oceanography*, v. 20, p. 846-859.

Sybrandy, A. L.; Niiler, P.; Sombardier, L. (1992). Technical Improvements to the WOCE/TOGA Lagrangian Drifter. *Proceedings Of Oceans*, v. 92, p. 718-721.

Taylor G.I. (1920). Diffusion by Continuous Movements. *Proceedings of the London Mathematical Society Serie A*, v. 20, p. 196-212.

Thorpe, S.A. (2007). An introduction to ocean turbulence. Cambridge: Cambridge University Press.

UNESCO (1978). Oceanographic aspects of the First Garp Global Experiment-FGGE / jointly prepared by Intergovernmental Oceanographic Commission GARP Activities Office, WMO. Paris: UNESCO.

Yeung, P. K. (2002). Lagrangian investigations of turbulence. *Annual Review of Fluid Mechanics*, v. 34, p. 115-142.

Zhurbas, V.; Oh, I. (2004) Drifter-derived maps of lateral diffusivity in the Pacific and Atlantic Oceans in relation to surface circulation patterns. *Journal of Geophysical Research*, v. 109, p. 1-10.