

Marcelo Franco de Oliveira

**Vórtices da Corrente Norte do Brasil:
Estruturas de Velocidade e Massas de
Água**

Monografia de Bacharelado apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Orientador:

Prof. Dr. Ilson Carlos Almeida da Silveira

São Paulo

Novembro de 2009

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO OCEANOGRÁFICO

Vórtices da Corrente Norte do Brasil: Estruturas de
Velocidade e Massas de Água

Marcelo Franco de Oliveira

Monografia de Bacharelado apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de
São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em
Oceanografia.

Aprovada em ____/____/____ por

Prof. Dr. Ilson Carlos Almeida da Silveira

Prof.(a.) Dr.(a.)

Prof.(a.) Dr.(a.)

Sumário

Lista de Figuras	v
Lista de Tabelas	vi
Resumo	x
1 Introdução	1
1.1 Circulação em Grande Escala	1
1.2 A Retroflexão da Corrente Norte do Brasil	2
1.3 Objetivos	11
2 Conjunto de Dados	12
2.1 Pré-Processamento	14
2.1.1 Dados de CTD	14
2.1.2 Dados de ADCP	15
3 Metodologia	20
3.1 Estruturas de Velocidade	20
3.1.1 Seções Verticais de Velocidade Observada	20
3.1.2 Cálculo de Transporte de Volume	20
3.1.3 Distribuição Horizontal de Velocidade Observada	21
3.2 Estrutura de Massas de Água	21
3.2.1 Diagrama Θ -S	21
4 Resultados e Discussão	23
4.1 Estruturas de Velocidade	23
4.1.1 Seções Verticais de Velocidade	25
4.1.2 Seções Verticais de Transporte	33
4.2 Estrutura de Massas de Água	37
4.2.1 Diagrama Θ -S	37
5 Síntese e Conclusões	47
Referências	53

Lista de Figuras

1	Padrões esquemáticos superficiais da circulação em grande escala para o Oceano Atlântico. WESTRAX região sombreada e os anticiclones do Amazonas e de Demerara são marcados pela letra A. De acordo com <i>Bub & Brown</i> (1996).	1
2	Sistema de correntes superficiais equatoriais médias na borda oeste do Atlântico Equatorial: Contra-Corrente Norte Equatorial (CCNE) e seus ramos norte (CCNE _n) e sul (CCNE _s), Corrente Norte Equatorial (CNE), Corrente Sul Equatorial (CSE) e seus ramos central (CSE _c) e norte (CSE _n), Corrente Norte do Brasil (CNB), Sub-Corrente Equatorial (SE), Sub-Corrente Norte Equatorial (SNE), Sub-Corrente Norte do Brasil (SNB). Adaptado de <i>Urbano et al.</i> (2008).	2
3	Representação esquemática dos vórtices da retroflexão da CNB. Os pontos verdes representam a matriz IES de mapeamento sinótico e as setas o sentido do escoamento. Adaptado de: www.aoml.noaa.gov/phod/nbc	3
4	(a) Circulação em Grande Escala com destaque à região do cruzeiro WESTRAX. (A) Centro de Alta Pressão; (B) Centro de Baixa Pressão. (b) Detalhamento da região. Adaptado de <i>Bub & Brown</i> (1996).	5
5	Região de estudo. As posições das estações hidrográficas realizadas por PEGASUS e CTD estão representadas pelos triângulos. As linhas representam as batimetrias. Fonte: <i>Urbano & Silveira</i> (2003).	6
6	Seções verticais de velocidade zonal ao longo de 44°W foram montadas para cada cruzeiro WESTRAX. A localização das estações é sinalizada pelos círculos desenhados na parte superior do campo que estão referenciadas na Figura 5 através de triângulos. Fonte: <i>Urbano & Silveira</i> (2003).	7
7	Mapa de função de corrente, derivada dos dados de velocidade do perfilador Pegasus, em 100 m de profundidade para o cruzeiro WESTRAX Set90. Adaptado de <i>Silveira et al.</i> (2000).	8
8	Seções de temperatura ao longo de 44°W, para cada cruzeiro WESTRAX, truncadas em 4000 m. A localização das estações é sinalizada pelos círculos desenhados na parte superior do campo que estão referenciadas na Figura 5 através de triângulos. Fonte: <i>Urbano & Silveira</i> (2003).	9

9	Seções de salinidade ao longo de 44°W, para cada cruzeiro WESTRAX, truncadas em 4000 m. A localização das estações é sinalizada pelos círculos desenhados na parte superior do campo que estão referenciadas na Figura 5 através de triângulos. Fonte: <i>Urbano & Silveira (2003)</i>	10
10	Grade de estações oceanográficas da Comissão ONI, realizada pela Marinha do Brasil. Os tons de azuis representam as batimetrias, onde os tons mais claros são áreas mais rasas.	13
11	Grade de estações oceanográficas da Comissão ONII, realizada pela Marinha do Brasil. Os tons de azuis representam as batimetrias, onde os tons mais claros são áreas mais rasas. A estação 30 é demarcada pelo círculo amarelo.	13
12	Perfis de temperatura e salinidade para dados brutos (em vermelho) e dados processados (em azul) referentes à estação 30 da ONII, demarcada pelo círculo amarelo na Figura 11.	15
13	Pontos de calibração ONII. Os tons de azuis representam as batimetrias, onde os tons mais claros são áreas mais rasas.	18
14	Diagrama de temperatura potencial-salinidade (Θ -S) médio, utilizando todas as estações de CTD coletadas de 1999 a 2006 em cada grau de latitude ao longo de 38°W (linhas pretas delgadas), e valores médios latitudinais (linhas coloridas). Perfis climatológicos Levitus (linhas tracejadas) foram utilizados como referência para as Águas do Atlântico Norte (AAN; 35°W, 15–25°N), Águas do Atlântico Leste (AAL; 23°W, 3–15°N), e Águas do Atlântico Sul (AAS; 30°W, 15–25°S) Fonte: <i>Urbano et al. (2008)</i>	22
15	Distribuição horizontal dos vetores de velocidade observada via ADCP em 32 m de profundidade durante a Comissão ONII. Estes vetores de velocidade são resultantes do processamento pelo CODAS. Os círculos em preto representam a localização das estações oceanográficas. Os tons de azuis representam as batimetrias, onde os tons mais claros são áreas mais rasas.	23

16	Campo horizontal de função de corrente observada $\psi - obs$ a 32 m de profundidade, para os dados da ONII. A máscara cinza, junto à costa, representa a região sobre a plataforma continental limitada pela isóbata de 50 m (contorno dinâmico). Os vetores de velocidade estão sobrepostos ao campo de $\psi - obs$. As linhas vermelhas representam os trechos onde o ADCP obteve os perfis de velocidades da Comissão ONII.	24
17	Seção vertical de velocidades observadas ($m s^{-1}$) obtidas a partir dos dados processados pelo sistema CODAS e interpolação por AO, referentes à Radial 1 da Comissão ONII, com os valores positivos para noroeste (painel superior). Mapa de erro de interpolação (%) associado à seção de velocidade (painel central). A linha vermelha do painel inferior representa graficamente a localização geográfica da seção.	26
18	Similar à Figura 17, mas referentes à Radial 2 da Comissão ONII.	27
19	Similar à Figura 17, mas referentes à Radial 3 da Comissão ONII.	28
20	Similar à Figura 17, mas referentes à Radial 4 da Comissão ONII.	29
21	Similar à Figura 17, mas referentes à Radial 5 da Comissão ONII.	30
22	Seção de transporte de volume (S_v) referente à Radial 1 da Comissão ONII. Ver Figura 17.	34
23	Seção de transporte de volume (S_v) referente à Radial 2 da Comissão ONII. Ver Figura 18.	34
24	Seção de transporte de volume (S_v) referente à Radial 3 da Comissão ONII. Ver Figura 19.	35
25	Seção de transporte de volume (S_v) referente à Radial 4 da Comissão ONII. Ver Figura 20.	35
26	Seção de transporte de volume (S_v) referente à Radial 5 da Comissão ONII. Ver Figura 21.	36
27	Seções verticais de Θ , S e σ_θ , referentes à Radial 1 da Comissão ONII. Os triângulos na parte superior de cada seção indicam as estações hidrográficas. . .	38
28	Seções verticais de Θ , S e σ_θ , referentes à Radial 2 da Comissão ONII. Os triângulos na parte superior de cada seção indicam as estações hidrográficas. . .	39
29	Seções verticais de Θ , S e σ_θ , referentes à Radial 3 da Comissão ONII. Os triângulos na parte superior de cada seção indicam as estações hidrográficas. . .	40

30	Seções verticais de Θ , S e σ_θ , referentes à Radial 4 da Comissão ONII. Os triângulos na parte superior de cada seção indicam as estações hidrográficas.	41
31	Seções verticais de Θ , S e σ_θ , referentes à Radial 5 da Comissão ONII. Os triângulos na parte superior de cada seção indicam as estações hidrográficas.	42
32	Similar à Figura 14 mas para estações de CTD da Radial 1 da Comissão ONII (linhas vermelhas). Isolinha de densidade média para as estações na profundidade de 300 m (linha ciano).	43
33	Similar à Figura 32 mas para estações de CTD da Radial 2 da Comissão ONII (linhas verdes).	44
34	Similar à Figura 32 mas para estações de CTD da Radial 3 da Comissão ONII (linhas laranjas).	44
35	Similar à Figura 32 mas para estações de CTD da Radial 4 da Comissão ONII (linhas azuis).	45
36	Similar à Figura 32 mas para estações de CTD da Radial 5 da Comissão ONII (linhas magenta).	45
37	Representação esquemática das massas de águas superficiais encontradas na estrutura da retroflexão e formação de vórtices anticiclônicos da CNB durante a ONII (outubro-dezembro 2005). A área tracejada representa a região de estudo da Comissão ONII. Adaptado de <i>Urbano et al.</i> (2008).	48

Lista de Tabelas

- 1 Velocidades máximas (m s^{-1}) e valores de transporte de volume (Sv) referentes ao escoamento para noroeste nas 5 radiais da Comissão ONII. . . . 31
- 2 Velocidades máximas (m s^{-1}) e valores de transporte de volume (Sv) referentes ao escoamento para sudeste nas 5 radiais da Comissão ONII. Como podemos notar nas radiais 4 e 5 não foi possível observar claramente o sinal da retroflexão, pois devido à pequena extensão destas não foi alcançada a corrente com escoamento para sudeste. 31

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço a Deus.

Aos meus pais, meus avós e meus irmãos, que sempre me ajudaram em todas as minhas necessidades e me prepararam para a vida.

Não poderia esquecer de agradecer ao meu orientador, Prof. Dr. Ilson Carlos Almeida da Silveira, que me aceitou em seu laboratório e ajudou a formar meu conceito e que hoje é mais que só um orientador.

Ao pessoal do LaDO (Rafael, Juliana, Leandro, César, Herminio, Fernando, Hebe, Leilane, Ronaldo, Thiago e "Pitu"), que sempre me ajudou no que precisei.

Ao pessoal da minha república (os de agora e os que já passaram por lá) e os meus amigos que obtive durante a minha vida, pois todos deixaram algo (de bom ou ruim) com o qual acabei por ter algum aprendizado.

Aos meus amigos que fiz na faculdade (Alunos, Professores, Funcionários e Técnicos) que também me ensinaram muito.

Agradeço a CNPq-PIBIC que me ajudou com uma bolsa de iniciação científica.

E por fim a todos da Turma III de Oceanografia da USP, com os quais passei a maior parte da minha graduação. Sempre vou lembrar das festas, congressos, algumas provas e das amizades que pretendo que sejam para toda a minha vida.

Lista de Siglas e Acrônimos

AAL: Água do Atlântico Leste

AAN: Água do Atlântico Norte

AAS: Água do Atlântico Sul

ADCP: *Acoustic Doppler Current Profiler*

AO: Análise Objetiva

BNDO: Banco Nacional de Dados Oceanográficos

CCNE: Contra-Corrente Norte Equatorial

CCNE_n: Ramo Norte da Contra-Corrente Norte Equatorial

CCNE_s: Ramo Sul da Contra-Corrente Norte Equatorial

CNB: Corrente Norte do Brasil

CNE: Corrente Norte Equatorial

CODAS: *Common Ocean Data Access System*

CSE: Corrente Sul Equatorial

CSE_c: Ramo Central da Corrente Sul Equatorial

CSE_n: Ramo Norte da Corrente Sul Equatorial

CTD: *Conductivity, Temperature and Depth*

DHN: Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil

ONI: Comissão OCEANO NORTE I

ONII: Comissão OCEANO NORTE II

SE: Sub-Corrente Equatorial

SNB: Sub-Corrente Norte do Brasil

SNE: Sub-Corrente Norte Equatorial

WESTRAX : *Western Tropical Atlantic Experiment*

Resumo

A Corrente Norte do Brasil (CNB), principal corrente de contorno oeste nas baixas latitudes do Oceano Atlântico, atravessa o Equador e transporta águas da região tropical do hemisfério Sul para o hemisfério Norte. A CNB fecha o giro equatorial, que é forçado pelo vento e limitado ao sul pela Corrente Sul Equatorial (CSE) e ao norte pela Corrente Norte Equatorial (CNE). Esta corrente, durante os meses de março a junho, em sua maior parte escoia para noroeste acompanhando a linha da costa da América do Sul. No restante do ano, as águas superficiais da CNB se separam abruptamente da costa em 6°N a 7°N, curvam-se sobre si mesmas e se conectam à Contra-Corrente Norte Equatorial (CCNE) nos limites da camada oeste do Atlântico Tropical. Este processo é conhecido como "Retroflexão da Corrente Norte do Brasil" e é acompanhado pela emissão de vórtices anticiclônicos. O objetivo central deste trabalho é descrição da estrutura de velocidades e massas de água dos anticiclones de separação da CNB. Para atingi-lo, foram usados dados de CTD e ADCP das Comissões Norte I e II, realizados pela Marinha do Brasil no Navio Oceanográfico Antares, nos períodos de junho a setembro de 2001 e outubro a dezembro de 2005, respectivamente. Para alcançar o primeiro objetivo específico, após processar os dados de ADCP, as seções verticais de velocidade horizontal foram construídas para comprovar a presença do Anticiclone do Amazonas a partir da Radial 1. Nas quatro radiais mais ao norte, o Anticiclone de separação foi capturado pelo menos parcialmente, também foram obtidos os valores médios de transporte de volume de 36 Sv para a CNB (nos primeiros 300 metros de profundidade) e valores de velocidade máxima ($1,50 \text{ m s}^{-1}$). O segundo objetivo específico alcançou-se construindo diagramas θ -S para as cinco radiais, os resultados mostraram que a hipótese básica do trabalho é satisfeita. Foi possível observar que o Anticiclone do Amazonas é formado predominantemente pela AAS e parcialmente pela AAL, que contém já alguma contribuição de águas do hemisfério norte. Já o Anticiclone de separação, apresenta sua composição pela AAS, AAL e AAN, provável resultado do entranhamento na estrutura vortical devido a seu sentido horário de rotação e pela chegada de correntes equatoriais na camada oeste.

Descritores: Massas de Água , Estruturas de Velocidade , Corrente Norte do Brasil - CNB , Vórtices Anticiclônicos , Retroflexão da Corrente Norte do Brasil .

Abstract

The North Brazil Current (NBC), western boundary mainstream of low latitudes of the Atlantic Ocean, crosses the Equator and transports water from the tropical southern hemisphere to the northern hemisphere. The NBC completes the equatorial gyre, which is forced by the wind and limited in the South by the South Equatorial Current (CSE) and in the North by the North Equatorial Current (NEC). The NBC (from March to June) flows to the Northwest following the South America coastline. Surface waters of the NBC (from July to January), are abruptly separated from the coast at 6°N to 7°N , bending about themselves and connecting to the North Equatorial Countercurrent (NECC) in the limits of Tropical Atlantic western layer. This process is called as “North Brazil Current Retroflexion” and occurs with emissions of anticyclonic vortices. The aim of this paper is the velocity structure and water masses descriptions from the anticyclone separation of NBC. To achieve it, we use CTD and ADCP data from the North Commission I and II, carried out by Brazil’s Navy Oceanographic vessel Antares, from June to September 2001 and October-December 2005, respectively. For the first specific goal, after processing the ADCP data, the horizontal velocity vertical sections were built to prove the presence of Amazon’s Anticyclone in radial 1. In the northern radials, the Anticyclone separation was captured at least in part, we also obtained the volume transport mean values (36 Sv) for the CNB (in the first 300 meters) and velocity values (1.50 m s^{-1}). The second specific goal was reached by building diagrams Θ -S for the all radials, the results show that the work basic hypothesis is satisfied. We observed that the Amazon’s Anticyclone is formed predominantly by AAS and partly by AAL, which contains some contribution from northern hemisphere waters. Since the Separation Anticyclone is constituted by the SAA, AAL and AAN, a result of entrainment in the vortical structure due to its clockwise rotation and by the equatorial currents arrival in the western layer.

keywords: Water Masses, North Brazil Current (NBC), Velocity Structures, Anticyclones Vortices, North Brazil Current Retroflexion.

1 Introdução

1.1 Circulação em Grande Escala

Movimentos de grande escala tem ordem de 10^6 m, são portanto, movimentos em escala de bacia oceânica. O Oceano Atlântico é composto de quatro grandes giros, como podemos observar na Figura 1, são eles: Giro Subtropical do Atlântico Norte, Giro Tropical do Atlântico, Giro Equatorial e Giro Subtropical do Atlântico Sul. Não há giros subpolares no Atlântico, no norte é sobreposto pela circulação termo-halina, no sul não há barreira continental onde ocorre a Corrente Circumpolar Antártica (*Stramma & England, 1999*).

As correntes de contorno oeste são aquelas que delimitam os giros no lado oeste da bacia oceânica e são caracteristicamente quentes, intensas, com termoclina profunda e com ressurgências costeiras pontuais ligadas a feições fisiográficas da margem continental. Já as correntes de contorno leste no limite oposto dos giros oceânicos, são rasas e mais frias, fracas, com a presença de muitos vórtices e associadas a amplas bandas de ressurgência costeira (*Tomczak & Godfrey, 1994*).

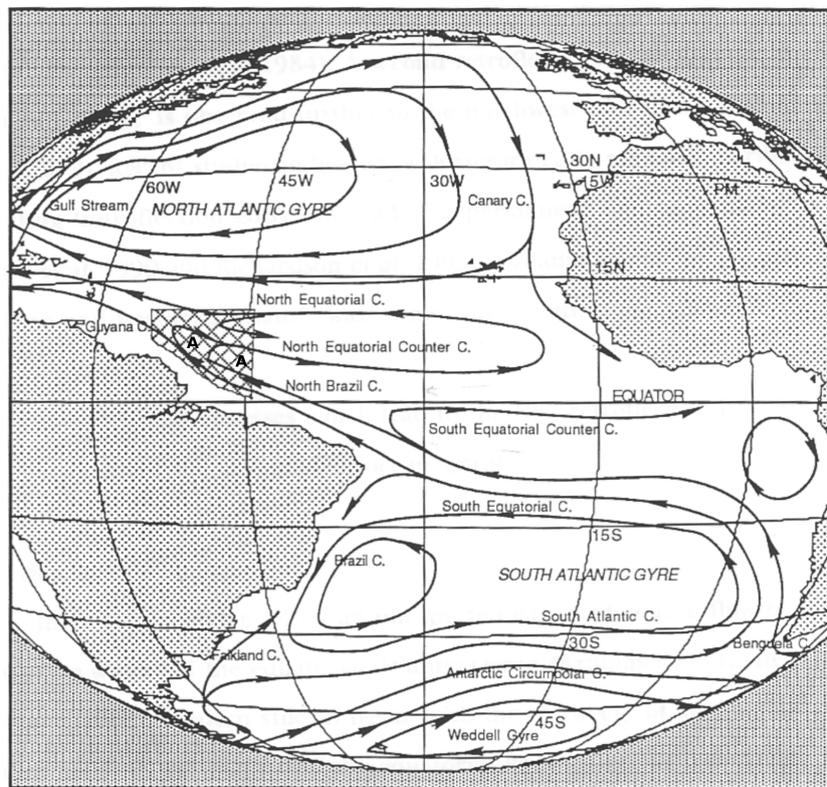


Figura 1: Padrões esquemáticos superficiais da circulação em grande escala para o Oceano Atlântico. WESTRAX região sombreada e os anticiclones do Amazonas e de Demerara são marcados pela letra A. De acordo com *Bub & Brown (1996)*.

1.2 A Retroflexão da Corrente Norte do Brasil

A Corrente Norte do Brasil (Figura 2) atravessa o Equador e transporta águas da região tropical para o hemisfério norte é a principal corrente de contorno oeste nas baixas latitudes do oceano Atlântico (*Bub & Brown, 1996*).

Esta corrente desempenha duas funções importantes no oceano Atlântico: i) fechar o Giro Equatorial, que é forçado pelo vento e limitado ao sul pela Corrente Sul Equatorial (CSE) e ao norte pela Corrente Norte Equatorial (CNE) e ii) propiciar um canal para o transporte das águas do Oceano Atlântico Sul para o norte, através do Equador, como parte da Célula de Revolvimento Meridional do Oceano Atlântico (*Patti, 2001*).

A CNB se forma a partir da ramificação central da Corrente Sul Equatorial (CSE), ao redor de 5°S, quando esta alcança a borda oriental do Continente Sul-Americano (vide Figura 2). Seu transporte estimado por cálculo geostrófico e perfilagem de corrente é de aproximadamente 15-20 Sv (*Schott et al., 1995*), onde $1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. A maior parte do transporte ocorre em nível picnoclínico e sub-picnoclínico e apenas 3-5 Sv são transportados na camada superficial (*Silveira et al., 1994*).

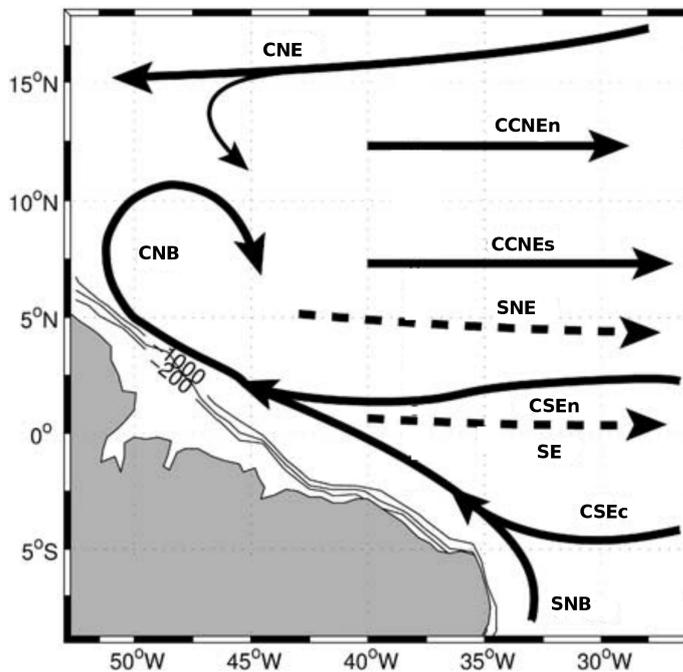


Figura 2: Sistema de correntes superficiais equatoriais médias na borda oeste do Atlântico Equatorial: Contra-Corrente Norte Equatorial (CCNE) e seus ramos norte (CCNEs) e sul (CCNEs), Corrente Norte Equatorial (CNE), Corrente Sul Equatorial (CSE) e seus ramos central (CSEc) e norte (CSEn), Corrente Norte do Brasil (CNB), Sub-Corrente Equatorial (SE), Sub-Corrente Norte Equatorial (SNE), Sub-Corrente Norte do Brasil (SNB). Adaptado de *Urbano et al. (2008)*.

Segundo *Urbano et al.* (2008), ao norte do Equador parte dessas águas abandonam a CNB e fluem para o interior da bacia oceânica, alimentando um sistema zonal de contracorrentes: a Contra-Corrente Norte Equatorial (CCNE) e a Sub-Corrente Equatorial (SE). O transporte da CNB atinge o máximo no verão boreal e o mínimo na primavera (*Johns et al.*, 1998). Durante os meses de março a junho, a maior parte da CNB escoia para noroeste acompanhando a linha da costa da América do Sul, eventualmente entrando no mar do Caribe pelas Pequenas Antilhas (*Richardson & Walsh*, 1986). Durante o resto do ano, as águas superficiais da CNB se separam abruptamente da costa entre 6°N e 7°N e, curvam-se sobre si mesmas, interconectando-se à CCNE no limite da camada oeste do Atlântico Tropical. Nesta fase, pode ocorrer a emissão de vórtices anticiclônicos (Figura 3). Esses, em seguida, movem-se para noroeste em direção ao Mar do Caribe, paralelamente à costa sul-americana (*Wilson et al.*, 2002). A emissão destes anéis vorticais da CNB pode ser responsável por até um terço do transporte de água quente em todo o limite do giro equatorial-tropical no Atlântico Norte em compensação da exportação para o sul de Águas Profundas do Atlântico Norte, (*Johns et al.*, 1990; *Didden & Schott*, 1993; *Richardson et al.*, 1994; *Fratantoni et al.*, 1995; *Goni & Johns*, 2001). Na picnoclina, durante todo o ano, a separação ocorre mais ao sul, próxima ao Equador (Figura 2), quando o escoamento da CNB vai suprir a Sub-Corrente Equatorial (SE). Sazonalmente, em 3°N–4°N, parte deste escoamento picnoclínico alimenta a Sub-Corrente Norte Equatorial (SNE) (*Góes et al.*, 2005).

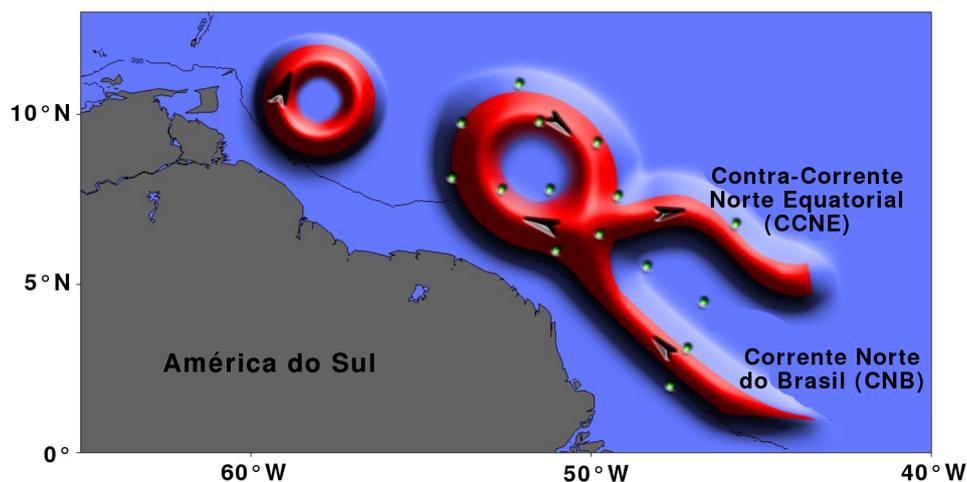


Figura 3: Representação esquemática dos vórtices da retroflexão da CNB. Os pontos verdes representam a matriz IES de mapeamento sinótico e as setas o sentido do escoamento. Adaptado de: www.aoml.noaa.gov/phod/nbc.

O modelo numérico desenvolvido por *Philander & Pacanowski* (1986) indicou que a Corrente Norte do Brasil apresenta um grande ciclo ao norte do Equador. Este ciclo está associado a variações no rotacional do cisalhamento do vento no interior da bacia oceânica e pode ocorrer devido a migração sazonal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

Vários estudos se dedicaram ao entendimento do processo de retroflexão, a formação dos anticiclones da CNB e sua relação com as ondas de Rossby. Citam-se, em ordem cronológica: *Johns et al.* (1990); *Fratantoni et al.* (1995); *Johns et al.* (1998); *Silveira et al.* (2000); *Jochum & Malanotte-Rizzoli* (2003); *Polito & Sato* (2003); *Fonseca et al.* (2004), e outros, se dedicaram ao estudo das massas de água da região e seu transporte pelas correntes como: *Bub & Brown* (1996); *Bourlès et al.* (1999a,b); *Góes et al.* (2005); *Urbano et al.* (2008).

Urbano & Silveira (2003) estudaram a região onde podemos observar a retroflexão através de dados dos cruzeiros do experimento WESTRAX (*Western Tropical Atlantic Experiment*). Este experimento constou de cinco cruzeiros hidrográficos e com perfilador Pegasus e foi realizado na região limítrofe entre os Giros Tropical e Equatorial do Atlântico, como mostrado na Figura 4. Na Figura 5 apresentamos as estações na seção meridional ao longo de 44°W pertencente ao programa WESTRAX. Ainda através de *Urbano & Silveira* (2003) obtemos seções de velocidade zonal (Figura 6), seções de temperatura (Figura 8) e seções de salinidade (Figura 9) ao longo de 44°W foram apresentados pelos autores.

Na Figura 6, de acordo *Urbano & Silveira* (2003), são mostradas claramente duas fases distintas no comportamento das correntes CCNE e SNE. Durante o período de inverno boreal nos cruzeiros de janeiro de 1990 e janeiro de 1991 o núcleo da CCNE está centrado em 3,2°N. A SNE encontra-se deslocada para norte, com seu núcleo posicionado além da fronteira norte do campo, em 1990, e centrado em 6,8°N, em 1991. Estão notoriamente separados por uma distância mínima de quatro graus de latitude. Por outro lado, nos cruzeiros de primavera e outono em setembro de 1990 e em junho de 1991, as duas correntes estão alinhadas verticalmente com um forte núcleo posicionado acima da isopicinal de 24,5 kg m⁻³ (Figura 6, linha espessa). *Bourlès et al.* (1999b) descrevem a presença de uma nítida separação vertical entre os núcleos dessas correntes durante o cruzeiro de junho de 1991. Uma descontinuidade na isopicinal de 26,75 kg m⁻³ (Figura 6, linha espessa), em 3,2°N, indica a presença da SNE durante esses cruzeiros.

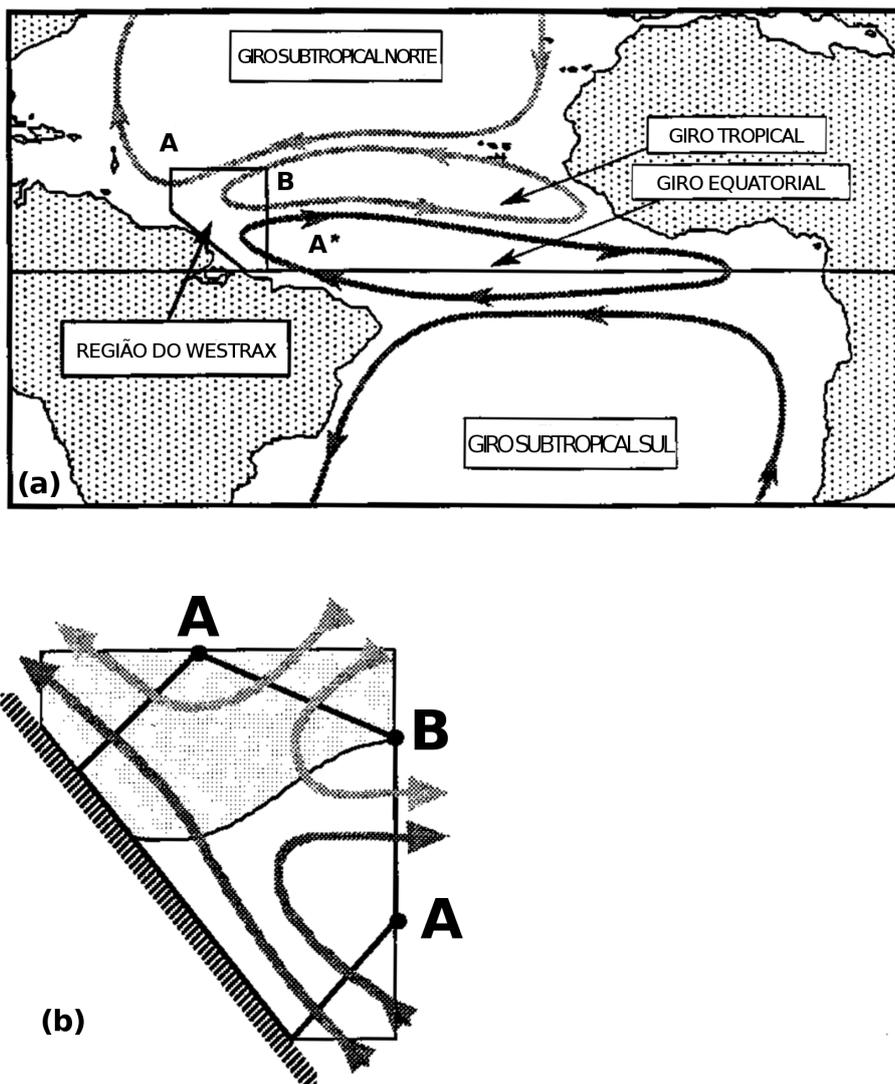


Figura 4: (a) Circulação em Grande Escala com destaque à região do cruzeiro WESTRAX. (A) Centro de Alta Pressão; (B) Centro de Baixa Pressão. (b) Detalhamento da região. Adaptado de *Bub & Brown* (1996).

Ao Norte do sistema CCNE existe um escoamento para oeste associado à borda sul da CNE. Esta corrente aparece mais evidente durante os cruzeiros de setembro de 1990 e junho de 1991, quando a CCNE desloca-se para sul devido ao posicionamento da Zona Intertropical (ZCIT).

O escoamento para oeste presente em todos os painéis da Figura 6 estão associados ao padrão anticiclônico de retroflexão, referido como anticiclone de Amazonas por *Bruce* (1995). Tal padrão fica particularmente claro quando os mapas de função de corrente observada obtidos por *Silveira et al.* (2000) é apresentado para o cruzeiro setembro de 1990 (Figura 7).

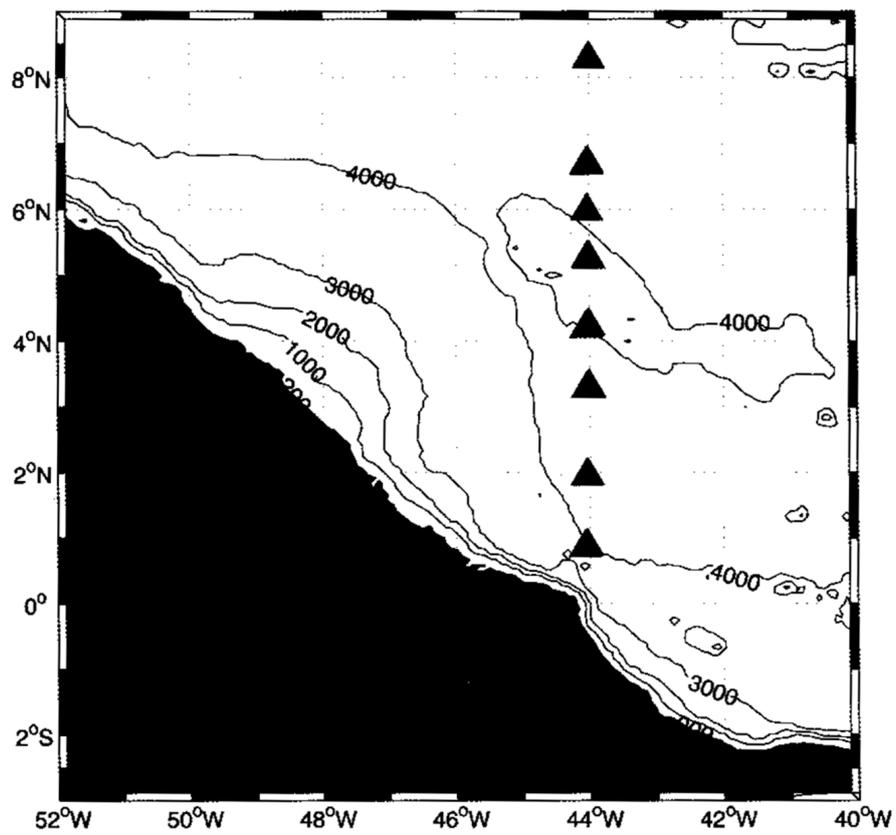


Figura 5: Região de estudo. As posições das estações hidrográficas realizadas por PEGASUS e CTD estão representadas pelos triângulos. As linhas representam as batimetrias. Fonte: *Urbano & Silveira (2003)*.

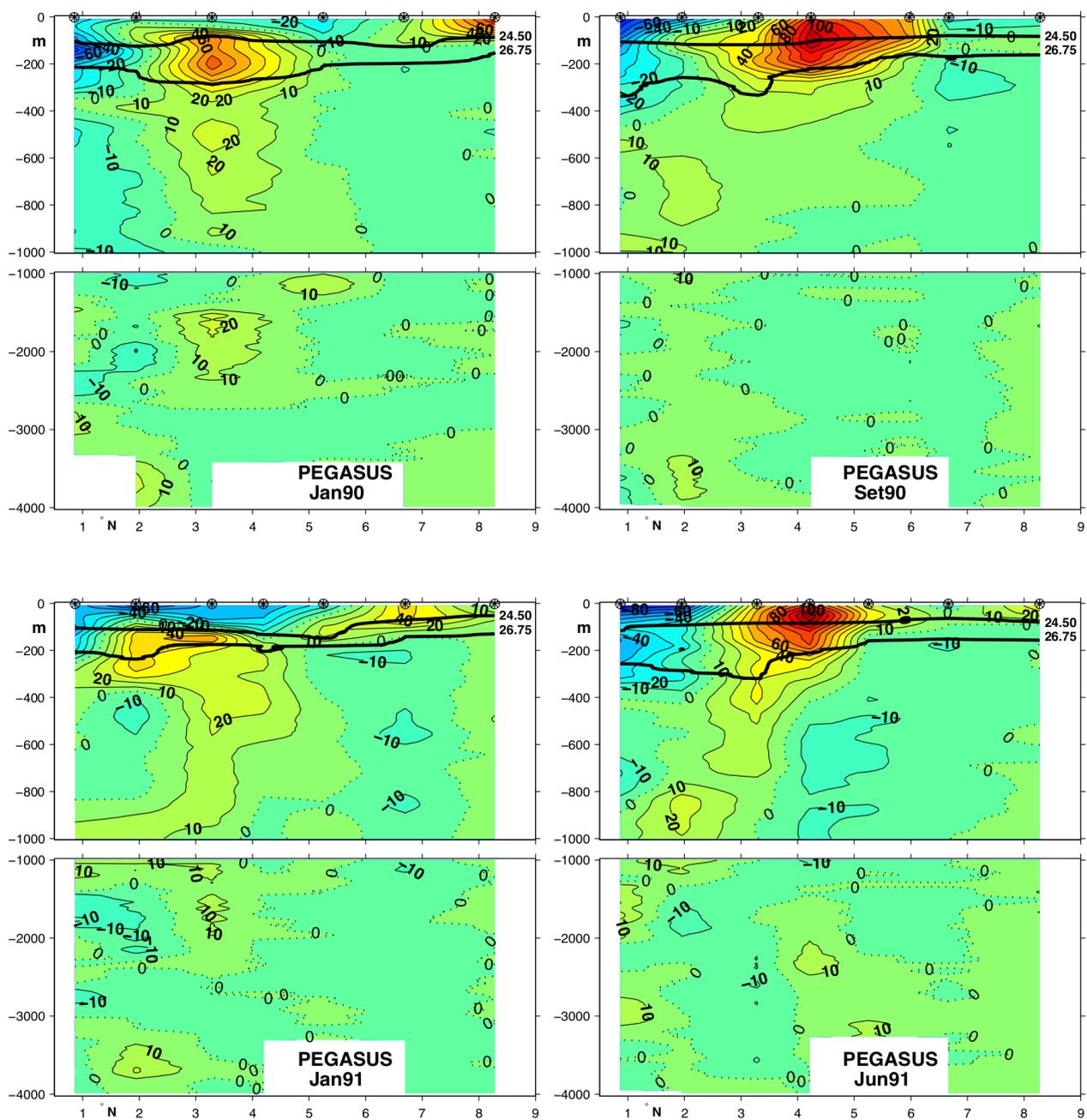


Figura 6: Seções verticais de velocidade zonal ao longo de 44°W foram montadas para cada cruzeiro WESTRAX. A localização das estações é sinalizada pelos círculos desenhados na parte superior do campo que estão referenciadas na Figura 5 através de triângulos. Fonte: *Urbano & Silveira (2003)*.

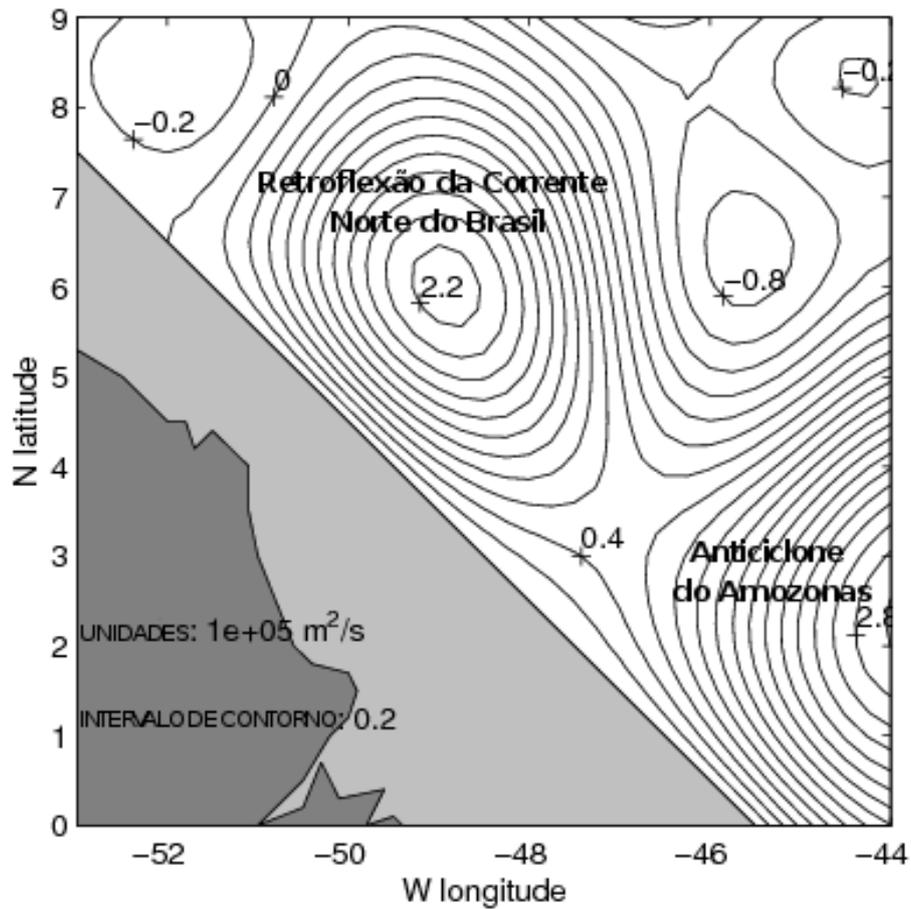


Figura 7: Mapa de função de corrente, derivada dos dados de velocidade do perfilador Pegasus, em 100 m de profundidade para o cruzeiro WESTRAX Set90. Adaptado de *Silveira et al.* (2000).

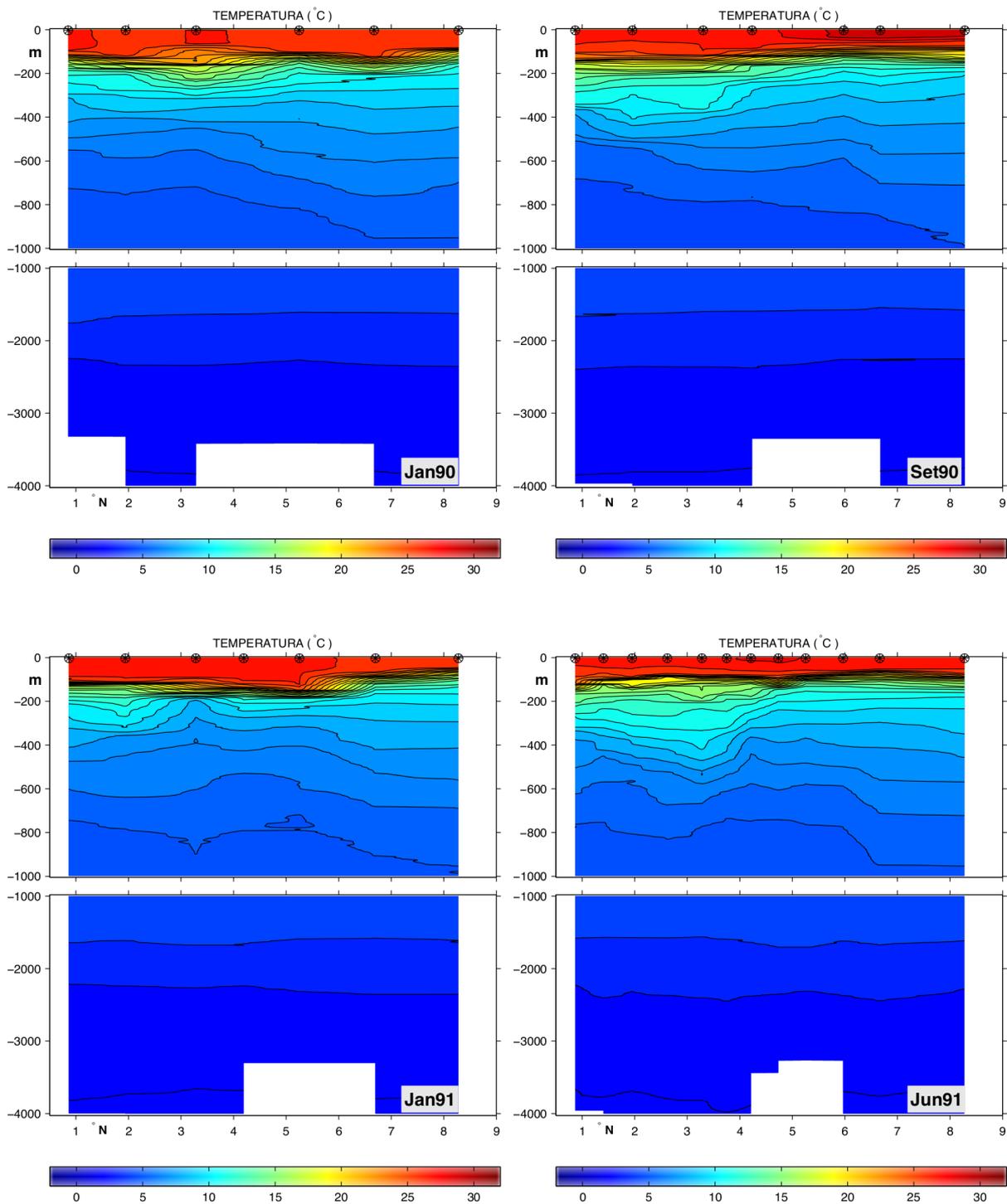


Figura 8: Seções de temperatura ao longo de 44°W, para cada cruzeiro WESTRAX, truncadas em 4000 m. A localização das estações é sinalizada pelos círculos desenhados na parte superior do campo que estão referenciadas na Figura 5 através de triângulos. Fonte: *Urbano & Silveira (2003)*.

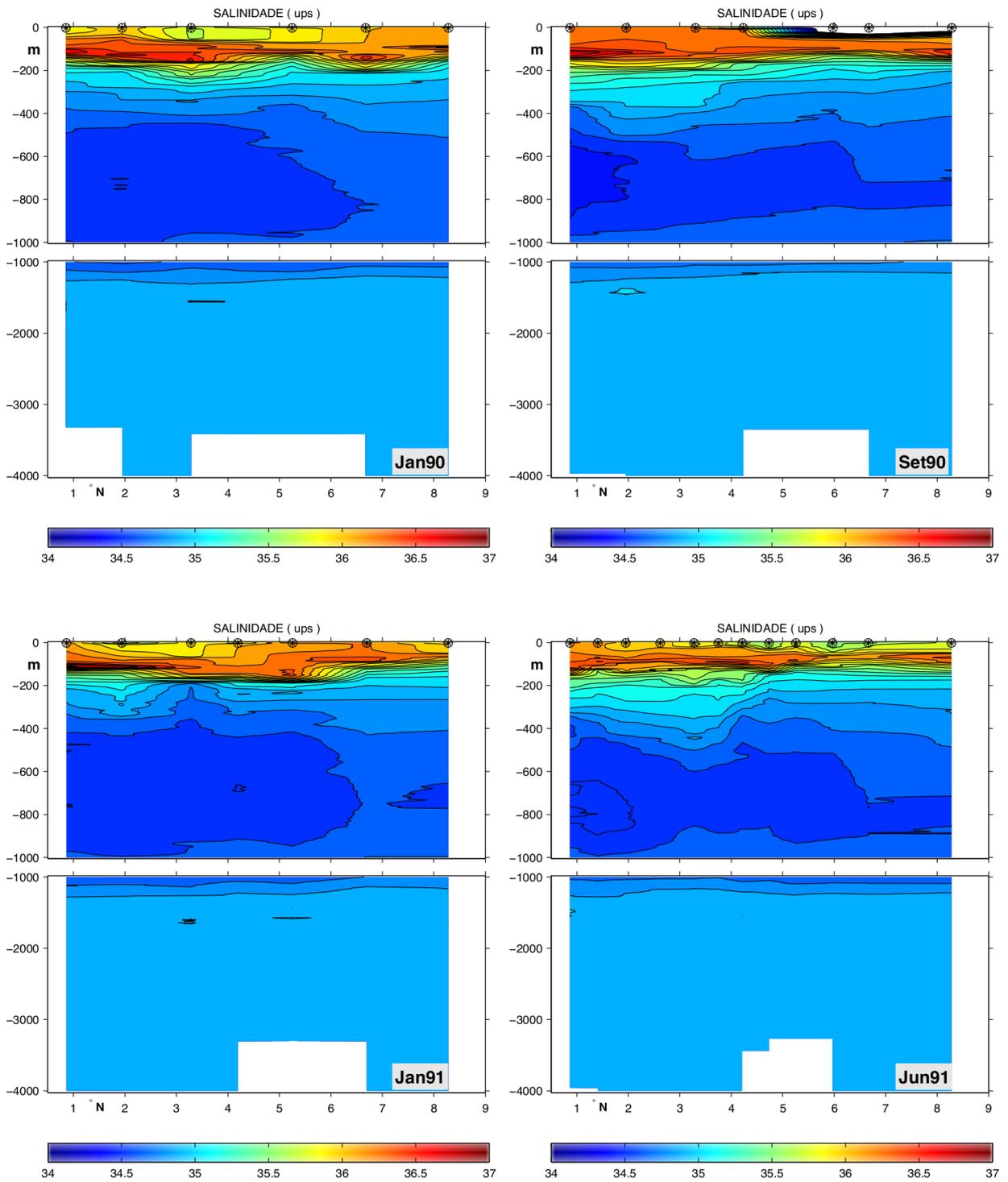


Figura 9: Seções de salinidade ao longo de 44°W , para cada cruzeiro WESTRAX, truncadas em 4000 m. A localização das estações é sinalizada pelos círculos desenhados na parte superior do campo que estão referenciadas na Figura 5 através de triângulos. Fonte: *Urbano & Silveira (2003)*.

No entanto, as distribuições de temperatura e salindade apresentadas nas Figuras 8 e 9 não foram relacionadas às estruturas de vórtice da CNB por *Urbano & Silveira* (2003), sendo apenas utilizadas para cálculo dinâmico.

A relação entre as massas de água entranhadas nos vórtices da CNB ainda é um tema inexplorado. Em função desta lacuna de conhecimento, a hipótese científica desta proposta é que a composição de massa de água dos anticiclones da CNB é formada por porções advindas de ambos hemisférios.

1.3 Objetivos

O objetivo central deste trabalho é descrição da estrutura de velocidades e massas de água dos vórtices anticiclônicos da CNB.

Os objetivos específicos deste trabalho consistem em:

- calcular seções de velocidades medidas diretamente por *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP) de casco; e
- caracterizar as massas de água dos vórtices anticiclônicos da CNB através da criação de um diagrama médio Θ - S , obtido através dos dados de CTD.

2 Conjunto de Dados

Os dados de CTD e ADCP utilizados são das Comissões Oceano Norte I e II, realizados pela Marinha do Brasil no Navio Oceanográfico Antares, nos períodos de junho a setembro de 2001 e outubro a dezembro de 2005, respectivamente. O conjunto de dados foi solicitado ao BNDO (Banco Nacional de Dados Oceanográficos), pertencente à Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (DHN) e adquirido via *ftp*.

Para obtenção dos dados de CTD, foram realizadas 145 estações distribuídas em 23 radiais para a Comissão ONI (Figura 10) e 40 estações distribuídas em 5 radiais para a Comissão ONII (Figura 11). Os dados de ADCP foram obtidos ao longo de todo o trajeto do navio (Figuras 10 e 11).

Os instrumentos utilizados nas perfilagens verticais de ambos cruzeiros foram:

- perfilador CTD “SeaBird SBE 9Plus”, N/S 9P25491, com duplicidade dos sensores de temperatura e condutividade. Os dados do CTD foram adquiridos na frequência de 24 Hz.
- perfilador ADCP “RD Instruments” BB75kHz, P/N 714-6027-00, onde dados correntográficos foram amostrados com um intervalo de 3 segundos e razão de recepção do sinal da agulha giroscópica de 1:1.

Após uma análise prévia dos dados, optou-se por descartar a Comissão ONI. A razão foi que nenhuma das radiais capturou a assinatura da retroflexão da CNB, o que possivelmente está associado à externaria oceânica das mesmas.

A localização das 5 radiais da Comissão ONII são:

- radial 1 (45,8–47,7°W, 1,8–4,7°N)
- radial 2 (47,7–49,8°W, 3,4–6,5°N)
- radial 3 (48,1–50,1°W, 3,7–6,6°N)
- radial 4 (48,8–50,5°W, 4,2–6,5°N)
- radial 5 (49,3–51°W, 4,6–6,8°N)

Em relação à Comissão ONII, para permitir uma análise adequada e posterior interpretação dos dados coletados foi efetuado um pré-processamento a ser descrito na próxima seção.

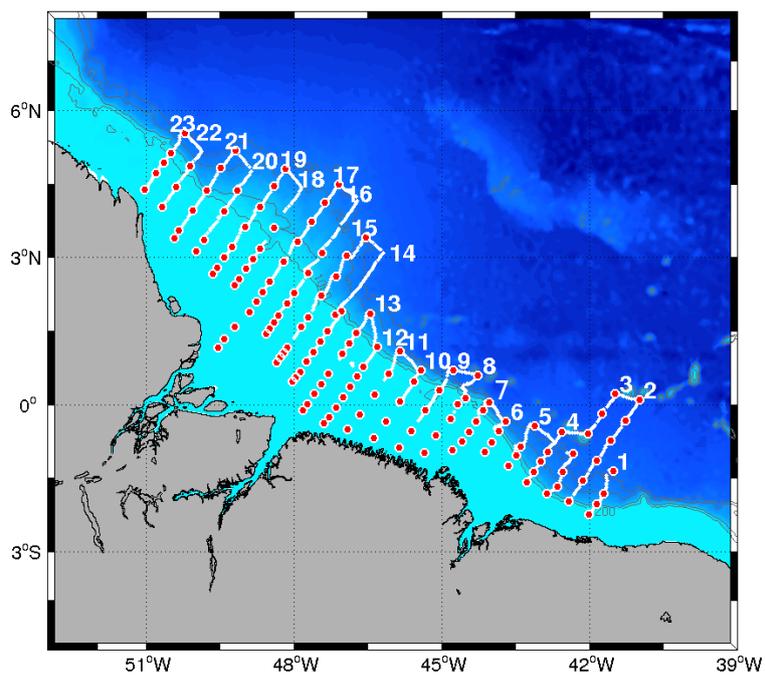


Figura 10: Grade de estações oceanográficas da Comissão ONI, realizada pela Marinha do Brasil. Os tons de azuis representam as batimetrias, onde os tons mais claros são áreas mais rasas.

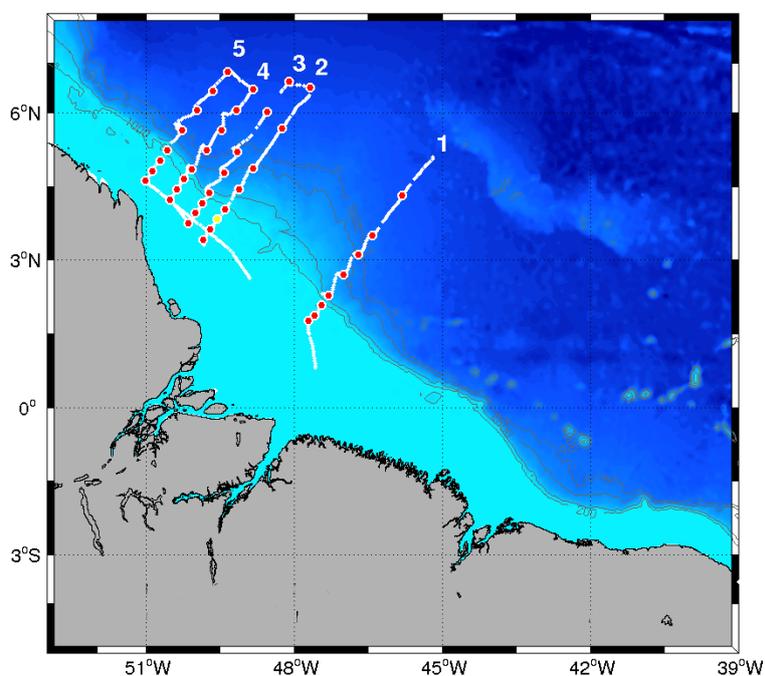


Figura 11: Grade de estações oceanográficas da Comissão ONII, realizada pela Marinha do Brasil. Os tons de azuis representam as batimetrias, onde os tons mais claros são áreas mais rasas. A estação 30 é demarcada pelo círculo amarelo.

2.1 Pré-Processamento

2.1.1 Dados de CTD

Os procedimentos realizados no tratamento básico dos dados hidrográficos são :

Remoção de Picos (*Spikes*)

Durante a perfilagem podem ocorrer falhas de comunicação, assim podem ser gerados valores ordens de grandeza acima ou abaixo dos valores das propriedades amostradas. A estes denominamos de picos, ou “*spikes*”, e precisam ser removidos. Eles são removidos em comparação a faixas de valores aceitáveis ($\bar{x} \pm 3\sigma$) para cada propriedade em uma dada profundidade.

Média em Caixas

O CTD utilizado operou com uma frequência de amostragem de 24 Hz e com velocidade média de descida de 1 m s^{-1} , assim temos cerca de 24 amostragens para cada metro da coluna de água. Então, para cada profundidade inteira, foi estabelecida uma “caixa” de 1 m de profundidade com os valores correspondentes a esta faixa e fez-se uma média aritmética. Tal procedimento permite o equi-espacamento vertical dos dados hidrográficos, com conseqüente alisamento do perfil.

Alisamento por Janela Móvel

Este procedimento consiste em recalcular os valores das propriedades em questão a cada metro de coluna de água, substituindo-os por uma média ponderada utilizando valores adjacentes, onde o valor em questão possui um peso maior. Esse procedimento resulta em uma variação suave dos valores do sinal. O tamanho da janela deve ser ajustado de acordo com a profundidade da estação, de forma a não alterar os gradientes verticais importantes na análise. Para este trabalho foi utilizada a janela do tipo *Hanning*, onde a distribuição dos pesos tem um caráter cosseno suavizados nas bordas, privilegiando a medida central. Para estações com profundidades até 100 m foi usada uma janela de 5 m, para estações com profundidades entre 100 e 500 m é usada uma janela de 11 m, para estações com profundidades superiores a 500 m é usada uma janela de 21 m.

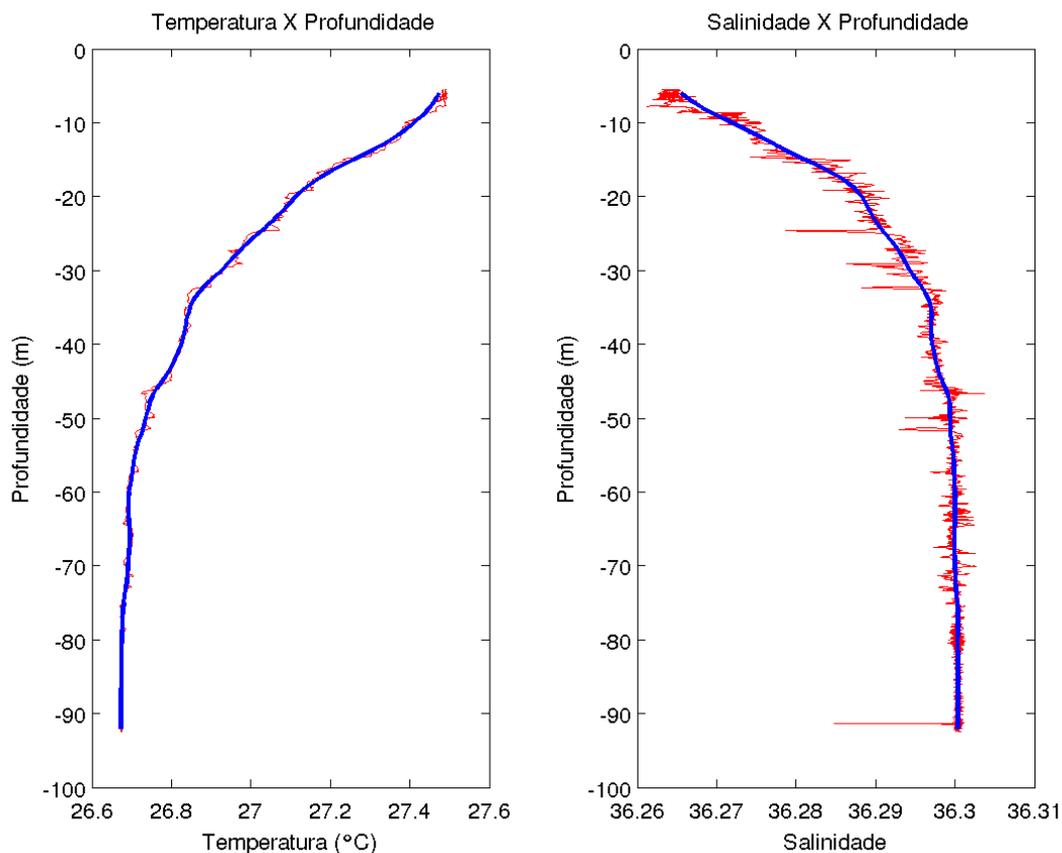


Figura 12: Perfis de temperatura e salinidade para dados brutos (em vermelho) e dados processados (em azul) referentes à estação 30 da ONII, demarcada pelo círculo amarelo na Figura 11.

Na Figura 12, notamos as diferenças entre os dados brutos e os dados após o processamento.

2.1.2 Dados de ADCP

O ADCP é um perfilador de correntes que se utiliza do Efeito Doppler, que consiste na reflexão de ondas sonoras por um refletor em movimento relativo ao emissor/receptor. Essencialmente o aparelho emite um feixe de ondas sonoras, que é refletido por partículas em suspensão na água, assim sendo capaz de quantificar essa mudança de frequência e associá-la à velocidade e direção médias de deslocamento das partículas.

O equipamento usado na Comissão ONII, de 75 kHz, mede as velocidades na coluna de água até aproximadamente 400 m de profundidade e a perfilagem vertical é dividida em camadas equi-espaçadas de 8 m.

Todos os procedimentos que serão descritos nesta seção foram conduzidos com o auxílio do CODAS (*Common Ocean Data Access System*), que é um pacote de programas desenvolvido pelo Grupo de trabalho do Dr. Eric Firing, da Universidade do Havaí. A descrição metodológica é uma adaptação de *Soutelino (2008)*.

Os procedimentos realizados no tratamento básico dos dados de ADCP são :

Promediação Temporal

Os perfis de velocidades medidos pelo ADCP são obtidos através de, no mínimo, três emissores e receptores de ondas sonoras denominados transdutores. O conjunto de feixes sonoros emitidos pelos transdutores é denominado *ping*, que são os dados originalmente obtidos pelo perfilador. Um *ping* corresponde a um perfil de velocidade desde a superfície até a profundidade em que os feixes penetram. Este princípio torna o método muito ruidoso, o que faz que sejam necessárias etapas para remoção desses ruídos.

Na Comissão ONII, o intervalo amostral para emissão dos *pings* foi de 3 s. Existem varias opções de promediação, mais em síntese, são três os tipos de arquivos gerados:

- os brutos, contendo os *pings* inalterados;
- STA (*Short Term Averaged Data*), os de médias curtas;
- LTA (*Long Term Averaged Data*), os de médias longas;

Em nosso trabalho usaremos somente os arquivos de médias longas (LTA) que estão separados em intervalos de 10 minutos.

Cálculo de Velocidade Absoluta

No caso do ADCP de casco o equipamento não se encontra em um referencial fixo, sendo assim para a obtenção da velocidade absoluta do fluido é necessário o acoplamento de outros equipamentos ao sistema de aquisição via ADCP. Para estimarmos a velocidade do navio, é necessária uma agulha giroscópica (GIRO) e um sistema de posicionamento por satélite (GPS), assim podemos descontar a velocidade do navio e também eliminar possíveis desvios de trajetória. Com uma estimativa da velocidade do navio, obtemos a velocidade absoluta das correntes através de uma simples soma vetorial. Como há limitações intrínsecas ao sistema ADCP-GPS-GIRO o método não é assim tão simples. A resposta da GIRO usualmente é lenta em relação à frequência amostral do ADCP. Esta resposta lenta se torna um fator importante em trechos onde o navio executa manobras

bruscas, o que pode gerar erros na medição da magnitude e direção da corrente.

Para que isso não ocorra adotamos um método de calibração que está descrito em detalhes em *Joyce (1989)* e *Pollard & Read (1989)* que elimina estes desvios associados à GIRO e nos dão as expressões para α e β . Onde o ângulo α é o ângulo entre a proa do navio e o norte verdadeiro e β é o desvio entre a orientação dos transdutores do ADCP e a vertical local. O desvio β sofre variações caso haja aceleração linear do navio e α sofre variações caso haja aceleração angular do mesmo. O conhecimento dos ângulos α e β é então fundamental para conduzir a soma vetorial que resultará na velocidade absoluta do fluido e os mesmos variam ao longo do cruzeiro conforme o navio muda sua trajetória e se submete ao balanço de sentido longitudinal provocado pelas ondas (caturro).

Vale destacar que o método assume a seguinte condição: “*o vetor velocidade do fluido não deve variar durante de qualquer tipo de manobra do navio*”, sendo esta a única limitação deste método. Escolhemos uma camada específica para que sejam avaliadas as velocidades antes e depois de um evento de manobra brusca, que é denominada “Camada de Referência”. Optamos por utilizar o método “Watertracking”, tendo em vista que o “Bottomtracking” é usado em águas rasas, pois usa um referencial fixo como o assoalho oceânico, assim sendo mais preciso. Utilizamos a décima oitava camada como referência, que corresponde aproximadamente a 150 m.

Para estimar os parâmetros de α e β utilizamos os dados de trechos particulares da trajetória do navio. Os trechos são os seguintes:

–**Estações Oceanográficas:** momento em que o navio fica parado por períodos que podem variar de 20 min até 3 hrs.

–**Guinadas bruscas:** assumimos que as velocidades antes e depois da guinada tem que serem iguais.

–**Trechos repetidos:** o navio navegando em uma mesma trajetória por algumas vezes em um curto espaço de tempo é uma boa oportunidade de realizar a calibração.

Para obtermos valores α e β estatisticamente robustos é melhor termos o maior número de pontos de calibração possível. Na Figura 13 apresentamos os potenciais pontos de calibração. Com isso obtemos os valores médios de α e β através do sistema CODAS e os aplicamos aos dados para conseguirmos os vetores corrigidos de velocidade absoluta da corrente. Os valores que foram aplicados são: $\bar{\alpha} = 0,06^\circ$ e $\bar{\beta} = 1,00^\circ$.

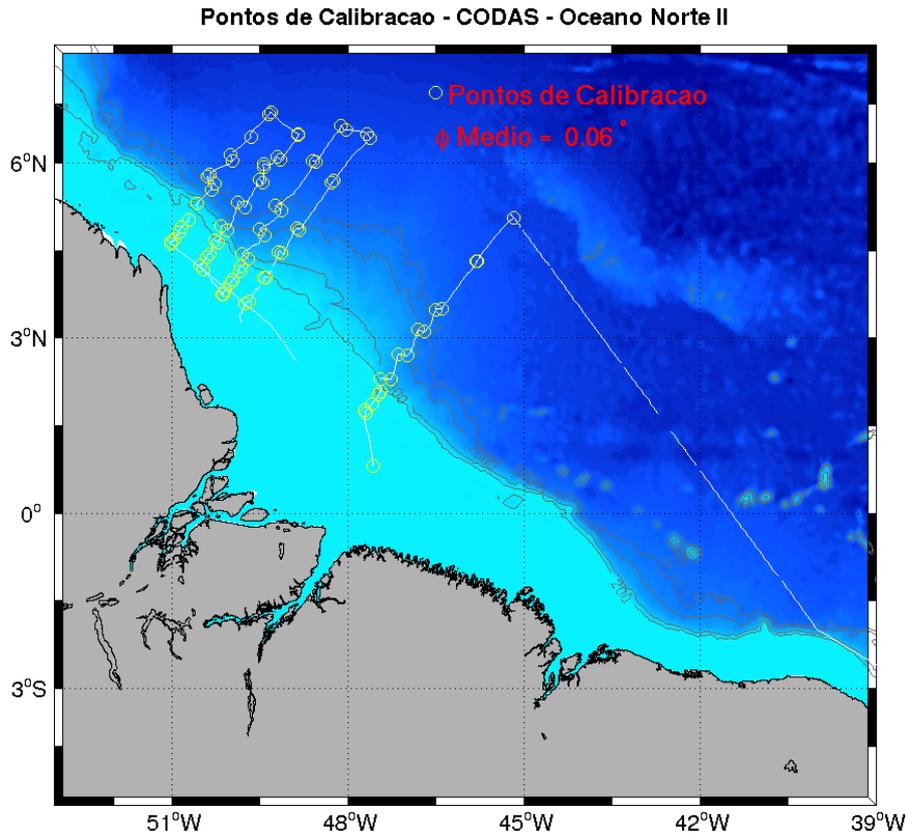


Figura 13: Pontos de calibração ONII. Os tons de azuis representam as batimetrias, onde os tons mais claros são áreas mais rasas.

Remoção dos dados Espúrios

A qualidade dos dados medidos pelo ADCP pode ser afetado por muitos fatores. Abaixo vamos exemplificar algumas formas de diagnosticar e depois eliminar os espúrios.

As velocidades verticais e horizontais são usadas como parâmetros para diagnosticar as deficiências na qualidade dos dados. Utilizamos valores típicos de velocidades verticais que normalmente não passam uma dada magnitude, assim valores de velocidades verticais maiores que os pré-determinados ou superiores aos de velocidades horizontais são eliminados.

Para este trabalho será considerado como dado espúrio valores de velocidades horizontais superiores a 2 m s^{-1} , assim sendo descartados.

Utilizamos como parâmetro para descarte de perfis as intensidades dos ecos e do sinal sonoro que não atingirem valores mínimos pré-estabelecidos.

Utilizamos também um parâmetro de qualidade de apuração dos dados comumente referido na literatura como *percent good* para auxiliar na eliminação de dados espúrios; os dados são eliminados se o valor deste parâmetro de qualidade for menor que 50%.

Para detectar dados espúrios que passaram pelos outros filtros é feita a remoção manual sob argumentos associados ao comportamento típico dos escoamentos oceânicos, procurando por mudanças bruscas e isoladas de magnitude e/ou direção de velocidade em pequenos trechos, ou grandes divergências ou convergências em áreas limitadas, assim melhorando a qualidade final dos dados.

Promediação Espacial

Depois dos dados corrigidos e com qualidade fazemos a promediação espacial dos dados, acarretando em um equi-espacamento horizontal, isso consiste na promediação horizontal dos perfis em intervalos regulares de latitude e longitude ao longo da trajetória do navio.

3 Metodologia

3.1 Estruturas de Velocidade

3.1.1 Seções Verticais de Velocidade Observada

Serão elaboradas seções verticais de velocidade observada utilizando uma técnica de interpolação dos dados denominada *Análise Objetiva* (AO). De acordo com *Bretherton et al.* (1976), a AO é baseada no Teorema de Gauss-Markov, que é usada para mapear dados não-uniformemente espaçados em uma grade regularmente espaçada (*Emery & Thomson, 1998*).

Dois parâmetros estatísticos são fundamentais para a aplicação da AO: a variância do erro amostral aleatório (ϵ^2) e o comprimento de correlação (l_c). A variância do erro amostral é um parâmetro de qualidade de filtragem que indica o quanto o valor interpolado de um ponto sobre a grade coincidentemente localizado sobre uma estação pode divergir do valor medido. O comprimento de correlação indica o quanto a distância entre as estações e um ponto sobre a grade influência nesse ponto durante o processo de interpolação. Quanto maior l_c , maior a filtragem espacial.

Para a elaboração das seções verticais de velocidades observadas para as radiais da Comissão ONII será considerada uma função de correlação $C(\Delta x, \Delta z)$ gaussiana anisotrópica apresentada por *Silveira et al.* (2004), seguindo os fundamentos de AO descritos por *Carter & Robinson* (1987):

$$C(\Delta x, \Delta z) = (1 - \epsilon^2) e^{-\left[\frac{(\Delta x)^2}{l_{cx}^2} + \frac{(\Delta z)^2}{l_{cz}^2} \right]} \quad (1)$$

onde Δx e Δz correspondem aos incrementos de grade nas direções perpendicular ao talude e vertical, respectivamente, l_{cx} e l_{cz} os comprimentos de correlação nas direções x e z . Serão construídos mapas de estimativas do erro médio quadrático de interpolação. Utilizamos os valores de $\epsilon = 0,02$, $l_{cx} = 200$ km e $l_{cz} = 100$ m.

3.1.2 Cálculo de Transporte de Volume

O transporte de volume é igual ao volume que passa, por unidade de tempo, através de uma seção transversal. Definindo-se uma área A , um vetor \vec{n} normal à esta área, assim como um escoamento com velocidade \vec{V} passando por A , podemos calcular o transporte

de volume a partir da equação,

$$T_v = \iint_A \vec{V} \bullet \vec{n} dA \quad (2)$$

3.1.3 Distribuição Horizontal de Velocidade Observada

Os mapas horizontais de velocidade não-divergente e função de corrente observada ($\psi - obs$) serão gerados via AO vetorial como descrita por *Bretherton et al.* (1976). Para tanto, assumimos isotropia horizontal na função de correlação onde Eq.(1) é reescrita como

$$C(\Delta r) = (1 - \epsilon^2) e^{-\left[\frac{(\Delta r^2)}{l_c^2}\right]} \quad (3)$$

onde $\Delta r^2 = (\Delta x)^2 + (\Delta y)^2$, $l_c = 200$ km e $\epsilon = 0,02$.

3.2 Estrutura de Massas de Água

Após o pré-processamento dos dados hidrográficos serão construídas seções de temperatura (Θ), salinidade (S) e densidade potencial (σ_θ). Os valores de densidade serão construídos a partir de dados termohalinos, através da equação de estado do mar, via sub-rotinas Seawater (*Morgan*, 2003; *UNESCO*, 1980). Para obter as seções de Θ , S e σ_θ será feita a interpolação linear.

3.2.1 Diagrama Θ -S

Seguindo *Urbano et al.* (2008), será feito um diagrama médio Θ -S, construído por meio dos dados de CTD coletados no período. Os valores médios de temperatura potencial (Θ) e salinidade (S) oriundos da climatologia Levitus *Boyer et al.* (2005) serão utilizados como referência para as Águas do Atlântico Sul (AAS; 30°W, 15–25°S), Águas do Atlântico Norte (AAN; 35°W, 15–25°N), e para as Águas do Atlântico Leste (AAL; 23°W, 3–15°N). O diagrama Θ -S construído por *Urbano et al.* (2008) é apresentado na Figura 14. Com o propósito de apresentar as curvas Θ -S das diferentes massas de água citadas acima.

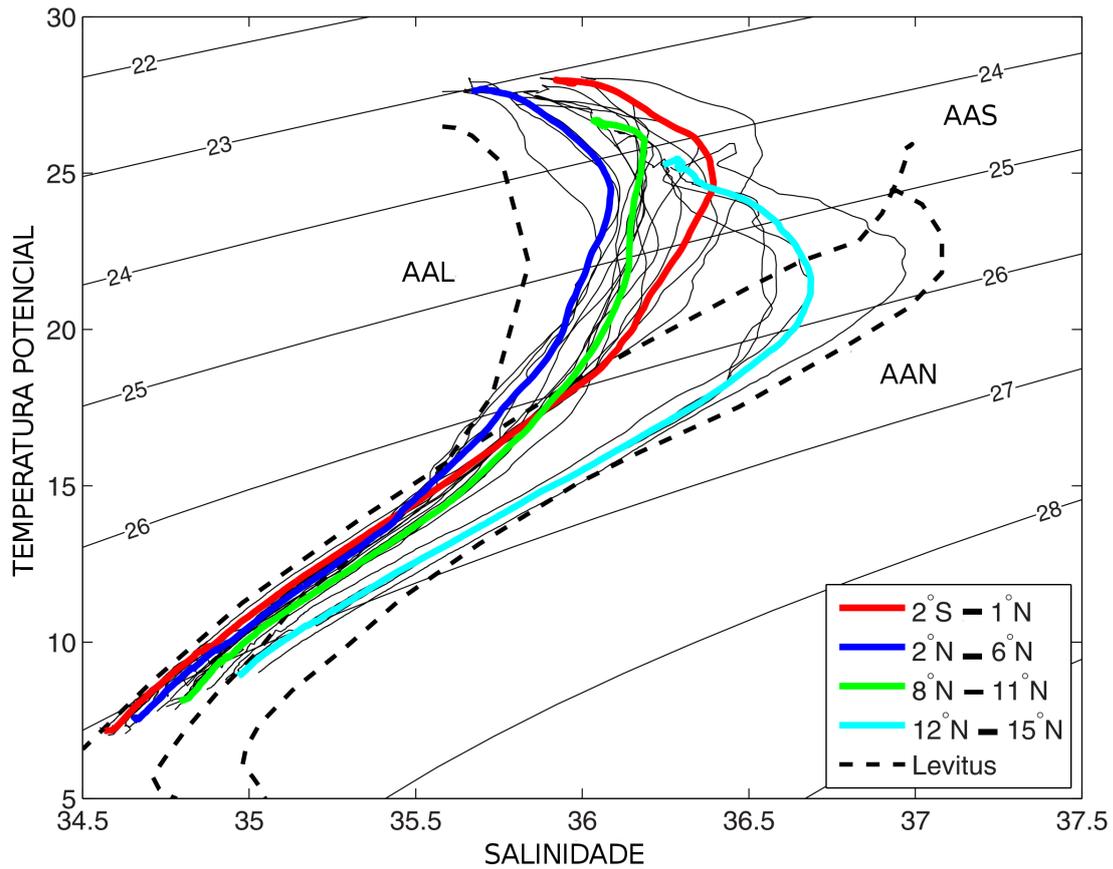


Figura 14: Diagrama de temperatura potencial-salinidade (Θ -S) médio, utilizando todas as estações de CTD coletadas de 1999 a 2006 em cada grau de latitude ao longo de 38°W (linhas pretas delgadas), e valores médios latitudinais (linhas coloridas). Perfis climatológicos Levitus (linhas tracejadas) foram utilizados como referência para as Águas do Atlântico Norte (AAN; 35°W, 15–25°N), Águas do Atlântico Leste (AAL; 23°W, 3–15°N), e Águas do Atlântico Sul (AAS; 30°W, 15–25°S) Fonte: *Urbano et al.* (2008).

4 Resultados e Discussão

Neste capítulo descrevemos os resultados das estruturas de velocidade e massas de água correspondentes às cinco radais realizadas durante a Comissão ONIL. As estruturas de velocidade, que foram obtidas através dos dados de ADCP, são apresentadas em seções verticais de velocidade horizontal e seções verticais com valores de transporte de volume. Já a identificação das massas de água obtidas foi realizada através de dados de CTD via Diagramas Θ -S, conforme a metodologia descrita no capítulo anterior.

4.1 Estruturas de Velocidade

Após a aplicação dos métodos descritos na Seção 3.1, dedicamos esta seção à apresentação e discussão das seções verticais de velocidade observadas e transporte. Mas, com o intuito de obtermos uma visão mais clara da retroflexão da CNB, optamos por construir e apresentar a distribuição horizontal dos vetores de velocidade observada (Figura 15) e o campo horizontal de função de corrente observada (Figura 16) ambos para a profundidade de 32 m.

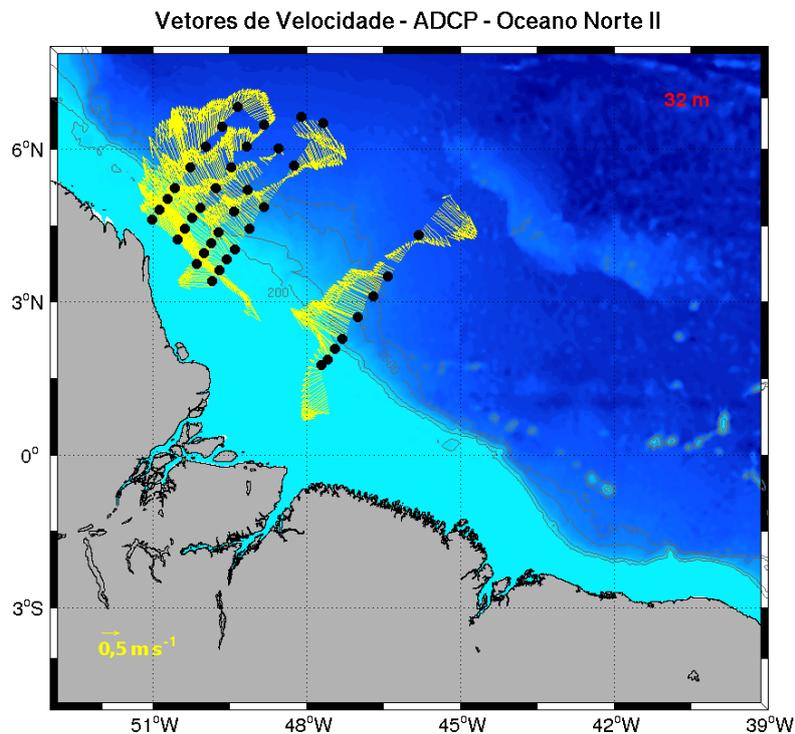


Figura 15: Distribuição horizontal dos vetores de velocidade observada via ADCP em 32 m de profundidade durante a Comissão ONIL. Estes vetores de velocidade são resultantes do processamento pelo CODAS. Os círculos em preto representam a localização das estações oceanográficas. Os tons de azuis representam as batimetrias, onde os tons mais claros são áreas mais rasas.

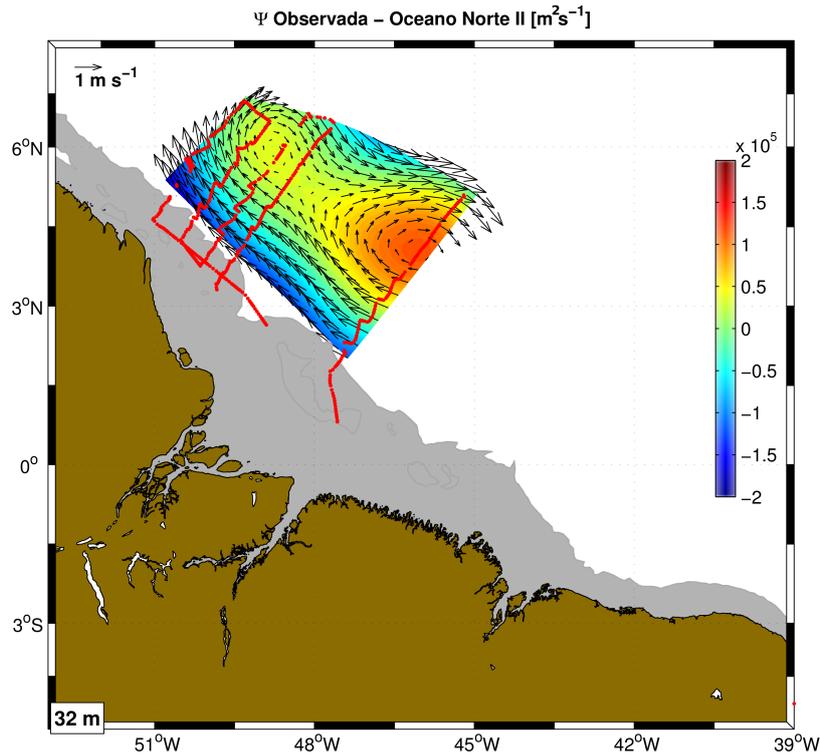


Figura 16: Campo horizontal de função de corrente observada $\psi - obs$ a 32 m de profundidade, para os dados da ONII. A máscara cinza, junto à costa, representa a região sobre a plataforma continental limitada pela isóbata de 50 m (contorno dinâmico). Os vetores de velocidade estão sobrepostos ao campo de $\psi - obs$. As linhas vermelhas representam os trechos onde o ADCP obteve os perfis de velocidades da Comissão ONII.

Através das Figuras 15 e 16, pode-se observar a presença de dois vórtices anticiclônicos, o primeiro e com aproximadamente o dobro do diâmetro do segundo que está centrado em $4,5^{\circ}N$ e $46,5^{\circ}W$, já o segundo localiza-se centrado em $6^{\circ}N$ e $49^{\circ}W$. Outra feição também bem evidente nas figuras é um escoamento junto à margem continental com escoamento para noroeste caracterizando a CNB. Observações realizadas por *Flagg et al.* (1986) em dezembro de 1980 mostraram a CNB com 100–200 km de largura, com escoamento para noroeste, estendendo-se pelo menos 500 m de profundidade, com um transporte de volume, perto $2^{\circ}N$, de aproximadamente 50 Sv. Já *Stramma et al.* (2005), em novembro de 2000, mostrou a CNB estendendo-se até 1200 m de profundidade, em $44^{\circ}W$, $5^{\circ}N$ com um transporte de volume de 65 Sv.

Cabe comentário de que o padrão encontrado na Figura 16 se assemelha àquele obtido por *Silveira et al.* (2000) usando outro tipo de medições diretas: o Perfilador Pegasus. A Figura 16 também exhibe o padrão semelhante aos oriundos de cálculo geostrófico por *Bruce* (1995), onde o vórtice de retroflexão é denominado de vórtice de Demerara por este autor. É interessante ressaltar que, mesmo próximo ao Equador, o Anticiclone do Ama-

zonas possui robusta assinatura geostrófica ao norte de 2°N. Em síntese, estimativas dos padrões horizontais obtidas neste trabalho corroboram estes estudos anteriores e validam o mapeamento objetivo aqui realizado.

4.1.1 Seções Verticais de Velocidade

Através da análise das seções verticais de velocidade que foram obtidas a partir da interpolação por AO dos dados de ADCP processados pelo pacote de programas do sistema CODAS, nota-se a assinatura da CNB nas cinco radiais referentes à Comissão ONII nas proximidades da margem continental e início do talude, mas não foi possível verificar em todas as radiais a assinatura da retroflexão da mesma, como podemos observar no painel superior das Figuras de 17 a 21, pois não foi possível identificar de forma completa a assinatura da CCNE fluindo para sudeste, como ocorre nas observações de *Stramma et al.* (2005) que encontram o núcleo da CCNE em 44°W, 5°N devido à extensão das radiais hidrográficas.

Nas Figuras de 17 a 21, apresentamos três painéis: o primeiro (painel superior) nos fornece a seção vertical de velocidade observada (m s^{-1}), com intervalo de isotacas de 0,1 m s^{-1} e valores positivos para noroeste; o segundo (painel central) nos fornece o mapa de erro percentual de interpolação (%) relacionado às distribuições verticais; e o terceiro (painel inferior) representa graficamente a localização geográfica da seção da Comissão ONII. Quando o erro de interpolação foi superior a 30 %, a área da seção em questão não foi plotada por se considerar este o valor de corte.

Com a finalidade de sintetizar os dados referentes a estruturas de velocidade encontrados, construímos as Tabelas 1 e 2. As Tabelas 1 e 2 apresentam o alcance do ADCP (m), a velocidade máxima (m s^{-1}), o posicionamento aproximado do valor máximo da corrente e os valores de transporte de volume (Sv). A Tabela 1 apresenta os valores para o escoamento próximo à costa, já a Tabela 2 apresenta valores para o escoamento em sentido oposto na extremidade oceânica das radiais. Ainda vale ressaltar que foi adotado sentido noroeste para correntes de valores de velocidade positivos e também que as radiais não alcançarão plenamente toda a assinatura da retroflexão da CNB, assim notamos que não ocorre um balanço de escoamento entre o que vai para noroeste com o que vai para sudeste.

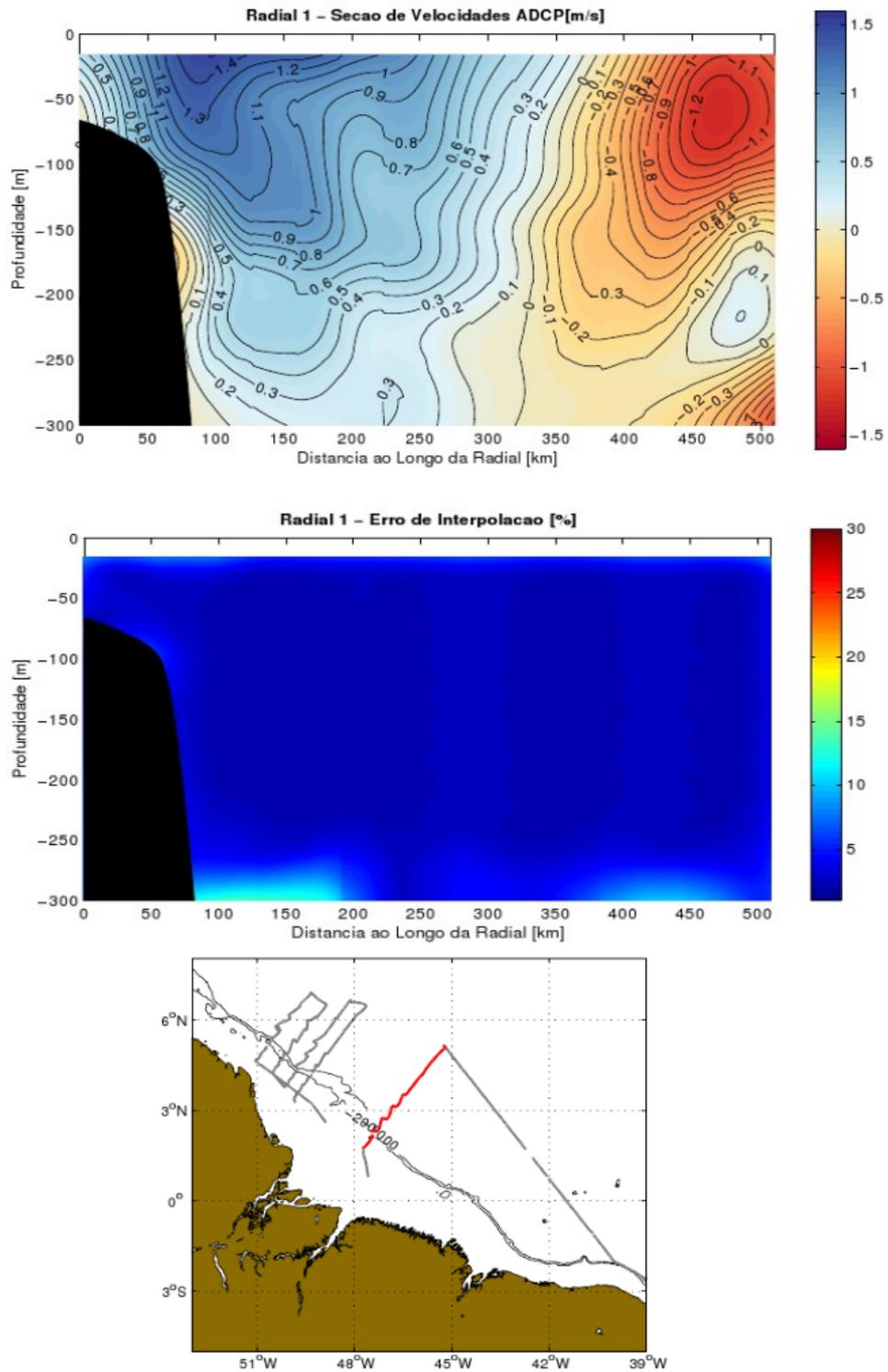


Figura 17: Seção vertical de velocidades observadas (m s^{-1}) obtidas a partir dos dados processados pelo sistema CODAS e interpolação por AO, referentes à Radial 1 da Comissão ONII, com os valores positivos para noroeste (painel superior). Mapa de erro de interpolação (%) associado à seção de velocidade (painel central). A linha vermelha do painel inferior representa graficamente a localização geográfica da seção.

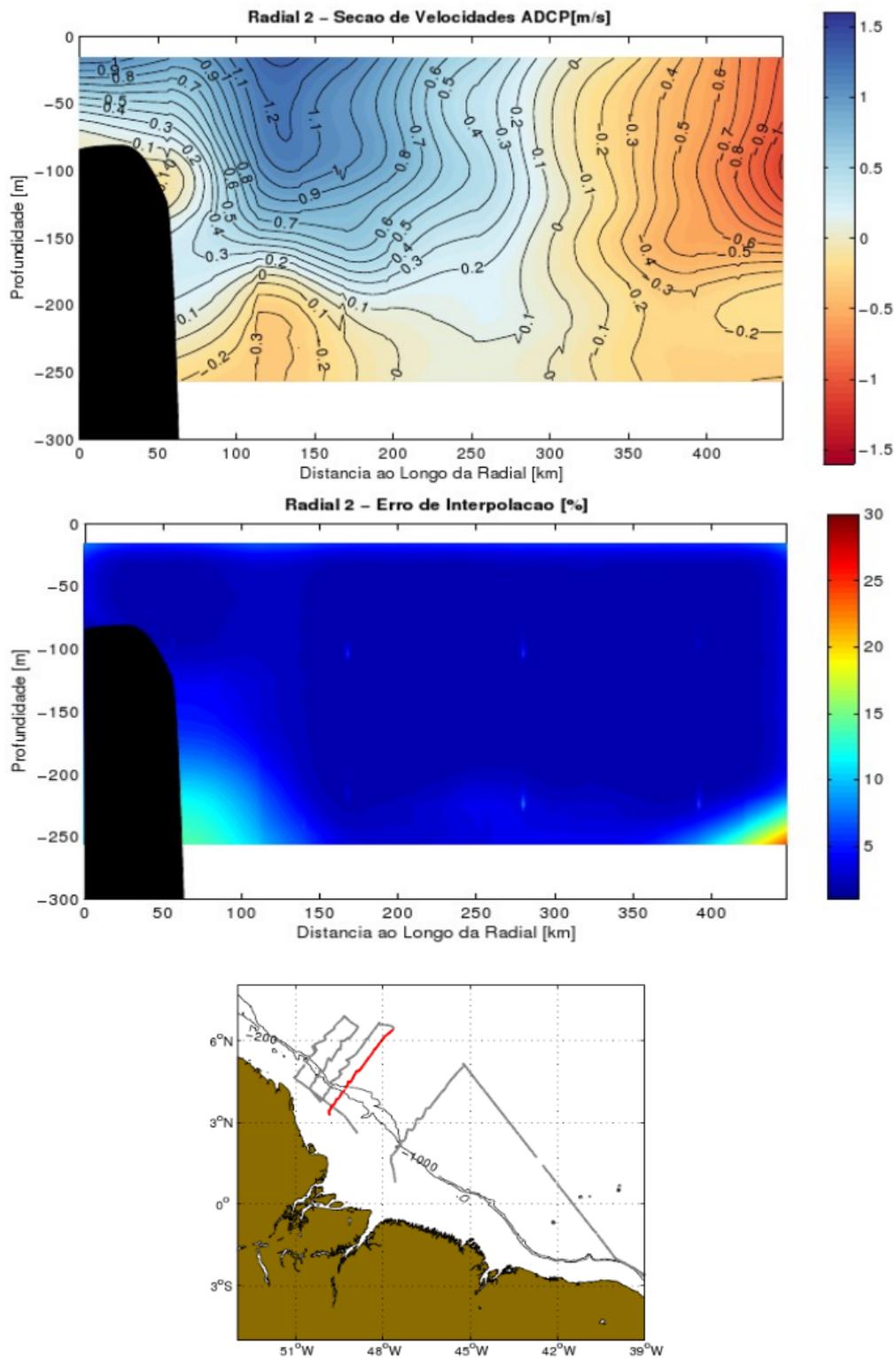


Figura 18: Similar à Figura 17, mas referentes à Radial 2 da Comissão ONII.

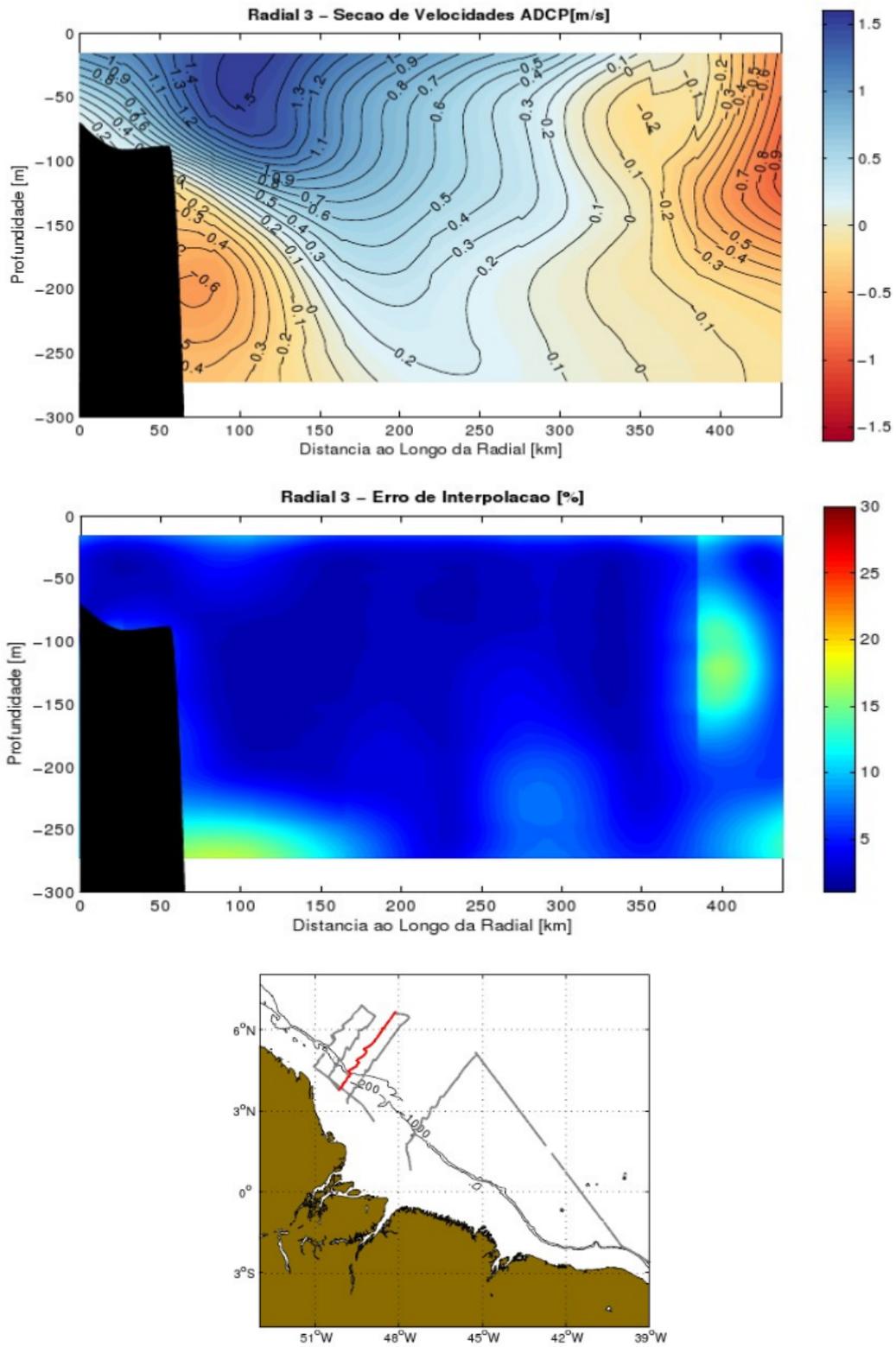


Figura 19: Similar à Figura 17, mas referentes à Radial 3 da Comissão ONII.

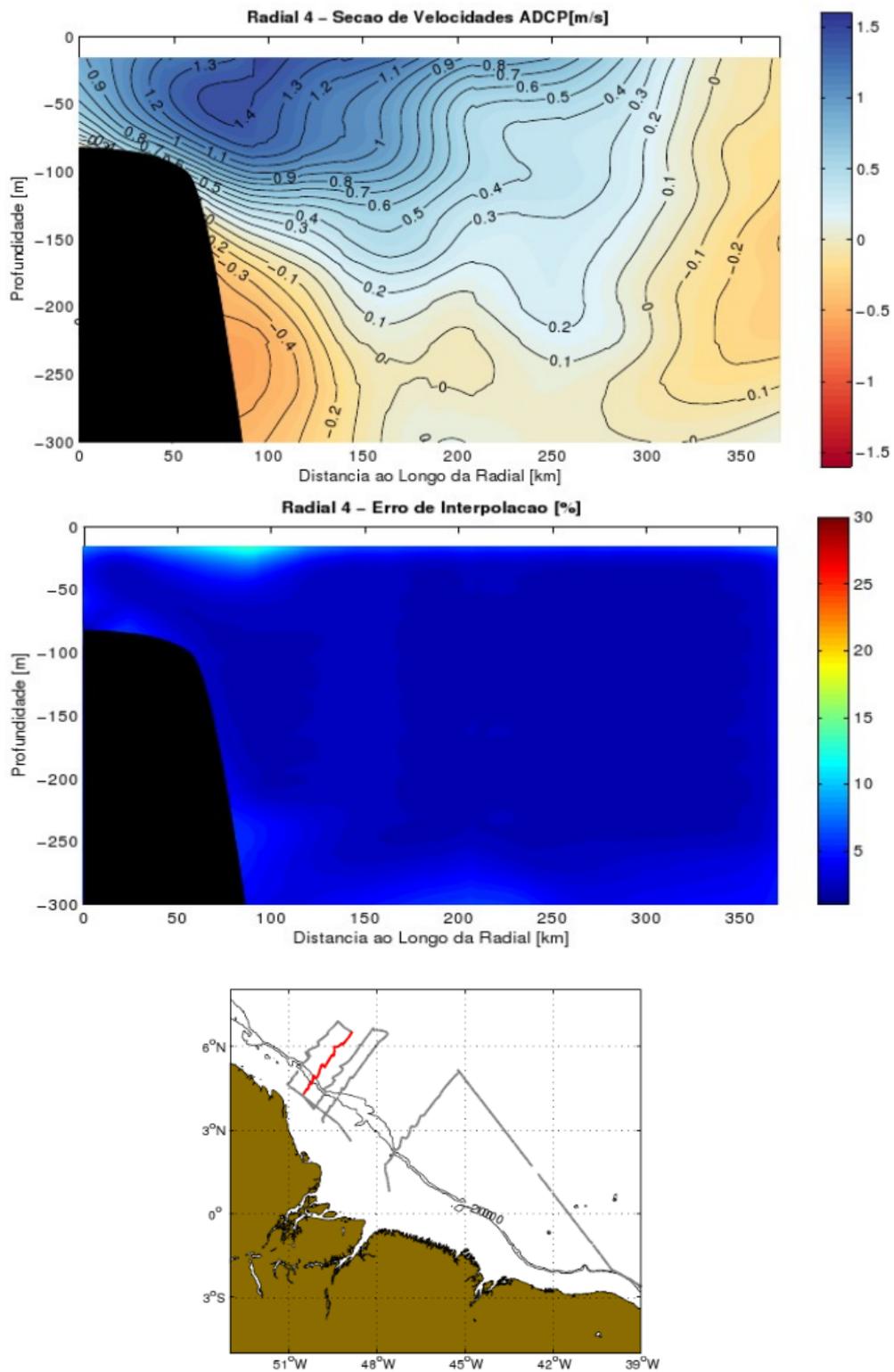


Figura 20: Similar à Figura 17, mas referentes à Radial 4 da Comissão ONII.

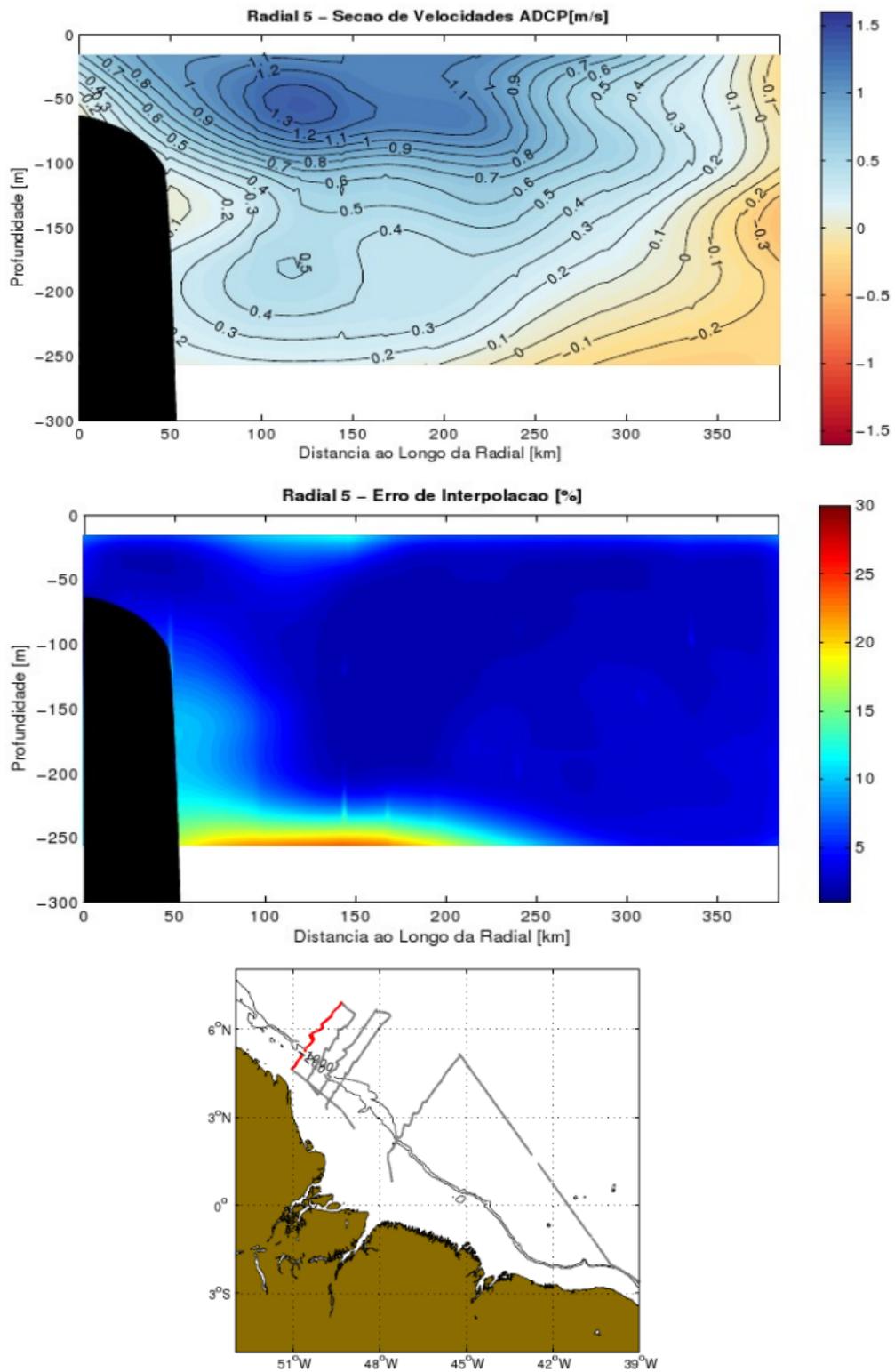


Figura 21: Similar à Figura 17, mas referentes à Radial 5 da Comissão ONII.

Tabela 1: Velocidades máximas (m s^{-1}) e valores de transporte de volume (Sv) referentes ao escoamento para noroeste nas 5 radiais da Comissão ONII.

Radial	Alcance do ADCP (m)	Velocidade máxima (m s^{-1})	Profundidade do Núcleo (m)	Transporte de volume (Sv)
1	16 - 300	1,51	~ 16	46,8
2	16 - 256	1,33	~ 24	27,1
3	16 - 272	1,54	~ 40	33,4
4	16 - 300	1,48	~ 50	30,4
5	16 - 256	1,36	~ 55	42,5

Tabela 2: Velocidades máximas (m s^{-1}) e valores de transporte de volume (Sv) referentes ao escoamento para sudeste nas 5 radiais da Comissão ONII. Como podemos notar nas radiais 4 e 5 não foi possível observar claramente o sinal da retroflexão, pois devido à pequena extensão destas não foi alcançada a corrente com escoamento para sudeste.

Radial	Alcance do ADCP (m)	Velocidade máxima (m s^{-1})	Profundidade do Núcleo (m)	Transporte de volume (Sv)
1	16 - 300	- 1,28	~ 50	19,5
2	16 - 256	- 1,11	~ 100	12,4
3	16 - 272	- 0,94	~ 120	4,6
4	16 - 300	- 0,30	–	2,1
5	16 - 256	- 0,39	–	1,6

A Figura 17, referente à Radial 1, apresenta a CNB com núcleo em superfície a 90 km a partir do início da radial, em aproximadamente 16 m de profundidade e com velocidade máxima de $1,51 \text{ m s}^{-1}$ (Tabela 1). Também apresenta a CCNE com núcleo a 470 km a partir do início da radial, em aproximadamente 50 m de profundidade e com velocidade máxima de $- 1,28 \text{ m s}^{-1}$ (Tabela 2).

A seção referente à Radial 2 (Figura 18), apresenta a CNB com núcleo a 130 km a

partir do início da radial, em aproximadamente 24 m de profundidade e com velocidade máxima de $1,33 \text{ m s}^{-1}$ (Tabela 1). Também é observada a CCNE com valor máximo de aproximadamente 100 m de profundidade e com velocidade máxima de $-1,11 \text{ m s}^{-1}$ (Tabela 2), pois esta corrente não encontra-se totalmente capturada pela radial.

A seção referente à Radial 3 (Figura 19), apresenta a CNB com núcleo a 100 km a partir do início da radial, em aproximadamente 40 m de profundidade e com velocidade máxima de $1,54 \text{ m s}^{-1}$ (Tabela 1). Também apresenta a CCNE com valor máximo de aproximadamente 120 m de profundidade e com velocidade máxima de $-0,94 \text{ m s}^{-1}$ (Tabela 2), pois esta corrente não encontra-se totalmente capturada pela radial.

A seção referente à Radial 4 (Figura 20), apresenta a CNB com núcleo a 80 km a partir do início da radial, em aproximadamente 50 m de profundidade e com velocidade máxima de $1,48 \text{ m s}^{-1}$ (Tabela 1). Já a seção referente à Radial 5 (Figura 21), apresenta a CNB com núcleo a 125 km a partir do início da radial, em aproximadamente 55 m de profundidade e com velocidade máxima de $1,36 \text{ m s}^{-1}$ (Tabela 1). Nas seções referentes às Radiais 4 e 5 o trajeto do navio não alcançou a corrente com escoamento para sudeste.

Urbano et al. (2008) encontraram valores de velocidade máxima de $1,20 \text{ m s}^{-1}$ para a CNB em 35°W , na profundidade de 50 m, em julho de 2003 através de dados de ADCP. *Stramma et al.* (2005) encontraram através de dados de LADCP valores de $0,90 \text{ m s}^{-1}$ em superfície para 44°W . Já *Johns et al.* (1998) através de dados de ADCP obtiveram uma média anual de velocidade máxima para o ano de 1990 de $0,74 \text{ m s}^{-1}$ na profundidade de 60 m em 49°W .

Os dados da CNB da Comissão ONII os valores médios de velocidade máxima foi de $1,45 \text{ m s}^{-1}$, para uma profundidade de 30 m, nos meses de outubro–dezembro de 2005. Comparando com os valores obtidos na literatura notamos que os valores da Comissão ONII estão relativamente acima dos valores por estes encontrados, com relação ao valor de velocidade máxima encontrado na literatura os nossos estão aproximadamente 20 % maiores.

Foi possível verificar que o núcleo da CNB fica cada vez mais profundo na direção noroeste. Para o núcleo da retroflexão, quando este é detectado, aparentemente eleva-se para sudeste.

4.1.2 Seções Verticais de Transporte

As Figuras de 22 foram elaboradas a 26 para as seções verticais apresentando o transporte de volume para as radiais da Comissão ONII; estas seções nos informam o transporte de volume em Sv. Para o cálculo de transporte, foi utilizada a Eq.(2) apresentada na Seção 3.1.2.

Na Figura 22, a seção referente à Radial 1 apresenta um alcance de ADCP de 300 m, com escoamento para noroeste o valor de transporte de volume foi de 46,8 Sv (Tabela 1) e com escoamento para sudeste o valor foi de 19,5 Sv (Tabela 2). Este valor de transporte obtido ultrapassa o valor encontrado por *Schott et al.* (1998) de 40 Sv em Outubro de 1992 e 35 Sv como a média do transporte da CNB em 44°W com uma pequena amplitude do ciclo sazonal de apenas 3 Sv.

Dois estudos na literatura calcularam o transporte da CNB e CCNE nos entornos de 44°W. *Stramma et al.* (2005) usando LADCP mostrou o valor de transporte de volume da CCNE de 29,3 Sv nos primeiros 200 m em cerca de 5°N. *Bourlès et al.* (1999b) estimaram em quatro cruzeiros sazonais do Projeto WESTRAX usando ADCP que 70 % do transporte de volume da CCNE é devido à contribuição da retroflexão da CNB. Segundo *Stramma et al.* (2005) o transporte de volume total nos primeiros 200 m da CNB é de 28,8 Sv.

A seção referente à Radial 2 (Figura 23) apresenta um alcance de ADCP de 256 m e o escoamento para noroeste o valor de transporte de volume foi de 27,1 Sv (Tabela 1) e com escoamento para sudeste o valor foi de 12,4 Sv (Tabela 2). A seção referente à Radial 3 (Figura 24), apresenta um alcance de ADCP de 272 m e o escoamento para noroeste o valor de transporte de volume foi de 33,4 Sv (Tabela 1) e com escoamento para sudeste o valor foi de 4,6 Sv (Tabela 2). A seção referente à Radial 4 (Figura 25), apresenta um alcance de ADCP de 300 m e o escoamento para noroeste o valor de transporte de volume foi de 30,4 Sv (Tabela 1) e com escoamento para sudeste o valor foi de 2,1 Sv (Tabela 2). A seção referente à Radial 5 (Figura 26), apresenta um alcance de ADCP de 256 m e o escoamento para noroeste o valor de transporte de volume foi de 42,5 Sv (Tabela 1) e com escoamento para sudeste o valor foi de 1,6 Sv (Tabela 2).

Segundo *Johns et al.* (1998), o transporte médio anual da CNB em 4°N é de aproximadamente 26 Sv, com uma amplitude anual de 23 Sv entre o mínimo sazonal em abril-maio (13 Sv) e máximo de temporada em julho-agosto (36 Sv) sendo que a maior parte da

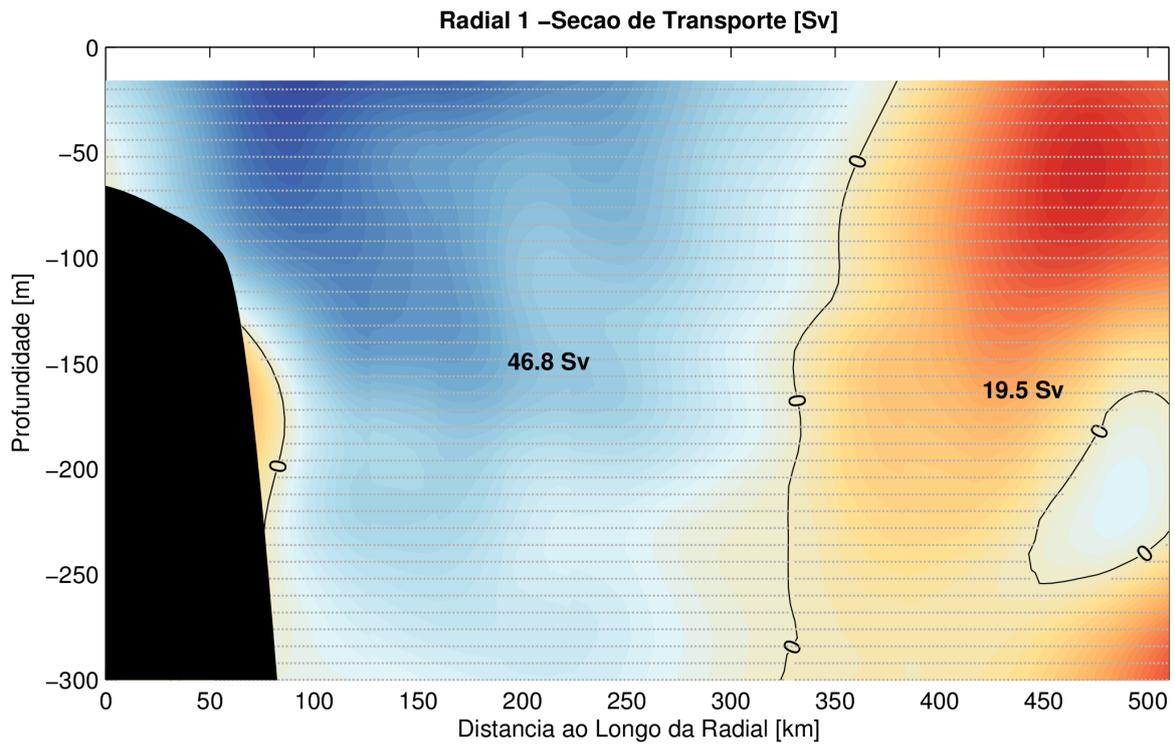


Figura 22: Seção de transporte de volume (Sv) referente à Radial 1 da Comissão ONII. Ver Figura 17.

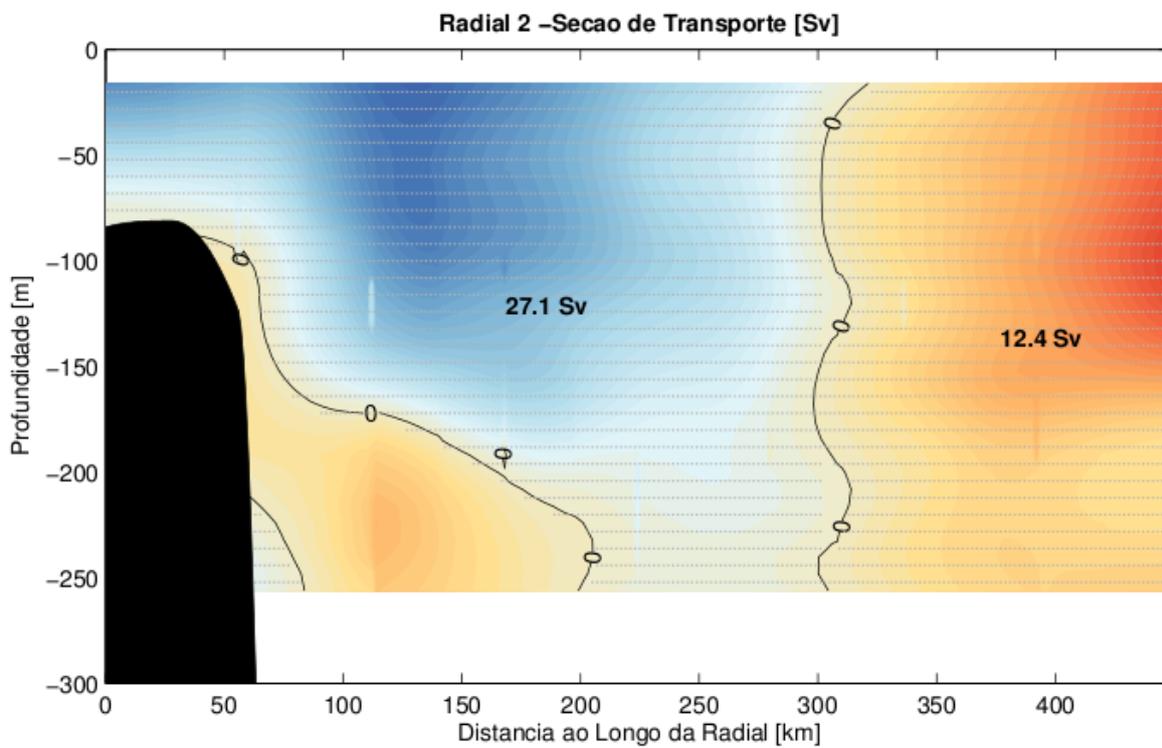


Figura 23: Seção de transporte de volume (Sv) referente à Radial 2 da Comissão ONII. Ver Figura 18.

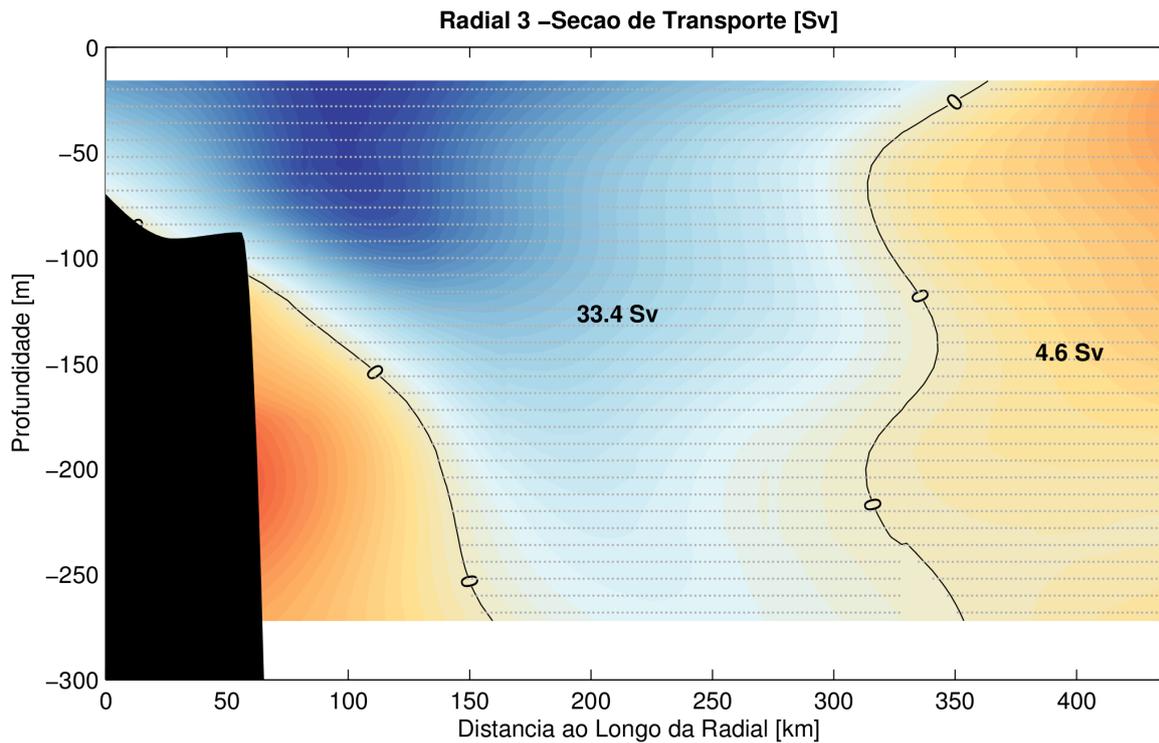


Figura 24: Seção de transporte de volume (Sv) referente à Radial 3 da Comissão ONII. Ver Figura 19.

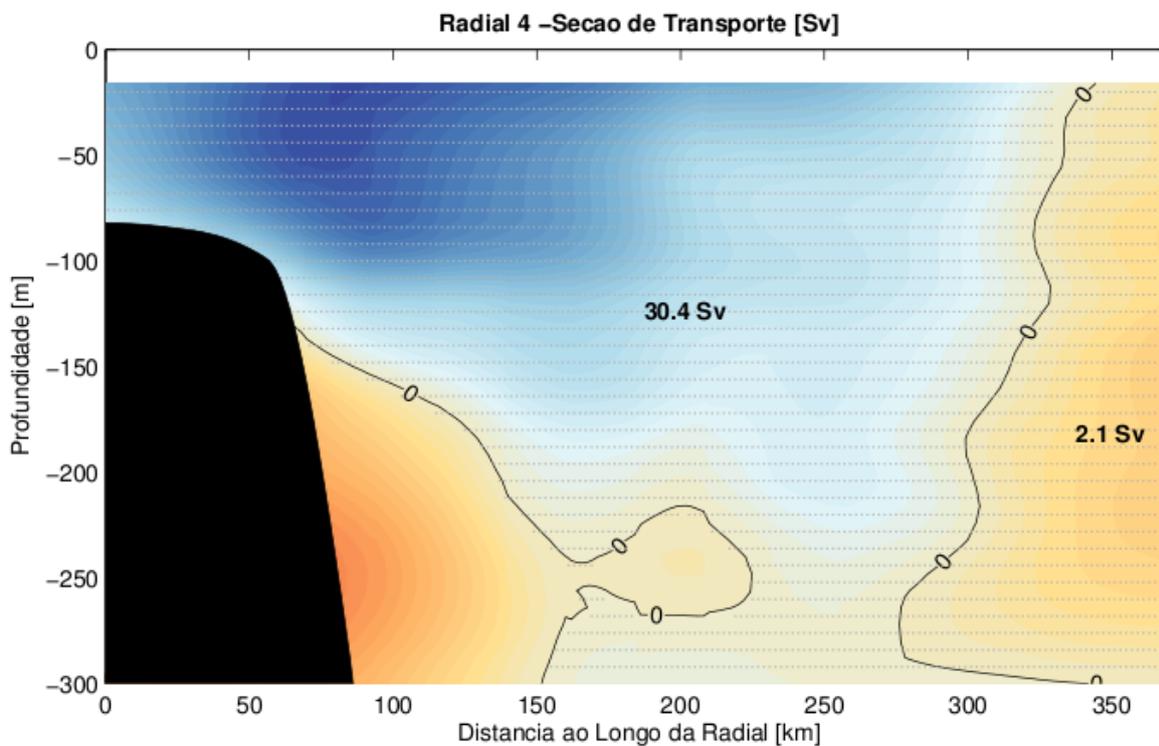


Figura 25: Seção de transporte de volume (Sv) referente à Radial 4 da Comissão ONII. Ver Figura 20.

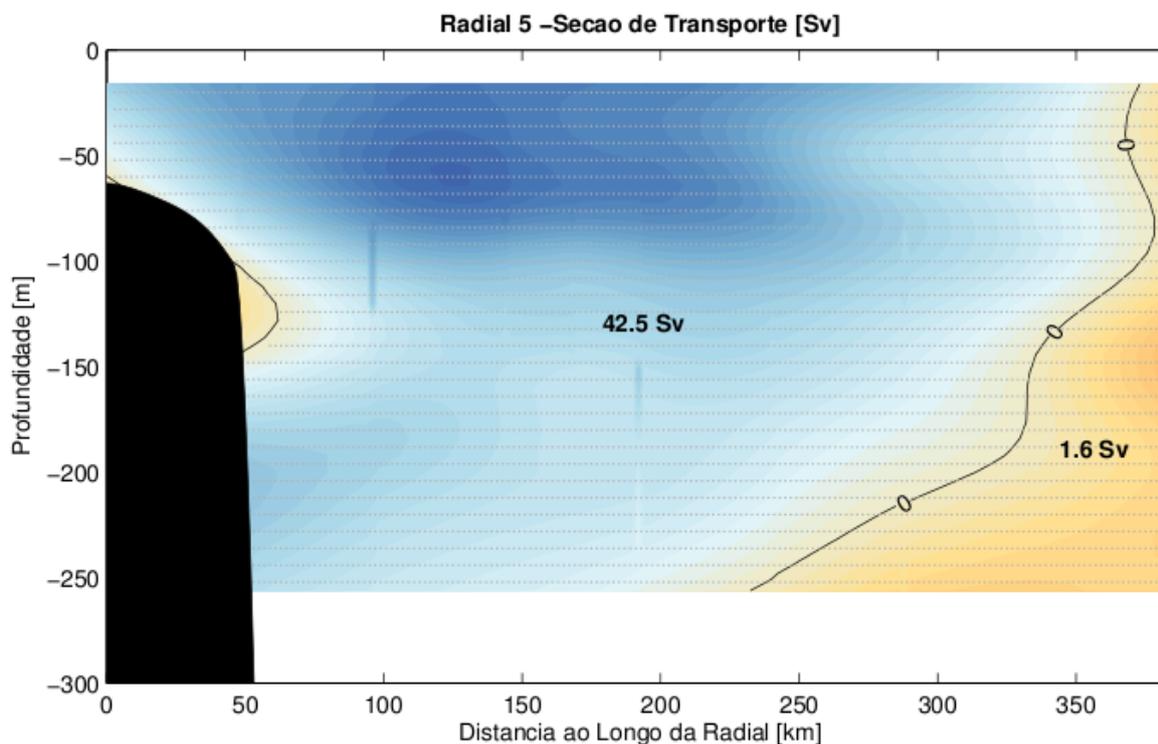


Figura 26: Seção de transporte de volume (Sv) referente à Radial 5 da Comissão ONII. Ver Figura 21.

variação sazonal do transporte está limitada ao máximo de 300 m. Considerando que o estudo de *Johns et al.* (1998) está localizado perto das Radiais de 2 a 5, notamos que os valores de transporte nas Radiais de 2 a 4 estão dentro do valor encontrado neste estudo, já o valor para a Radial 5 ultrapassa o valor máximo encontrado em aproximadamente 7 Sv.

Lembrando que *Flagg et al.* (1986) e *Stramma et al.* (2005) encontraram valores de transporte de volume de 50 Sv e 28,8 Sv, em 500 m e 200 m, nos meses de dezembro e novembro, respectivamente e que média de transporte de volume para a CNB nas cinco radiais da Comissão ONII foi de 36 Sv nos primeiros 300 m e são comparados favoravelmente com os resultados da literatura. Vale ainda observar a proximidade do período sazonal entre os estudos de *Stramma et al.* (2005) e *Flagg et al.* (1986) com o da ONII.

Os valores de transporte de volume, na realidade se referem, a valores correspondentes a cortes seccionais no Anticiclone do Amazonas (Radial 1) e do Anticiclone de separação (Radiais 2, 3, 4 e 5) com mais ou menos a captura de suas estruturas em função da extensão das radiais, como podemos observar na Figura 16.

4.2 Estrutura de Massas de Água

Após a aplicação dos métodos descritos na Seção 3.2, dedicamo-nos aqui à apresentação e discussão dos dados hidrográficos e dos diagramas Θ - S das cinco radiais da Comissão ONII.

Apresentamos nas Figuras 27–31, com as seções de temperatura potencial (Θ , painel superior), salinidade (S , painel central) e densidade potencial (σ_θ , painel inferior) das cinco radiais. Os triângulos na parte superior de cada seção indicam as estações hidrográficas. Os valores de densidade foram estimados a partir da equação internacional de estado da água do mar e as seções verticais de Θ , S e σ_θ foram obtidas a partir de interpolação linear. Escolhemos o limite de 1500 m para plotagem visto que a literatura limita a extensão vertical dos vórtices profundos da CNB a esta profundidade (*Silveira et al.*, 2000; *Jochum & Malanotte-Rizzoli*, 2003).

A partir da análise das figuras pode-se notar a assinatura geostrófica da CNB nessas seções, através da inflexão das isotermas, isohalinas e isopicnais nas proximidades da margem continental e início do talude superior.

4.2.1 Diagrama Θ - S

Como foi descrito na Seção 3.2.1, seguiu-se a metodologia seguida por *Urbano et al.* (2008) e, assim, foram construídos cinco diagramas Θ - S . Os dados de CTD das estações realizadas na Comissão ONII foram utilizados para na obtenção dos diagramas. Os valores médios de temperatura potencial (Θ) e salinidade (S) provenientes da climatologia Levitus *Boyer et al.* (2005) foram utilizados como referência para as Águas do Atlântico Sul (AAS; 30°W; 15–25°S), Águas do Atlântico Norte (AAN; 35°W; 15–25°N) e para Águas do Atlântico Leste (AAL; 23°W, 3–15°N).

A seguir são apresentadas as Figuras de 32–36 referentes aos diagramas Θ - S das cinco radiais da Comissão ONII. Nas figuras, podemos observar uma isolinha de densidade de 26,9 kg m⁻³ em destaque (linha ciano) representando a densidade média das estações oceanográficas na profundidade de 300 m.

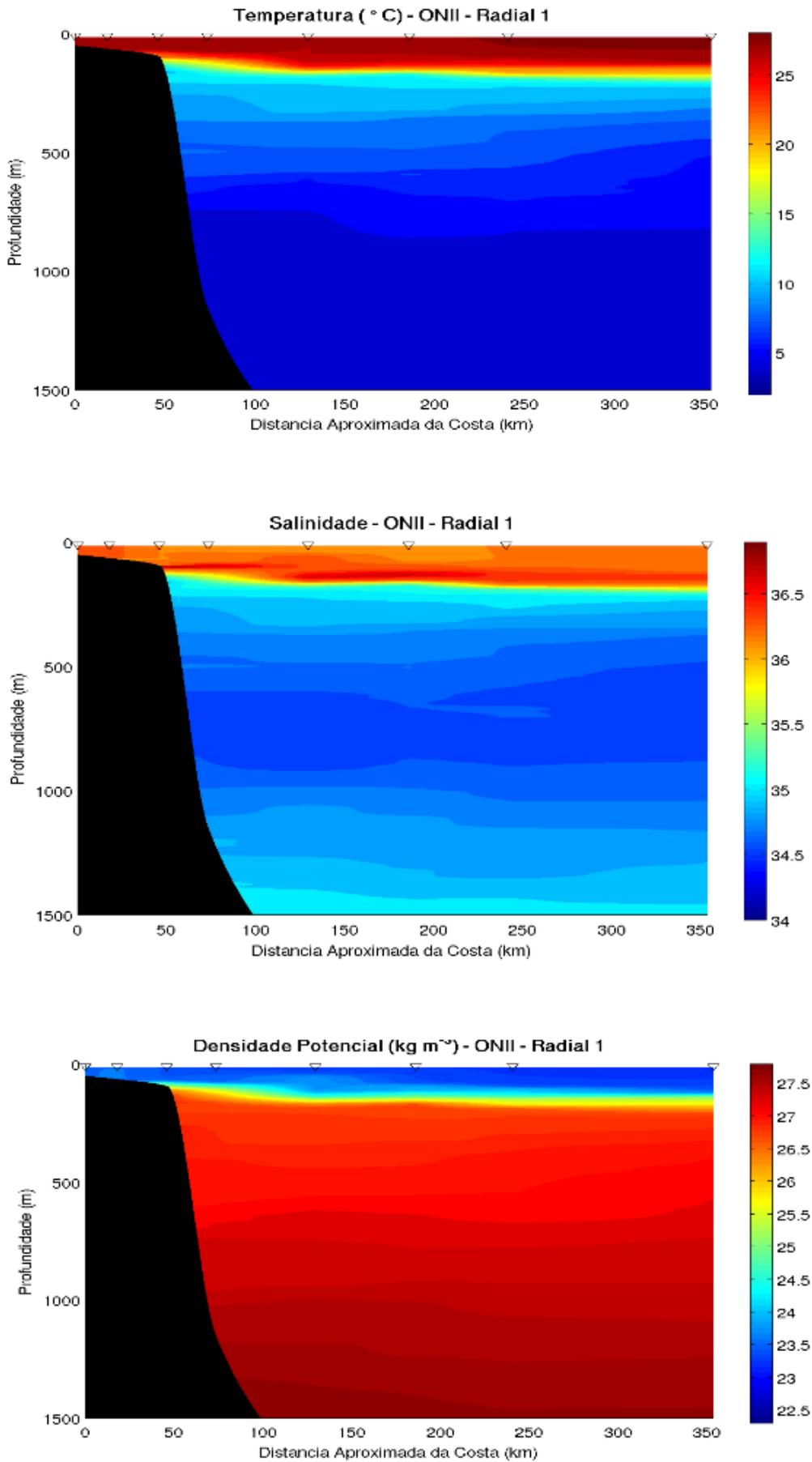


Figura 27: Seções verticais de Θ , S e σ_θ , referentes à Radial 1 da Comissão ONII. Os triângulos na parte superior de cada seção indicam as estações hidrográficas.

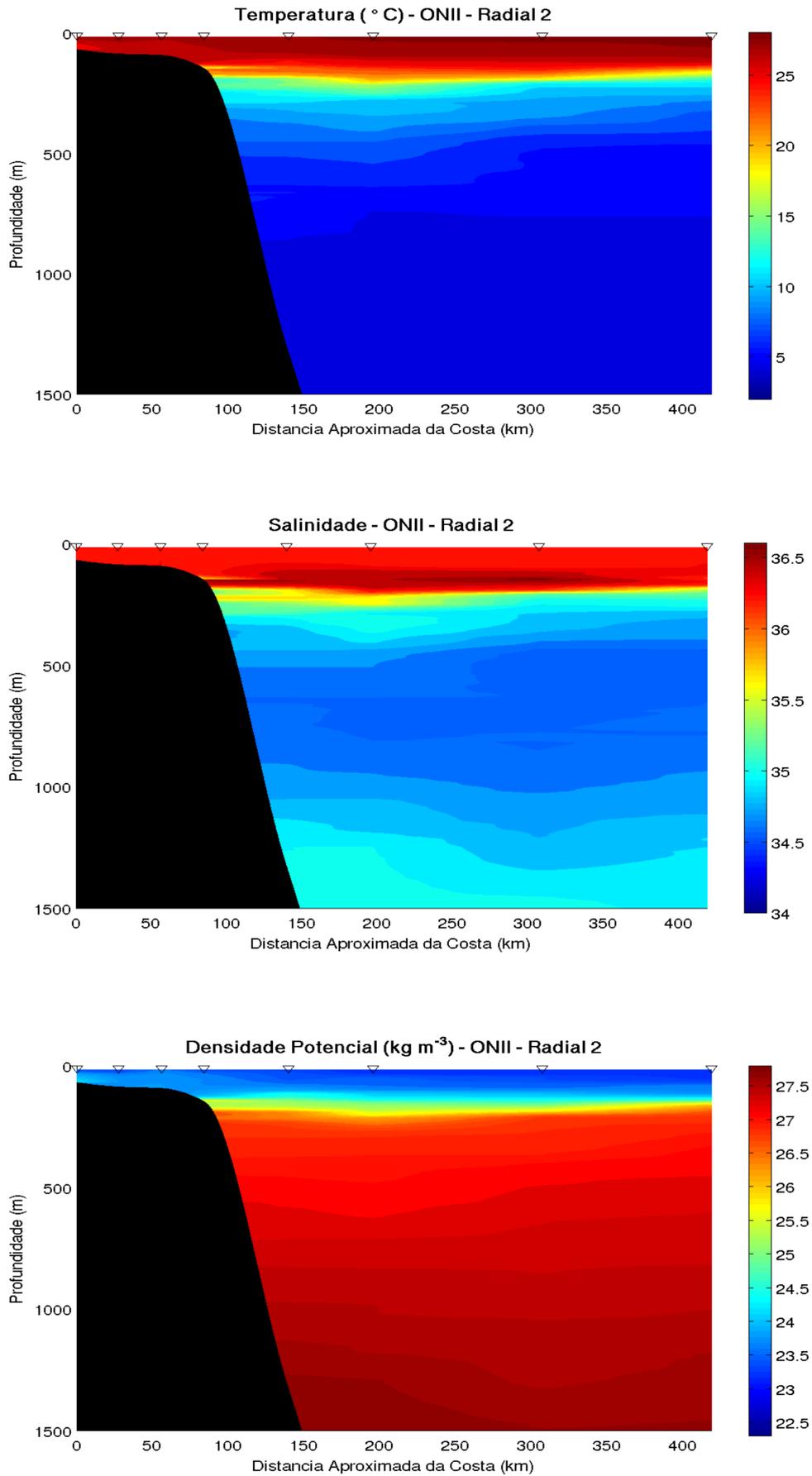


Figura 28: Seções verticais de Θ , S e σ_θ , referentes à Radial 2 da Comissão ONII. Os triângulos na parte superior de cada seção indicam as estações hidrográficas.

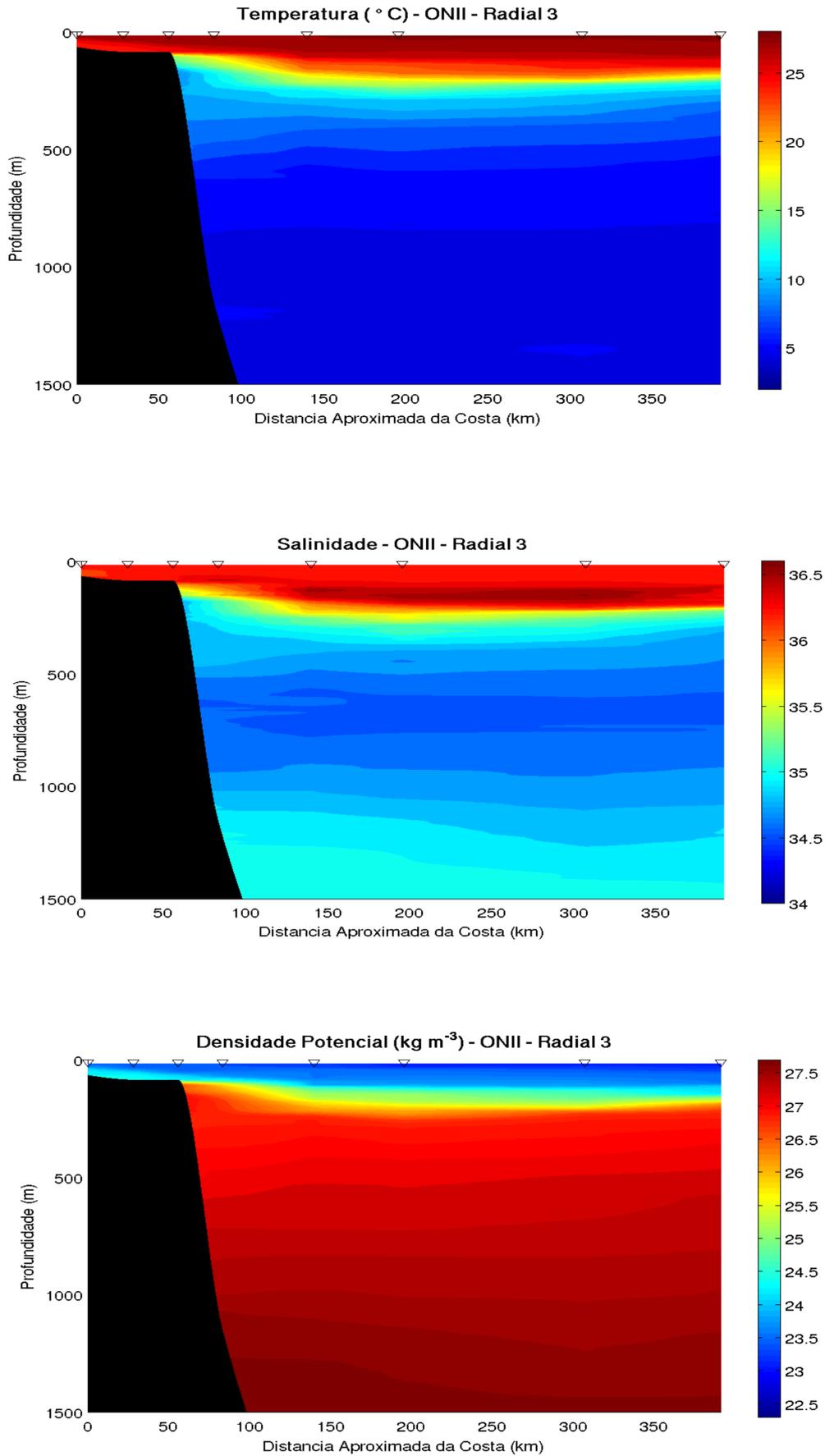


Figura 29: Seções verticais de Θ , S e σ_θ , referentes à Radial 3 da Comissão ONII. Os triângulos na parte superior de cada seção indicam as estações hidrográficas.

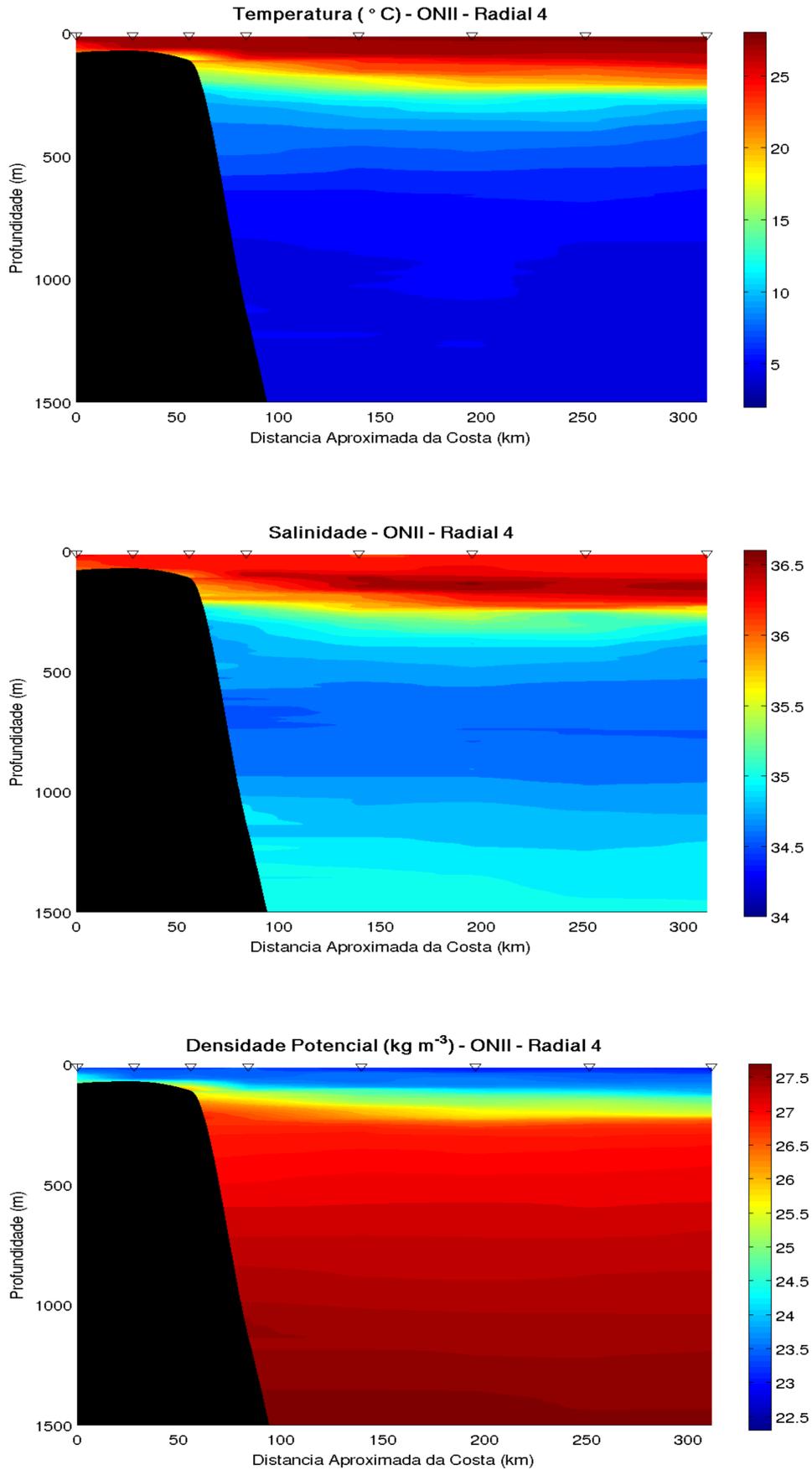


Figura 30: Seções verticais de Θ , S e σ_θ , referentes à Radial 4 da Comissão ONII. Os triângulos na parte superior de cada seção indicam as estações hidrográficas.

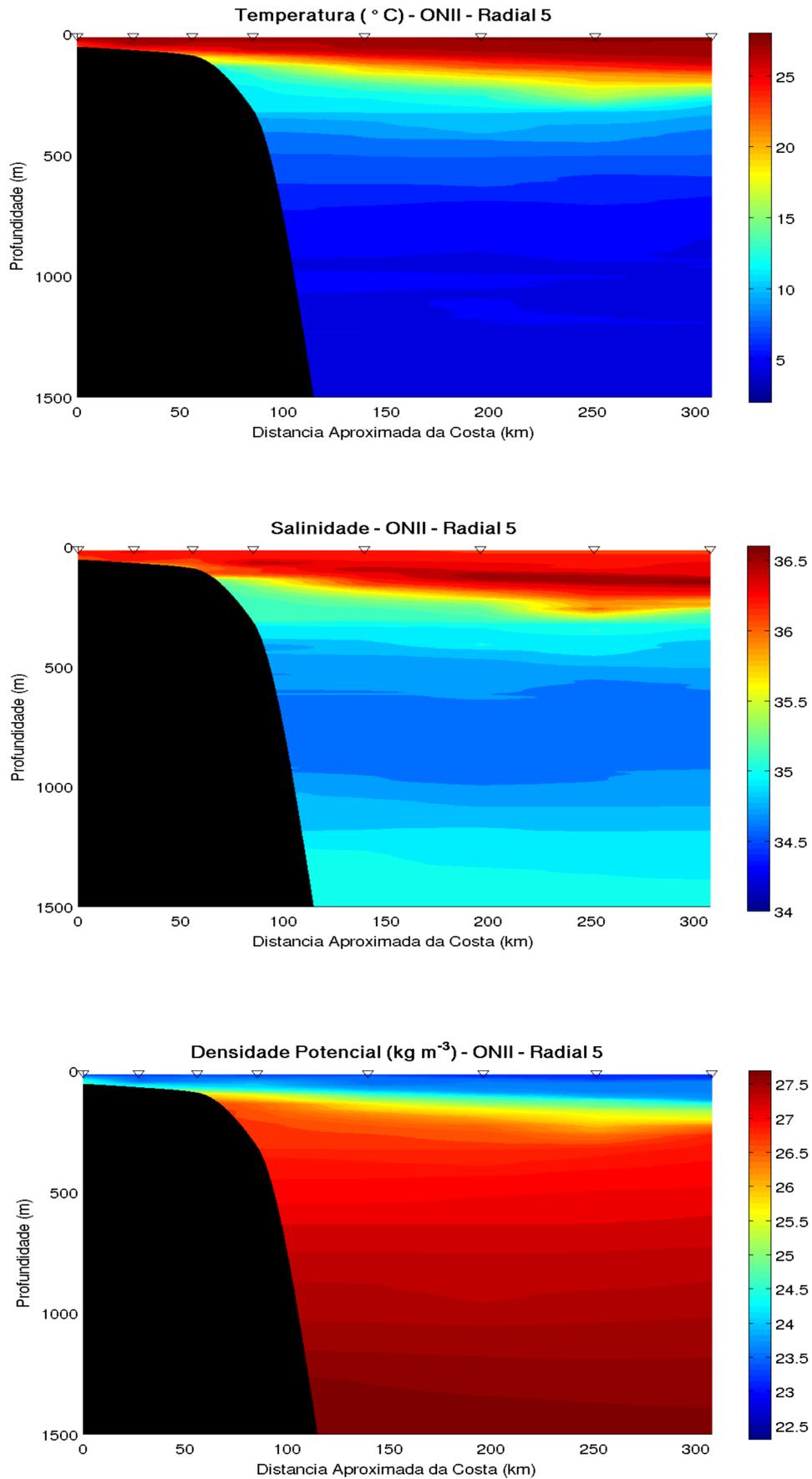


Figura 31: Seções verticais de Θ , S e σ_θ , referentes à Radial 5 da Comissão ONII. Os triângulos na parte superior de cada seção indicam as estações hidrográficas.

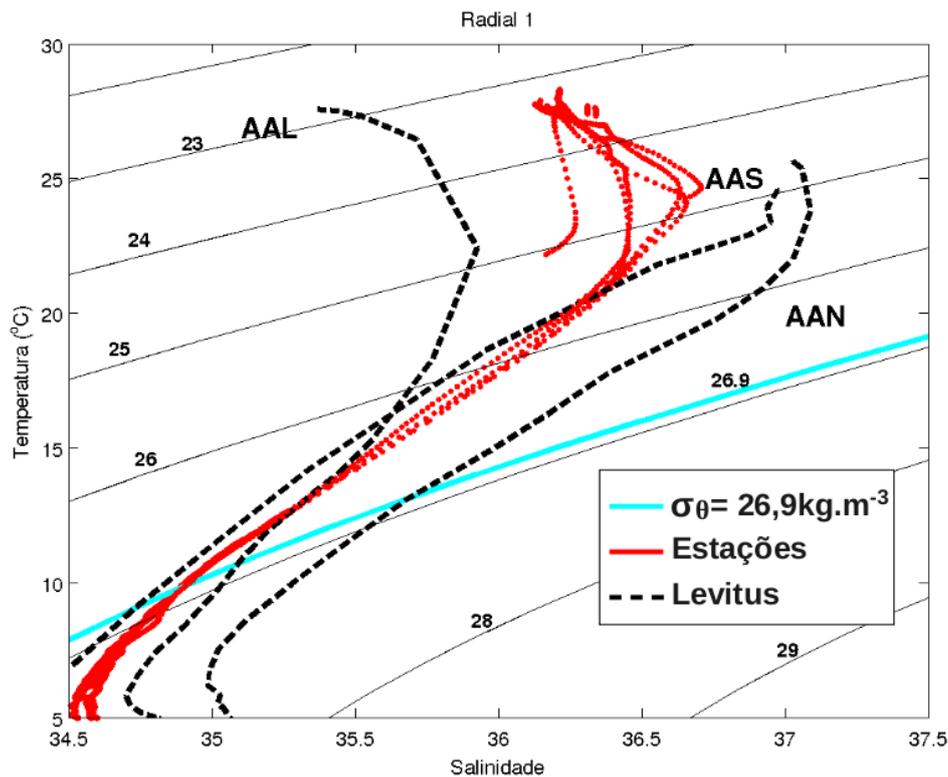


Figura 32: Similar à Figura 14 mas para estações de CTD da Radial 1 da Comissão ONII (linhas vermelhas). Isolinha de densidade média para as estações na profundidade de 300 m (linha ciano).

A partir da análise dos diagramas de estado, podemos separá-los em dois grupos: o primeiro constituído somente da Figura 32, e o segundo grupo constituído das Figuras de 33 a 36.

A partir da análise da Figura 32, podemos constatar que existe uma mistura de massas de água entre AAS e AAL na região da Radial 1. Já a partir da análise das Figuras 33 a 36 notamos que as curvas das estações não seguem um padrão, sendo muito sinuosas, levando-nos a constatar a existência de mistura entre as AAL, AAS e AAN. Nas figuras do segundo grupo, também notamos que as curvas das estações em densidades menores que 26 kg m^{-3} tendem a aproximar-se da curva de referência para AAL em relação a Figura 32, o mesmo ocorre com as curvas em densidades maiores que 26 kg m^{-3} , mas esta tendem a se aproximar da curva de referência para AAN.

Observa-se, na região do vórtice de separação, que ocorre uma mistura entre três massas de água na região e que essa mistura foi chamada por *Schott et al.* (1995) de “Água Equatorial do Atlântico”. Segundo *Urbano et al.* (2008), esta massa de água tem contribuição a partir do Atlântico Sul através da retroflexão da CNB, a partir do Atlântico

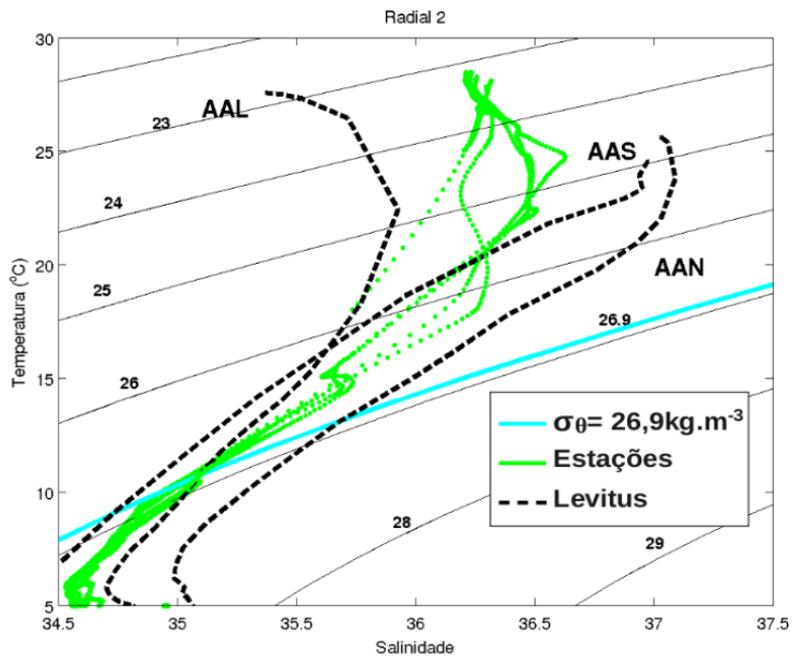


Figura 33: Similar à Figura 32 mas para estações de CTD da Radial 2 da Comissão ONII (linhas verdes).

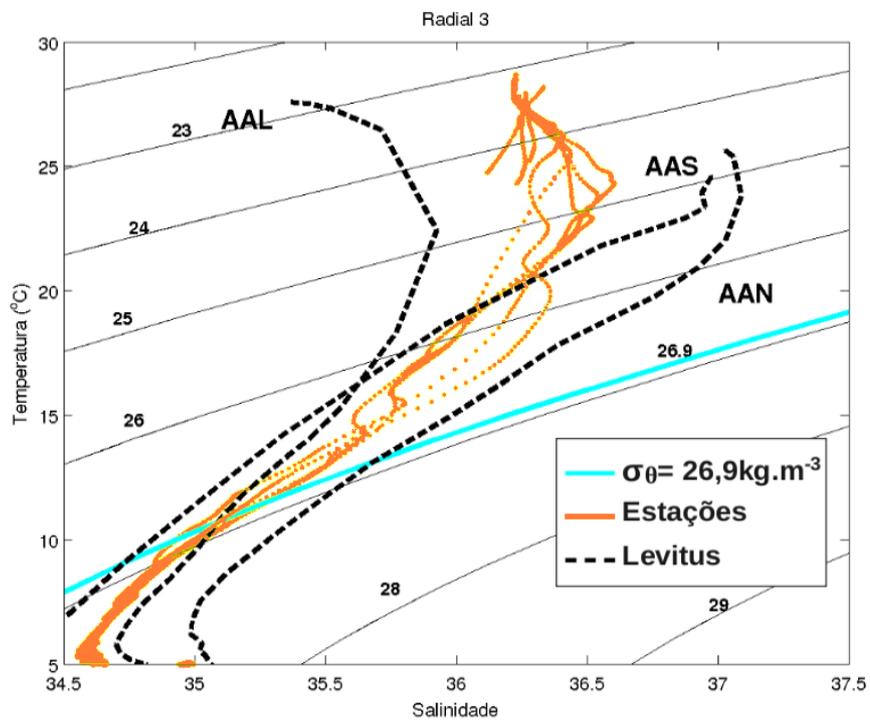


Figura 34: Similar à Figura 32 mas para estações de CTD da Radial 3 da Comissão ONII (linhas laranjas).

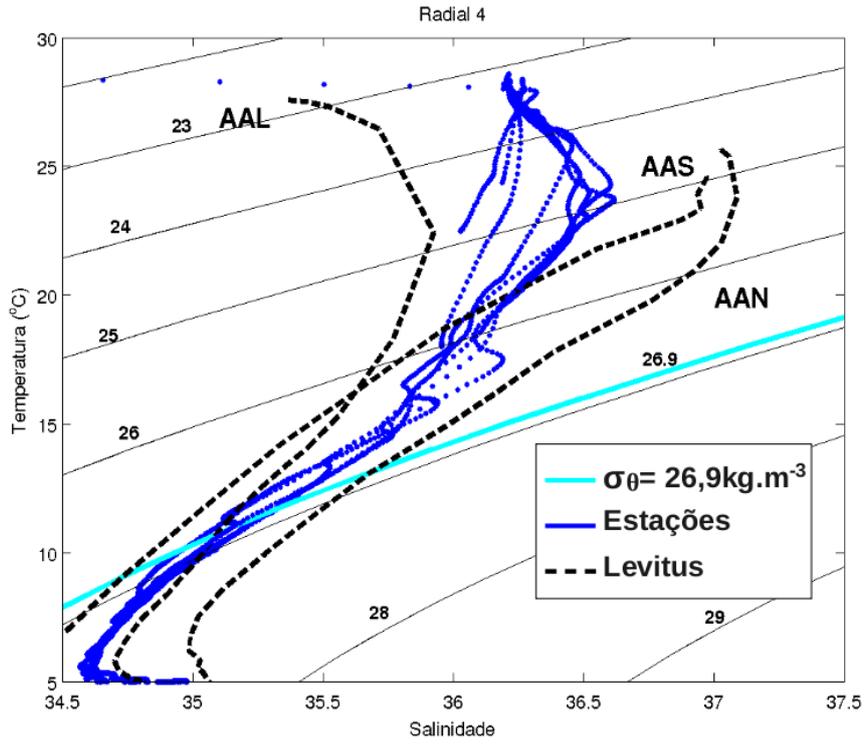


Figura 35: Similar à Figura 32 mas para estações de CTD da Radial 4 da Comissão ONII (linhas azuis).

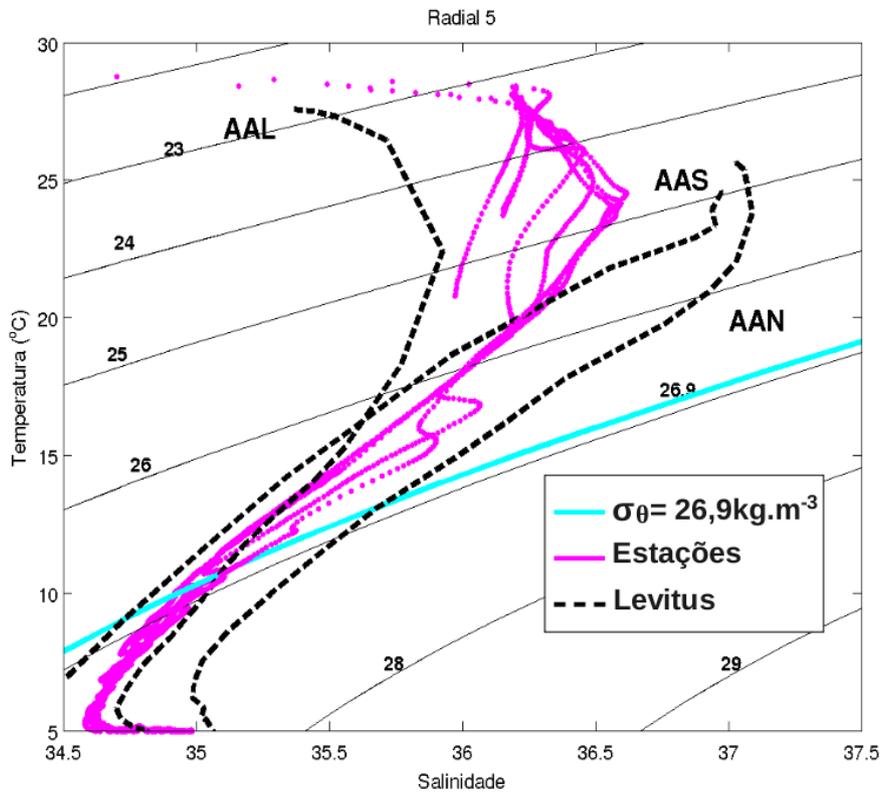


Figura 36: Similar à Figura 32 mas para estações de CTD da Radial 5 da Comissão ONII (linhas magenta).

Leste através da CNE e CSEn, também a partir do Atlântico Norte e análises das massas de água também mostram que a CCNE transporta uma mistura de águas composta pela AAS, AAL e AAN.

Wilson et al. (1994); Schott et al. (1998); Bourlès et al. (1999a) já haviam demonstrado que a CCNE é alimentada pelas águas dos oceanos Atlântico Sul e do Norte a partir da retroflexão da CNB e da recirculação da CNE, respectivamente. Segundo *Wilson et al. (1994)*, em termos de massas de água em 44°W, a CCNE é composta de 8 Sv principalmente de águas do hemisfério sul, 6 Sv de águas do hemisfério norte e 9 Sv de águas misturadas.

Como foi visto, a região amostrada pela ONII compreende basicamente a região da retroflexão e a presença do Anticiclone do Amazonas e o do Anticiclone de separação. Nossa região de estudo está mais confinada à estrutura dos vórtices e que melhor permitem sua caracterização em termos de massas de água em relação aos demais trabalhos na literatura. Nossos resultados parecem mostrar que o Anticiclone do Amazonas é formado predominantemente pela AAS, com pouca contribuição da AAL transportada pela CSEn. Tal estrutura vortical representaria o limbo que separa, na camada limite oeste, os Giros Equatorial (ao sul) e Tropical (ao norte).

Quando da instabilização da retroflexão e emissão do Anticiclone de separação, o alongamento da borda oeste do giro equatorial faz com que haja, provavelmente, entranhamento de águas oriundas do hemisfério norte também: a AAN. Devido ao movimento de rotação do vórtice de separação, a distribuição das massas de água se torna mais complexa e o padrão de distribuição Θ -S difere, como já apontado, daquele do Anticiclone do Amazonas. Em outras palavras, os vórtices da CNB parecem não consistir simplesmente de águas do hemisfério sul e seguem um padrão mais complicado de misturamento, como o descrito por *Wilson et al. (1994); Schott et al. (1995); Bourlès et al. (1999a); Urbano et al. (2008)* para a região mais ampla e associada à estrutura de retroflexão da CNB e origem da CCNE a partir da borda oeste.

5 Síntese e Conclusões

Este trabalho visa a descrição da estrutura de velocidades observadas e de massas de água na região de retroflexão da CNB. A dinâmica desta corrente de contorno oeste de baixas latitudes, visto que é o escoamento que fecha o Giro Equatorial do Oceano Atlântico, foi descrita e estudada por vários esforços observacionais na década de 90 e seguidos de importantes estudos analíticos e numéricos. Estes desvendaram o mecanismo pelo qual a CNB emite anticiclones de cerca de 400 km de diâmetro no Giro Tropical e, que estes, eventualmente, até atingem a porção mais equatorial do Giro Subtropical do Atlântico Norte via Mar das Antilhas (*Philander & Pacanowski, 1986; Bub & Brown, 1996; Bourlès et al., 1999a,b; Wilson et al., 2002*).

Entretanto, detectamos que há ausência de descrição destas estruturas e padrões vorticiais a partir de dados de ADCP de casco e que análise das massas de água entranhadas nos vórtices é escassa. A estrutura de massas de água é descrita em termos de região oceânica bem mais ampla que aquela coberta pelo fenômeno da retroflexão da CNB e subsequente emissão dos anticiclones de separação.

A hipótese científica testada neste trabalho é que os vórtices da CNB apresentam contribuições de massas de água de ambos hemisférios. Para testar esta hipótese, lançamos mão da utilização do conjunto de dados hidrográficos e de ADCP de casco da Comissão ONII, realizada pelo N.Oc. Antares da Marinha do Brasil no período de outubro-dezembro de 2005 e que consistiu de cinco radiais oceanográficas. Tal período, de acordo com a literatura, consiste no período onde a CNB retroflete e se aproxima do seu máximo de transporte e emissão de anticiclones.

O primeiro passo (ou primeiro objetivo específico) para testar a hipótese foi obviamente processar os dados de velocidade de ADCP e produzir seções verticais e mapas horizontais de velocidade que caracterizasse a presença da CNB no processo de emissão de vórtice. Cinco radiais hidrográficas foram tratadas e seções verticais de velocidade horizontal foram construídas para verificar a presença do Anticiclone do Amazonas (capturado na radial mais ao sul da comissão oceanográfica), enquanto nas quatro radiais mais ao norte, o Anticiclone de separação (ou vórtice anticiclônico em emissão) foi capturado pelo menos parcialmente.

Transporte de volume da CNB e valores máximos das correntes foram calculados. Os valores médios obtidos para esta corrente nos primeiros 300 m foram, em média de 36

Sv, valor favoravelmente comparável àqueles descritos da literatura para esta porção da extensão vertical da CNB. Velocidades máximas atingem $1,5 \text{ m s}^{-1}$, valores relativamente acima dos descritos na literatura da região por perfiladores superfície-fundo tipo Pegasus ou L-ADCP.

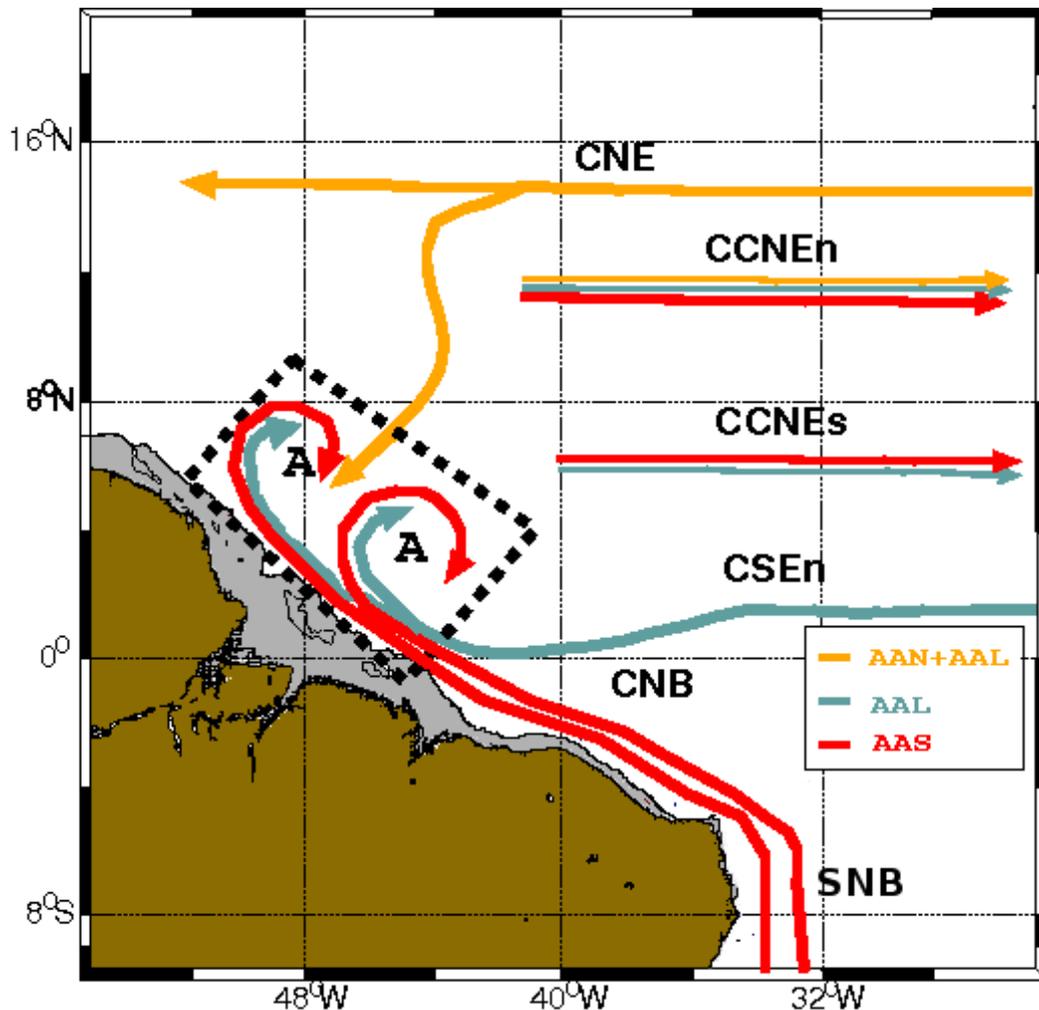


Figura 37: Representação esquemática das massas de águas superficiais encontradas na estrutura da retroflexão e formação de vórtices anticiclônicos da CNB durante a ONII (outubro-dezembro 2005). A área tracejada representa a região de estudo da Comissão ONII. Adaptado de *Urbano et al.* (2008).

O segundo passo (ou segundo objetivo específico) foi analisar a estrutura das massas de água confinadas principalmente entre a superfície e a base da picnoclina. Seguiu-se a classificação adotada por *Urbano et al.* (2008) e construímos diagramas Θ -S para as cinco radiais. Os resultados mostram que a hipótese básica do trabalho é satisfeita. O Anticiclone do Amazonas é formado predominantemente pela AAS e parcialmente pela AAL, que contém já alguma contribuição de águas do hemisfério norte (*Urbano et al.*, 2008). Já o

Anticiclone de separação, apresenta composição de AAS, AAL e AAN, provável resultado do entranhamento na estrutura vortical devido a seu sentido horário de rotação e chegada de correntes equatoriais na camada oeste. A Figura 37 exhibe nossa interpretação de como ocorre o entranhamento das águas, baseado nos resultados aqui obtidos e estendendo a distribuição esquemática de *Urbano et al.* (2008) (Figura 2).

Referências

- Bourlès, B., Y. Gouriou, & R. Chuchla, 1999a: On the circulation in the upper layer of the western equatorial Atlantic. *Journal of Geophysical Research*, *104 (C9)*, 21,151–21,170.
- Bourlès, B., R. L. Molinari, E. Johns, W. D. Wilson, & K. D. Leaman, 1999b: Upper layer currents in the western tropical North Atlantic (1989-1991). *Journal of Physical Oceanography*, *104 (C1)*, 1361–1375.
- Boyer, T., S. Levitus, H. Garcia, R. A. Locarnini, C. Stephens, & J. Antonov, 2005: *Objective analyses of annual, seasonal, and monthly temperature and salinity for the world ocean on a 0.25 degrees grid.*, volume 25. Int. J. Climatology, 7 edição, 931–945 pp.
- Bretherton, F. P., E. D. Russ, & C. B. A. Fandry, 1976: Technic for Objective Analysis and design of oceanographic experiments applied to MODE-73. *DSR*, *23 (7)*, 559–582.
- Bruce, J. G., 1995: Near-equatorial eddies off South America. *Geo-Marine Letters*, *15*, 185–194.
- Bub, F. L. & W. S. Brown, 1996: Intermediate Layer Water Masses in the Western Tropical Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research*, *101 (C5)*, 11,903–11,922.
- Carter, E. F. & A. R. Robinson, 1987: Analysis models for the estimation of oceanic fields. *JAOT*, *4 (1)*, 49–74.
- Didden, N. & F. Schott, 1993: Eddies in the North Brazil Current Retroflexion Region Observed by Geosat Altimetry. *Journal of Geophysical Research*, *98*, 20,121 – 20,131.
- Emery, W. J. & R. E. Thomson, 1998: *Data analysis methods in physical oceanography*. Perg, Great Britain, 634 pp.
- Flagg, C., R. L. Gordon, & S. MCDowell, 1986: Hydrographic and current observations on the continental slope and shelf of the western equatorial Atlantic. *Journal of Physical Oceanography*, *(16)*, 1412–1429.
- Fonseca, C., G. J. Goni, W. E. Johns, & E. J. D. Campos, 2004: Investigation of the North Brazil Current retroflexion and North Equatorial Countercurrent variability. *Geophys. Res. Lett.*, *31 (2)*, L21.304,doi:10.1029/2004GL020.054.

- Fratantoni, D. M., W. E. Johns, & T. L. Townsend, 1995: Rings of the North Brazil Current: Their structure and behavior inferred from observations and a numerical simulation. *Journal of Geophysical Research*, *100* (C6), 10.633–10.654.
- Goni, G. & W. E. Johns, 2001: A Census of North Brazil Current Rings Observed from TOPEX/POSEIDON Altimetry: 1992 – 1998. *Geophys. Res. Lett.*, *28* (1), 1 – 4.
- Góes, M., R. Molinari, I. C. A. Silveira, & I. Wainer, 2005: Retroreflections of the North Brazil Current during February 2002. *Deep-Sea Research, Elsevier*, *52* (11), 647–667.
- Jochum, M. & P. Malanotte-Rizzoli, 2003: On the generation of North Brazil Current rings. *Journal of Marine Research*, *61* (2), 147–162.
- Johns, W. E., T. N. Lee, R. C. Beardsley, J. Candela, R. Limeburner, & B. Castro, 1998: Annual cycle and variability of the North Brazil Current. *Journal of Physical Oceanography*, *28* (1), 103–128.
- Johns, W. E., T. N. Lee, F. Schott, R. Zantopp, & R. H. Evans, 1990: The North Brazil Current Retroflection: Seasonal Structure and Eddy Variability. *Journal of Physical Oceanography*, *95*, 22,103–22,120.
- Joyce, T. M., 1989: On In Situ “Calibration” of Shipboard ADCPs. *JAOT*, *6* (6), 169–172.
- Morgan, P., 2003: CSIRO MatLAB. *Seawater Library*.
- Patti, E. J., 2001: A geração dos anéis da Corrente Norte do Brasil devido ao forçamento pelo vento em um modelo isopical. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 115 pp.
- Philander, S. G. & R. C. Pacanowski, 1986: A model of the seasonal cycle in the tropical Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research*, *91*, 14.192–14.206.
- Polito, P. & O. Sato, 2003: Patterns of sea surface height and heat storage associated to intraseasonal Rossby waves in the tropics. *Journal of Geophysical Research*, *108* (C12), doi: 10.1029/2002JC001.684.
- Pollard, R. & J. Read, 1989: A Method for Calibrating Shipmounted Acoustic Doppler Profilers and limitations of Gyro Compasses. *JAOT*, *6* (6), 859–865.

- Richardson, P., G. E. Hufford, R. Limeburner, & W. S. Brown, 1994: North Brazil Current retroreflection eddies. *Journal of Geophysical Research*, *99*(C3), 5081–5093.
- Richardson, P. & D. Walsh, 1986: Mapping climatological seasonal variations of surface currents in the tropical Atlantic using ship drifts. *Journal of Geophysical Research*, *(91)*, 10.537–10.550.
- Schott, F. A., J. Fischer, & L. Stramma, 1998: Transports and Pathways of the Upper-Layer Circulation in the Western Tropical Atlantic. *Journal of Physical Oceanography*, *28*, 1904–1928.
- Schott, F. A., L. Stramma, & J. Fisher, 1995: The warm water inflow into the western tropical Atlantic boundary regime, spring 1984. *Journal of Geophysical Research*, *(100)*, 24.475–24.760.
- Silveira, I. C. A., W. S. Brown, & G. R. Flierl, 2000: Dynamics of the North Brazil Current Retroreflection from the Western Tropical Atlantic Experiment Observations. *Journal of Geophysical Research*, *105*(C12), 28,559–28,583.
- Silveira, I. C. A., L. Calado, B. M. Castro, M. Cirano, J. A. M. Lima, & A. S. Mascarenhas, 2004: On the baroclinic structure of the Brazil Current-Intermediate Western Boundary Current System. *GRL*, *31*(14), L14.308.
- Silveira, I. C. A., L. B. Miranda, & W. S. Brown, 1994: On the origins of the North Brazil Current. *Journal of Geophysical Research*, *99*(C11), 22.501–22.512.
- Soutelino, R. G., 2008: A Origem da Corrente do Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 101 pp.
- Stramma, L. & M. England, 1999: On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research*, *104*(C9), 20.863–20.883.
- Stramma, L., M. Rhein, P. Brandt, M. Dengler, C. Böning, & M. Walter, 2005: Upper Ocean Circulation in the Western Tropical Atlantic in Boreal Fall 2000. *Deep-Sea Research*, *(52)*, 221–240.
- Tomczak, M. & J. S. Godfrey, 1994: *Regional Oceanography: An Introduction*. Perg, Great Britain, 422 pp.

- UNESCO, 1980: The Practical Salinity Scale 1978 and the International Equation of State of Seawater 1980. Tenth Report of the Joint Panel on Oceanographic Tables and Standards (JPOTS). *UNESCO Technical Papers in Marine Science*, (36), 25.
- Urbano, D. F., R. A. F. D. Almeida, & P. Nobre, 2008: Equatorial Undercurrent and North Equatorial Countercurrent at 38°W: A new perspective from direct velocity data. *Journal of Geophysical Research*, 113.
- Urbano, D. F. & I. C. A. Silveira, 2003: Estrutura dinâmica das contra-correntes equatoriais do Oceano Atlântico ao longo de 44° W. *Revista Brasileira de Geofísica*, 21 (2), 145–162.
- Wilson, W. D., E. Johns, & R. L. Molinari, 1994: Upper layer circulation in the western tropical North Atlantic Ocean during August 1989. *Journal of Geophysical Research*, 99(C11), 22,513– 22,523.
- Wilson, W. E., E. Johns, & S. L. Garzoli, 2002: Velocity structure of North Brazil Current rings. *Geophys. Res. Lett.*, 29 (8), 1273,doi:10.1029/2001GL013.869.

Marcelo Franco de Oliveira
(17/11/2009 - Monografia de Bacharelado)

Prof. Dr. Ilson Carlos Almeida de Silveira
(17/11/2009 - Monografia de Bacharelado)