



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA



ANTONIO VASCONCELOS NOGUEIRA NETO

**Variabilidade da Corrente Norte do Brasil associada
aos padrões termohalinos na borda da Plataforma
Continental Norte do Brasil**

**Recife
2013**

ANTONIO VASCONCELOS NOGUEIRA NETO

**Variabilidade da Corrente Norte do Brasil associada
aos padrões termohalinos na borda da Plataforma
Continental Norte do Brasil**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-graduação em
Oceanografia da Universidade
Federal de Pernambuco como
parte dos requisitos para obtenção
do título de Mestre em
Oceanografia.

Orientador: Dr. Alex Costa da Silva

**Recife
2013**

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

N778v Nogueira Neto, Antonio Vasconcelos.
Variabilidade da Corrente Norte do Brasil associada aos padrões termohalinos na borda da Plataforma Continental Norte do Brasil / Antonio Vasconcelos Nogueira Neto. - Recife: O Autor, 2013.
96 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Alex Costa da Silva.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2013.
Inclui Referências.

1. Oceanografia. 2. Corrente Norte do Brasil. 3. Temperatura da superfície do mar. 4. Plataforma Continental Norte do Brasil. 5. Clipper ATL6. I. Silva, Alex Costa da. (Orientador). II. Título.

UFPE

551.46 CDD (22. ed.)

BCTG/2013-099

ANTONIO VASCONCELOS NOGUEIRA NETO

**Dinâmica da Corrente Norte do Brasil associada aos padrões
termohalinos na borda da Plataforma Continental Norte do Brasil**

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-graduação em Oceanografia da
Universidade Federal de Pernambuco
como parte dos requisitos para obtenção
do título de Mestre em Oceanografia.

Data da defesa: 15 de março de 2013

BANCA EXAMINADORA:

Titulares

Dr. Alex Costa da Silva (Orientador)

Dr. Moacyr Cunha de Araújo Filho (Examinador interno)

Dr. Carlos Alexandre Domingos Lentini (Examinador externo)

Suplentes:

Dra. Carmen Medeiros Limongi (Examinador interno)

Dra. Dóris Regina Aires Veleda (Examinador externo)

Agradecimentos

Aos meus pais, Carlos Alberto e Jandira Lúcia, e minha irmã, Viviana Nogueira pelo apoio e incentivo na minha vida profissional. Obrigado por compreenderem a minha ausência do convívio familiar e me fazer ter fé em Deus para continuar meu caminho.

Ao professor Dr. Alex Silva pela orientação e diversas oportunidades de aprendizado e crescimento profissional nesses dois anos de convívio.

Aos membros da banca examinadora por aceitarem o convite e contribuírem da melhor forma para o enriquecimento deste trabalho.

À Dominique Dagorne (Institut de Recherche pour le Développement (IRD)/Brest-France) pela ajuda com o processamento dos dados do satélite TRMM-TMI e à Marinha do Brasil pela disponibilização dos dados utilizados neste estudo.

À Ana Paula e Adriene por toda atenção e apoio que me deram no processamento dos dados de corrente.

Aos amigos e companheiros do LOFEC, Patrícia, Cris, Gabriela e Aubains por toda ajuda e bons momentos no laboratório e pelo DOCEAN.

A todos da minha turma de mestrado, especialmente aos amigos Marcos Vinícius, Simone, Anne, Thompson, Cristiane, Gabriela e o agregado Luciano.

Ao amigo-irmão e parceiro para a vida que encontrei em Recife, Lucas Maltez e à sua digníssima esposa Mariana Holanda. Obrigado pelos conselhos, dicas, viagens, risadas, etc.

Aos amigos Manuele e Diego que me acolheram primeiro quando cheguei a Recife.

Ao Gledson e a Juliana por me acolherem na segunda morada e me darem o prazer da sua amizade e companheirismo. Morar com vocês “é style!”.

Aos maiores amigos, que mesmo de longe me apoiaram nessa jornada, Marcus Vinícius (Malandro), Ernan e Simão e Marcus Moreira.

A todos da minha família e demais pessoas que direta ou indiretamente me incentivaram e contribuíram para minha formação e realização deste trabalho.

RESUMO

Nas últimas décadas, diversos estudos têm utilizado dados de fontes remotas, *in situ* e/ou modelos matemáticos para descrever processos importantes da circulação oceânica. Na borda Oeste do Oceano Atlântico Equatorial, a concatenação de informações obtidas por dados de fontes distintas permite um melhor esclarecimento da complexa circulação oceânica nesta área. O presente estudo utiliza dados hidrográficos coletados em três campanhas oceanográficas do Programa REVIZEE ao longo da Plataforma Continental Norte do Brasil (PCNB), realizadas em outubro a novembro de 1997; maio a junho de 1999 e julho a agosto de 2001, bem como uma série de 14 anos (janeiro de 1998 a dezembro de 2011) de coleta de dados mensais de Temperatura da Superfície do Mar – TSM, obtidas por meio do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission-Microwave Image* (TRMM-TMI), como também os resultados do modelo numérico ATL6. Os dados *in situ* de temperatura, salinidade e corrente foram coletados através de CTD Sea-Bird, modelo SBE9 e perfilador ADCP modelo RDI *Broad Band* 75kHz, respectivamente. As duas primeiras variáveis, também foram utilizadas para aplicação do método para cálculo da Mudança de Temperatura Acumulada (MTA), para inferir um possível desprendimento de água da camada de fundo da plataforma, associado ao fluxo da Corrente Norte do Brasil (CNB), próximo à quebra da plataforma. Os resultados *in situ* e numéricos evidenciam a forte presença da CNB junto à quebra da PCNB, com valores em torno de $1,2\text{m.s}^{-1}$ no núcleo da corrente ($\sim 100\text{m}$ de profundidade) para o período de intensificação da mesma (agosto de 2001). A assinatura do núcleo da corrente é notada até aproximadamente 200m de profundidade, tendendo ficar mais intenso e estável enquanto segue para noroeste da foz do rio Amazonas. Os resultados de modelo mostram que em maio a CNB mantém suas principais características do fluxo (direção noroeste e profundidade), porém é bem menos intensa junto à PCNB ($\sim 0,6\text{m.s}^{-1}$). A distribuição de TSM obtida por CTD, assim como as médias mensais obtidas pelo satélite mostram que, no período de julho a setembro, águas relativamente mais frias ($<27,5^\circ\text{C}$) chegam à região através da CNB. Os resultados de TSM do modelo mostram essas mesmas características, mas os valores de temperatura são subestimados pelo mesmo com diferenças em torno 2°C das obtidas por satélite. Os transectos de temperatura para o mesmo período mostram que toda a camada acima da termoclina apresenta queda nas temperaturas junto à PCNB. Já no período de menor intensidade da CNB e maior descarga do rio Amazonas (maio de 1999) foram observadas águas mais quentes ($>28^\circ\text{C}$) na região, estando associadas ao posicionamento próximo ao Equador da Zona de Convergência Intertropical e presença da pluma de baixa salinidade do rio Amazonas. Os resultados obtidos na distribuição da MTA demonstraram um possível desprendimento de água da camada de fundo da PCNB próximo à isopícnica de $23,7\text{kg.m}^{-3}$, no período compreendido entre julho a agosto de 2001 e outubro a novembro de 1997, sendo que no período de maio a junho de 1999, características de desprendimento são observadas próximo à isopícnica de 23kg.m^{-3} . Tais variações na distribuição de MTA apresentaram semelhanças a sudeste e a noroeste da foz do rio Amazonas, em função da presença ou ausência da pluma. Entretanto, os dados indicam que estas características estão relacionadas à CNB, porém independem das variações sazonais da mesma. Os resultados apresentados neste estudo mostram que a CNB contribui para as alterações de temperatura da coluna d'água sobre a termoclina ao longo da PCNB, mas estas alterações estão possivelmente ligadas à sazonalidade da pluma do rio Amazonas sobre a PCNB.

Palavras-chave: Corrente Norte do Brasil, Temperatura da Superfície do Mar, Plataforma Continental Norte do Brasil; Clipper ATL6

ABSTRACT

Recently, several studies have been using data from remote sources, in situ and/or numerical models to describe important processes of the oceans circulation. At the western Equatorial Atlantic Ocean boundary, information obtained from several sources allows us to better understanding about this complex area. This study uses the data collected in three oceanographic cruises from the REVIZEE Program along the Northern Brazilian Continental Shelf (October-November 1997, May-June 1999 and July-August 2001), as well as from a 14-years series of monthly averages of SST (January 1998 to December 2011) obtained from the Tropical Rainfall Measuring Mission Satellite-Microwave Image (TRMM-TMI). In addition, results from the numerical model ATL6 were also used. The in situ data of temperature, salinity and ocean current were measured by the Sea-Bird SBE9 CTD profiler and the RDI ADCP Broad Band 75kHz. The first two parameters were also used to calculate the Accumulated Temperature Change (ATC). This method was applied to infer from possible detachment of waters from the bottom boundary layer associated with the North Brazilian Current (NBC) flow near the shelf break. The in situ current measurements and the numerical model results showed a strong NBC flow near the North Brazilian Continental Shelf, with values $\sim 1.2 \text{ m.s}^{-1}$ in the current core ($\sim 100 \text{ m}$ depth) in the period when the currents are more intense (August 2001). The signature of the NBC core was observed close to 200m depth in the area in front of the northeast coast of the Pará State, and tended to become more intense and stable while flowing northwestward of the Amazon River mouth, restricted to the upper 100m depth. The model results showed that the NBC kept its main features, but was less intense along the Continental Shelf ($\sim 0.6 \text{ m.s}^{-1}$) on May. The sea surface temperature (SST) distribution obtained by the CTD, together with satellite monthly averages data, showed relatively colder waters ($< 27.5^\circ\text{C}$), from July to September, in the NBC. Associated with this information, temperature sections for the same period showed that all the layers above the thermocline had lower temperatures near the North Brazilian Continental Shelf. When the intensity of the NBC is lower, and the discharge of the Amazon River is higher (May 1999), warmer waters ($> 28^\circ\text{C}$) were observed in the region and are probably related to the position of the Intertropical Convergence Zone, as well as to the presence of lower salinity waters from the Amazon River plume. The MTA distribution showed a possible water detachment from the bottom boundary layer of the Continental Shelf in the isopycnal of 23.7 kg.m^{-3} , in July and August 2001 and between October and November 1997. In May-June 1999, these characteristics were observed in the 23 kg.m^{-3} isopycnal. The MTA distribution also showed similarities between the southeast and the northwest regions from the Amazon River mouth, which were related to the presence or the absence of the Amazon River plume. However, the data showed that these characteristics were also related to the NBC flow, independently of the current seasonal variability. Finally, results presented here showed that the NBC contributes to modify the temperature of the water column on the thermocline along the continental shelf, but these changes were possible related to the seasonality of the Amazon River plume on the North Brazilian Continental Shelf.

Key-words: North Brazilian Current, Sea Water Temperature, North Brazilian Continental Shelf; Clipper ATL6.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Distribuição média da TSM e posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) em cada semestre do ano. As isobatimétricas de 100 e 2000 m são representadas.	22
FIGURA 2 - Representação esquemática da circulação no Oceano Atlântico Tropical. Corrente Norte do Equatorial (CNE); Contracorrente Norte Equatorial (CCNE); Subcorrente Norte Equatorial (SCNE); Corrente Sul Equatorial norte (CSEn); Subcorrente Equatorial (SCE); Corrente Sul Equatorial central (CSEc); Subcorrente Sul Equatorial (SCSE); Contracorrente Sul Equatorial (CCSE); Corrente sul equatorial sul (CSEs); Corrente Norte do Brasil (CNB); Corrente do Brasil (CB); Subcorrente Norte do Brasil (SCNB); Corrente da Angola (CA). As isobatimétricas de 100 e 2000 m são representadas.....	24
FIGURA 3 - Localização da área de Estudo: Plataforma Continental Norte do Brasil (PCNB) e área oceânica adjacente. A área demarcada corresponde aos limites de abrangência das estações de CTD de todas as campanhas do programa REVIZEE utilizadas no estudo, as linhas pretas representam os transectos de ADCP utilizados. Os pontos azuis representam as localizações das séries temporais sobre a borda da PCNB.....	25
FIGURA 4 - Plataforma Continental Norte do Brasil e área oceânica adjacente. Localização das estações de CTD (·) do Programa REVIZEE correspondentes às campanhas dos períodos de Alta Descarga (AD), Transição de Alta para Baixa descarga (TAB) e Baixa Descarga (BD) do rio Amazonas. As isobatimétricas de 100, 2000, 4000 m são representadas.	27
FIGURA 5 – Figura esquemática da frente de densidade na borda da plataforma e movimento ascendente de água da camada limite de fundo para a coluna d’água. Retirado de Pickart (2000).	29
FIGURA 6 – Seções de ADCP transversais a PCNB avaliadas neste estudo. As isobatimétricas de 100 e 2000 m são representadas. A foz do rio Amazonas está localizada entre o Estado do Amapá e a Ilha do Marajó	31
FIGURA 7 – Seções da componente u (à esquerda) e v (à direita) da velocidade localizadas a sudeste da foz do rio Amazonas no período TAB.....	37
FIGURA 8 - Seções da componente u (à esquerda) e v (à direita) da velocidade localizadas a noroeste da foz do rio Amazonas no período TAB.	41
FIGURA 9 – Vetor velocidade ao longo dos transectos de ADCP nas profundidade de 30m (a), 60m (b), 100m (c) e 200m (d), durante o período TAB. As isobatimétricas de 100 e 2000m são representadas por linhas contínuas.....	45
FIGURA 10 – Variação da velocidade média nos primeiros 150 m da coluna d’água para a componente zonal (A), componente meridional (B) e intensidade da velocidade (C) da CNB a cada transecto e ao longo da borda da PCNB, durante o período TAB.	47
FIGURA 11 - Campo de velocidade a partir do resultado do Experimento ATL6 para o período de Alta Descarga do rio Amazonas (AD) em superfície (A), 100m (B) e 200m (C) de profundidade. As isóbatas de 100m e 2000m são representadas por linhas contínuas.	49

FIGURA 12 - Campo de velocidade a partir do resultado do Experimento ATL6 para o período de Transição de Alta para baixa descarga do rio Amazonas (TAB) em superfície (a), 100m (b) e 200m (c) de profundidade. As isobatimétricas de 100 e 2000m são representadas por linhas contínuas.	51
FIGURA 13 - Campo de velocidade a partir do resultado do Experimento ATL6 para o período Baixa Descarga do rio Amazonas (BD) em superfície (a), 100m (b) e 200m (c) de profundidade. As isobatimétricas de 100 e 2000m são representadas por linhas contínuas. ...	53
FIGURA 14 – Distribuição da TSM a partir dos dados de CTD para os três períodos analisados: a) cenário de alta descarga-AD; b) período de transição de alta para baixa descarga- TAB e; c) período Baixa descarga-BD. As isóbatas de 20, 100 e 2000m são representadas por linhas contínuas.	56
FIGURA 15 – Gráfico T - S espalhado dos pontos P1 (*), P2 (°) e P3 (·) nos períodos AD (em vermelho), TAB (em azul) e BD (em verde) em superfície.	58
FIGURA 16 - Série mensal de TSM média para a região da borda PCNB e área oceânica adjacente. As isobatimétricas de 100m e 2000m são representadas.....	60
FIGURA 17 – Série das médias mensais para os pontos sobre a borda da PCNB. Ponto TMI-P1 (linha vermelha), TMI-P2 (linha azul) e TMI-P3 (linha verde).	62
FIGURA 18 - TSM a partir do resultado do Experimento ATL6 para o período TAB (a) e BD (b). As isobatimétricas de 100m e 2000m são representadas.	64
FIGURA 19 – Diferença entre os dados obtidos por satélite e o resultado do experimento ATL6 para a área de estudo. As isobatimétricas de 100m e 2000m são representadas.	65
FIGURA 20 - Distribuição vertical da salinidade nos transectos T5 e T6 durante o período AD. As linhas brancas representam os contornos de densidade em kg.m^{-3} e as cruzes na parte superior representam os pontos de cada estação de amostragem.	67
FIGURA 21 - Distribuição da temperatura nos transectos a sudeste da foz do rio Amazonas para o cenário AD. As linhas brancas representam os contornos de densidade em kg.m^{-3} e as cruzes na parte superior representam os pontos de cada estação de amostragem.	68
FIGURA 22 – Distribuição vertical da salinidade nos transectos T9 e T15 durante o período AD. As linhas brancas representam os contornos de densidade em kg.m^{-3} e as cruzes na parte superior representam os pontos de cada estação de amostragem.	70
FIGURA 23 - Distribuição da temperatura nos transectos a noroeste da foz do rio Amazonas para o cenário AD. As linhas brancas representam os contornos de densidade em kg.m^{-3} e as cruzes na parte superior representam os pontos de cada estação de amostragem.	71
FIGURA 24 – Distribuição vertical de salinidade nos transectos T3 e T6 durante o período TAB. As linhas brancas representam os contornos de densidade em kg.m^{-3} e as cruzes na parte superior representam os pontos de cada estação de amostragem.	73

FIGURA 25 - Distribuição da temperatura nos transectos a sudeste da foz do rio Amazonas para o período TAB. As linhas brancas representam os contornos de densidade em kg.m^{-3} e as cruces na parte superior representam os pontos de cada estação de amostragem.	74
FIGURA 26 – Distribuição vertical da salinidade nos transectos T9, T11 e T14 durante o período TAB. As linhas brancas representam os contornos de densidade em kg.m^{-3} e as cruces na parte superior representam os pontos de cada estação de amostragem.	76
FIGURA 27 - Distribuição da temperatura nos transectos a noroeste da foz do rio Amazonas para o período TAB. As linhas brancas representam os contornos de densidade em kg.m^{-3} e as cruces na parte superior representam os pontos de cada estação de amostragem.	77
FIGURA 28 – Distribuição vertical da salinidade nos transectos T5, T6 e T8 durante o período BD. As linhas brancas representam os contornos de densidade em kg.m^{-3} e as cruces na parte superior representam os pontos de cada estação de amostragem.	79
FIGURA 29 - Distribuição da temperatura nos transectos a sudeste da foz do rio Amazonas para o período BD. As linhas brancas representam os contornos de densidade em kg.m^{-3} e as cruces na parte superior representam os pontos de cada estação de amostragem.	80
FIGURA 30 – Distribuição vertical da salinidade nos transectos T13, T14 e T15 durante o período BD. As linhas brancas representam os contornos de densidade em kg.m^{-3} e as cruces na parte superior representam os pontos de cada estação de amostragem.	82
FIGURA 31 - Distribuição da temperatura nos transectos a noroeste da foz do rio Amazonas no período BD. As linhas brancas representam os contornos de densidade em kg.m^{-3} e as cruces na parte superior representam os pontos de cada estação de amostragem.	83
FIGURA 32 – Distribuição de MTA ($^{\circ}\text{C}$) ao longo dos transectos T3, T7, T9, T13 e T14, durante o período TAB.	86
Figura 33 - Distribuição de MTA ($^{\circ}\text{C}$) ao longo dos transectos T3, T4, T8 e T11, durante o período BD.	88
FIGURA 34 - Distribuição de MTA ao longo dos transectos T3, T5, T7 e T12, durante o período AD.	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AD	Alta Descarga
ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler
AMASSEDS	A Multidisciplinary Amazon Shelf Sediment Study
BD	Baixa Descarga
CA	Corrente da Angola
CB	Corrente do Brasil
CCNE	Contracorrente Norte Equatorial
CCSE	Contracorrente Sul Equatorial
CNB	Corrente Norte do Brasil
CNE	Corrente Norte do Equatorial
CNUDM	Comissão das Nações Unidas sobre o Direito do Mar
CODAS	Common Ocean Data Accessing System
COI	Comissão Oceanográfica Intergovernamental
CSEc	Corrente Sul Equatorial central
CSEn	Corrente Sul Equatorial norte
CSEs	Corrente sul equatorial sul
CTD	Conductivity Temperature Depth
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
DOL	Distúrbios Ondulatórios de Leste
HN	Hemisfério Norte
HS	Hemisfério Sul
LTA	Long Term Averaged
LODYC	Laboratoire d'Océanographie Dynamique et Climatologie

MOC	Meridional Overturning Cisculation
MTA	Mudança de Temperatura Acumulada
PAVASAS	Pontos Anfidrômicos e Variações Sazonais do Atlântico Equatorial e Sul
PCNB	Plataforma Continental Norte do Brasil
REVIZEE	Programa Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva
SCM	Sistemas Convectivos de Mesoescala
SCNE	Subcorrente Norte Equatorial
SCSE	Subcorrente Sul Equatorial
SCE	Subcorrente Equatorial
SCNB	Subcorrente Norte Equatorial
STA	Short Term Averaged
TAB	Transição de Alta para Baixa descarga
TRMM-TMI	Tropical Rainfall Measuring Mission-Microwave Imager
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
VmDas	Vessel-Mount Data Acquisitinon System
ZEE	Zona Econômica Exclusiva
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
WOCE	World Ocean Circulation Experiment

SUMÁRIO

Capítulo 1	15
Introdução e Objetivos	15
1.1 Introdução	15
1.2 Objetivos	19
Capítulo 2	20
Características Meteoceanográficas do Atlântico Tropical	20
2.1 Forçantes Atmosféricas	20
2.2 Circulação Oceânica	22
Capítulo 3	25
Área de Estudo, Materiais e Métodos	25
3.1 Conjunto de Dados Hidrográficos	26
3.1.1 Dados de CTD	27
3.1.2 Dados de ADCP	30
3.2 Dados De Satélite	32
3.3 Dados de Modelo – Projeto CLIPPER (Experimento ATL6)	33
Capítulo 4	35
Distribuição espacial da dinâmica de Corrente junto à PCNB	35
4.1 Dados <i>in situ</i>	35
4.1.1 Distribuição Vertical de Correntes	35
4.1.2 Distribuição Horizontal de Correntes	43
4.2 Resultados de Modelo (CLIPPER-Experimento ATL6)	48
Capítulo 5	55
Relação da CNB com o padrão termohalino regional	55
5.1 Distribuição da TSM na região	55
5.1.1 Dados <i>in situ</i>	55
5.1.2 Dados de Satélite TRMM-TMI	58
5.1.3 Dados de Modelo (CLIPPER Experimento ATL6)	63
5.2 Temperatura observada junto à PCNB	66
Capítulo 6	85
Água de fundo da PCNB	85
6.1 Análise da Mudança de Temperatura Acumulada	85
Capítulo 7	91

Conclusões e sugestões futuras	91
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93

Capítulo 1

Introdução e Objetivos

1.1 Introdução

A primeira grande expedição oceanográfica realizada na borda oeste do Oceano Atlântico Equatorial fez parte de um estudo global efetuado pela Comissão Oceanográfica Intergovernamental (C.O.I.). Esta expedição tinha como objetivo a obtenção de uma visão geral sobre a Oceanografia Física, Química, Biológica, Geológica e sobre a Meteorologia do Atlântico Tropical. Este programa ocorreu em duas etapas denominadas EQUALANT I e EQUALANT II, as quais foram realizadas nos períodos de fevereiro a março e de agosto a setembro de 1963, respectivamente, abrangendo as regiões Norte e Nordeste do Brasil. Nos anos seguintes a Diretoria de Hidrografia e Navegação (D.H.N.) realizou duas Operações Oceanográficas denominadas Operação Norte/Nordeste I (setembro a dezembro de 1967) e Operação Norte/Nordeste II (abril a junho de 1968), com o objetivo de obter informações sobre os processos oceanográficos e meteorológicos ocorrentes entre Recife-PE e o Cabo Orange.

A partir do final da década de 80, maiores esforços através de projetos nacionais e internacionais ocorreram para o levantamento de parâmetros físico-químicos e hidrodinâmicos na borda oeste do Oceano Atlântico Equatorial, onde se insere a Plataforma Continental Norte do Brasil (PCNB). Dentre estes projetos, pode-se destacar: Operação PAVASAS, Projeto AMASSEDs, Programa REVIZEE, AMANDES, entre outros.

A campanha oceanográfica denominada “PAVASAS I” ocorreu entre junho e setembro de 1987, com a finalidade de levantar as condições oceanográficas, meteorológicas, biológicas e geológicas da área, ao largo do Estado do Maranhão e ao largo da Barra Norte do rio Amazonas, realizada pelo Navio Oceanográfico “NOc. Almirante Saldanha”.

O Projeto “A Multidisciplinary Amazon Shelf Sediment Study” (AMASSEDS), realizou quatro cruzeiros oceanográficos entre 1989 e 1991, contando com cinco grupos de pesquisa: oceanografia física, geoquímica da coluna de água (incluindo produtividade primária), transporte de sedimento, biologia bêntica, e sedimentologia/estratigrafia. O AMASSEDS envolveu instituições nacionais e internacionais (Universidade Federal do Pará (PROMAR/ Departamento de Geologia), Universidade Federal Fluminense (Departamento de Geologia), State University of New York (Marine Sciences Research Center), University of Washington e Woods Hole Oceanographic Institute), investigando, detalhadamente, os processos oceanográficos na Plataforma Continental próximo à foz do rio Amazonas.

Recentemente, o Programa de “Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva”- REVIZEE foi criado em resposta ao compromisso assumido pelo Brasil através da ratificação da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM), que atribui aos países costeiros direitos e responsabilidades quanto à exploração, à conservação e à gestão dos recursos vivos de sua ZEE e a dinâmica interna e a evolução da atividade pesqueira nacional. O Programa REVIZEE na Plataforma Continental Norte do Brasil abrangeu a área entre o Cabo Orange/AP e a Foz do rio Parnaíba/PI, e realizou as Operações Norte I (1995), Norte II (1997), Norte III (1999) e Norte IV (2001) a bordo do Navio Oceanográfico “NOc. Antares” da Marinha do Brasil, durante os períodos de descarga máxima (Operações Norte I e Norte III), transição entre descargas máxima e mínima (Operação Norte IV) e mínima (Operação Norte II) do rio Amazonas. O objetivo principal do Programa REVIZEE foi realizar um levantamento dos recursos vivos (e dos fatores abióticos correlacionados) presentes na Zona Econômica Exclusiva brasileira.

No âmbito do projeto AMANDES (Amazona-ANDEANS) foram realizadas quatro campanhas oceanográficas na Plataforma Continental do Amazonas e região oceânica adjacente, durante os períodos de outubro-novembro 2007, janeiro 2008, abril 2008 e julho 2008. Estas campanhas tiveram a finalidade principal de quantificar os fluxos de elementos, traço e isótopos, poluentes e nutrientes derivados da região Andes-Amazonas para o Oceano Atlântico Tropical.

Diversos estudos realizados a partir destes levantamentos utilizaram estes e outros dados das mais variadas fontes para examinar processos importantes da circulação hidrodinâmica e estrutura termohalina na Plataforma Continental Norte do Brasil e região oceânica adjacente (Diégues, 1972; Lentz & Limeburner 1995; Geyer et al., 1996; Johns et

al., 1998; Bourles, et al., 1999; Hu, et al., 2004; Silva et al., 2005; Silva et al., 2007; Nikiema et al., 2007; Lankhorst et al., 2009; Le Bars et al., 2010).

A região da borda oeste do Atlântico Equatorial é uma área com características hidrodinâmicas peculiares e circulação complexa resultante da variabilidade sazonal e da ação combinada de forçantes importantes, como regime de ventos alísios, correntes de maré, corrente de fronteira Oeste e descarga hídrica e sólida do rio Amazonas (Silva, 2006; Geyer et al., 1996).

Nesta área, a Corrente Norte do Brasil (CNB) constitui uma forte corrente de fronteira oeste e tem papel importante na dinâmica da região da quebra da Plataforma Continental Norte do Brasil (PCNB). Segundo Johns et al. (1998), esta corrente tem origem na bifurcação do ramo sul da Corrente Sul Equatorial (CSEs) a partir da formação da Subcorrente Norte do Brasil (SCNB) e do sistema CNB/SCNB. A CNB segue seu fluxo sobre o talude, predominantemente para noroeste, e cruza o Equador com velocidades que variam ao longo do ano, em média, entre 50 e 100cm.s⁻¹.

Em torno de 6 e 7°N a CNB sofre, sazonalmente, retroflexão para leste, durante o outono boreal, e alimenta o fluxo da Contracorrente Norte Equatorial (CCNE) e Sub-Corrente Equatorial (SCE) (Stramma et al., 2005; Wilson et al., 2002). Por essas características vários estudos se referem à CNB (e seus vórtices) como a principal responsável pelas trocas de calor e massa entre os hemisférios no oceano Atlântico (Barnier et. al, 2001; Wilson et. al, 2002; Fratantoni & Richardson, 2006; Johns et al., 1998).

A distribuição da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) na região equatorial é determinada pela sazonalidade no regime de ventos e advecção por correntes superficiais, como a CNB (Lupikin & Garzoli, 2005). O transporte de características físico-químicas da água do mar por correntes configura um mecanismo essencial para a manutenção do clima do planeta. Ffield (2005) mostrou através de dados obtidos pelo satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) - *Microwave Image* (TMI), que os vórtices da CNB transportam água da região de formação dos mesmos e modificam localmente as características da TSM, enquanto transladam para noroeste no Atlântico Norte.

O campo de temperatura e salinidade nessa região é de grande relevância, devido à forte interação de massas d'água provenientes da descarga do rio Amazonas bem como do

oceano Atlântico Sul, que são transportadas pela CNB. Nesse contexto torna-se interessante um detalhamento do fluxo da CNB junto à quebra da PCNB e de sua interação com a distribuição de propriedades físicas da água do mar na região.

Este estudo foi organizado em Capítulos, abordando-se progressivamente os objetivos abaixo descritos. Dessa forma, o Capítulo 2 traz uma descrição da região com base nos estudos pretéritos realizados, enfatizando-se as forçantes e características físico-oceanográficas da região. O Capítulo 3 descreve a metodologia utilizada em campo e em laboratório. Nos Capítulos 4 a 6 são discutidas as principais contribuições deste estudo. Em cada um destes três Capítulos são apresentadas as análises dos resultados de dinâmica de corrente, distribuição de TSM, distribuição vertical de temperatura e salinidade, e de deslocamento da água de fundo da PCNB, respectivamente. Por fim, no Capítulo 7 são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

1.2 Objetivos

O objetivo deste estudo é descrever o fluxo da Corrente Norte do Brasil - CNB, próximo da quebra da Plataforma Continental Norte do Brasil- PCNB, bem como descrever a interação dessa corrente com as propriedades físicas da água do mar (temperatura e salinidade) e na região oceânica adjacente.

Este estudo tem como objetivos específicos:

- a) Analisar a variabilidade espacial e temporal da CNB junto à borda da PCNB e região oceânica adjacente, através de observações *in situ* e resultados numéricos;
- b) Analisar a variabilidade espacial e temporal da TSM na PCNB e região oceânica adjacente, através de observações *in situ* e análises de dados obtidos por satélite;
- c) Analisar a relação da TSM e da estrutura termohalina da coluna d'água com a Corrente Norte do Brasil na área de estudo;
- d) Correlacionar as informações das propriedades termohalina, com a dinâmica da pluma do rio Amazonas;

Capítulo 2

Características Meteoceanográficas da Borda Oeste do Atlântico Equatorial

2.1 Forçantes Atmosféricas

Os sistemas atmosféricos tropicais têm função essencial na circulação geral da atmosfera e na manutenção do clima global, pois é onde se concentra grande parte da energia do planeta em forma de calor. A dinâmica dos sistemas atmosféricos acoplados a do oceano é responsável pela redistribuição desta energia através de trocas na interface oceano-atmosfera e/ou entre os hemisférios (Waliser & Gautier, 1993; Coelho et al., 2004; Veleda, 2008).

Existem vários sistemas atmosféricos característicos na região equatorial, com destaque para os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (Coelho et al., 2004). Este último, dentre os sistemas observados na região, é o que melhor expressa a dinâmica atmosférica e oceânica no limite entre os dois hemisférios (Waliser & Gautier, 1993).

A formação da ZCIT está associada, basicamente, ao forte aquecimento superficial na região do equador ($TSM > 28^{\circ}\text{C}$) e à convergência de ventos alísios de nordeste e sudeste (com intensidade regulada por ciclones e anticiclones polares) (Fedorova & Carvalho, 2006; Grodsky e Carton, 2003; Ffield, 2005). Assim a ZCIT consiste em uma zona de baixa pressão atmosférica que marca o equador meteorológico, correspondente a parte ascendente da célula de circulação de Hardley (Grodsky & Carton, 2003). Nesta região, ocorre ascendência de ar quente e úmido, intensa nebulosidade e precipitação, que contribuem também para um aporte de água doce para a superfície do mar (Veleda, 2008).

Esse conjunto de características que formam a ZCIT possui um deslocamento latitudinal no decorrer do ano, estando em latitudes mais ao sul (aproximadamente 1°S) nos meses de março a abril, e latitudes mais ao norte (aproximadamente 8°N) nos meses de agosto e setembro, mostrando assim, a variabilidade sazonal da ZCIT diretamente ligada à variações na TSM (Coelho et al., 2004; Silva, 2006; Veleda, 2008) (Fig. 1). Dessa forma, o campo de ventos que age na região equatorial e, conseqüentemente, na PCNB muda consideravelmente ao longo do ano e está ligado à sazonalidade da ZCIT.

Na região do Atlântico Tropical, os alísios de nordeste se apresentam mais intensos entre dezembro e julho, soprando quase que perpendicular à costa Norte do Brasil, sendo responsáveis por gerar ondas superficiais de gravidade que se propagam na PCNB (Lentz, 1995). Nos outros meses, os ventos tendem a ser predominantemente de sudeste e/ou de leste, porém há ventos soprando de outros quadrantes também. Esse padrão pode variar interanualmente e dependem de outras forçantes atmosféricas de média e larga escala como a posição da ZCIT (Silva, 2006). O campo de ventos de Nordeste associado ao posicionamento mais ao sul da ZCIT promove um padrão de confinamento da pluma amazônica. O efeito dos ventos proporciona uma elevação do nível do mar sobre a PCNB e uma zona com alto gradiente de pressão (Geyer et al., 1996; Fontes et al., 2008).

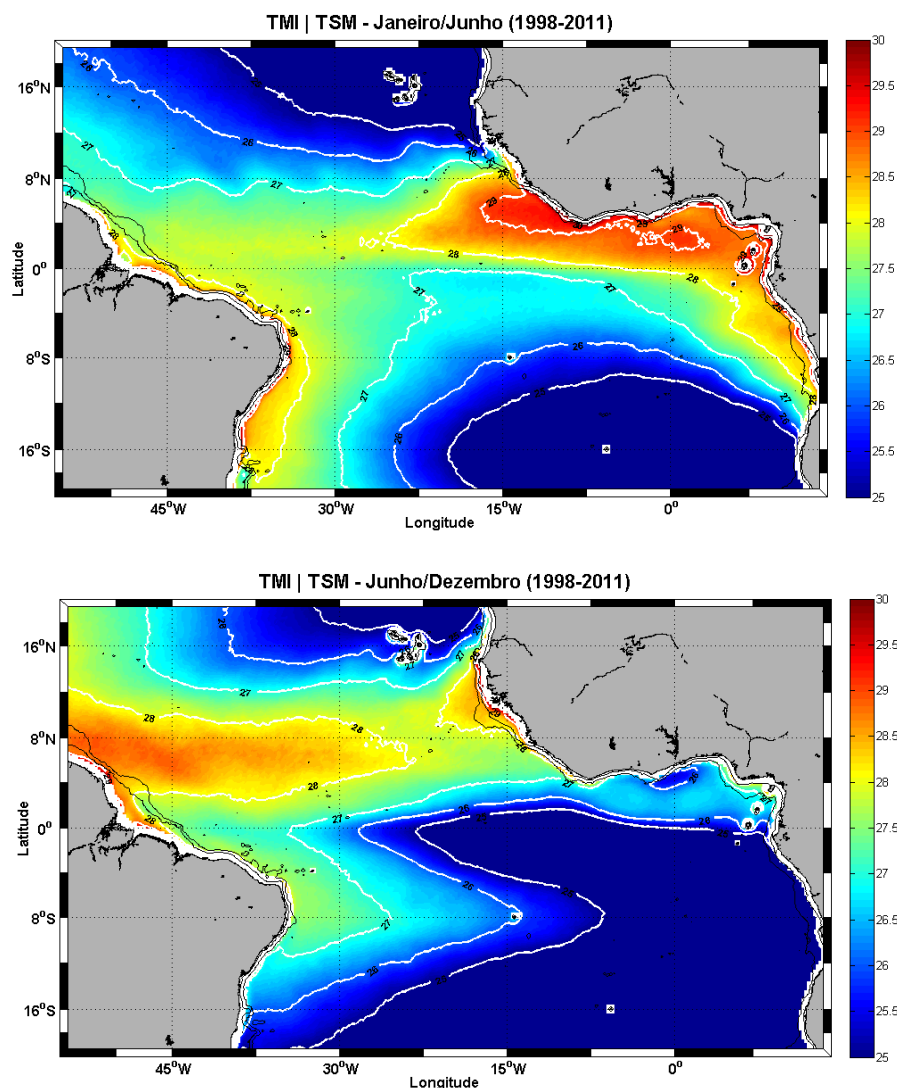


FIGURA 1 – Distribuição média da TSM e posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) em cada semestre do ano. As isobatimétricas de 100 e 2000 m são representadas.

2.2 Circulação Oceânica

A ação do vento contribui para a formação de células de circulação nos oceanos, denominados giros oceânicos. Na região do Atlântico Tropical os giros denominados Tropical e Equatorial são formados por um conjunto de correntes e contracorrentes, principalmente zonais, que se distribuem meridionalmente na região. Muitas destas correntes apresentam variações sazonais de acordo com o posicionamento da ZCIT e campo de ventos (Stramma e Schott, 1999; Marin, 2009).

Ao norte do equador o fluxo para oeste da Corrente Norte Equatorial (CNE) e a Contra Corrente Norte Equatorial (CCNE), que segue para leste, demarcam os limites do Giro Tropical com o Giro Subtropical do Atlântico Norte e o Giro Equatorial, respectivamente. A corrente da Angola marca o fluxo a leste do Giro Equatorial. Ao sul do Equador a Corrente Sul Equatorial flui para oeste, demarcando o limite do Giro equatorial com o Giro Subtropical do Atlântico Sul (Marin, 2009).

A CSE é dividida em três ramos principais numa faixa que se estende de 20°S a 5°N. O ramo da CSE localizado a norte da Subcorrente Equatorial (SCE) (entre 0° e 5°N) é denominada CSE norte (CSEn); o ramo entre o fluxo da Subcorrente Sul Equatorial (SCSE) e Contracorrente Sul Equatorial (CCSE), geralmente entre o equador e 5°S, denomina-se CSE central (CSEc) e por fim, o ramo ao sul da CCSE é chamado CSE sul (CSEs) (Molinari, 1982; Stramma & Schott, 1999; Krelling, 2010). Entre 12° e 20°S, a CSEs cruza a bacia do Atlântico Sul, atinge a costa do nordeste do Brasil e se bifurca. Parte do fluxo segue para sul e alimenta a Corrente do Brasil, a outra parte segue para norte e alimenta o fluxo da Subcorrente Norte do Brasil (SCNB) em subsuperfície (150-200m). Ao norte de 5°S esta corrente começa a receber contribuição superficial da CSEc e CSEn e forma o fluxo intenso da CNB que cruza o Equador em sentido noroeste e fecha o Giro Equatorial em sua borda oeste (Stramma & Schott, 1999; Marin, 2009; Krelling, 2010) (Fig. 2).

Ao norte do Equador a CNB começa a alimentar, em diferentes níveis de profundidade, o sistemas de correntes zonais equatoriais. Na região da termoclina, a CNB alimenta o fluxo da SCE a partir de 44°W e parte do fluxo que segue para norte também contribui para o fluxo da Subcorrente Norte Equatorial (SNE) entre 3° e 4°N. Em superfície, aproximadamente entre 6° e 7°N, a CNB sofre retroflexão para leste e alimenta a CCNE. Desta retroflexão são desprendidos em torno de 6 vórtices por ano que seguem rumo ao Atlântico central (Jonhs et al., 1998; Stramma & Schott, 1999; Fratantoni & Glickson, 2002) (Fig. 2).

A retroflexão da CNB ocorre entre junho e março e é fraca ou ausente no período de mínimo transporte da mesma (abril a maio) (Jonhs et al., 2003). O fluxo da CNB e os vórtices formados na retroflexão desta corrente são os principais responsáveis pelo transporte de águas do Atlântico Sul para regiões do Giro Subtropical Norte, contribuindo como parte fundamental da Célula de Revolvimento Meridional (*Meridional Overturning Circulation-MOC*) (Fratantoni & Glickson, 2002; Johns et al., 2003; Schott et al., 2005).

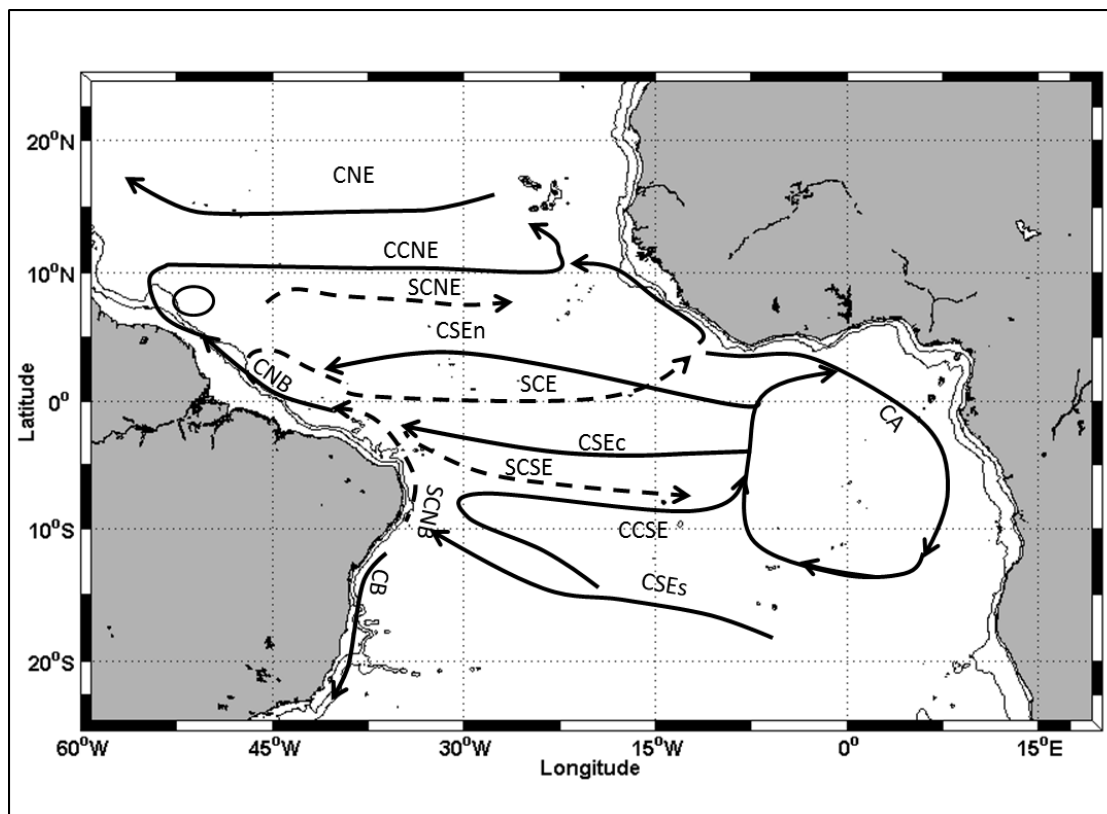


FIGURA 2 - Representação esquemática da circulação no Oceano Atlântico Tropical. Corrente Norte do Equatorial (CNE); Contracorrente Norte Equatorial (CCNE); Subcorrente Norte Equatorial (SCNE); Corrente Sul Equatorial norte (CSEn); Subcorrente Equatorial (SCE); Corrente Sul Equatorial central (CSEc); Subcorrente Sul Equatorial (SCSE); Contracorrente Sul Equatorial (CCSE); Corrente sul equatorial sul (CSEs); Corrente Norte do Brasil (CNB); Corrente do Brasil (CB); Subcorrente Norte do Brasil (SCNB); Corrente da Angola (CA). As isobatimétricas de 100 e 2000 m são representadas. Adaptado de Stramma & Schott (1999), Schott et al. (2002) e Lupikin & Garzoli (2005).

Capítulo 3

Área de Estudo, Materiais e Métodos

A área de estudo está localizada na borda oeste do oceano Atlântico Equatorial entre as latitudes 2°S e 8°N, e as longitudes, 42°W e 52°W, denominada Plataforma Continental Norte do Brasil, compreendida entre a costa do Estado do Pará e Amapá, e área oceânica adjacente (Fig. 3).

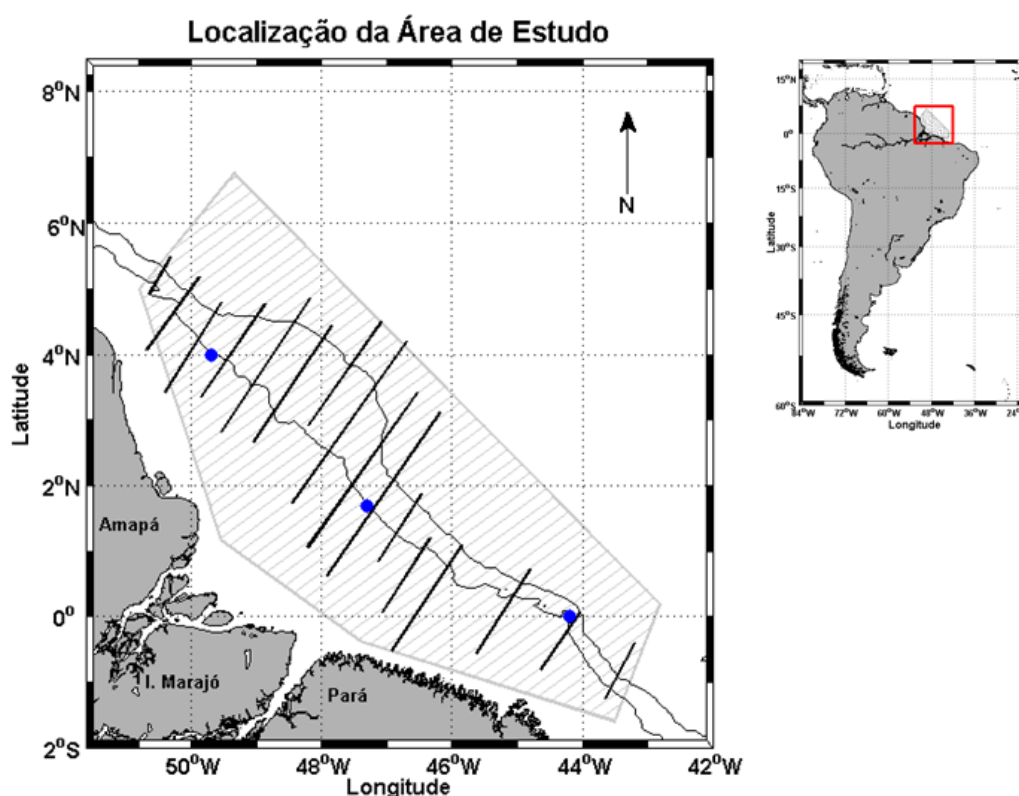


FIGURA 3 - Localização da área de Estudo: Plataforma Continental Norte do Brasil (PCNB) e área oceânica adjacente. A área demarcada corresponde aos limites de abrangência das estações de CTD de todas as campanhas do programa REVIZEE utilizadas no estudo, as linhas pretas representam os transectos de ADCP utilizados. Os pontos azuis representam as localizações das séries temporais sobre a borda da PCNB.

3.1 Dados Hidrográficos

As propriedades físicas da água do mar (temperatura e salinidade) e os dados de corrente foram coletados durante as campanhas oceanográficas do Programa REVIZEE, a bordo do Navio Oceanográfico “NOc. Antares”, da Marinha do Brasil.

As campanhas foram realizadas em diferentes épocas do ano, associadas aos diferentes períodos de descarga do rio Amazonas (Fig. 3). Assim, o conjunto de dados corresponde às campanhas dos seguintes períodos:

- i) Final de inverno e primavera boreal – alta descarga, denominado AD (Maio-Junho de 1999);
- ii) Verão boreal - período de transição de alta para baixa descarga, denominado TAB (Julho-Agosto de 2001) e;
- iii) Outono boreal - período de baixa descarga, denominado BD (Outubro-Novembro de 1997).

Os dados de correntometria foram coletados por meio de ADCP, modelo RDI *Broadband* 75 kHz que opera com alcance de 560-700 m de profundidade e são referentes apenas ao período TAB, uma vez que a embarcação ainda não possuía este equipamento instalado em campanhas anteriores.

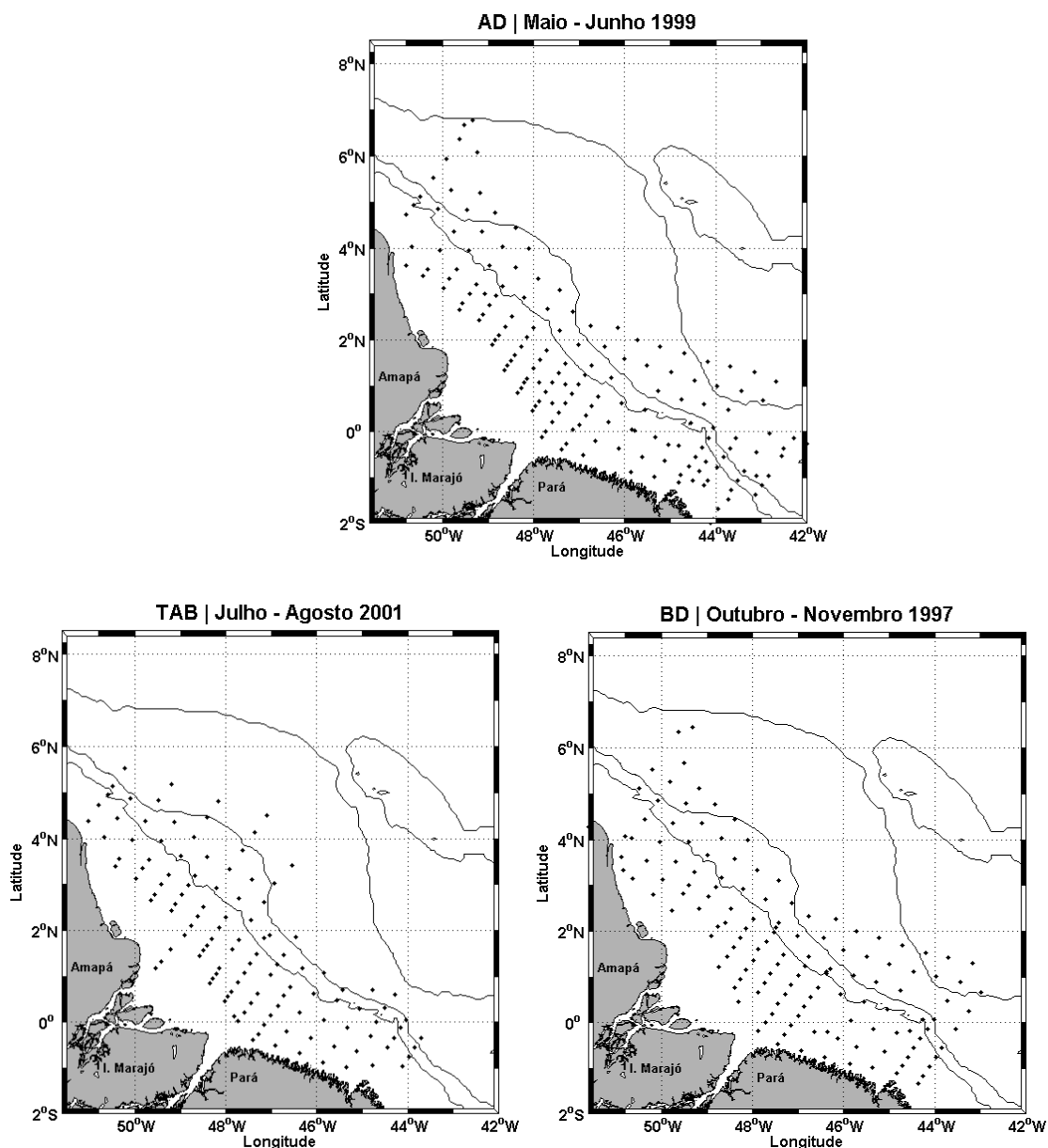


FIGURA 4 - Plataforma Continental Norte do Brasil e área oceânica adjacente. Localização das estações de CTD (·) do Programa REVIZEE correspondentes às campanhas dos períodos de Alta Descarga (AD), Transição de Alta para Baixa descarga (TAB) e Baixa Descarga (BD) do rio Amazonas. As isobatimétricas de 100, 2000, 4000 m são representadas.

3.1.1 Dados de CTD

Os dados de propriedades físicas da água do mar foram obtidos por perfis verticais de CTD, durante três campanhas oceanográficas realizadas pelo “NOc. Antares” na região da PCNB e região oceânica adjacente.

Os dados de temperatura foram analisados por meio de distribuição horizontal na superfície do mar e em três pontos localizados na borda da PCNB, para a análise de uma possível relação entre a TSM e a pluma do Amazonas. O primeiro ponto (P1) está localizado em 0,3°N e 44,2°W a sudeste da foz do rio Amazonas. O segundo ponto (P2) localiza-se em frente à foz do rio Amazonas em 2,2°N e 47,9°W. Por fim, o terceiro ponto (P3) se encontra em 4°N e 50°W, no limite noroeste da borda da PCNB (Fig. 1).

A distribuição vertical de temperatura foi analisada por meio de seções transversais a PCNB com a intenção de se verificar a relação deste parâmetro e a posição média do núcleo da CNB na coluna d'água. As seções verticais de salinidade foram utilizadas somente para identificação espacial da pluma do rio Amazonas a cada período e para comparação com as seções de temperatura.

Os perfis verticais relativos à cada estação de CTD passaram por rotinas computacionais de processamento para que fossem excluídos os dados espúrios e aproveitados somente aqueles obtidos a cada metro da coluna d'água, durante a descida do equipamento. Foram processadas 423 estações em três campanhas, sendo 165 na campanha AD (abril a maio de 1999) com total de 18 transectos. Na campanha TAB, no período entre julho e setembro de 2001, foram 119 estações entre 20 transectos e para a campanha BD (outubro a novembro de 1997) foram 139 estações distribuídas em 18 transectos.

Os dados também foram utilizados para a análise de Mudança de Temperatura Acumulada (MTA) como ferramenta para se observar um possível desprendimento de águas da camada limite de fundo, na borda da PCNB, por meio da metodologia descrita por Pickart (2000) e rotinas computacionais adaptadas e descritas por Linder et al. (2004).

A base teórica do método descreve que as águas desprendidas da camada limite de fundo, seja qual for o mecanismo gerador do mesmo, apresentam uma variação lateral muito pequena e se descolam através de níveis de densidade a partir do fundo da plataforma ou talude para a coluna d'água.

Um dos mecanismos físicos que pode gerar o movimento ascendente de água de fundo foi estudado por Gawarkiewicz & Chapman (1992) e considerado por Pickart (2000) na plataforma continental de *Mid-Atlantic Bight*, costa leste dos EUA (Pickart, 2000; Linder et al., 2004). Este mecanismo se aproxima do que deve ocorrer na borda da PCNB com relação

às diferenças de propriedades da água no limite da plataforma, que geram uma frente de densidade devido à pluma do Amazonas e/ou às águas relativamente menos aquecidas ao largo.

De acordo com os autores, a advecção de água da camada de fundo para camadas superiores ou ao longo da coluna d'água ocorre com o estabelecimento de uma frente de densidade (Fig. 4). O fluxo de corrente e a diferença de características termohalinas entre as águas da plataforma e as águas adjacentes geram um gradiente de pressão sobre a plataforma e, conseqüentemente, a concentração das isopícnais na borda da plataforma. O aumento da declividade na borda da plataforma intensifica o movimento ascendente de água de fundo no ponto em que o fluxo destas águas encontra a frente de densidade (Fig. 5).

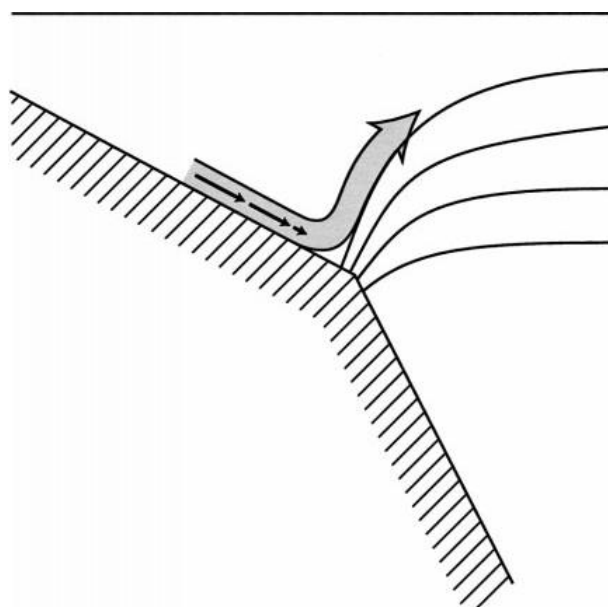


FIGURA 5 – Figura esquemática da frente de densidade na borda da plataforma e movimento ascendente de água da camada limite de fundo para a coluna d'água. Retirado de Pickart (2000).

O método utilizado por Pickart (2000) e Linder et al. (2004) consiste em criar um grid com os dados de densidade potencial (σ_θ) gerado por interpolação Laplaciana, neste caso, com espaçamento de 10 km na distância horizontal (x) e 5 m na distância vertical (y) com intervalo de contorno de densidade de $0,01 \text{ kg.m}^{-3}$ a fim de se obter maior precisão no cálculo da MTA. Posteriormente, obtém-se os valores de temperatura potencial (θ) para gerar um grid para este parâmetro e interpolar os valores de θ ao longo das coordenadas x e y que correspondem os

valores de cada isopical de σ_θ . Nesta metodologia são considerados apenas os contornos que intersectam o limite máximo de profundidade de coleta do CTD (considerado como o fundo da PCNB) e se estendem à superfície ou ao largo. Assim a determinação da MTA é feita pela integração do valor absoluto do gradiente de θ ($d\theta/dy$) ao longo de cada isopical (σ_θ) com o zero a partir do fundo. De acordo com Pickart (2000), acredita-se que valores de MTA abaixo de 1°C correspondem a águas de fundo se deslocando na coluna d'água.

3.1.2 Dados de ADCP

A aquisição dos dados de ADCP foi feita através do programa de aquisição denominado *VmDas* (*Vessel-Mount Data Acquisition System*) desenvolvido pela *RDI Instruments*, que gera dados de médias de longo e curto termo (*LTA-Long Term Averaged* e *STA-Short Term Averaged*), de acordo com o intervalo especificado na configuração do equipamento.

Os transectos de corrente utilizados neste trabalho foram gerados a partir dos arquivos STA que consistem em médias a cada 5 minutos, com intervalo vertical de 8m (*bin size*) e profundidade mínima de 30m.

O princípio de obtenção de dados por Efeito Doppler utilizado pelo ADCP é, por natureza, bastante ruidoso. Assim, avaliar a qualidade dos dados foi imprescindível para a escolha dos transectos utilizados neste estudo (Fig. 6). Primeiramente, as seções de velocidade consideradas de qualidade satisfatória foram avaliadas de acordo com os parâmetros de qualidade utilizados pelo software de visualização dos dados *WinADCP* fornecido pelo fabricante *RDI Instruments*. Dados considerados satisfatórios foram baseados nos seguintes parâmetros:

- i) **Correlação:** indica a correlação dos pulsos e fornece a relação sinal/ruído que deve ser superior a 64 unidades (*counts*);
- ii) **Intensidade de eco:** corresponde aos valores de intensidade de eco recebida pelos transdutores. Este deve ser superior a 35 unidades;
- iii) **Percent Good:** indica a porcentagem de pulsos utilizada para as médias registradas e, neste caso foram utilizados somente perfis com valores acima de 50%.

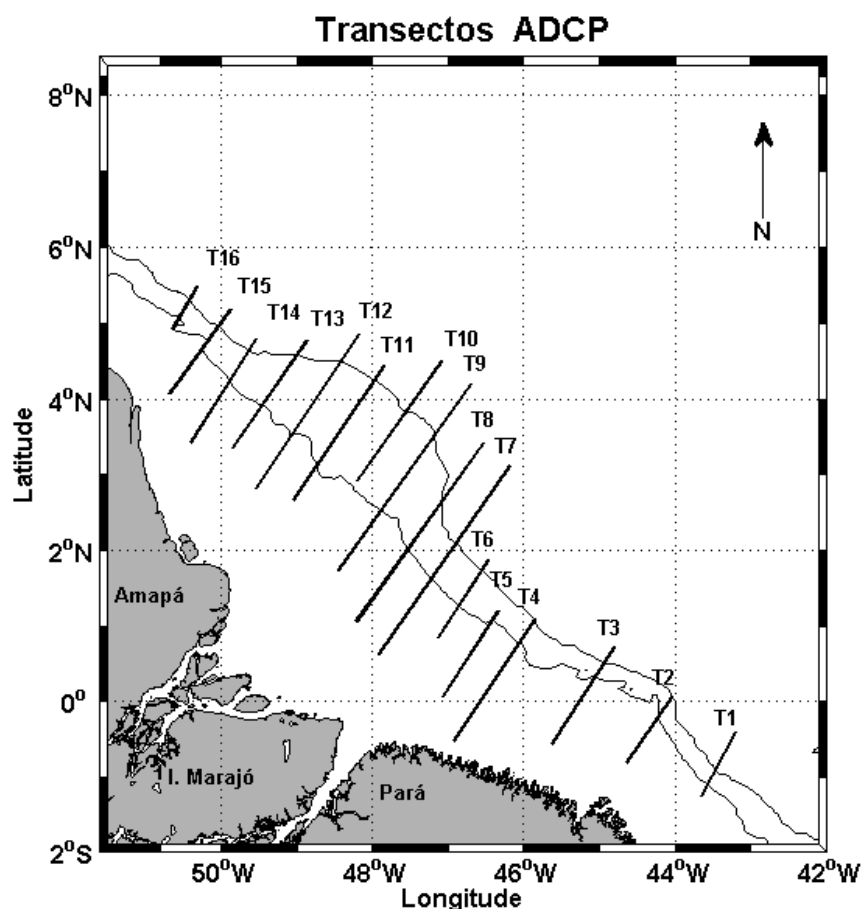


FIGURA 6 – Seções de ADCP transversais a PCNB avaliadas neste estudo. As isobatimétricas de 100 e 2000 m são representadas. A foz do rio Amazonas está localizada entre o Estado do Amapá e a Ilha do Marajó

Os transectos escolhidos, após esta primeira avaliação dos dados, foram processados através do sistema de processamento denominado *Common Ocean Data Accessing System* (CODAS) desenvolvido pela Universidade do Havaí no final da década de 80. O sistema CODAS é uma das principais ferramentas utilizadas pela comunidade científica para o processamento de dados de ADCP de casco de navio (<http://currents.soest.hawaii.edu/docs/doc/index.html>).

O sistema CODAS é um banco de dados e um conjunto de programas de fonte aberta, escrito em linguagem C, Matlab® e Python, que são compatíveis em diversos sistemas operacionais como Windows, Linux ou Mac OSX. O processamento CODAS pode ser feito a partir de dados médios como os de extensões LTA e STA obtidos pelo programa de aquisição

VmDas e segue, basicamente, três etapas realizadas pelas rotinas computacionais do sistema. A primeira etapa consiste na definição de uma camada de referência para que seja removida a velocidade da embarcação das médias das velocidades medidas.

Na segunda etapa, o sistema obtém e corrige as informações obtidas pelo GPS para correção da direção de proa em relação à direção dada pelo giroscópio do navio. Além disso, determina os valores do ângulo e amplitude que equivalem ao erro no ângulo de alinhamento e erro de sensibilidade, respectivamente, utilizados para a calibração nas séries de dados utilizados nos modos *water tracking* e *botton tracking*. Esta etapa é importante para minimizar erros de velocidade devido às variações na aceleração do navio nas manobras em estações de coleta.

Por fim, a terceira etapa consiste no reprocessamento dos dados com a utilização dos valores de calibração obtidos, assim como a rotação dos eixos na direção da corrente e edição manual de perfis com falhas e/ou valores espúrios incoerentes com a corrente na região que persistiram nos dados.

Após o tratamento dos dados, foram gerados mapas verticais das componentes da velocidade até 250m, que correspondem à profundidade da coluna d'água em que foram observados os dados mais confiáveis, correspondendo ainda à profundidade que abrange a região de quebra da plataforma continental e início do talude, que são o foco deste estudo.

3.2 Dados de Satélite

A série de dados de 14 anos (de janeiro de 1998 a dezembro de 2011) de temperatura da superfície do mar (TSM) foi adquirida por radiômetros a bordo do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) - *Microwave Image* (TMI). Os radiômetros a bordo do TMI trabalham em banda de frequências de 10,7 GHz, sendo assim capazes de ultrapassar a cobertura de nuvens. Esta característica é de extrema importância para a aquisição de dados na região equatorial, visto que esta área apresenta constantemente densa cobertura de nuvens devido à presença da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A recuperação de Microondas do TMI não sofre efeito de aerossóis, vapor d'água atmosférico e uma função do algoritmo de recuperação de microondas do TRMM retira o efeito da rugosidade da superfície do oceano.

Os dados foram obtidos gratuitamente no website www.ssmi.com, e os produtos disponíveis consistem em médias de TSM a cada três dias, médias semanais e mensais, numa grade de pontos de 0,25° de resolução espacial.

Para este trabalho foram analisados mapas de distribuição média da TSM a cada mês para que fosse feita uma descrição das principais características e variações temporais e espaciais da TSM da região relacionada à variabilidade do posicionamento da ZCIT, descarga do Rio Amazonas, bem como em relação à área de atuação da CNB junto à quebra da plataforma continental.

Uma vez detectadas as principais características da distribuição de TSM na área de estudo foram analisadas as séries temporais nos três pontos sobre a isóbata de 100m, que marca a borda da PCNB, para comparação das séries temporais da mesma em diferentes trechos da borda da PCNB e nos períodos abordados neste estudo.

3.3 Dados de Modelo – Projeto CLIPPER (Experimento ATL6)

O projeto CLIPPER foi desenvolvido para modelagem de alta resolução da circulação no domínio de toda a bacia do Oceano Atlântico (entre 98,5°W–30°E de Longitude e 75°S–70°N de Latitude) como complemento para as informações levantadas a partir dos dados do Programa WOCE.

O modelo foi desenvolvido em quatro configurações de simulação (experimentos) baseada no código numérico paralelizado OPA, desenvolvido pela equipe do laboratório francês LOCEAN (*Laboratoire d’Océanographie et du Climat* - Paris).

Os resultados deste estudo foram gerados a partir das configurações do Experimento ATL6. A resolução horizontal deste experimento é de 1/6° (grid isotrópico Mercator) que varia de cerca de 4,8km em altas latitudes até 18km no Equador (<http://www.ifremer.fr/lpo/clipper/>). Verticalmente o modelo apresenta 42 níveis σ , com 14 destes localizados nos primeiros 300m (Illig et al, 2004).

A boa resolução espacial do experimento ATL6 é um dos motivos da utilização dos resultados do mesmo para a descrição do campo de correntes superficiais na área estudada. Além disso, os resultados numéricos de corrente deste modelo já foram anteriormente

utilizados e validados de acordo com os resultados de salinidade *in situ* obtidos pelo Programa REVIZEE na Plataforma Continental do Amazonas e região oceânica adjacente (Silva et al., 2010).

Os resultados numéricos do Experimento ATL6 foram utilizados com foco principal na avaliação dos resultados obtidos para a TSM e sobre o campo de correntes comparados aos dados obtidos por ADCP para o período TAB. Assim como foi utilizado como forma de complemento para o período em que não houve medição de correntes *in situ* (períodos AD e BD).

Assim, foram utilizados os resultados da simulação para a distribuição de corrente a partir de médias a cada 5 dias, nos níveis σ 1, 9 e 12 (equivalentes a 6, 100 e 200m de profundidade, respectivamente), para os períodos do Programa REVIZEE abordados no presente estudo.

Capítulo 4

Distribuição espacial da dinâmica de Corrente junto à PCNB

Neste capítulo serão descritas as variações espaciais da CNB ao longo da borda da PCNB e área oceânica adjacente tendo como ponto de referência para a análise à foz do rio Amazonas e as mudanças na CNB a sudeste e a noroeste da mesma. As informações foram extraídas de dados *in situ* e complementadas com resultados de modelo numérico.

4.1 Dados *in situ*

Esta seção aborda a distribuição vertical de cada componente da velocidade e distribuição horizontal do vetor velocidade a partir de dados de corrente medidos *in situ*. Estes dados se referem somente ao período de transição de Alta para Baixa descarga do rio Amazonas (TAB), uma vez que esses dados não foram adquiridos nos demais períodos das campanhas do programa REVIZEE utilizadas neste estudo.

4.1.1 Distribuição Vertical de Correntes

O padrão de distribuição vertical das componentes da velocidade mostra o fluxo da corrente junto à PCNB em todas as seções analisadas com a componente zonal (u) em sentido oeste (valores negativos), enquanto que a componente meridional (v) mostra fluxo para norte (valores positivos). Este padrão indica a predominância do fluxo para noroeste das águas carreadas pelo sistema CNB/SCNB sobre o talude vindo da costa nordeste do Brasil (Fig. 7 e 8).

Nos transectos a sudeste da foz do rio Amazonas (Fig. 7) a componente zonal apresentou o núcleo da CNB com velocidade acima de -1m.s^{-1} junto à plataforma continental (velocidade máxima de $-1,6\text{m.s}^{-1}$ no transecto 3) localizado nos primeiros 100m da coluna d'água nos transectos 1, 2, 3, 7 e 8. Nos demais transectos (4, 5, 6) o núcleo da CNB (valor em torno de -1m.s^{-1}) apareceu mais raso e esteve presente até próximo dos 60m de profundidade (Fig.7).

A distribuição vertical da componente meridional foi semelhante ao da componente zonal, a sudeste da foz do rio Amazonas, com núcleo de maior intensidade também nos primeiro 100m de profundidade. Porém as máximas velocidades desta componente são, em módulo, menores quando comparados aos valores da componente zonal. No restante da coluna d'água esta componente se apresenta com valores sempre abaixo de $0,8\text{m.s}^{-1}$ (Fig. 7).

Em subsuperfície foi observado outro núcleo menos intenso junto à PCNB nas seções dos transectos 4, 5 e 6 que apresentaram núcleo evidenciado principalmente pela componente zonal, centrado próximo aos 120m e com valores em torno de $-0,8\text{m.s}^{-1}$. Estas características corroboram as previamente descritas por Stramma et. al (1995) e Marim (2009) para o fluxo da SCNB vindo da costa nordeste do Brasil (Fig. 6 g-i-l). Bourles et al. (1999) identificaram na região, por meio de transectos de ADCP, a presença de dois núcleos de máxima intensidade de corrente, sendo um relativo à CNB em superfície (acima da isopicna de $24,5\text{kg.m}^{-3}$), e outro à SCNB em subsuperfície (entre as isopicnas de $24,5$ e $26,75\text{kg.m}^{-3}$), logo abaixo da CNB. Os mesmo autores também mostraram que a SCNB é mais estreita que a CNB e que ocorre uma unificação das duas correntes (CNB e SCNB) ao longo da borda oeste do Atlântico equatorial denominado sistema CNB/SCNB.

Nos transectos 7 e 8 (Fig. 7 n-p), foi possível observar o núcleo da CNB alcançando a superfície e invadindo a PCNB, com velocidade zonal acima de -1m.s^{-1} . Nestes transectos, o núcleo da CNB se estende até aproximadamente de 120km da quebra da plataforma em direção ao oceano aberto.

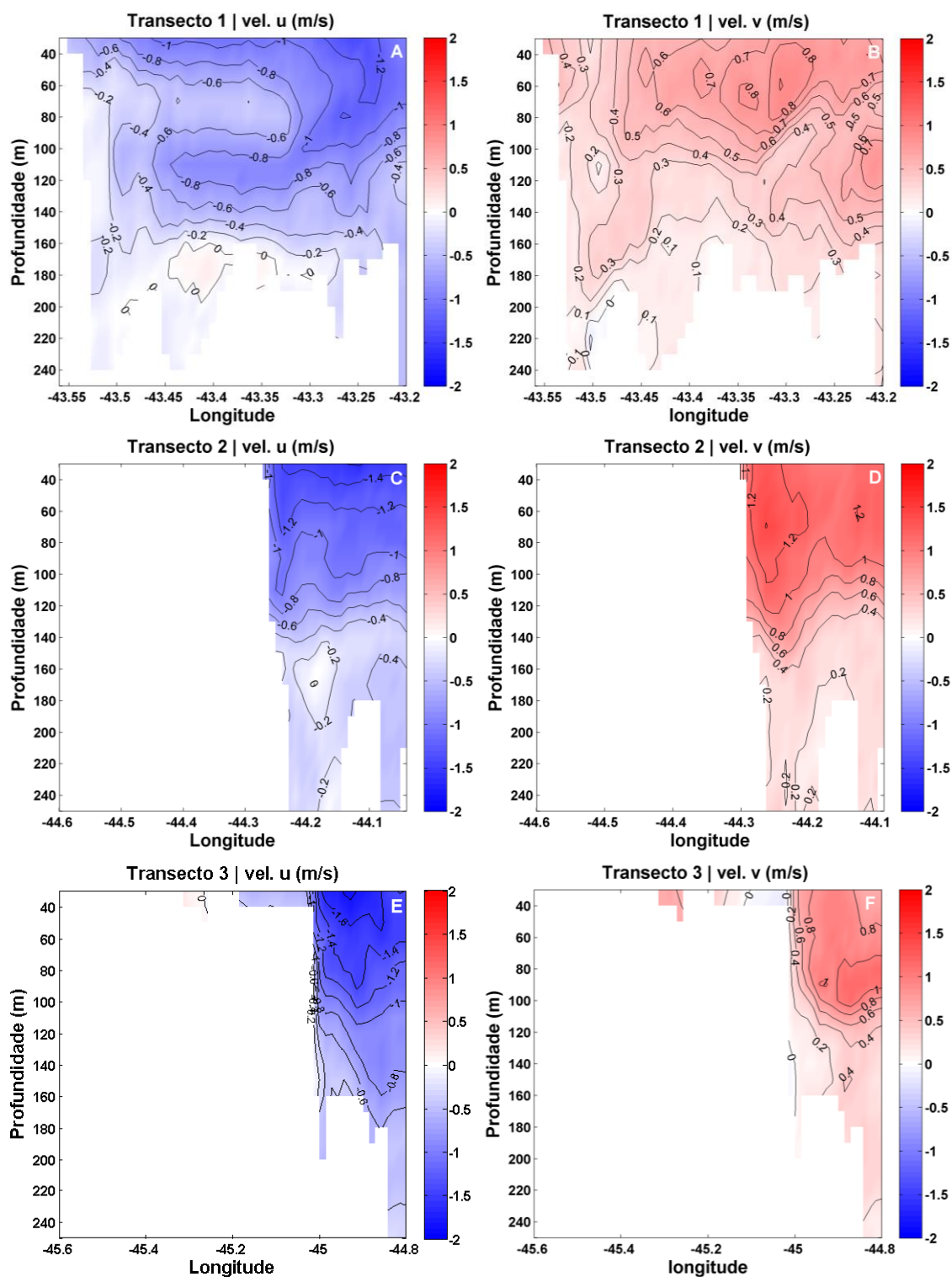
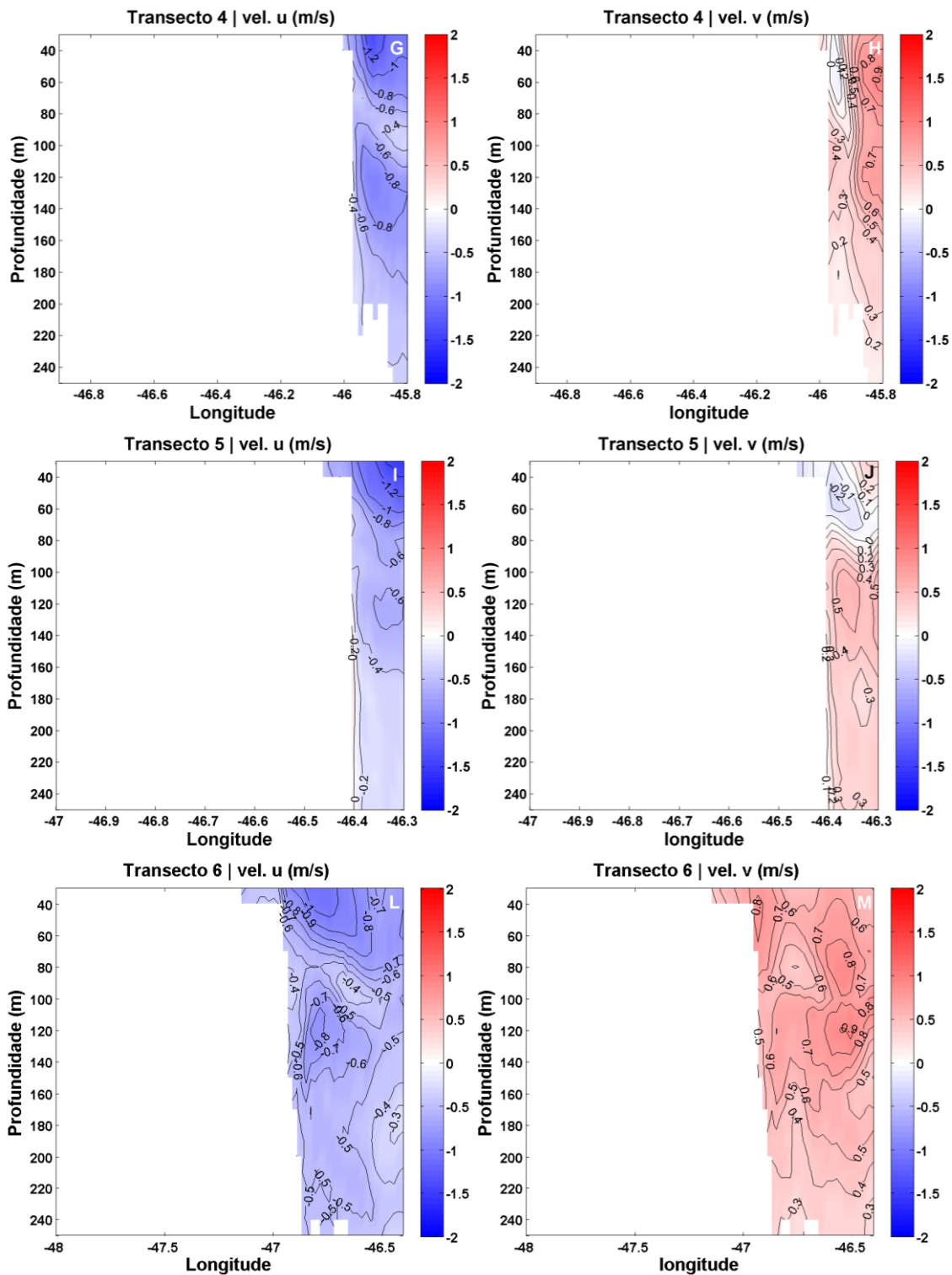
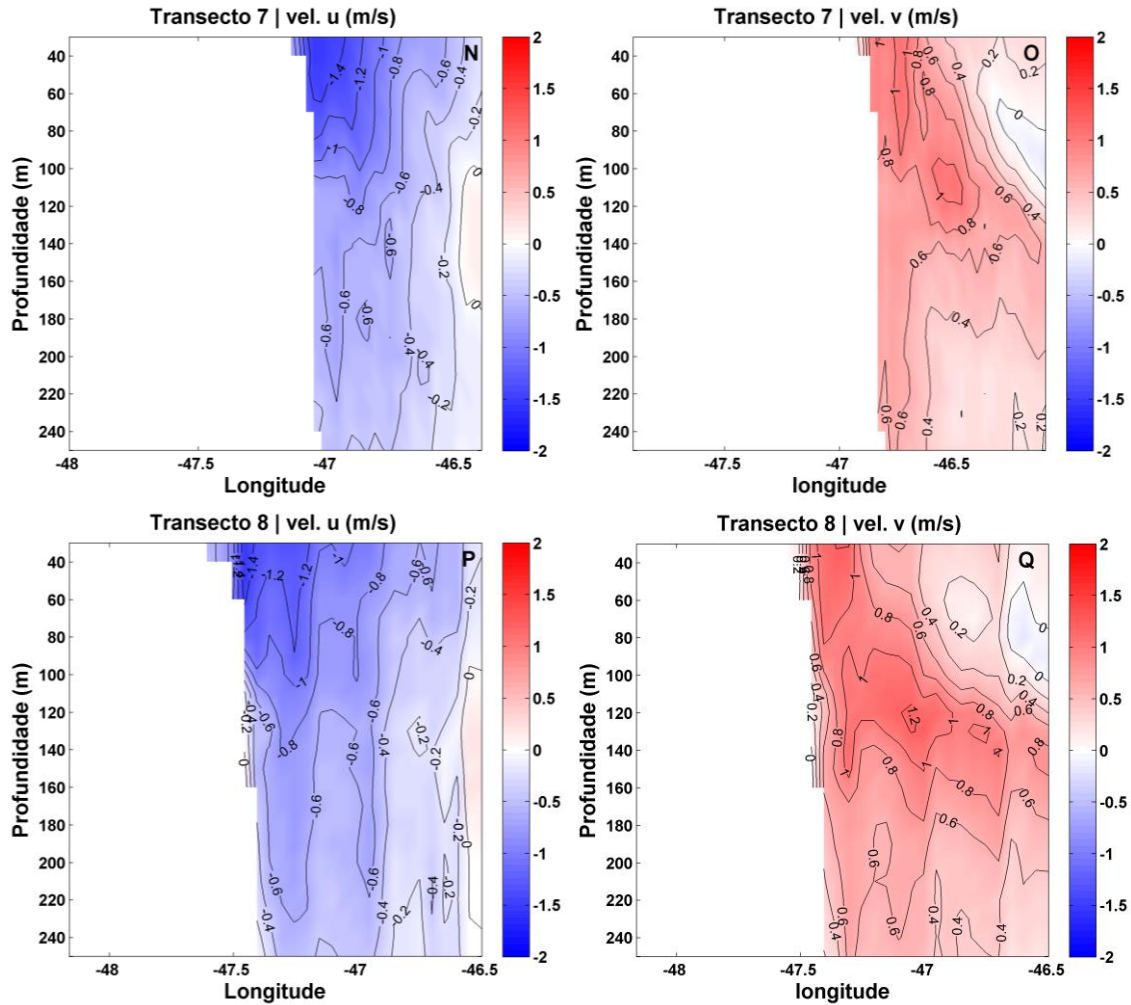


FIGURA 7 – Seções da componente u (à esquerda) e v (à direita) da velocidade localizadas a sudeste da foz do rio Amazonas no período TAB.



Continuação Figura 7.



Continuação Figura 7.

Na figura 8 são apresentados os transectos localizados a noroeste da foz do rio Amazonas, durante o período TAB. Observa-se que a CNB ou sistema CNB/SCNB flui junto à quebra da plataforma, com núcleo de maior intensidade da corrente, ultrapassando os 100m de profundidade. Nesta região, o núcleo da corrente apareceu estável da superfície a, aproximadamente, 120m com velocidade zonal em torno de $-1,2\text{m.s}^{-1}$.

A componente meridional também apresentou o fluxo para norte junto à PCNB em praticamente toda área das seções apresentadas na Fig. 8. Entretanto, os valores dessa componente foram maiores, ou seja, foram observadas maiores velocidades meridionais quando comparadas ao transectos a sudeste da foz do rio Amazonas (Fig. 8). A noroeste da foz do rio Amazonas, esta componente da velocidade atinge a mesma intensidade observada nos seus respectivos transectos para a componente zonal, o que demonstra aumento considerável da magnitude do fluxo para noroeste da CNB ao longo desta região e em torno dos 100m de profundidade. Moraes (2011) analisou a CNB a partir de dados de ADCP de

casco na região mais a noroeste da foz do rio Amazonas e também constatou maior intensidade da CNB junto à PCNB.

O segundo núcleo de subsuperfície junto à quebra da PCNB, notado nos transecto 4, 5 e 6 (noroeste da foz do rio Amazonas), não foi mais observado a partir do transecto 9 (Fig.8 a). Pode-se considerar o fluxo ao longo da quebra da plataforma, neste setor, como um fluxo único do sistema CNB/SCNB que segue para noroeste da superfície até o limite de profundidade das seções (250m), com núcleo das duas componentes localizadas na mesma camada da coluna d'água (transecto 9-16; Fig 8). Isto condiz com observações de Johns et al. (2003) que afirma que o fluxo da CNB alcança 800m de profundidade na região adjacente à PCNB no mesmo período.

Os transectos 9 e 10 (Fig. 8 a-c), também apresentaram um fluxo contrário das componentes da velocidade, a leste de 47°W, com profundidade dos núcleos em torno de 100m de profundidade relativo a parte da retroflexão da CNB que alimenta o CCNE e SCNE.

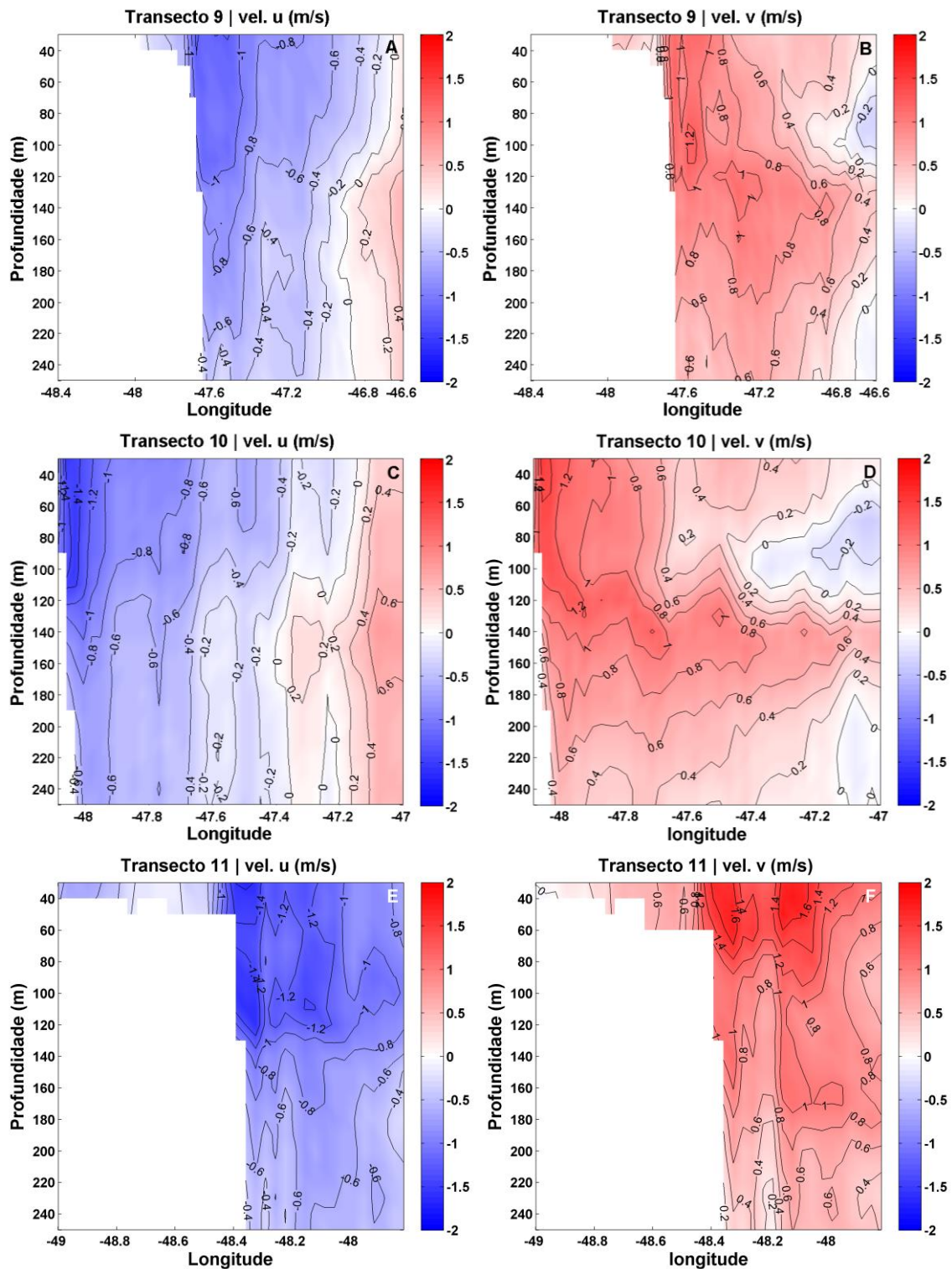
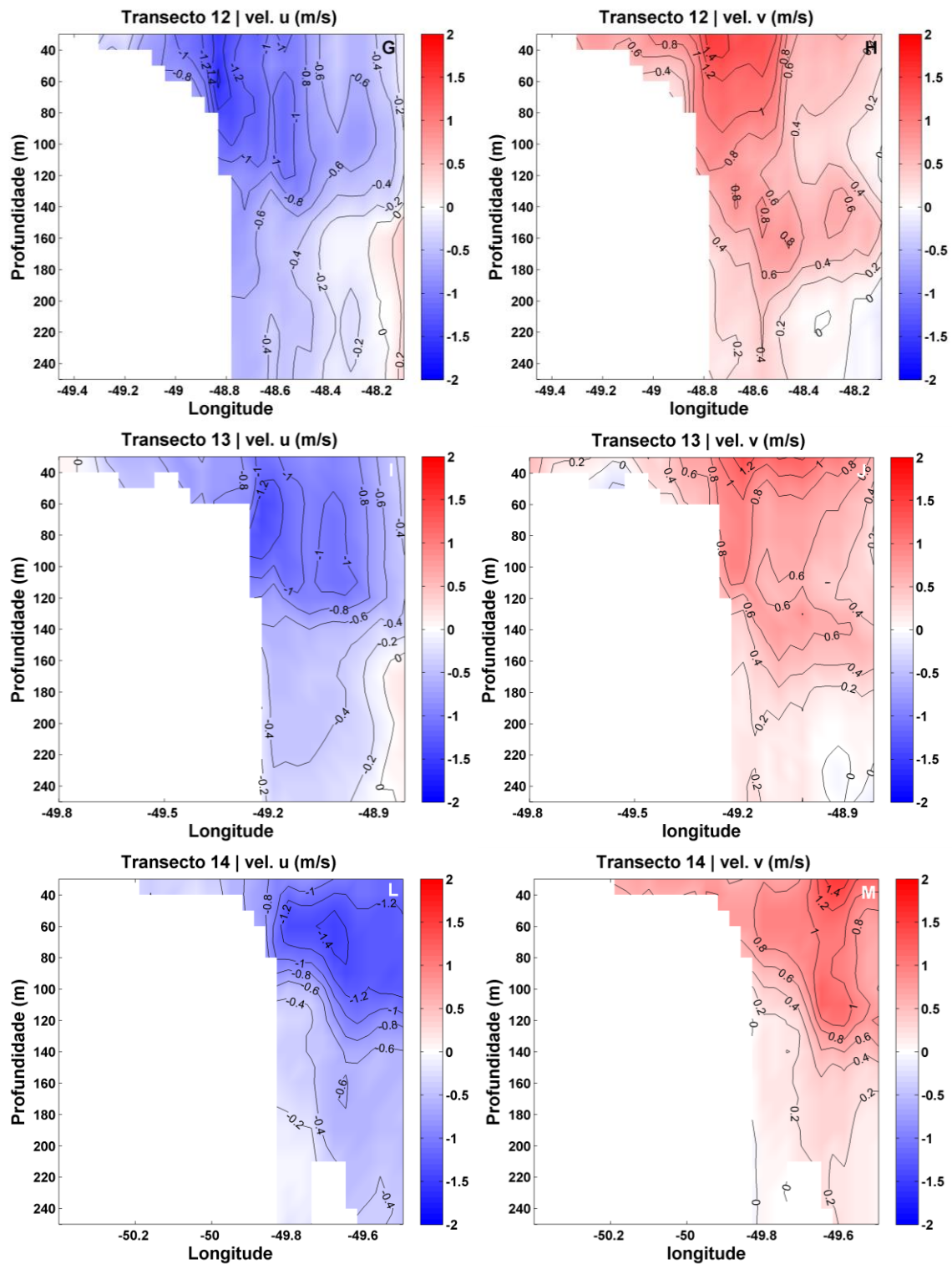
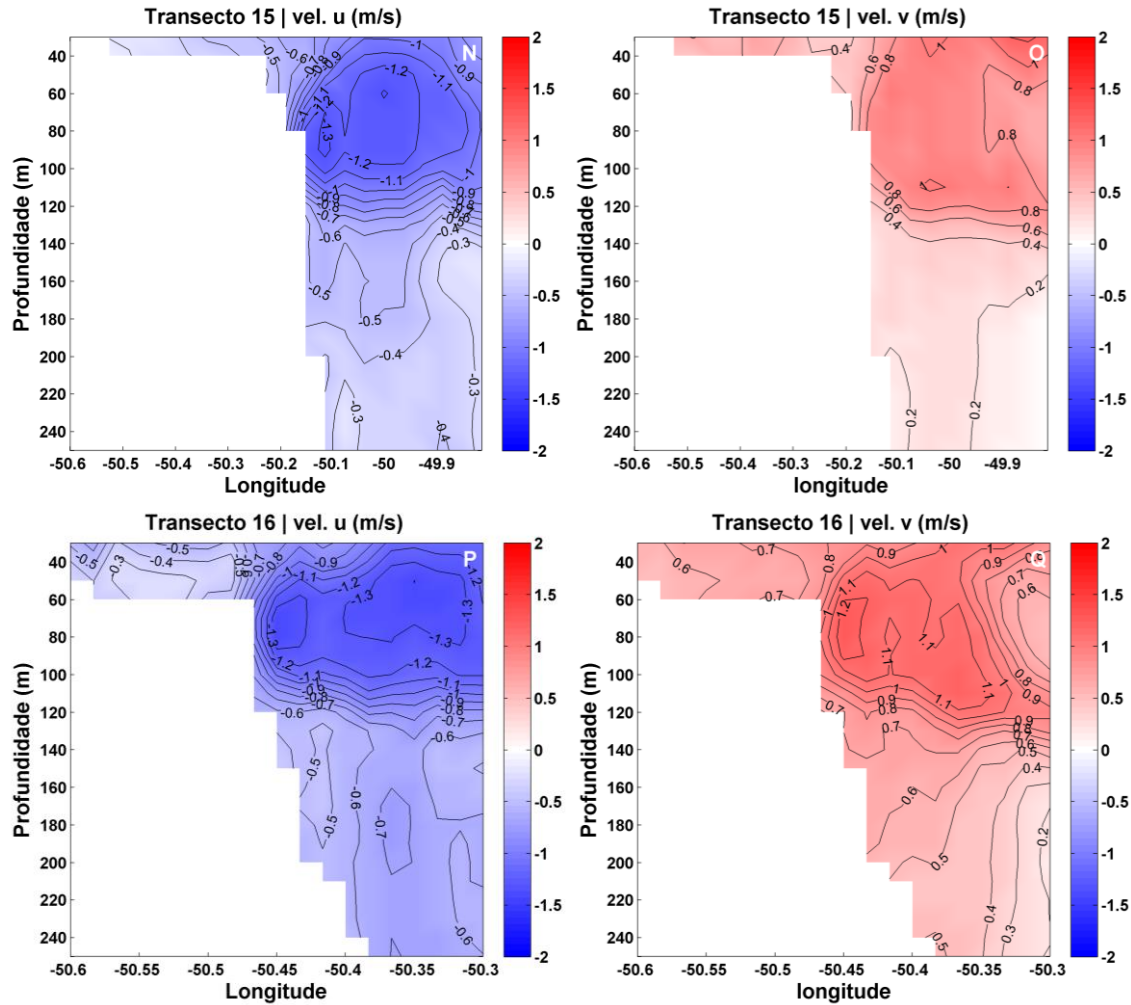


FIGURA 8 - Seções da componente u (à esquerda) e v (à direita) da velocidade localizadas a noroeste da foz do rio Amazonas no período TAB.



Continuação Figura 8.



Continuação Figura 8.

4.1.2 Distribuição Horizontal de Correntes

Com base na análise da distribuição vertical da velocidade apresentada no subitem 4.1.1, foram escolhidas três camadas na coluna d'água afim de verificar e descrever o vetor velocidade, e consequentemente fluxo da corrente, na região. As camadas utilizadas foram: sobretermoclina, subdividida em superfície e 60m, termoclina (100m) e em subtermoclina (200m) (Bourlès et al., 1999; Jonhset al., 2003 e Kreling, 2010).

Os resultados mostraram que o sistema CNB/SCNB apresentou maiores velocidades a leste de 47°W de longitude, nos primeiros 100m da coluna d'água (Fig. 9 a-c). Na Fig. 9 também é possível observar as mudanças na direção do fluxo a oeste de 47°W (na porção final dos transectos 9 e 10) associadas à retroflexão parcial do sistema CNB/SCNB, que alimenta a CCNE na camada de 0-100m. Abaixo da termoclina (200m) foi observado uma retroflexão, alimentando a SCNE a leste 47°W . Estas características estão relacionadas às possíveis formações de vórtices que, nesta região, transportam águas do Atlântico Sul em

camadas intermediárias (em subsuperfície) para o Atlântico Norte. (Boulès, et al., 1999; Johns et al., 2003).

Observa-se ainda, que ocorreu uma diminuição nos valores de velocidade junto à borda da PCNB na profundidade de 200 m, a oeste de 49°W (Fig. 9 d). Entretanto, outras características de retroflexão em subsuperfície observadas por outros autores (Johns et al., 2003; Schott et al., 1998) não foram observadas claramente nestes transectos e para este período, possivelmente devido ao curto transecto de ADCP.

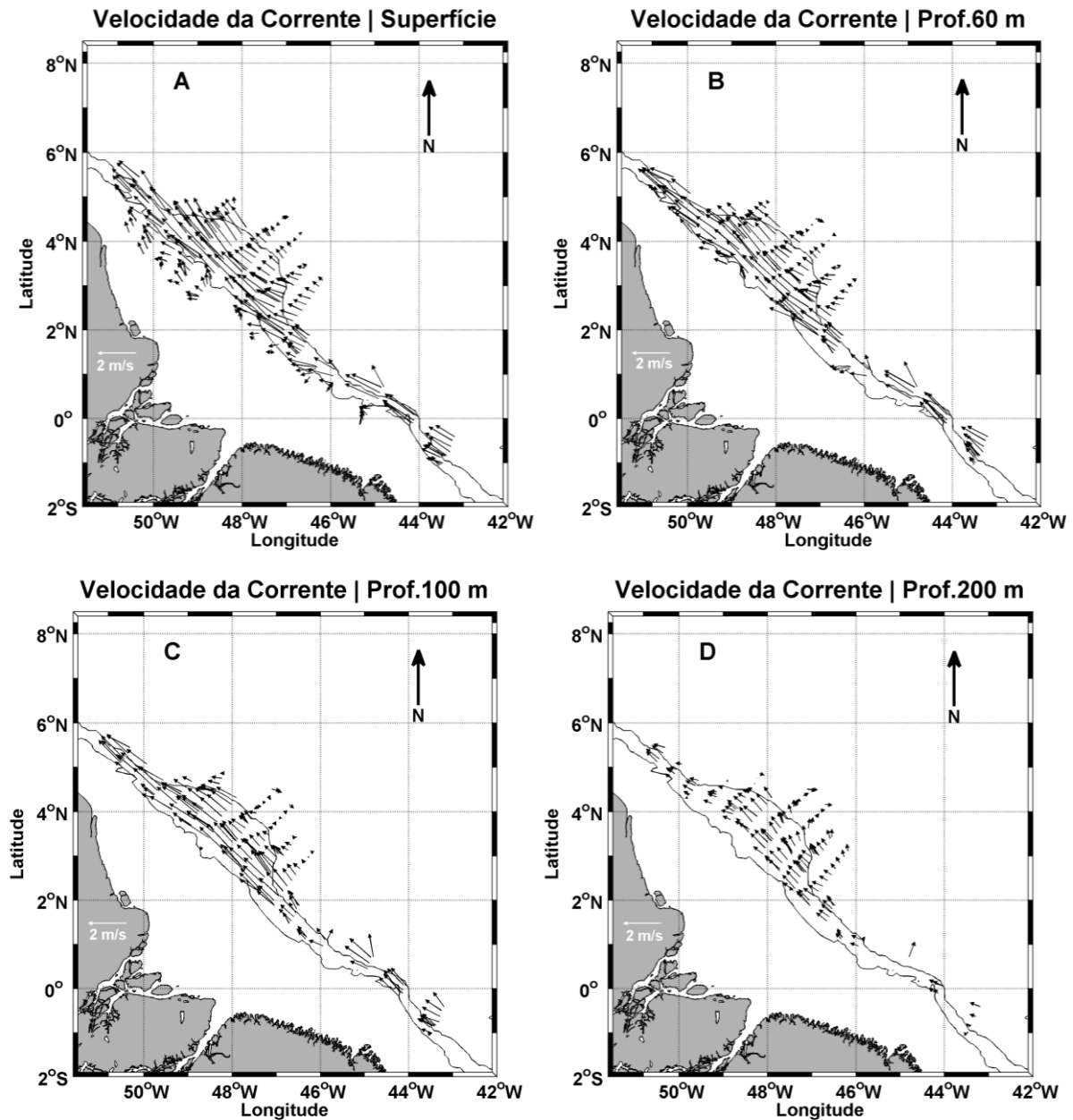


FIGURA 9 – Vetor velocidade ao longo dos transectos de ADCP nas profundidade de 30m (a), 60m (b), 100m (c) e 200m (d), durante o período TAB. As isobatimétricas de 100 e 2000m são representadas por linhas contínuas.

Adicionalmente, a CNB se mostra bastante intensa principalmente junto à PCNB com valores que, muitas vezes, excedem valores já descritos em estudos prévios (Geyer et al., 1996; Johns et al., 1998). Entretanto, muitos desses estudos que utilizam dados de corrente *in situ* não abrangem, concomitantemente, as distribuição espacial e temporal abordadas neste estudo. Alguns deles foram realizados junto à PCNB e apresentam excelente análise temporal, mas são pontuais como Geyer et al. (1996) e Johns et al. (1998). Outros mostram valores

médios em seções localizadas a partir de pontos relativamente distantes da borda da plataforma. Estes estudos têm o interesse maior em analisar a distribuição de correntes no Atlântico Tropical e áreas de retroflexão e/ou interação entre correntes e contra-correntes, apresentando resultados na região oceânica adjacente a PCNB (Bourlès et al., 1999; Schott et al., 1998).

De acordo com as seções de distribuição vertical (Fig. 8 e 9) apresentadas, o núcleo da corrente é variável ao longo da quebra da PCNB, principalmente em relação a sua intensidade, para ambas as componentes. Stramma et al. (1995) e Jonhs et al. (1998) mostraram que a camada de maior transporte da CNB/SCNB está contida nos primeiros 150m, com valores de 15-20SV a 5°S e 26SV a 4°N no período de setembro de 1989 –janeiro de 1991 e novembro de 1992, respectivamente. Assim, foi avaliada a variabilidade da corrente na camada de maior intensidade da CNB (0-150m) ao longo de seu fluxo junto à PCNB, em cada transecto analisado neste estudo (Fig.10).

Os valores variaram entre $0,9 \text{ m.s}^{-1}$ e $1,5 \text{ m.s}^{-1}$ (Fig. 10). Nesta camada, a CNB apresentou baixos valores de velocidade entre os transectos 4, 5 e 6, mas a partir do transecto 8, localizado em frente à foz do rio Amazonas, a velocidade aumentou a intensidade e se estabilizou em torno de $1,2 \text{ m/s}^{-1}$ (Fig. 10). Johns et al. (1998), demonstraram através de análises de dados de fundeio que o período de maior intensidade da CNB ocorre nos meses de julho-agosto, com valores que ultrapassam 1 m.s^{-1} , corroborando com os dados observados entre a superfície e 150m no presente estudo.

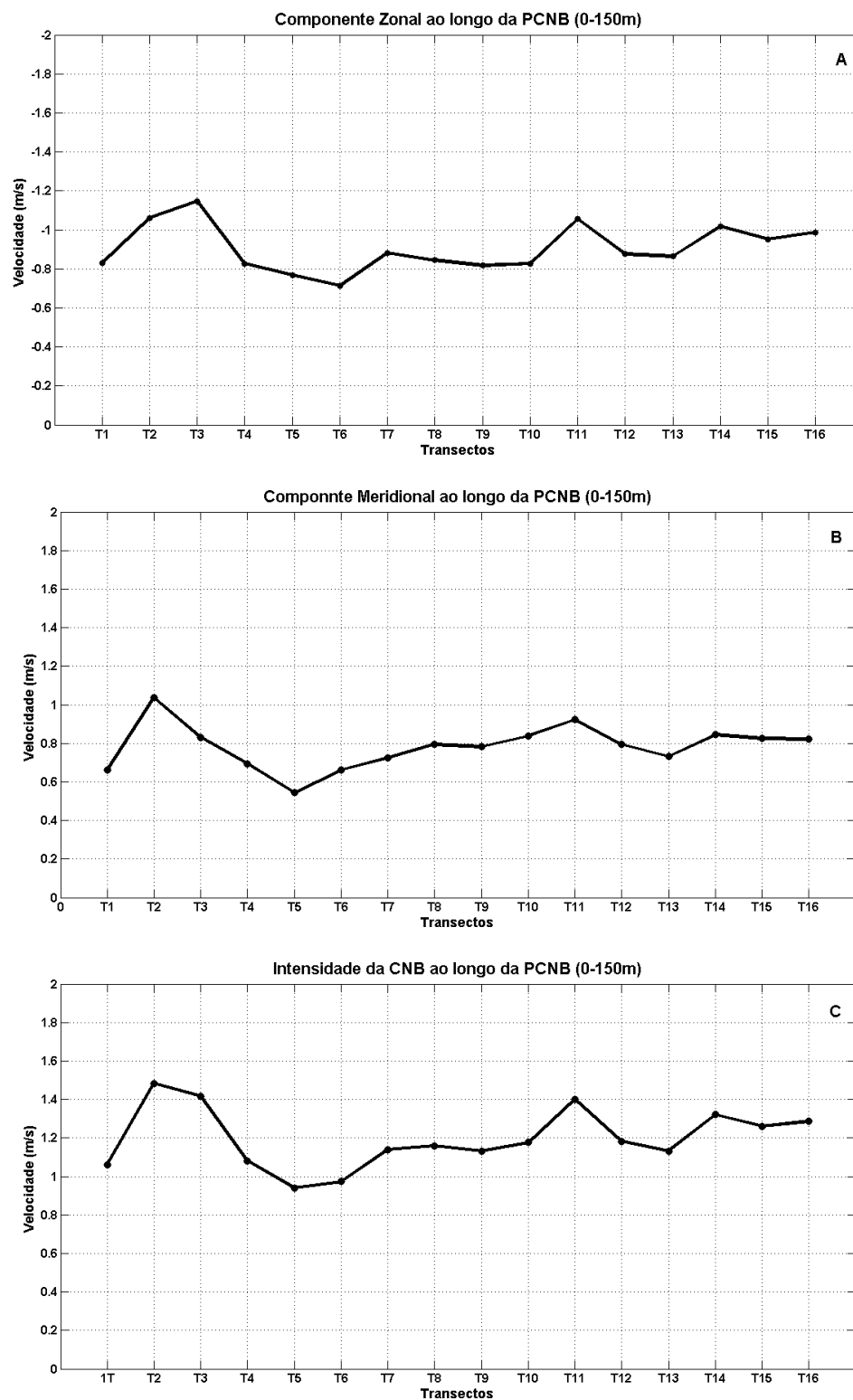


FIGURA 10 – Variação da velocidade média nos primeiros 150 m da coluna d'água para a componente zonal (A), componente meridional (B) e intensidade da velocidade (C) da CNB a cada transecto e ao longo da borda da PCNB, durante o período TAB.

4.2 Resultados de Modelo (CLIPPER-Experimento ATL6)

O resultado numérico do modelo para a superfície do mar, durante o período de Alta descarga (AD), mostra o fluxo da CNB para noroeste, próximo à quebra da PCNB, com velocidade em torno de $0,5\text{m.s}^{-1}$ (Fig. 11a). A baixa intensidade da corrente permite o maior espalhamento superficial da pluma do rio Amazonas sobre a plataforma continental neste período (Silva et al., 2006; Nikiema et al., 2007). Estes resultados também mostram a fraca retroflexão da CNB, alimentando a CCNE entre 4° e 6°N , partir de 48°W .

Na profundidade de 100m, durante o período AD, os resultados numéricos mostraram o fluxo da CNB mais intenso junto à borda da PCNB até a longitude de 45°W , a sudeste da foz do rio Amazonas. Em torno de 3° - 4°N e 45°W , o modelo indica a retroflexão da CNB para leste, que alimenta a SCE (Schott et al., 1998). A noroeste da foz do rio Amazonas (a norte de 2°N) o fluxo da CNB junto à PCNB segue menos intenso, porém é possível perceber a assinatura da retroflexão da CNB para a CCNE que ocorre em superfície entre 4° e 6°N (Fig. 11b).

O campo de velocidade na profundidade de 200m, no mesmo período, apresentou um fluxo da CNB para noroeste, junto à PCNB, até a longitude de 47°W . Entre as longitudes 46°W e 47°W e em torno de 4°N , o fluxo da CNB próximo à borda da PCNB também apresenta uma retroflexão para leste alimentando a SCE (Fig. 11c).

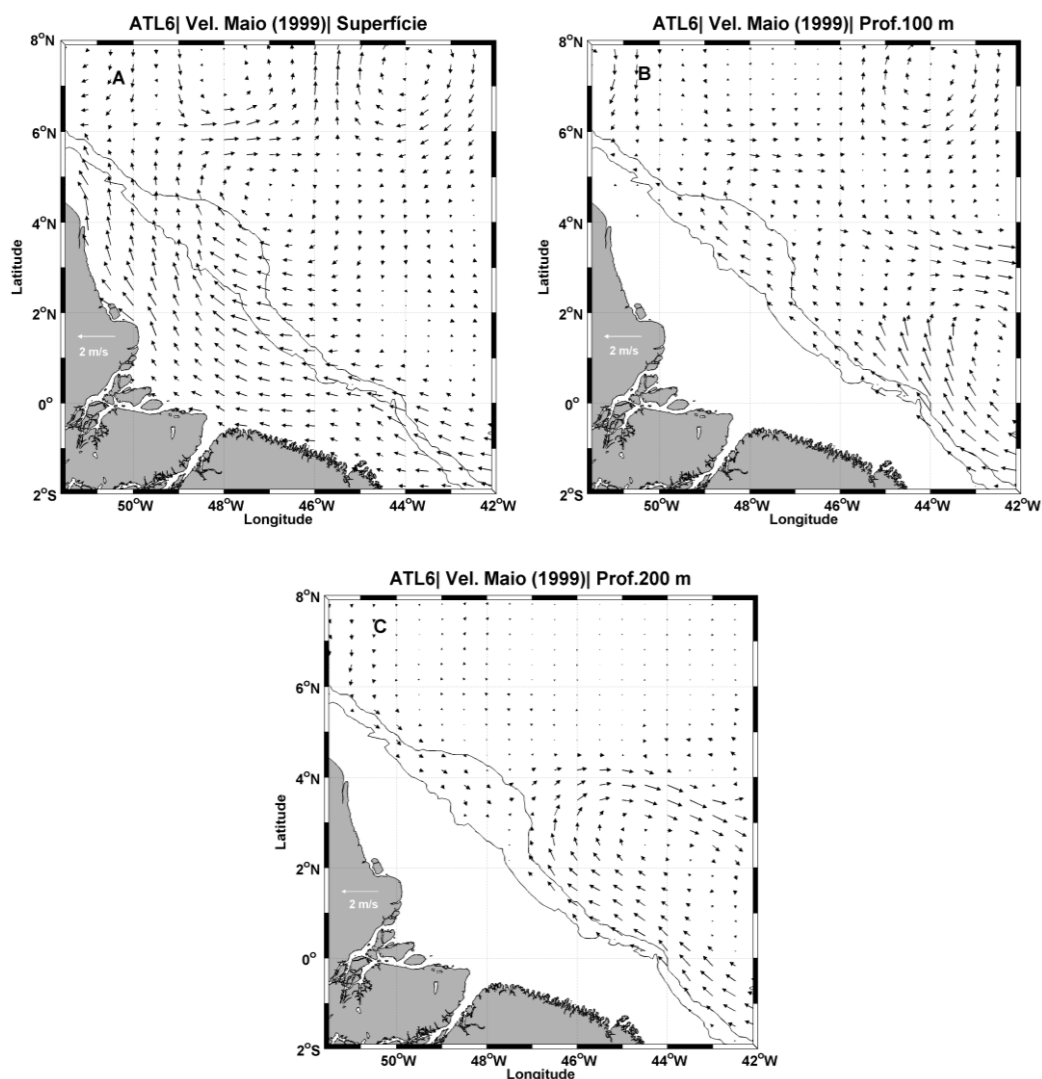


FIGURA 11 - Campo de velocidade a partir do resultado do Experimento ATL6 para o período de Alta Descarga do rio Amazonas (AD) em superfície (A), 100m (B) e 200m (C) de profundidade. As isóbatas de 100m e 2000m são representadas por linhas contínuas.

Durante o período TAB, os resultados da simulação corroboraram os dados *in situ*, mostrando a intensificação da CNB ao longo da PCNB (SE-NW). O campo de velocidade superficial obtido em agosto de 2001 mostrou a CNB com maior intensidade junto à PCNB, com velocidade em torno de $1,5\text{m.s}^{-1}$ (Fig. 12a). Foi ainda identificado um vórtice relacionado à retroflexão da CNB alimentando a CCNE e a SCE como descrito em outros estudos para o mesmo período (Schott et al., 1998; Johns et al., 2003) (Fig. 12). Esta retroflexão tem papel essencial no transporte de águas provenientes do rio Amazonas para leste do Atlântico Equatorial (Hu et al. 2004; Fontes et al. 2008).

Na camada a 100m de profundidade observou-se a retroflexão para leste que alimenta a SCE, formando um vórtice entre 2° e 4°N de latitude. Mais ao norte o modelo mostrou a continuação da estrutura vertical do vórtice presente em superfície associado à retroflexão da CNB, entre 6° e 8°N.

Na profundidade de 200m, no mesmo período, mostrou uma diminuição da intensidade da corrente junto à borda da PCNB, corroborando o observado *in situ*. Porém, nesta profundidade, observou-se somente o desvio para leste do fluxo da CNB, em torno de 4°N.

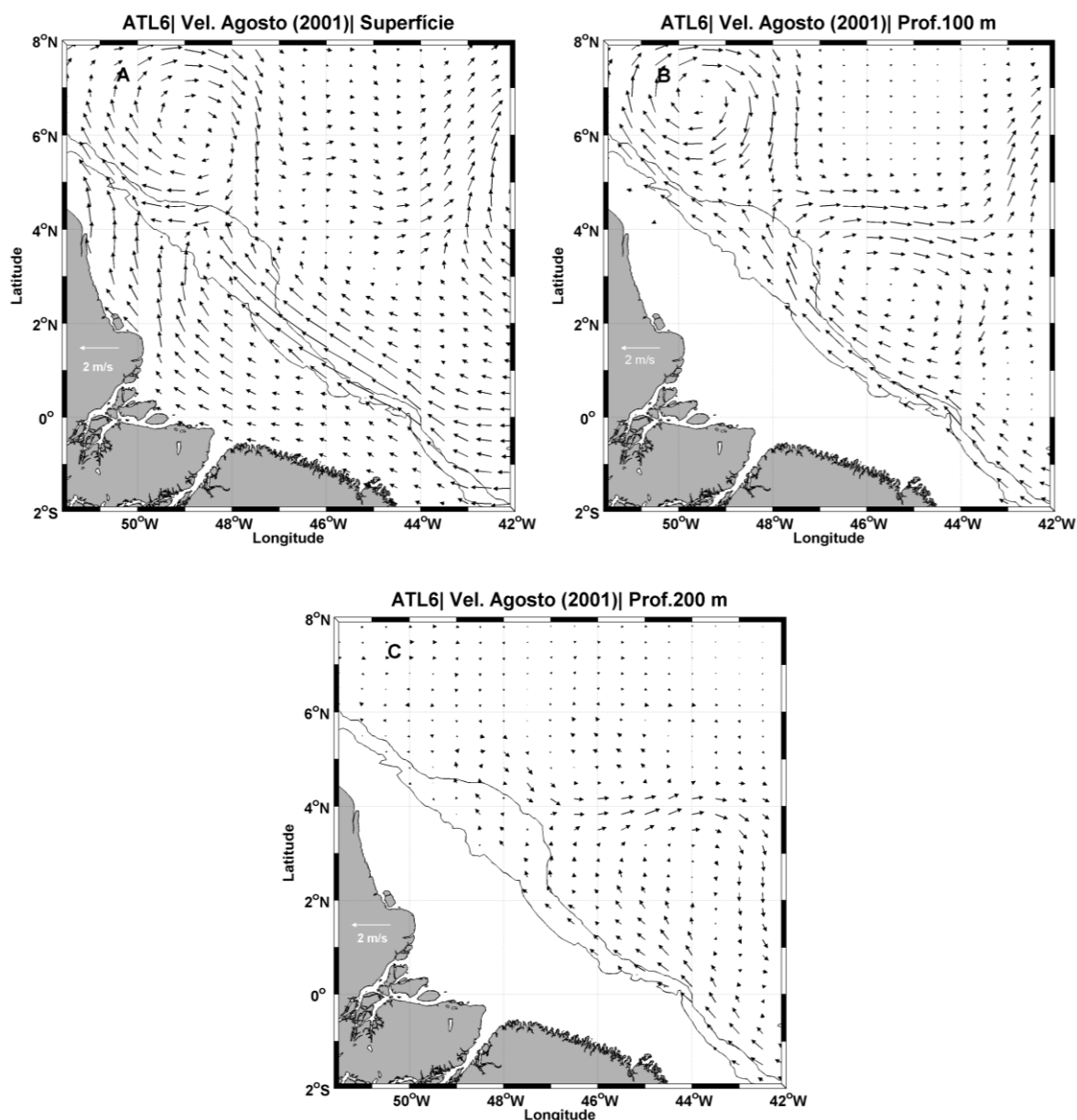


FIGURA 12 - Campo de velocidade a partir do resultado do Experimento ATL6 para o período de Transição de Alta para baixa descarga do rio Amazonas (TAB) em superfície (a), 100m (b) e 200m (c) de profundidade. As isobatimétricas de 100 e 2000m são representadas por linhas contínuas.

Durante o período BD, o fluxo superficial da CNB ao longo da borda da PCNB apresentou variações entre as áreas a sudeste e a noroeste da foz do rio Amazonas (Fig. 6). O fluxo da CNB é menos intenso a sudeste da foz do rio Amazonas e se intensifica a noroeste (sobre o cone do Amazonas, especificamente). Também é possível se observar a retroflexão da CNB alimentando a CCNE entre 6° e 8°N (Fig. 13a).

Na profundidade de 100m, no período BD, foi observada uma variação espacial da intensidade da CNB ao longo da borda da PCNB, similar à observada em superfície. Nesta profundidade foi observada ainda a continuação da retroflexão da CNB, que ocorre desde a superfície (Fig. 13b).

Na camada de 200m de profundidade, o fluxo da CNB ocorre ao longo de toda a borda da PCNB (Fig. 13c), porém com menor intensidade em relação às camadas mais superficiais. Nessa profundidade, registrou-se a presença de um vórtice bem definido a noroeste da foz do rio Amazonas, entre 4° e 6°N, e outro a sudeste do mesmo, em torno de 2°N (Fig. 13c).

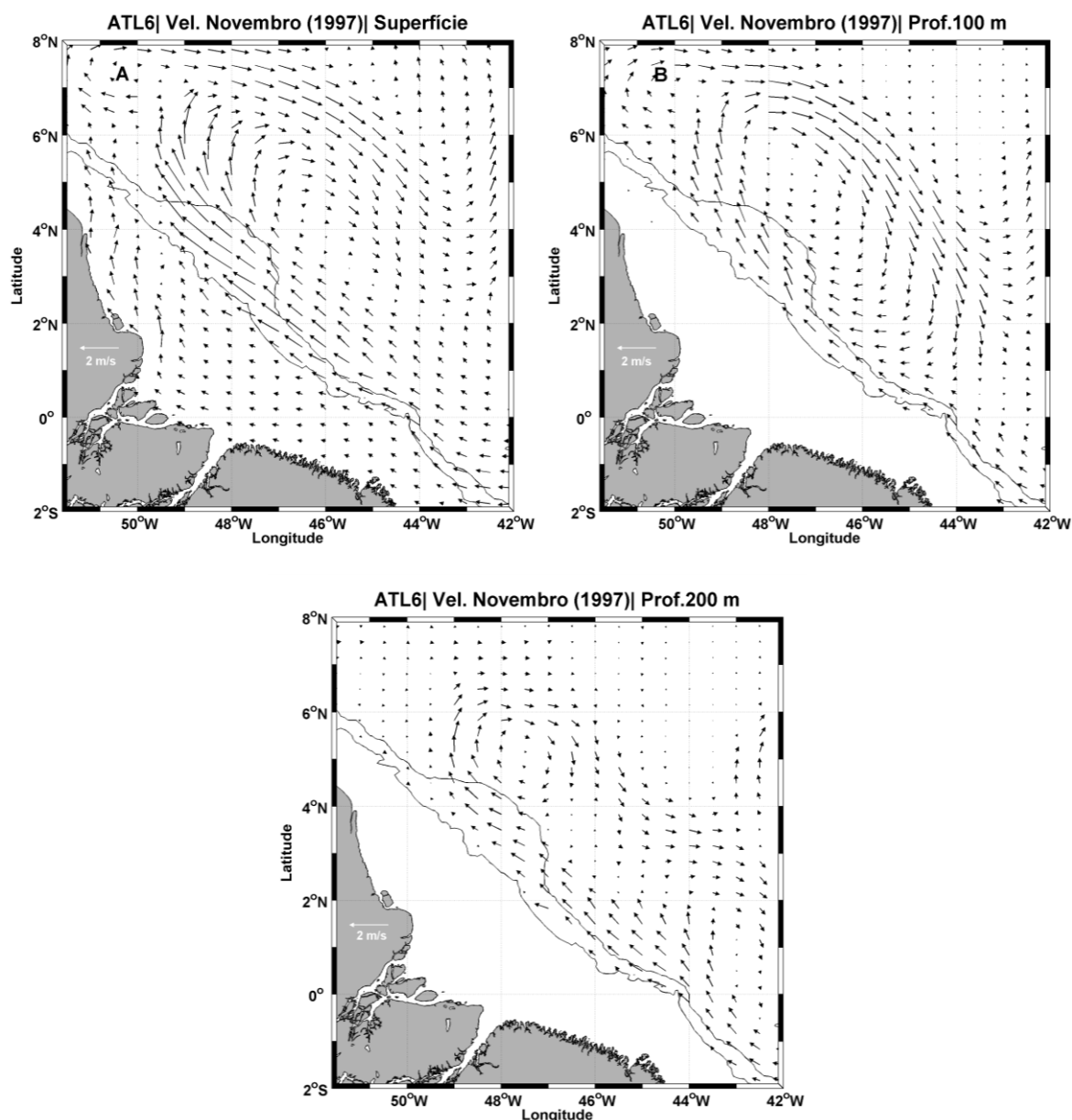


FIGURA 13 - Campo de velocidade a partir do resultado do Experimento ATL6 para o período Baixa Descarga do rio Amazonas (BD) em superfície (a), 100m (b) e 200m (c) de profundidade. As isobatimétricas de 100 e 2000m são representadas por linhas contínuas.

As retroflexões da CNB foram observadas em todos os períodos, da superfície até a camada abaixo da termoclina (200m), principalmente na área a noroeste da foz do rio Amazonas. Esta região corresponde à área de deslocamento de vórtices do sistema CNB/SCNB (Kreling, 2010).

Wilson (2002) e Fratantoni & Richardson (2006) descreveram pelo menos dois tipos principais de vórtices formados a partir da CNB: os que apresentam alta velocidade

superficial e se restringem até o topo da termoclina; e os que são intensificados a partir ou logo abaixo da termoclina principal. Esses vórtices, principalmente a partir do período TAB entre 6°N e 8°N, apresentaram estrutura vertical coerente com o primeiro tipo de vórtice descrito acima e são mais intensos no lado oeste do mesmo devido à interação com o fluxo principal da CNB nos primeiros 150m. Segundo Wilson (2002), alguns vórtices podem apresentar fraca, ou nenhuma velocidade na camada acima da termoclina, mas são intensos a partir de 200m e apresentam certa estrutura barotrópica que se estende até 2000m, com velocidades superiores a $0,2\text{m.s}^{-1}$. Estas características podem estar relacionadas com o vórtice observado no período BD a 200m de profundidade.

Os dados de corrente *in situ* e resultados de modelo (Fig. 8-13), mostraram-se coerentes com estudos anteriores relacionados à variação espacial e temporal do sistema CNB/SCNB, junto à borda da PCNB (Johns et al, 1998; Bourles, et al., 1999; Wilson et al, 2002; Stramma et al., 2005).

As características da CNB exercem um papel fundamental na advecção e distribuição de padrões termohalinos locais na área de atuação da corrente junto à borda da PCNB, que serão analisados nos capítulos seguintes.

Capítulo 5

Relação da CNB com o padrão termohalino regional

5.1 Distribuição da TSM na região

Esta seção foca na descrição da distribuição espacial e temporal da TSM na região estudada. As informações obtidas por satélite foram utilizadas para análise de mapas da série de médias mensais da TSM para verificar os padrões deste parâmetro ao longo do ano e para comparação com os dados de modelo nos períodos específicos (AD, TAB e BD).

5.1.1 *Dados in situ*

A distribuição espaço-temporal da temperatura da superfície do mar na região é regida principalmente pelo deslocamento sazonal da ZCIT, pela presença de águas da pluma do Amazonas, que é responsável pela formação da camada de barreira, bem como pela variabilidade na advecção de propriedades da água do mar pela CNB (Silva et al., 2005; Breugem et al., 2008).

Durante o período AD a distribuição da TSM apresenta valores acima de 28°C, que predominam sobre toda a PCNB e adjacências, na região em frente à foz do rio Amazonas e costa do Estado do Pará (Fig. 14a). Neste período, ocorre a maior presença de águas dos rios da bacia Amazônica sobre a área, que chegam a ultrapassar os limites da plataforma em frente à foz do rio Amazonas (Lentz, 1995; Fontes et al., 2008; Silva et al., 2010).

Nos períodos TAB e BD (Fig. 14 b-c), os altos valores de TSM (> 28°C) se restringem à plataforma interna e média junto à foz dos rios Pará e Amazonas. Porém, observa-se entre esses períodos a ocorrência de uma faixa de águas de menor temperatura (<27,5°C) junto à borda da PCNB. Esta faixa de menores temperaturas coincide com a região de maiores

valores de intensidade da CNB sobre a borda da PCNB, observados no capítulo anterior, principalmente sobre o cone do Amazonas.

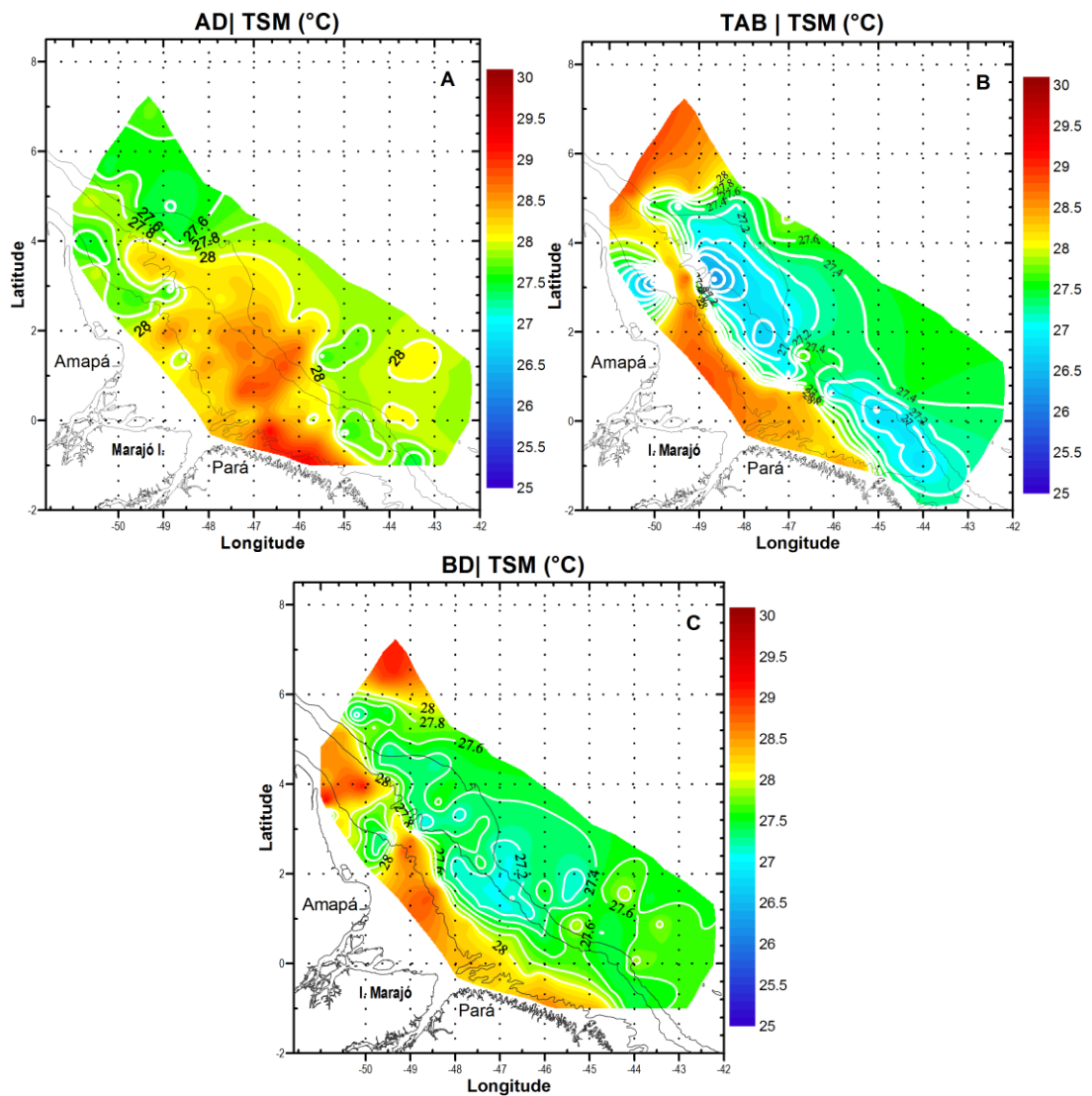


FIGURA 14 – Distribuição da TSM a partir dos dados de CTD para os três períodos analisados: a) cenário de alta descarga-AD; b) período de transição de alta para baixa descarga- TAB e; c) período Baixa descarga-BD. As isóbatas de 20, 100 e 2000m são representadas por linhas contínuas.

A distribuição da TSM apresentou mudanças espaciais coerentes com as variações sazonais na descarga do rio Amazonas. Estas mudanças podem estar relacionadas com a presença ou ausência da pluma do rio Amazonas e/ou com a atuação da ZCIT sobre a região em um dado período.

A Fig. 15 apresenta a relação dos valores de temperatura com os de salinidade para avaliar se os valores de TSM acima de 28°C, predominantes sobre a PCNB nos três períodos analisados, estão relacionados com a presença da pluma do rio Amazonas na região. Esta característica foi avaliada através da relação entre Temperatura x Salinidade em três pontos sobre a borda da PCNB a cada período (AD, TAB e BD) e entre os três períodos a cada ponto.

Os resultados mostraram que no ponto P1 (sudeste da foz do rio Amazonas), a pluma do rio Amazonas não ocorre nos três períodos e a TSM abaixo de 28°C esteve associada com salinidade em torno de 36 (Fig. 15). No ponto P2 (em frente à foz do rio Amazonas) a TSM acima de 28°C esteve relacionada com baixo valor de salinidade ($S \leq 28$ durante o período AD) enquanto valores de TSM abaixo de 27,5°C estiveram relacionados com altos valores de salinidade ($S \geq 36$ períodos TAB e BD). No ponto P3 (noroeste da foz do rio Amazonas) a TSM em torno de 28°C esteve relacionada com a pluma ($S < 32$) nos períodos AD e TAB. Durante o período BD, TSM acima de 28°C esteve relacionada com alta salinidade ($S \approx 36$) (Fig. 15).

Os maiores valores de TSM ($>28^\circ\text{C}$) sobre a borda da plataforma podem estar associados à presença da pluma do rio Amazonas, pelo menos na região em frente e/ou a noroeste da foz do rio Amazonas no período AD (P2 e P3) e período TAB (P3). Já no período BD, a presença da ZCIT deve prevalecer sobre a determinação da TSM local no ponto P3.

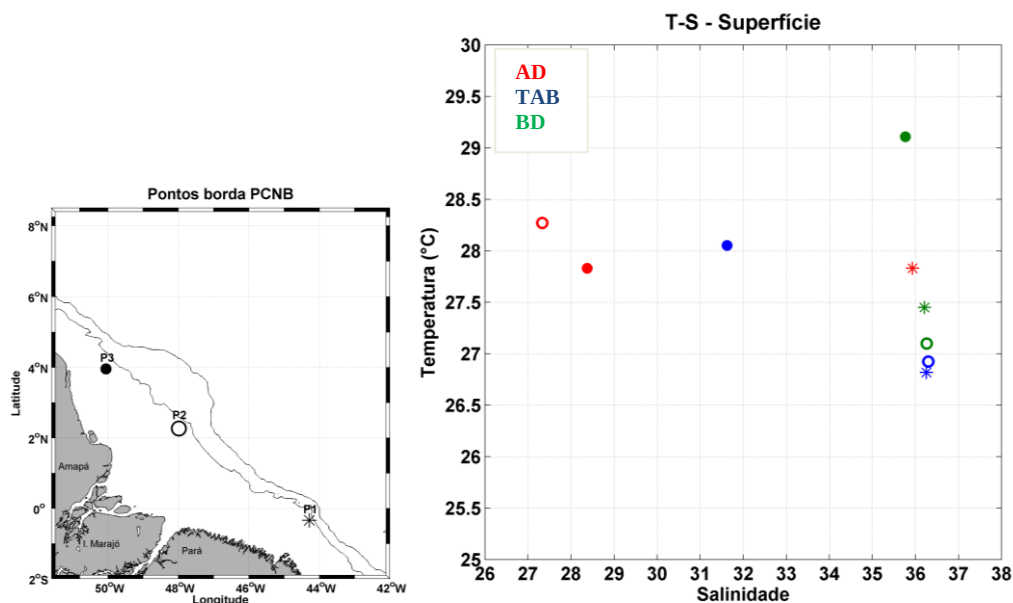


FIGURA 15 – Gráfico T - S espalhado dos pontos P1 (*), P2 (°) e P3 (•) nos períodos AD (em vermelho), TAB (em azul) e BD (em verde) em superfície.

5.1.2 Dados de Satélite TRMM-TMI

Entre abril e junho a TSM apresenta valores acima de 28°C devido à faixa de atuação da ZCIT estar mais próxima ao Equador (Coelho et al., 2004; Silva, 2006; Veleza, 2008). Este mesmo período corresponde ao período de alta descarga do Rio Amazonas, em que se observa TSM acima de 28,5°C sobre a PCNB (Fig. 16).

Ao norte de 6°N, no segundo semestre do ano, ocorre uma região de águas extremamente quentes associadas ao período de posição mais ao norte da ZCIT (Fig. 16). Neste mesmo período e região também é observada a formação de vórtices da CNB e de espessa Camada de Barreira devido à presença de águas do Rio Amazonas (Piller et al. 1999; Fratantoni & Glickson, 2002; Silva et al., 2005; Ffield, 2005) .

A partir de julho, observa-se abaixo de 3°N, a faixa de menor TSM (< 27,5°C) junto à PCNB (Fig. 16). Estas águas permanecem na região ao longo da borda da PCNB e adjacências até o mês setembro e tornam a aquecer a partir do mês de outubro. Neste mesmo período ocorre intensificação da CNB ao longo da borda da PCNB, com velocidades acima de 1m.s⁻¹, e formação de vórtices na região de retroflexão da mesma (Jonhs et al.; 2003) e no

presente estudo. Field (2005) também identificou a presença de vórtices de núcleo frio (temperatura em torno de $27,5^{\circ}\text{C}$) que se deslocaram para a região de maior TSM ($> 29^{\circ}\text{C}$) ao norte em outubro de 1999.

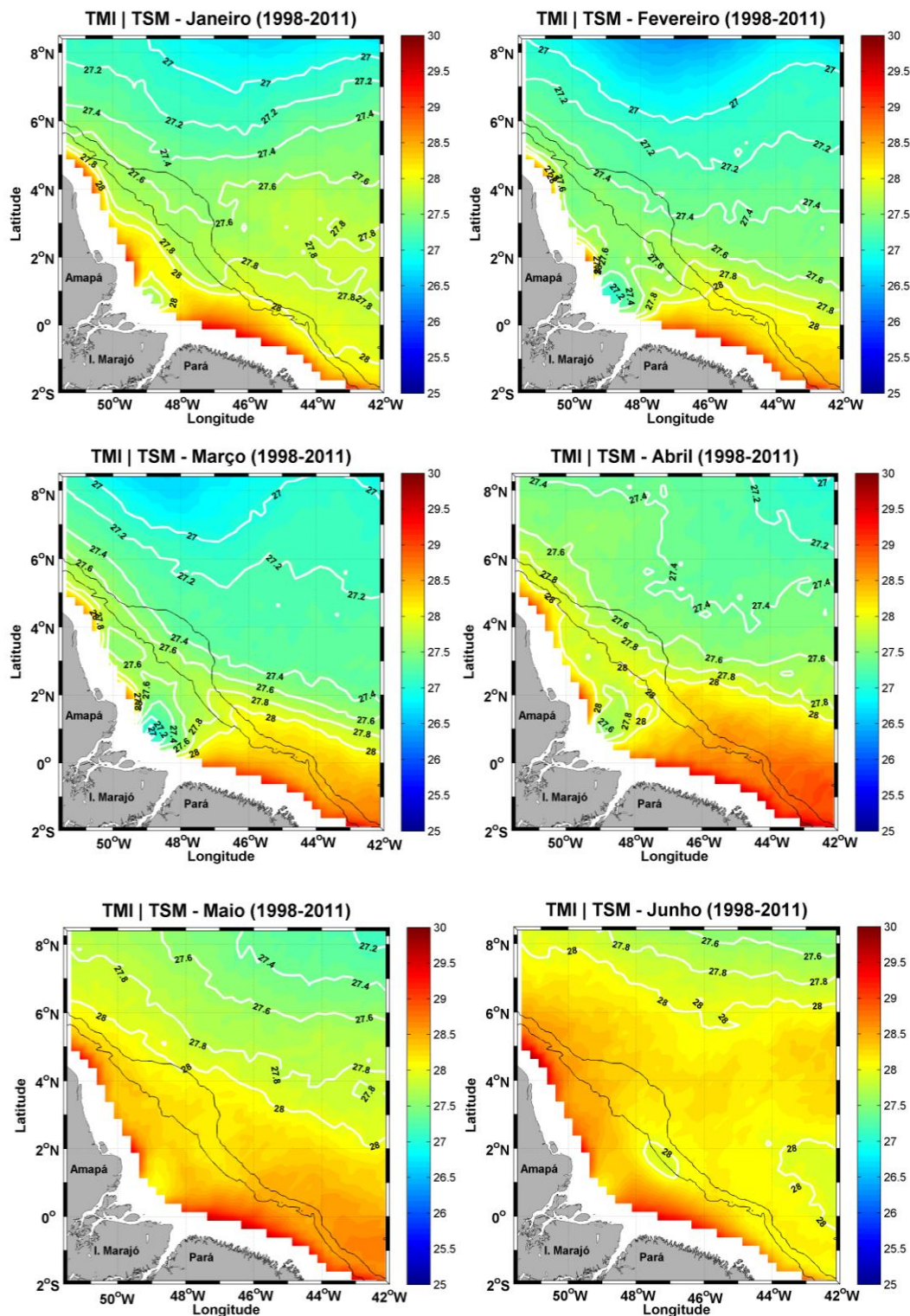
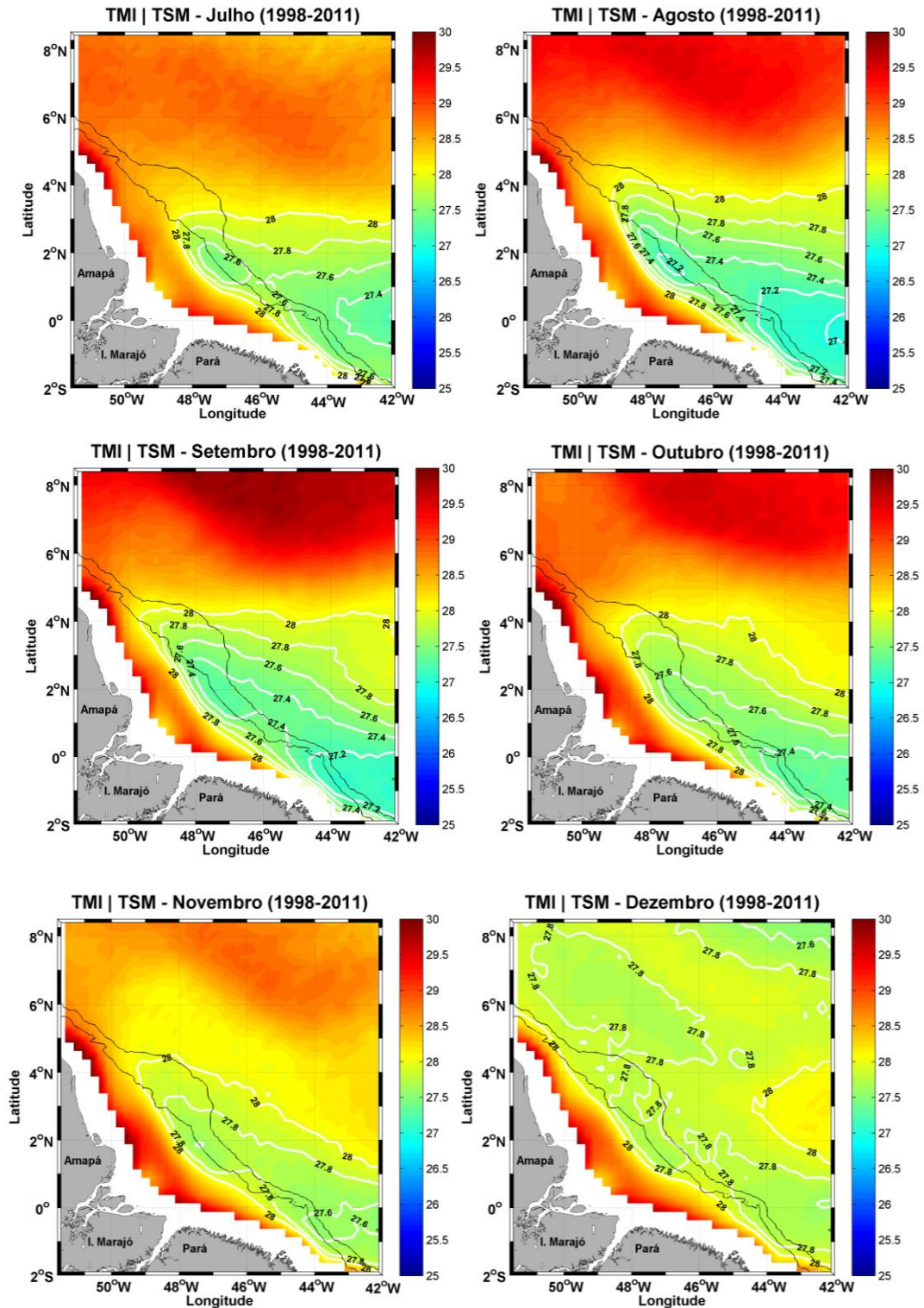


FIGURA 16- Série mensal de TSM média para a região da borda PCNB e área oceânica adjacente. As isobatimétricas de 100m e 2000m são representadas.



CONTINUAÇÃO FIG. 16

A análise da série temporal da TSM nos três pontos na borda da PCNB é mostrada na Fig. 17. A série dos pontos TMI-P1 e TMI-P2 estão localizados na região em que se observa a

faixa de temperaturas mais baixas entre os meses de julho e agosto. Nestes pontos foi observado mínimo de TSM em 2001 (Fig. 17), que corresponde ao período de intensificação da CNB ao longo da borda da PCNB (Fig. 9 e 12). Isto pode indicar que a CNB transporta águas menos aquecidas ($<27,5^{\circ}\text{C}$) ao longo da borda da PCNB e adjacências durante este período.

O ponto TMI-P2 apresenta TSM menor em relação aos demais pontos ao longo de toda a série, com picos de TSM (março a maio) abaixo de $28,5^{\circ}\text{C}$ em 78,5% da série (Fig. 17). Para os demais pontos o período de máxima TSM se encontra sempre acima deste valor. As diferenças observadas entre o ponto TMI-P2 e os demais pontos chegam a $1,8^{\circ}\text{C}$ em relação ao ponto TMI-P1 e a $2,5^{\circ}\text{C}$ comparado ao ponto TMI-P3, onde se observam temperaturas mais elevadas.

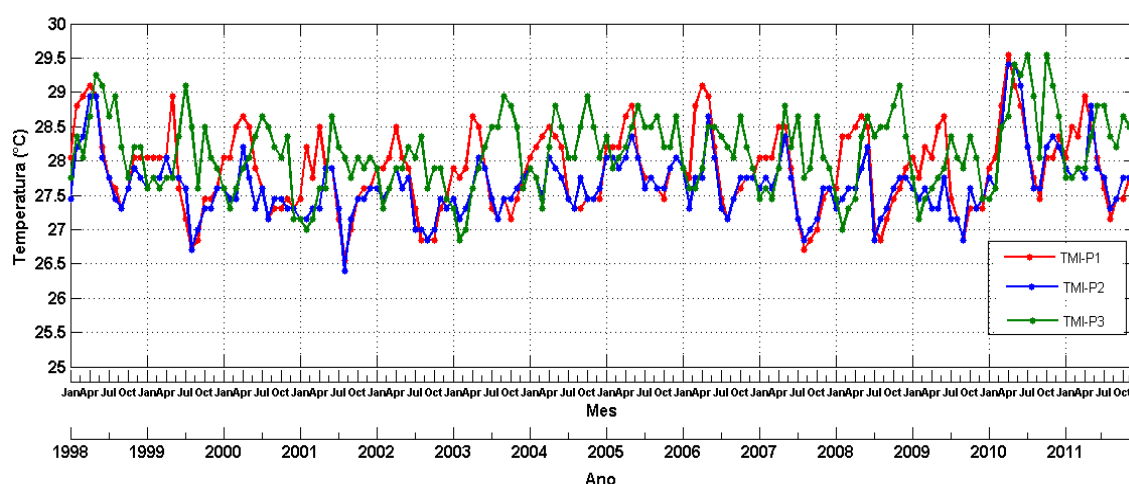


FIGURA 17 – Série das médias mensais para os pontos sobre a borda da PCNB. Ponto TMI-P1 (linha vermelha), TMI-P2 (linha azul) e TMI-P3 (linha verde).

Segundo Marin (2009) a migração para norte da ZCIT juntamente com os efeitos de Monções na costa oeste da África, tem associação com a formação da faixa de águas mais frias presente ao longo do Equador durante os meses de verão boreal, conhecido como Língua Fria do Atlântico. Neste mesmo período ocorre a intensificação dos ventos de leste que gera um forte gradiente zonal na TSM ao longo do Equador direcionado para oeste (Weingartner & Weisberg, 1991). Os efeitos deste resfriamento da TSM podem influenciar na região de atuação da CNB na borda oeste do oceano Atlântico Tropical através da contribuição em superfície que a mesma recebe da CSEc (Stramma et al., 2005).

5.1.3 Dados de Modelo (CLIPPER Experimento ATL6)

O resultado do modelo em maio de 1999 mostrou TSM abaixo de 27°C em toda a área de estudada (Fig. 18). Estes valores estão abaixo dos observados nos dados de satélite e *in situ* para este período. Valores de TSM acima de 28°C sobre a PCNB (Fig. 14 e 16), que possivelmente estão relacionadas à pluma do rio Amazonas, não foram observados.

O resultado do modelo em agosto de 2001 mostrou a faixa de menores temperaturas (abaixo de 26°C) na região próxima a PCNB que segue o fluxo e retroflexão da CNB entre 6°N e 8°N. Neste período, temperaturas abaixo de 25°C se concentram na região à frente e a sudeste da foz do rio Amazonas (Fig. 18). Não se observam valores de TSM acima de 28°C a norte de 6°N sobre a PCNB, como observados nos dados *in situ* e de satélite.

Em novembro de 1997, os resultados numéricos mostram a região de menor temperatura sobre toda a borda da PCNB, porém com um núcleo de TSM menor que 25°C localizado na região a noroeste da foz do rio Amazonas. Águas com TSM acima de 28°C são observadas sobre a PCNB e seguem a retroflexão da corrente a norte de 6°N (Fig. 18).

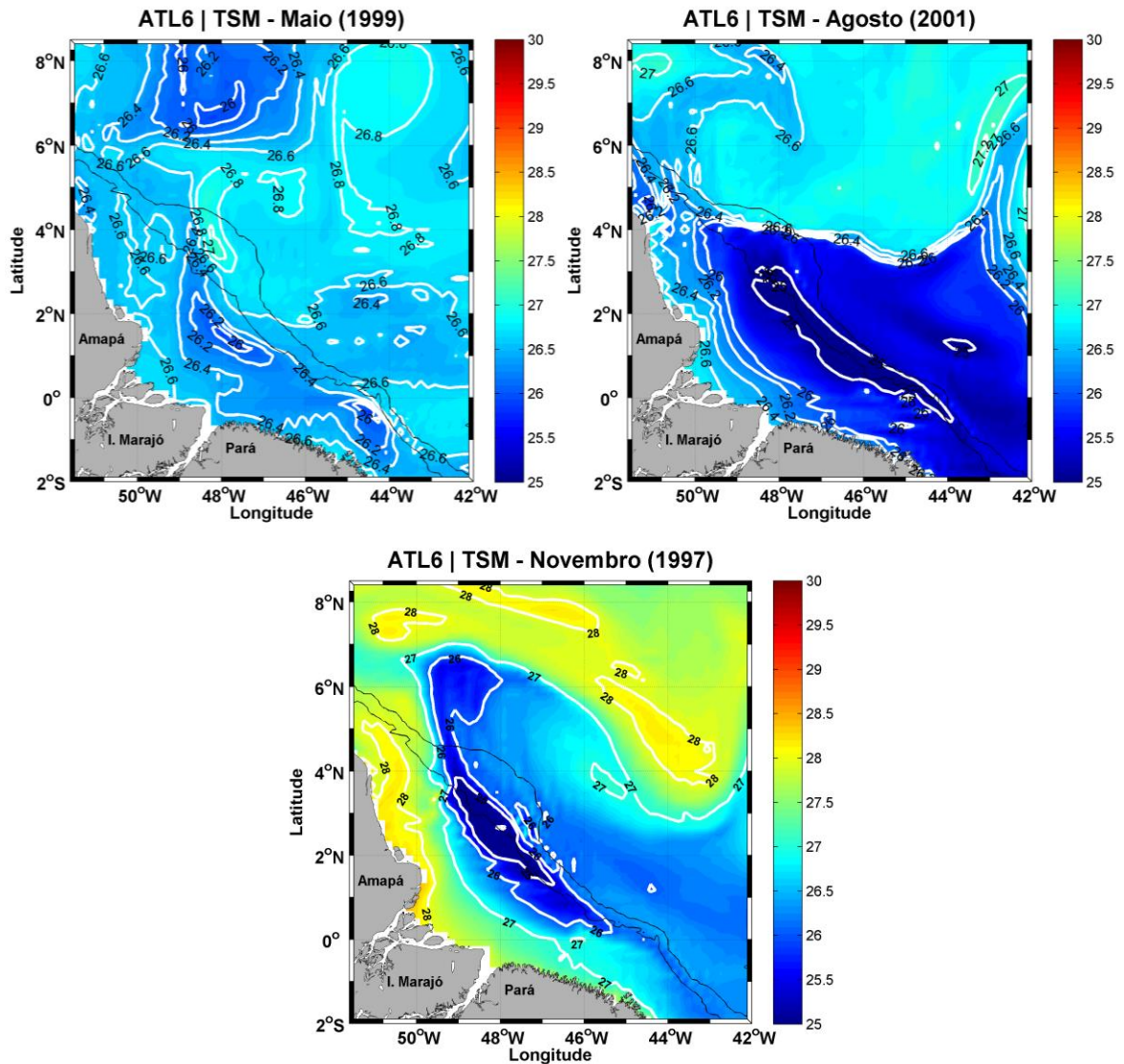


FIGURA 18 - TSM a partir do resultado do Experimento ATL6 para o período TAB (a) e BD (b). As isobatimétricas de 100m e 2000m são representadas.

Os resultados do Experimento ATL6 foram colocados na mesma grade dos dados obtidos por satélite para que se fizesse o cotejamento, para identificar a diferença entre os mesmos nos períodos analisados (Fig. 19). Os resultados mostraram diferenças acima de 2°C, que são observadas principalmente sobre a plataforma continental nos três períodos. Estas diferenças estiveram localizadas mais a sudeste da foz do rio Amazonas no período AD e na área adjacente à foz do rio Amazonas nos períodos TAB e BD.

Os resultados numéricos de TSM obtidos pelo modelo foram abaixo dos observados pelos dados de satélite (Fig. 19). Entretanto, a associação entre a intensificação da CNB na

borda da PCNB e o transporte de águas mais frias ($< 26^{\circ}\text{C}$) em agosto de 2001 e novembro de 1997 (Fig.18 e 19) também foi mostrado pelos resultados gerados pelo modelo.

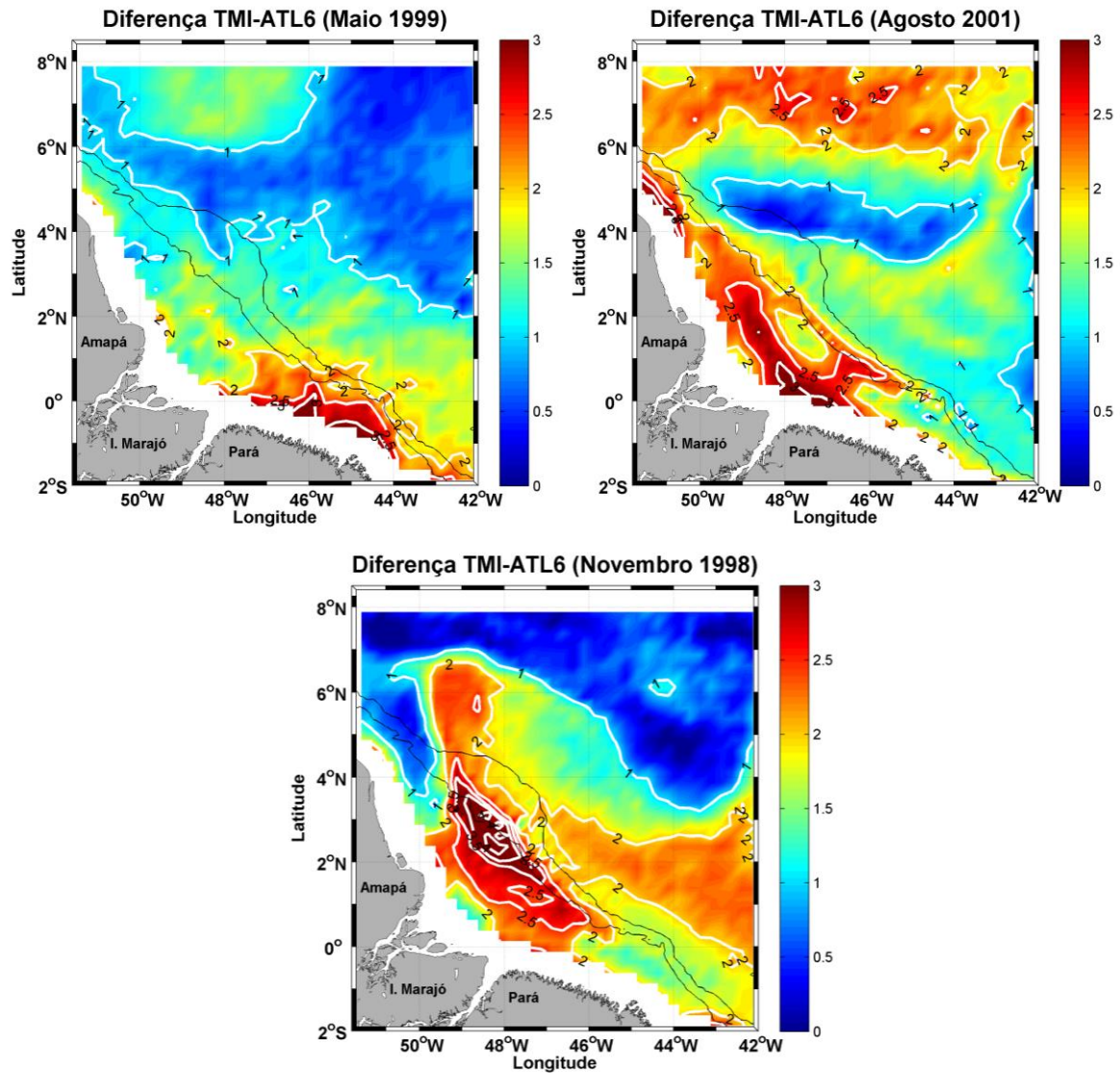


FIGURA 19 – Diferença entre os dados obtidos por satélite e o resultado do experimento ATL6 para a área de estudo. As isobatimétricas de 100m e 2000m são representadas.

5.2 Temperatura observada junto à PCNB

Esta seção tem como foco a descrição da distribuição vertical de temperatura em 16 transectos ao longo da PCNB e a cada período abordado neste estudo. Os transectos de salinidade foram utilizados como forma de confirmar a presença ou ausência da pluma do rio Amazonas na região da plataforma e relacioná-la com os valores de temperatura observados. Assim, são apresentados somente alguns transecto deste parâmetro.

A distribuição vertical da temperatura no período AD, mostrou valores acima de 28°C que predominaram sobre a PCNB a sudeste da foz do rio Amazonas. Nesta região, o topo da termoclina é delimitado pela isoterma de 26°C que coincide com a isopicna de 24kg.m⁻³, ao longo da qual também se observa um núcleo de máxima salinidade (Água Tropical) transportada pela CNB, junto ao talude, próximo aos 100m de profundidade (Fig. 20) (Silva et al., 2009).

A temperatura foi verticalmente homogênea até a borda da plataforma e estratificada além da mesma, entre os transectos T1 e T5 (Fig. 21). Valores abaixo de 27,5°C são observados a partir de aproximadamente 50m de profundidade, exceto nos transectos T1, T3 e T5 onde ocorre uma faixa desta temperatura (< 27,5°C) junto à borda da plataforma que chega próxima à superfície (Fig. 21). O transecto T6 marca o início da influência pluma dos e Amazonas sobre a região, identificada pela estratificação térmica e halina sobre a plataforma com uma camada de temperaturas acima de 28°C e salinidade abaixo de 34, delimitada pela isopicna de 22kg.m⁻³ que ultrapassa 40m de profundidade (Fig. 20 e 21).

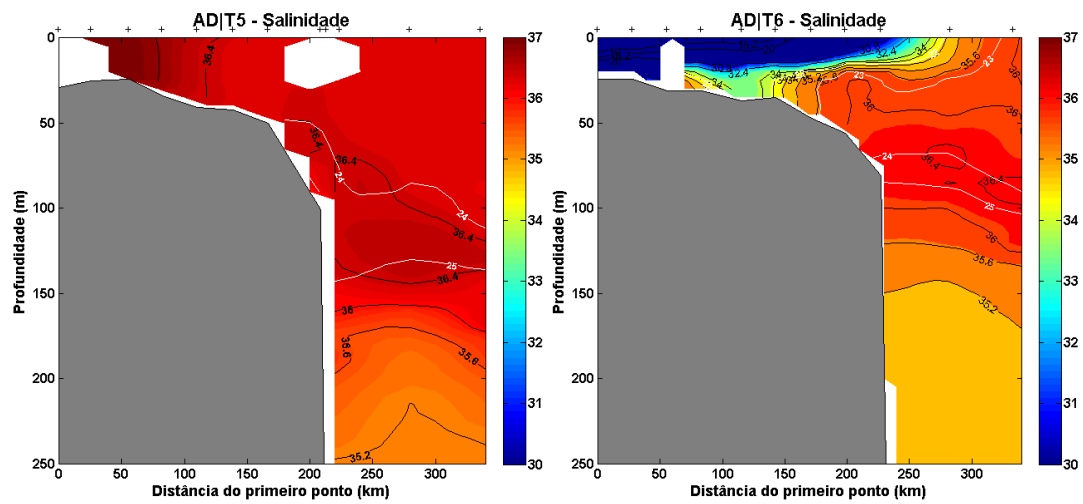


FIGURA 20 - Distribuição vertical da salinidade nos transectos T5 e T6 durante o período AD. As linhas brancas representam os contornos de densidade em kg.m^{-3} e as cruzeiras na parte superior representam os pontos de cada estação de amostragem.

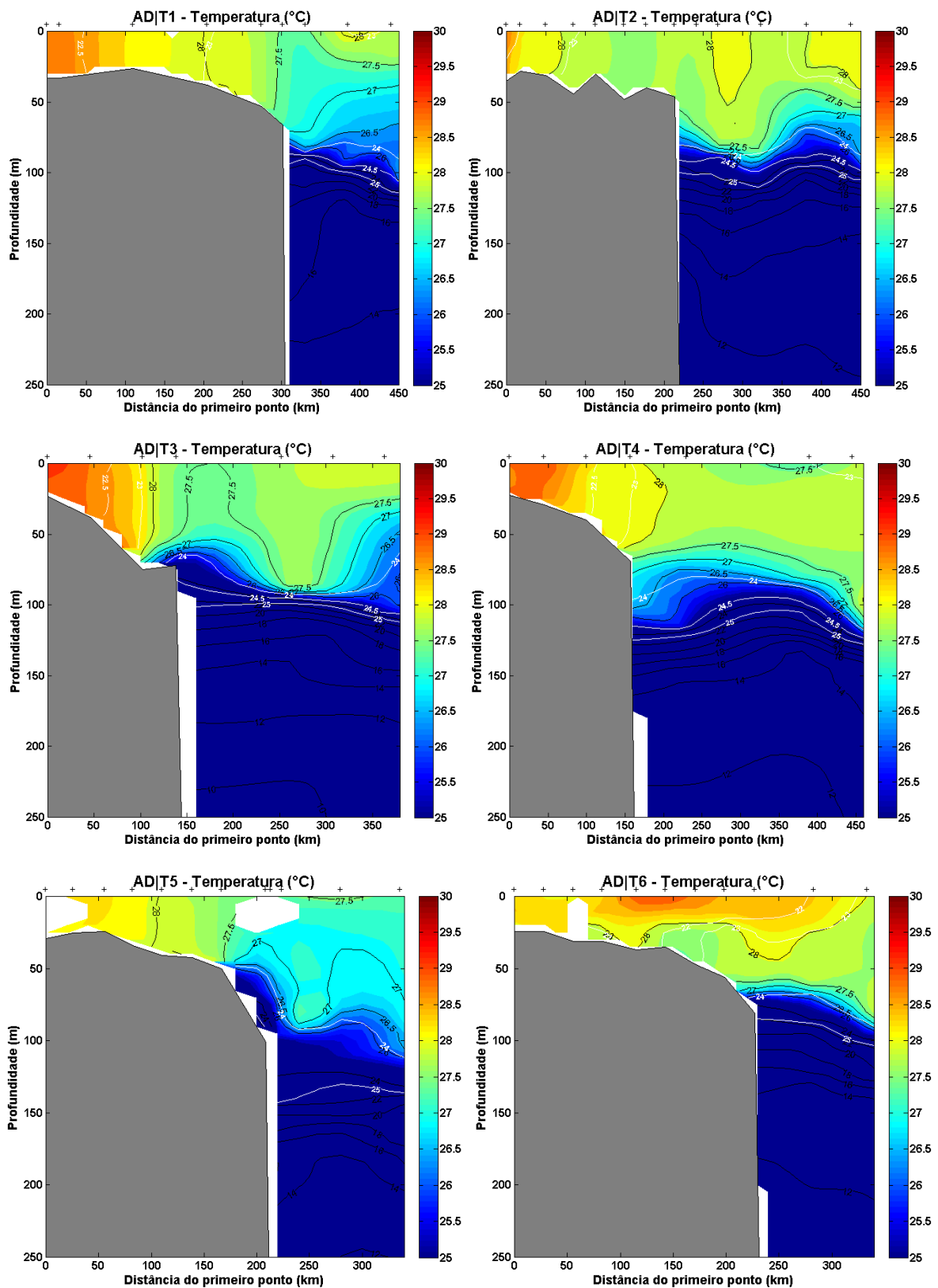
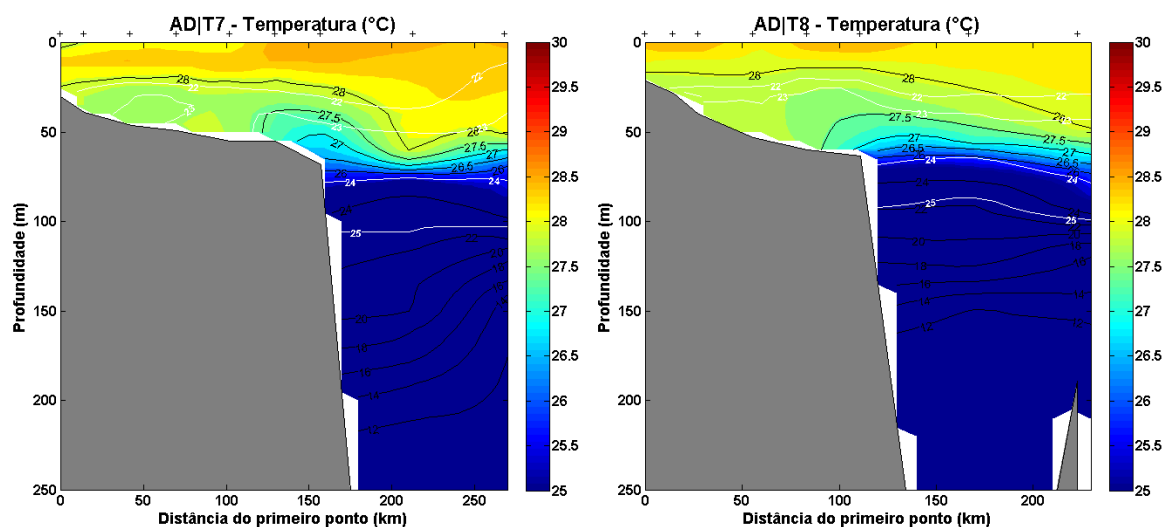


FIGURA 21 - Distribuição da temperatura nos transectos a sudeste da foz do rio Amazonas para o cenário AD. As linhas brancas representam os contornos de densidade em kg.m^{-3} e as cruzes na parte superior representam os pontos de cada estação de amostragem.



CONTINUAÇÃO FIGURA 21

Nos transectos do período AD localizados a noroeste da foz do rio Amazonas (Fig. 6), a pluma de águas continentais se mantém nos primeiros 40m de profundidade e entre os transectos T9 e T15, onde se estende para além da borda da PCNB (Fig. 22). Associada à presença da pluma do rio Amazonas, se observa a estratificação térmica e valores acima de 28°C na camada superficial sobre a PCNB (Fig. 22 e 23). A partir do limite da pluma em direção ao oceano aberto, observam-se águas relativamente menos aquecidas nos transectos localizados a noroeste da foz do rio Amazonas (Fig. 23). Estes valores corroboram o observado nas séries mensais de TSM obtidos pelo TMI para o período equivalente, relacionado ao posicionamento da ZCIT mais próximo do Equador.

Na camada sob a pluma, observa-se maior presença de águas de topo de termoclina ($< 26^{\circ}\text{C}$) delimitadas pela isopícnica de 24kg.m^{-3} . Águas com temperaturas abaixo de $25,5^{\circ}\text{C}$ são observadas sobre a camada de fundo, no limite externo da PCNB (Fig. 23). Entre os transectos T10 e T12, as águas de topo de termoclina alcançam cerca de 90km plataforma adentro (a partir da isóbata de 100m) e até 45m de profundidade da coluna d'água (Fig. 23). Silva et al. (2010), mostraram que neste período as águas de baixa salinidade da pluma do Amazonas, atingiram uma distância de 320km de sua foz em direção a área ao largo da PCNB.

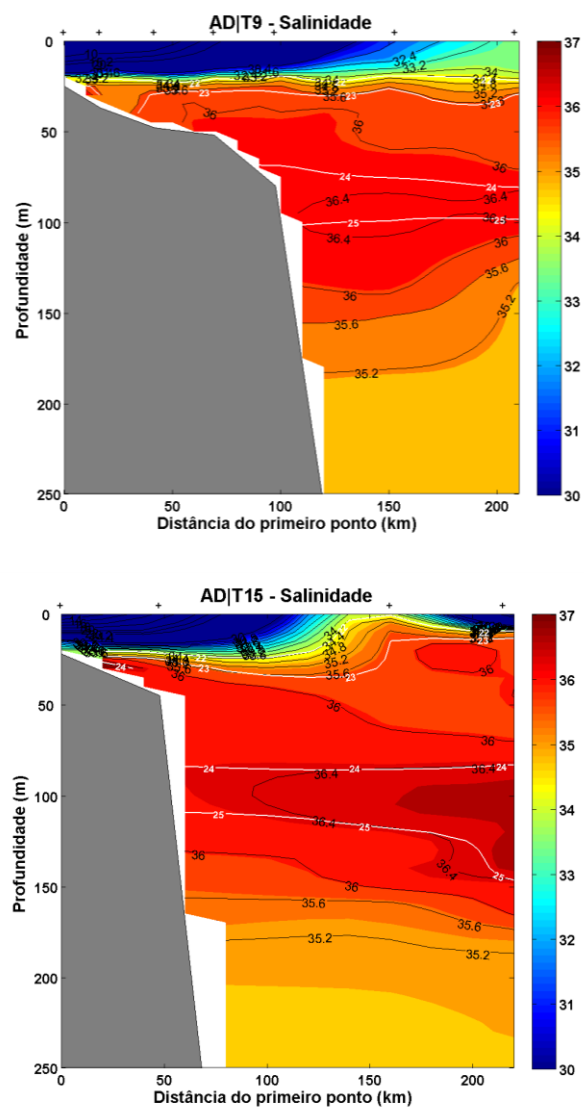


FIGURA 22 – Distribuição vertical da salinidade nos transectos T9 e T15 durante o período AD. As linhas brancas representam os contornos de densidade em kg.m^{-3} e as cruzes na parte superior representam os pontos de cada estação de amostragem.

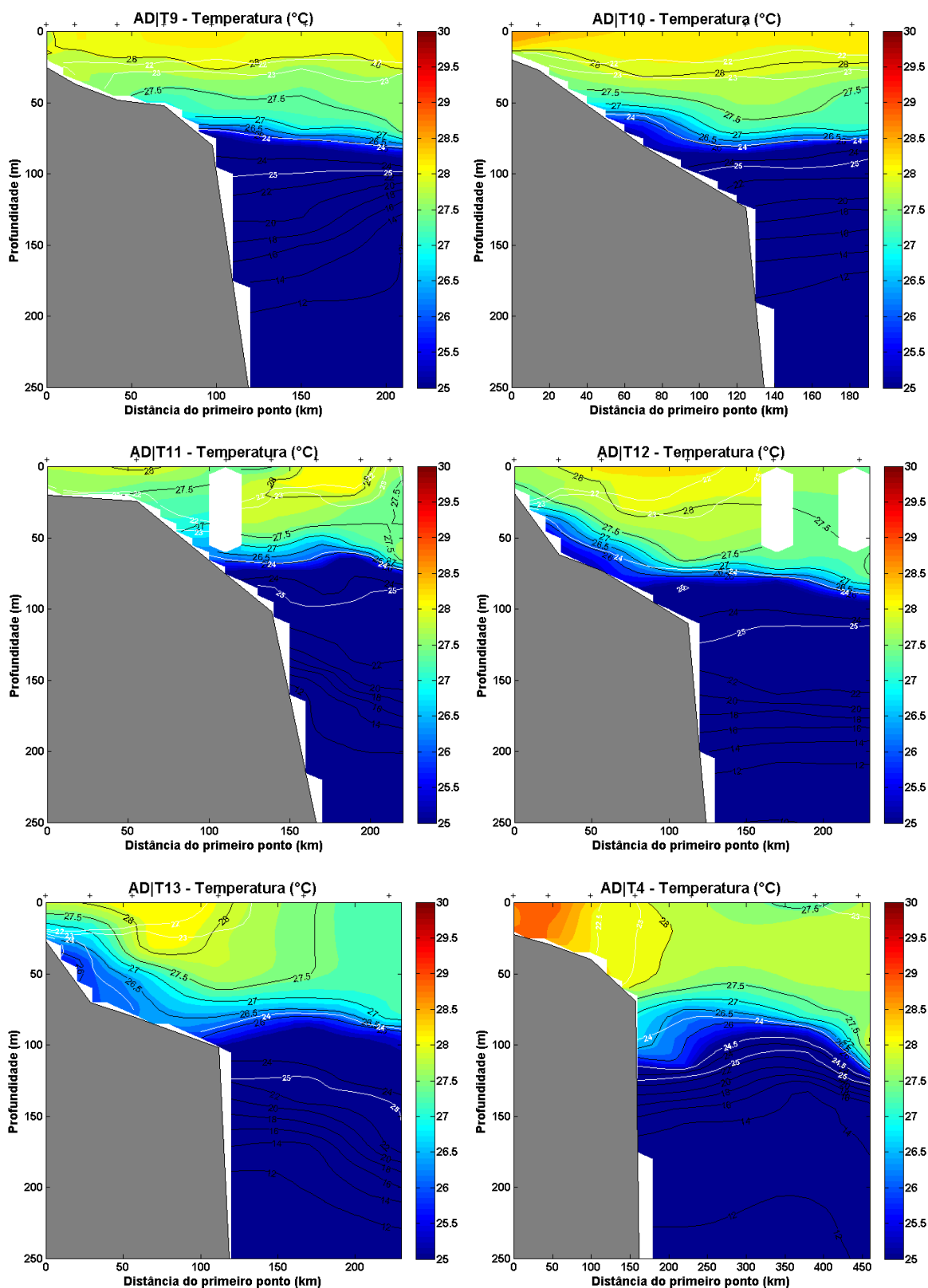
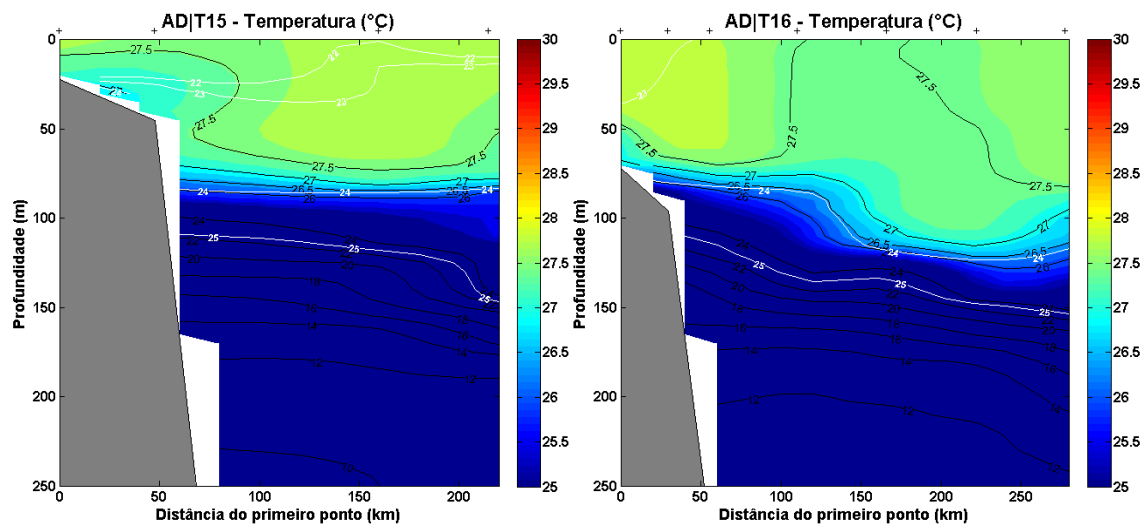


FIGURA 23 - Distribuição da temperatura nos transectos a noroeste da foz do rio Amazonas para o cenário AD. As linhas brancas representam os contornos de densidade em kg.m^{-3} e as cruzes na parte superior representam os pontos de cada estação de amostragem.



CONTINUAÇÃO FIGURA 23

Durante o período TAB, na região a sudeste da foz do rio Amazonas, os transectos analisados mostram o núcleo de máxima salinidade, coincidente com o núcleo de máxima velocidade da CNB que permanece junto à PCNB (Fig. 24) (Silva et al., 2008). Neste período, a ZCIT se encontra mais ao norte do Equador, quando águas menos aquecidas, identificadas como a parte da Língua de Água Fria do Atlântico, são observadas (Fig. 16).

Na distribuição vertical de temperatura, águas com abaixo de 27,5°C não são observadas somente na superfície, mas em toda a camada superficial acima da termoclina e em todos os transectos (Fig. 25). A isolinha de densidade de 24kg.m⁻³ se encontra mais rasa, em torno de 70m de profundidade, e com águas de topo de termoclina sobre a borda da plataforma. A disposição das isotermas mostra que águas menos aquecidas se encontram em uma faixa que ultrapassa 100km de largura com temperatura em torno de 26,7°C, que chegam à superfície principalmente nos transectos T3, T7 e T8 (Fig. 25). Estas características estão de acordo com a faixa de baixa temperatura observada por Ffield (2005) para a região. Esta mesma autora descreveu a ocorrência de vórtices da CNB, formados nesta área, caracterizados por núcleo de águas de baixa temperatura e que se deslocaram para a região de temperaturas mais elevadas a norte de 6°N (Fig. 16).

Temperaturas acima de 28°C são observadas sobre a PCNB a partir do transecto T3 com homogeneidade térmica da coluna d'água, que indica ausência da pluma proveniente da

drenagem continental na camada superficial até o transecto T6 (Fig. 24 e 25), como observado para o período AD (Fig. 20 e 21).

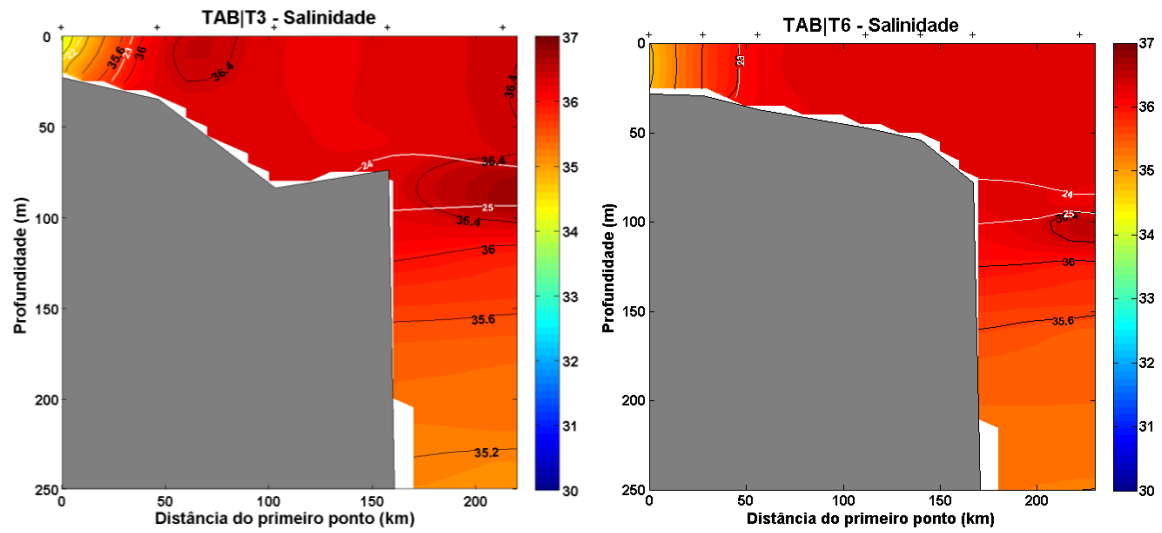


FIGURA 24 – Distribuição vertical de salinidade nos transectos T3 e T6 durante o período TAB. As linhas brancas representam os contornos de densidade em kg.m^{-3} e as cruzes na parte superior representam os pontos de cada estação de amostragem.

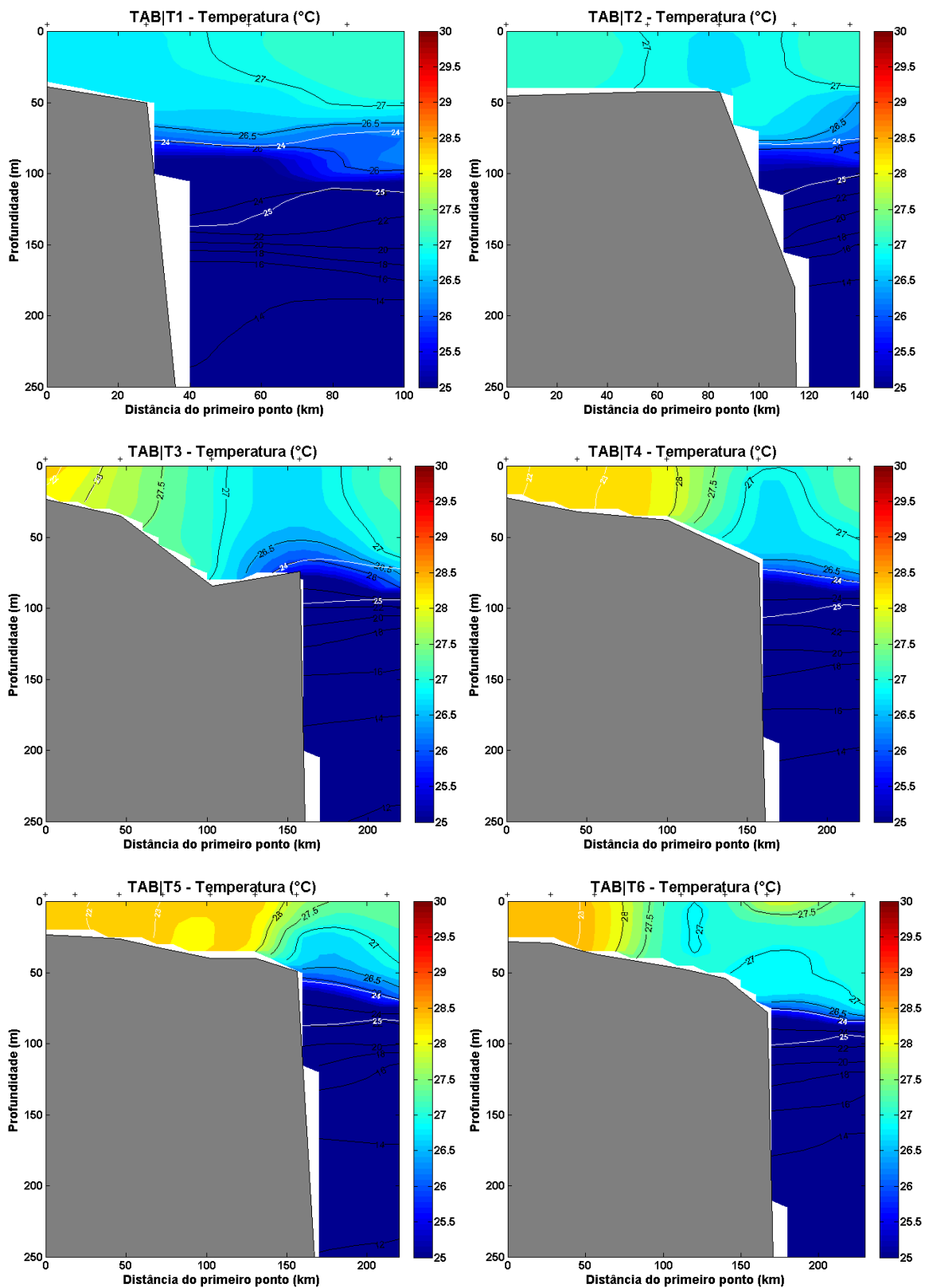
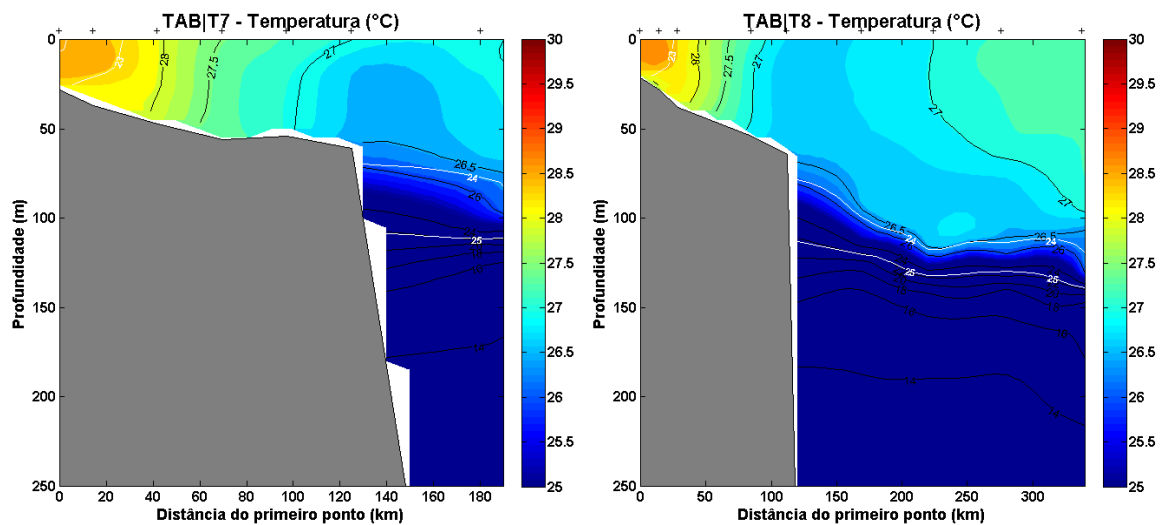


FIGURA 25 - Distribuição da temperatura nos transectos a sudeste da foz do rio Amazonas para o período TAB. As linhas brancas representam os contornos de densidade em kg.m^{-3} e as cruzes na parte superior representam os pontos de cada estação de amostragem.



CONTINUAÇÃO FIG. 25

Na a área a noroeste da foz do rio Amazonas (transectos T9 ao T11), durante o período TAB, a faixa de máxima salinidade é observada sobre a camada de topo da termoclina (Fig. 26) que coincide com a camada de maior intensidade da CNB (Fig. 10) (Stramma et al., 1995; e Jonhs et al.,1998). A pluma do rio Amazonas é observada na camada superficial sobre toda a PCNB somente a partir do transecto 14 (Fig. 26).

Nesta área, também são observadas águas menos aquecidas sobre a porção externa da PCNB e região ao largo, em toda a camada de água sobre a termoclina (Fig. 27). Águas abaixo de 26,5°C se elevam na borda da plataforma e chegam até a superfície entre os transectos T9 e T11 (Fig. 27). A partir deste transecto também se observa uma elevação da isopícnica de 24kgm⁻³, que alcança 35m de profundidade, e águas com temperaturas abaixo de 25°C passam a ocupar a camada de fundo da PCNB.

A partir do transecto T11 (Fig. 26 e 27) as isolinhas de temperatura acima de 28°C passam a apresentar certa estratificação, que gera uma camada superficial mais aquecida devido, possivelmente, à presença da pluma do rio Amazonas em superfície, sobre a PCNB. Esta camada superficial mais aquecida é bem estabelecida nos últimos transectos (T13-16; Fig. 27) no período TAB, devido à combinação da influência das águas quentes da pluma do rio Amazonas, com o aquecimento superficial ocasionado pela presença da ZCIT.

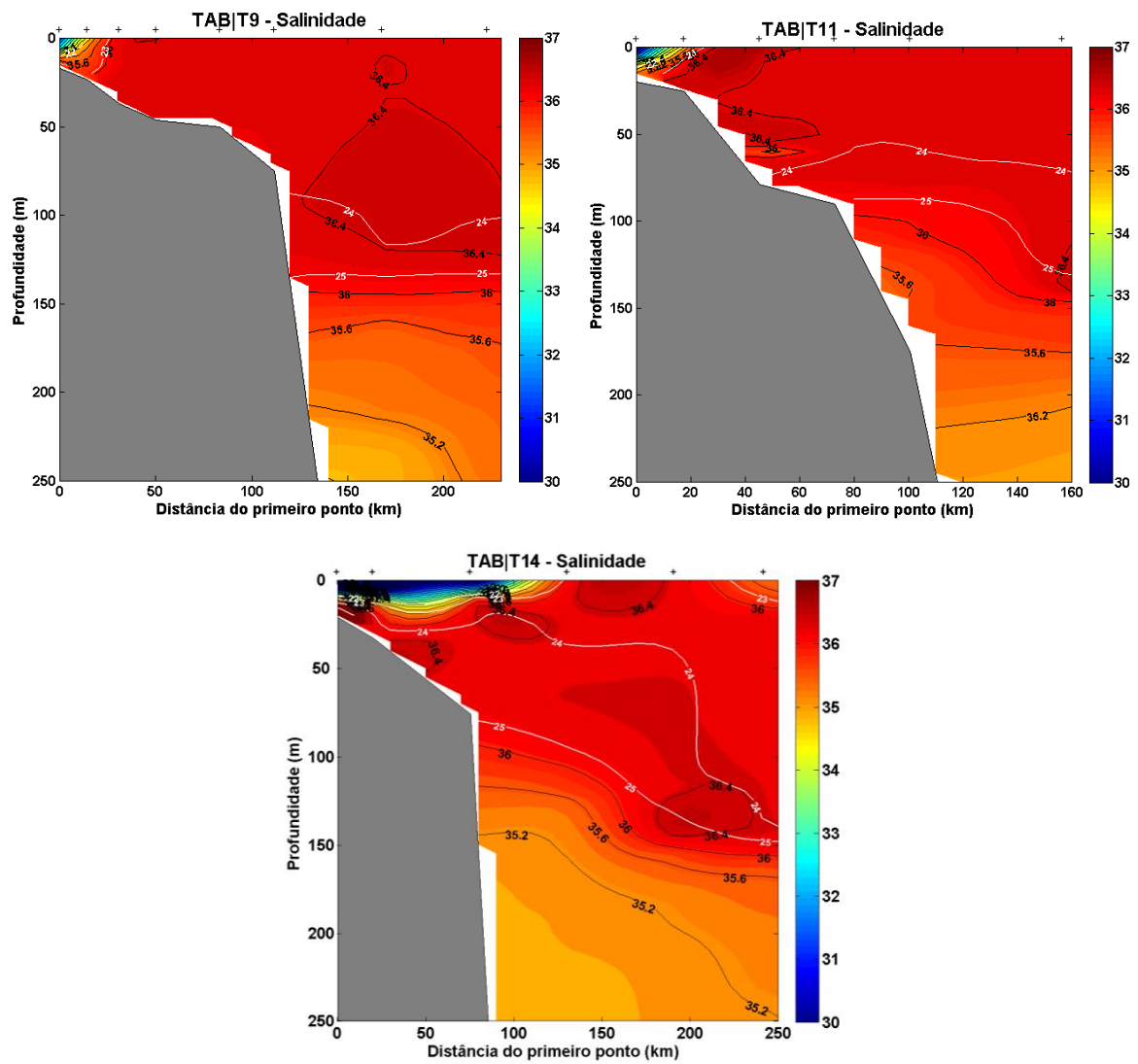


FIGURA 26 – Distribuição vertical da salinidade nos transectos T9, T11 e T14 durante o período TAB. As linhas brancas representam os contornos de densidade em kg.m^{-3} e as cruzes na parte superior representam os pontos de cada estação de amostragem.

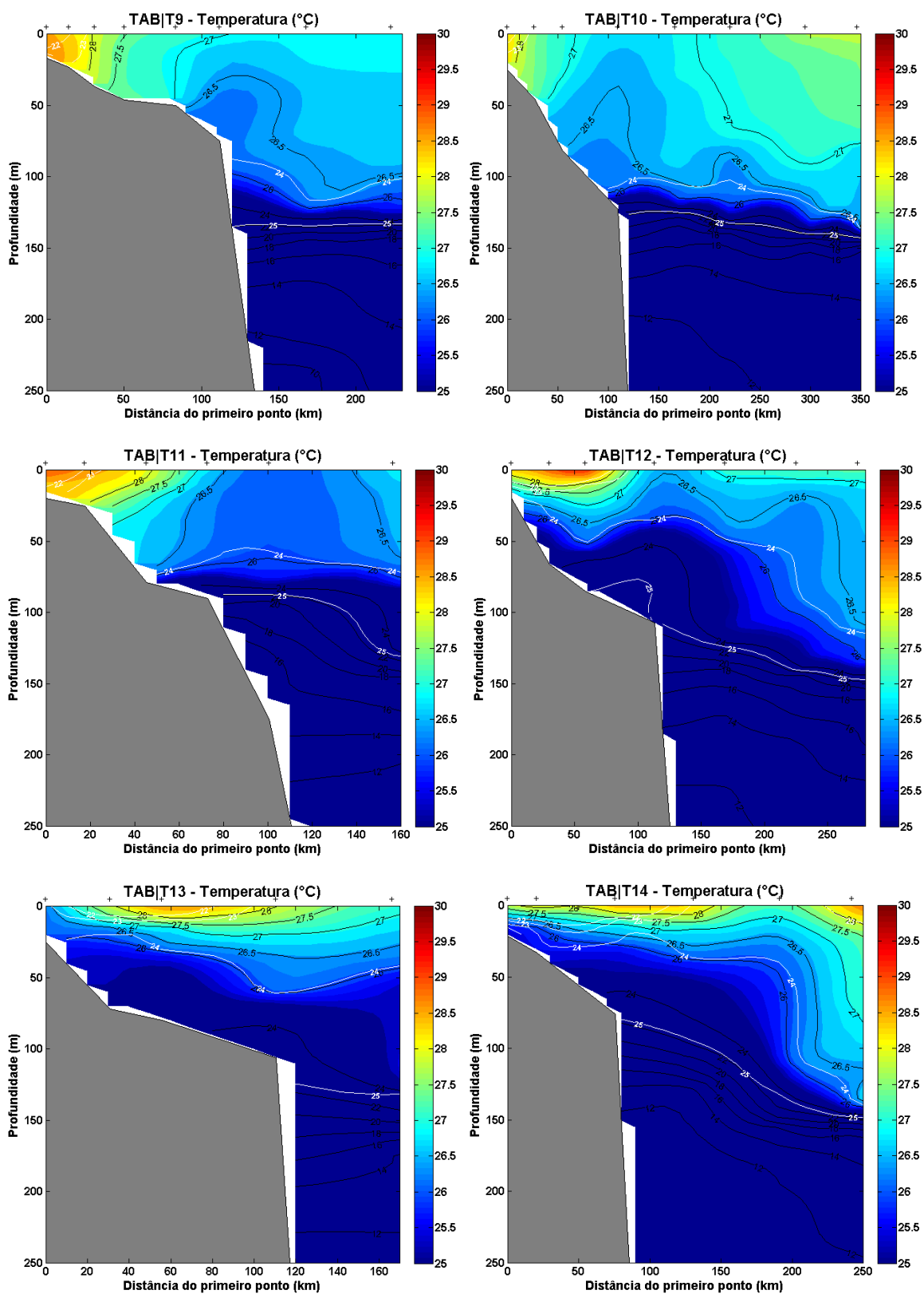
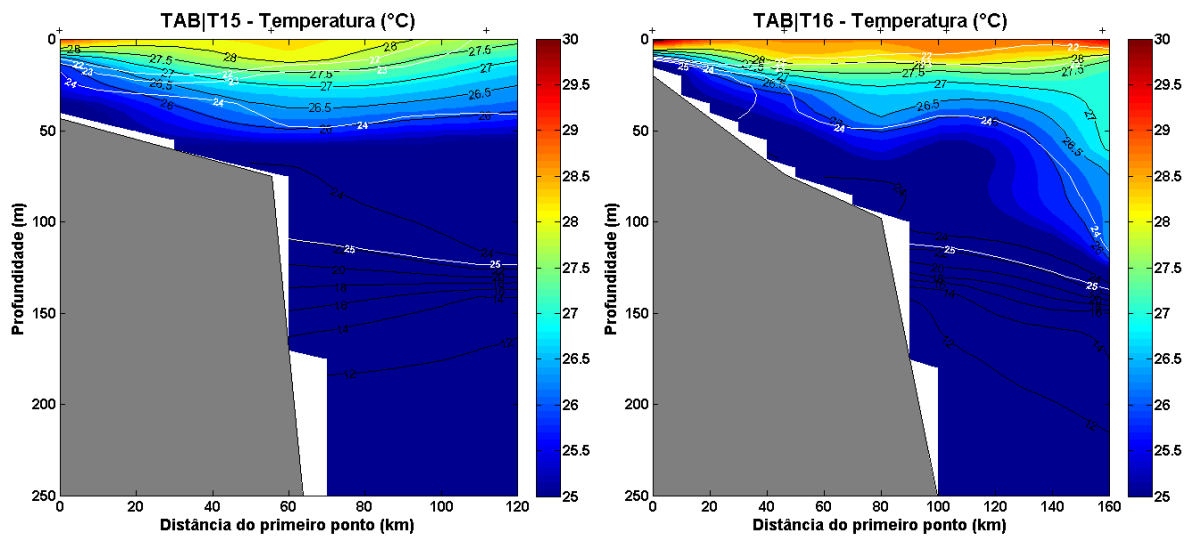


FIGURA 27 - Distribuição da temperatura nos transectos a noroeste da foz do rio Amazonas para o período TAB. As linhas brancas representam os contornos de densidade em kg.m^{-3} e as cruzes na parte superior representam os pontos de cada estação de amostragem.



CONTINUAÇÃO FIG. 27

Durante o período BD, os transectos localizados a noroeste da foz do rio Amazonas mostraram a presença de núcleo com máximos valores de salinidade próximos à borda da PCNB (transectos T5, T6 e T8; Fig. 28). Neste período também foi observada a presença da pluma de baixa salinidade no transecto T8, na porção mais interna da plataforma (200km da borda da PCNB) até 15m de profundidade (Fig. 28).

Nesta região, a coluna d'água se apresenta verticalmente homogênea (Fig. 29) com temperatura de 28°C até a plataforma continental média (profundidade de 50m). Águas com temperaturas abaixo de 27.5°C predominam em toda a coluna d'água sobre a plataforma continental externa. Porém, a elevação da isolinha de 24kg.m⁻³ não é mais observada, o que indica uma menor influência de águas de topo de termoclina (em torno de 26°C) nas águas de fundo da borda da PCNB (Fig. 29).

Os transectos T5, T6 e T8 são os que apresentam maior alteração na profundidade das isolinhas de temperatura. Nestes transectos a isoterma de 26,5°C chega até a profundidade de 45m (Fig. 28 e 29) e representam águas da região de termoclina que coincidem com as carregadas no núcleo da CNB (Bourlés et al., 1999).

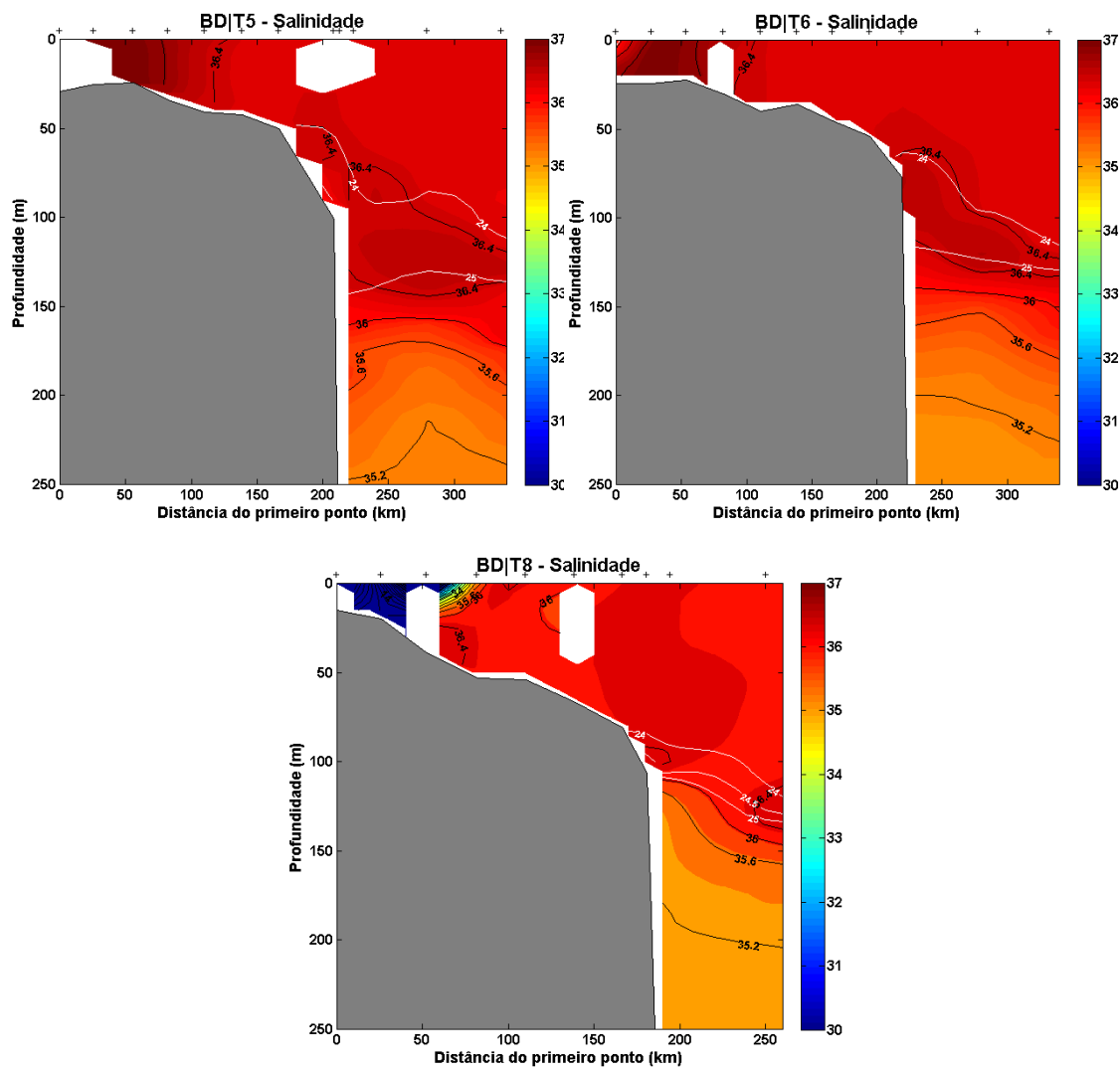


FIGURA 28 – Distribuição vertical da salinidade nos transectos T5, T6 e T8 durante o período BD. As linhas brancas representam os contornos de densidade em kg.m⁻³ e as cruzeiras na parte superior representam os pontos de cada estação de amostragem.

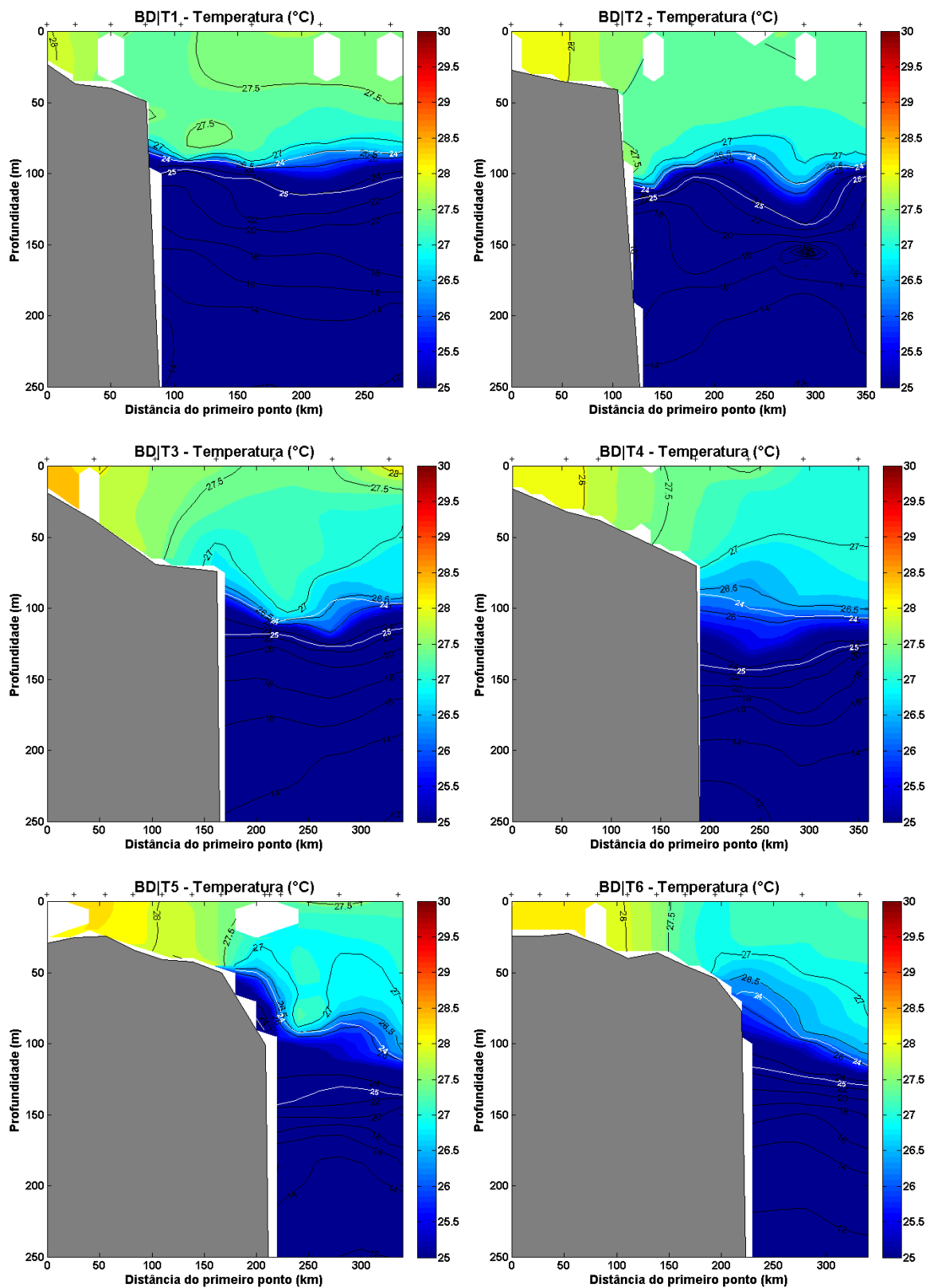
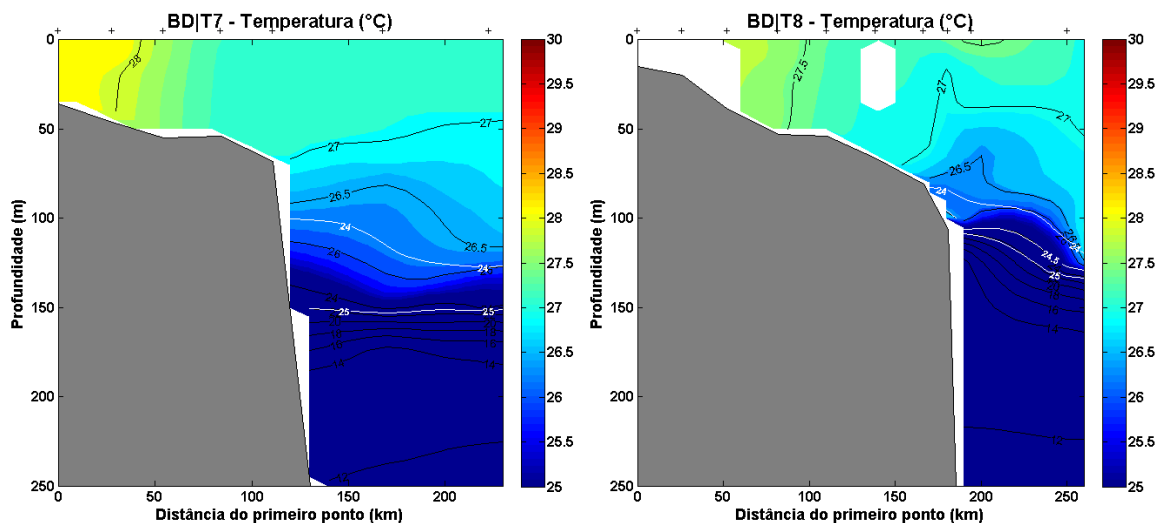


FIGURA 29 - Distribuição da temperatura nos transectos a sudeste da foz do rio Amazonas para o período BD. As linhas brancas representam os contornos de densidade em kg.m^{-3} e as cruzes na parte superior representam os pontos de cada estação de amostragem.



CONTINUAÇÃO FIG. 29

Durante o período BD, nos transectos a noroeste da foz do rio Amazonas, foi observada a presença da pluma do rio Amazonas até o limite externo da plataforma a partir do transecto T13. Sob a pluma águas bastante salinas são observadas, assim como o núcleo de alta salinidade na camada entre 100 e 150m de profundidade, mais afastada da borda da PCNB nos transecto 14 e T15 (Fig. 30).

A camada de água com temperaturas abaixo de 27,5°C, da superfície até o topo da termoclina, mantém-se sobre a borda da PCNB e ao largo. Do transecto T9 ao T11 a coluna d'água se apresenta estratificada termicamente com temperatura acima de 28°C até próximo de 20m de profundidade, demarcada pela isopícnica de 23kg.m^{-3} , na porção interna da PCNB (Fig. 30 e 31).

A partir do transecto T13, observa-se uma camada de temperaturas mais elevadas na superfície que não evidenciam somente a pluma de baixa salinidade, estando possivelmente relacionadas à posição mais ao norte da ZCIT.

Nesta mesma região (Transecto 13-15; Fig. 31) águas de topo de termoclina ocupam toda a camada de fundo da PCNB, com valores de temperatura abaixo de 25,5°C. Esta camada de fundo é composta por águas da termoclina que alcançam até 90km adentro da PCNB (a partir da borda da plataforma) que chegam até a profundidade de 20m (Fig. 30 e 31).

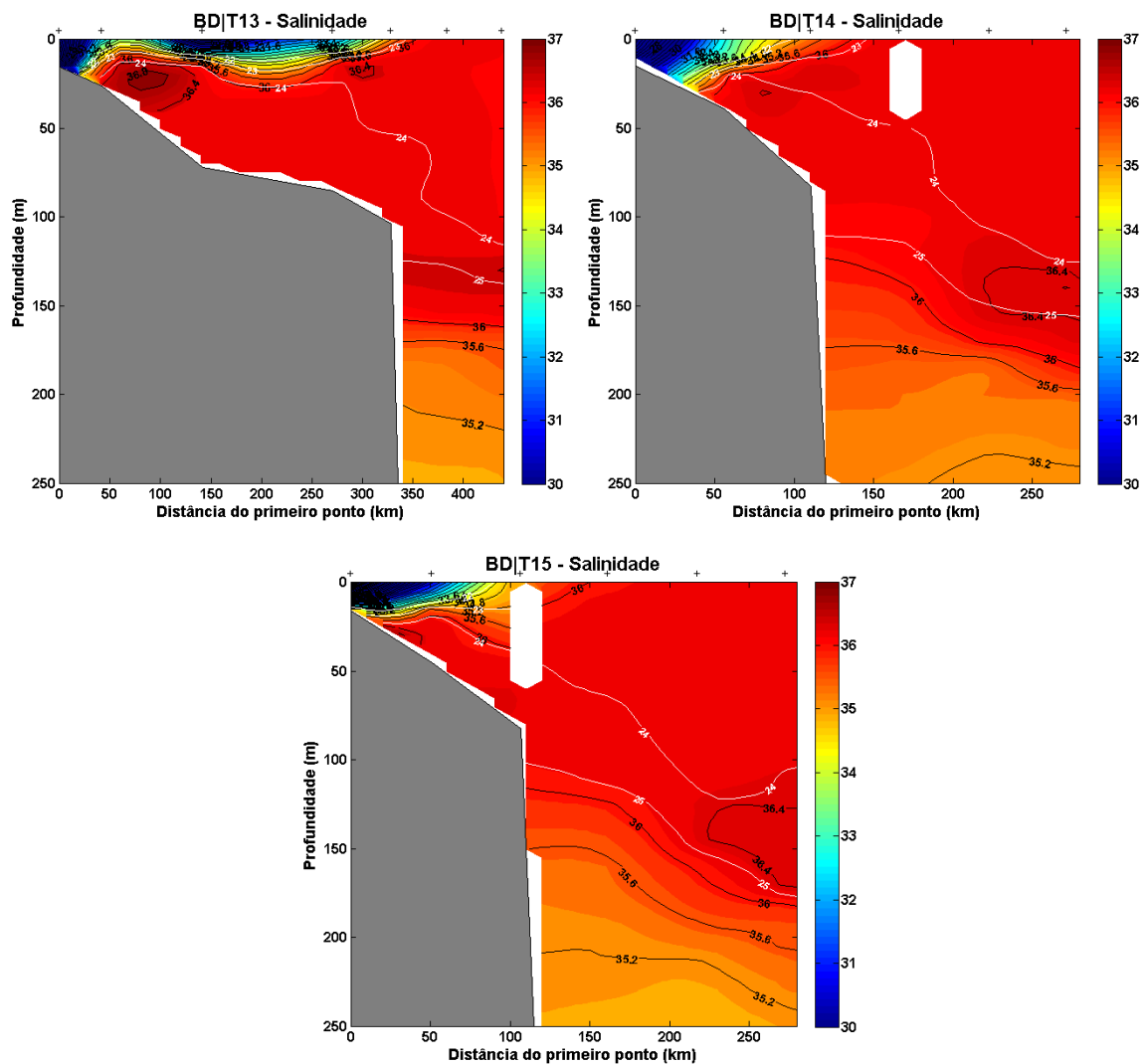


FIGURA 30 – Distribuição vertical da salinidade nos transectos T13, T14 e T15 durante o período BD. As linhas brancas representam os contornos de densidade em kg.m^{-3} e as cruzes na parte superior representam os pontos de cada estação de amostragem.

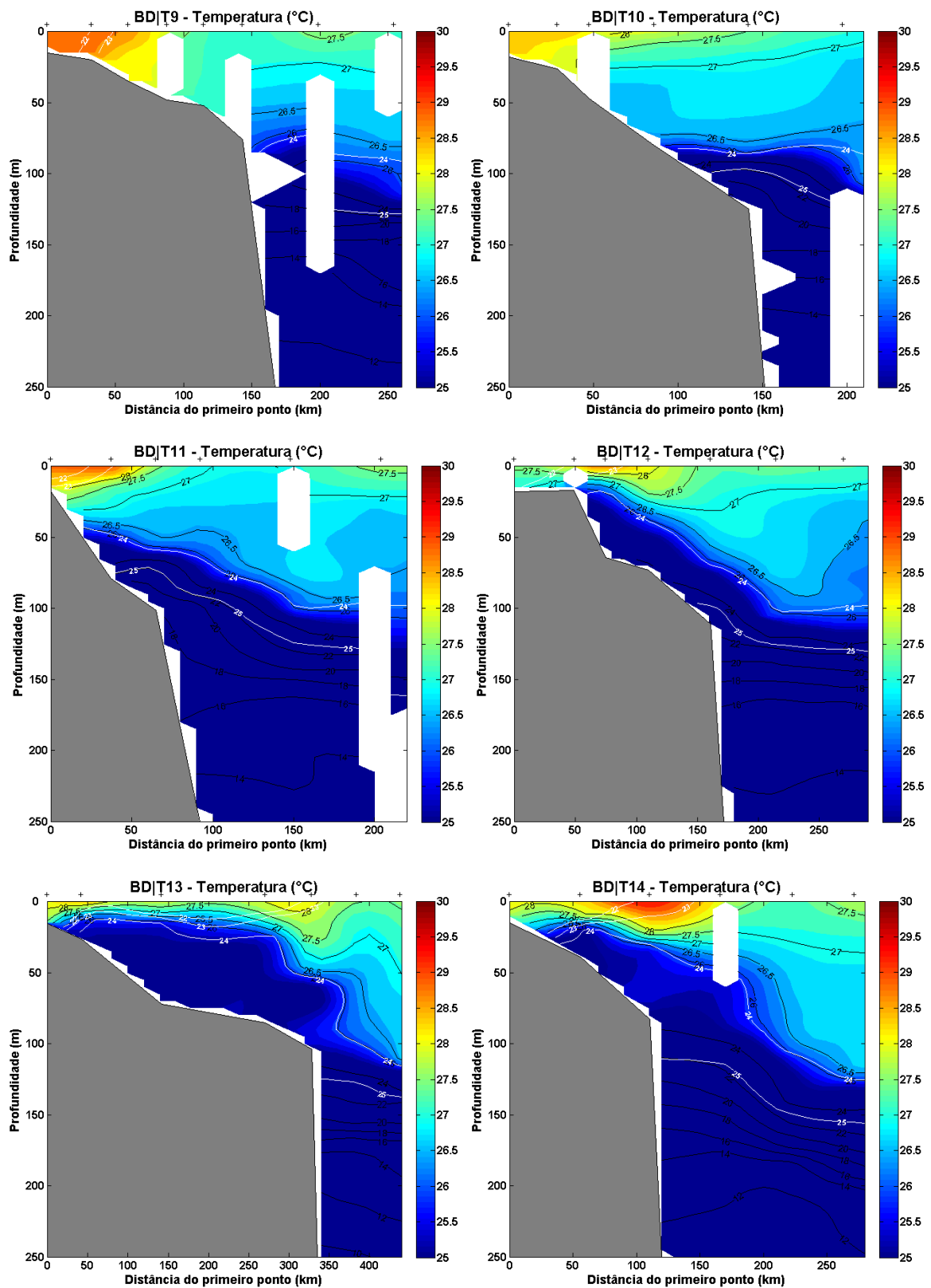
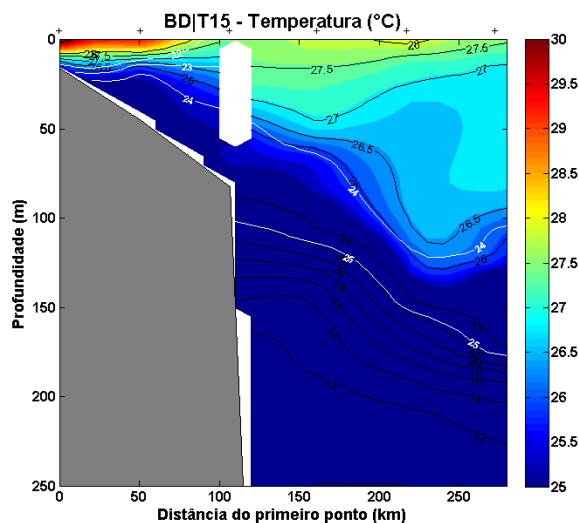


FIGURA 31 - Distribuição da temperatura nos transectos a noroeste da foz d'ório Amazonas no período BD. As linhas brancas representam os contornos de densidade em kg.m^{-3} e as cruzes na parte superior representam os pontos de cada estação de amostragem.



CONTINUAÇÃO FIG. 31

Em superfície, as análises de temperatura nos transectos avaliados estiveram de acordo com a distribuição de TSM e posicionamento da ZCIT observado nos dados *in situ* e de satélite para os respectivos períodos (AD, TAB e BD). A análise dos transectos de temperatura nos diferentes períodos permite afirmar que águas de topo de termoclina sempre estão presentes na borda da plataforma, principalmente nos transectos localizados na região a noroeste da foz do rio Amazonas. Estas águas ocupam a camada de fundo da PCNB com características de cunha salina abaixo da pluma do rio Amazonas ($S < 34$).

O fluxo constante e estável da CNB na borda da PCNB favorece um fluxo longitudinal sobre a plataforma abaixo da pluma do rio Amazonas. Este fluxo é influenciado pela estratificação (gradiente de pressão barotrópico) devido à pluma e pelo transporte de Ekman na camada abaixo da pluma, que resulta em um transporte plataforma adentro na camada de fundo (Geyer et al., 1996). Como consequência deste mecanismo, ocorre o movimento ascendente de águas de topo de termoclina na porção externa da plataforma que, segundo Geyer et al. (1996), é dependente da estratificação, mas não do tempo. Isto justifica a característica de “ressurgência” que pôde ser observada na borda da PCNB em todos os períodos analisados neste estudo.

Capítulo 6

Água de fundo da PCNB

6.1 Análise da Mudança de Temperatura Acumulada

O fluxo da CNB sobre a camada de fundo na borda da PCNB pode induzir o deslocamento de águas de topo de termoclina presentes sobre a PCNB, para a superfície e a formação de “frentes de densidade” sobre a coluna d’água da plataforma (Geyer et al., 1996; Pickart, 2000). Evidências desse deslocamento ascendente de água de fundo da PCNB puderam ser adquiridas ao longo de determinados níveis de densidade por meio da análise da Mudança de Temperatura Acumulada (MTA). Esse mecanismo foi observado em alguns transectos dentre os períodos abordados neste estudo, relacionados com a pluma do rio Amazonas.

Nos períodos TAB e BD a pluma do rio Amazonas é praticamente ausente do transectos T1 ao T9. Nestes transectos, observa-se uma distribuição ascendente de isolinhas de MTA, próximo à faixa de densidade de $23,7\text{kg.m}^{-3}$, que alcançam camadas mais superficiais sobre a borda da PCNB. Este nível de densidade coincide com a isoterma de 27°C , que esteve presente entre as águas menos aquecidas observadas na borda da PCNB (Fig. 25, 27, 29 e 31), associadas ao fluxo da CNB, e as águas quentes sobre a plataforma continental média e interna.

A noroeste do transecto 9 (Fig. 27 e 31) a presença da pluma do rio Amazonas gera uma estratificação térmica sobre a plataforma. Isto favorece a distribuição mais horizontal das isopícnais logo abaixo da camada superficial mais aquecida, relacionada à pluma do rio Amazonas.

No transecto T14 do período TAB (Fig. 27) e no transecto T11 do período BD (Fig. 31), a pluma rio do Amazonas se apresenta estabelecida na camada superficial, delimitada pela isolinha de densidade de 22kg.m^{-3} . Neste transectos, a faixa de baixo valor de MTA (<0.4) se encontra distribuída horizontalmente em direção ao oceano aberto e ao longo da isolinha de $24,2\text{kg.m}^{-3}$ e $23,7\text{kg.m}^{-3}$, respectivamente (Fig. 32). Estas características sugerem o desprendimento de água de fundo próximo à frente térmica formada pela pluma do Amazonas sobre o fundo da PCNB, localizado a 50km plataforma adentro (a partir da isóbata de 100m) e a 45m de profundidade (Fig. 32).

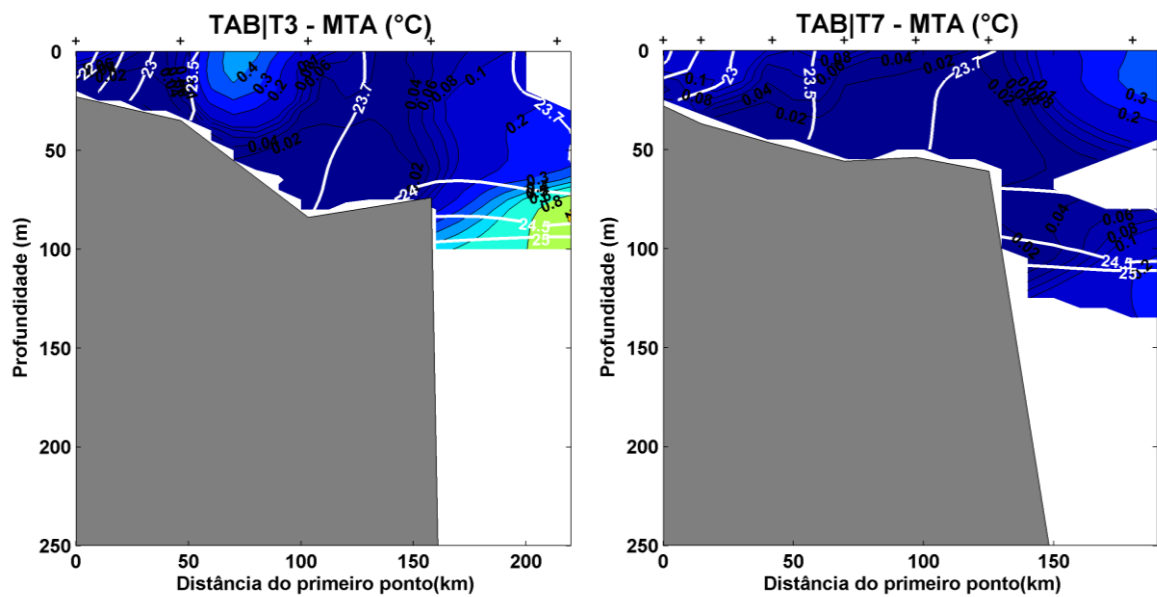
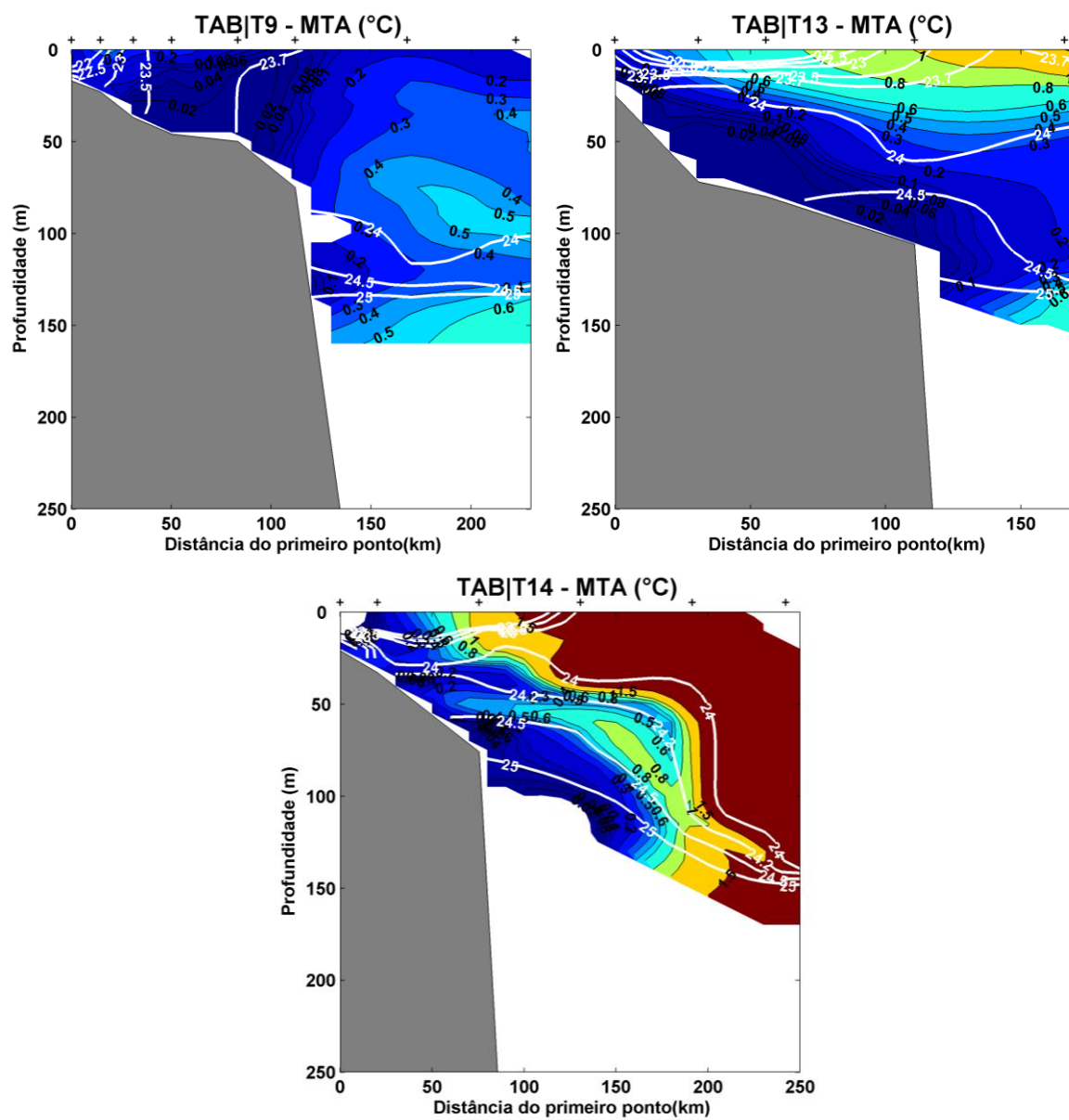


FIGURA 32 – Distribuição de MTA (°C) ao longo dos transectos T3, T7, T9, T13 e T14, durante o período TAB.



CONTINUAÇÃO FIG. 32.

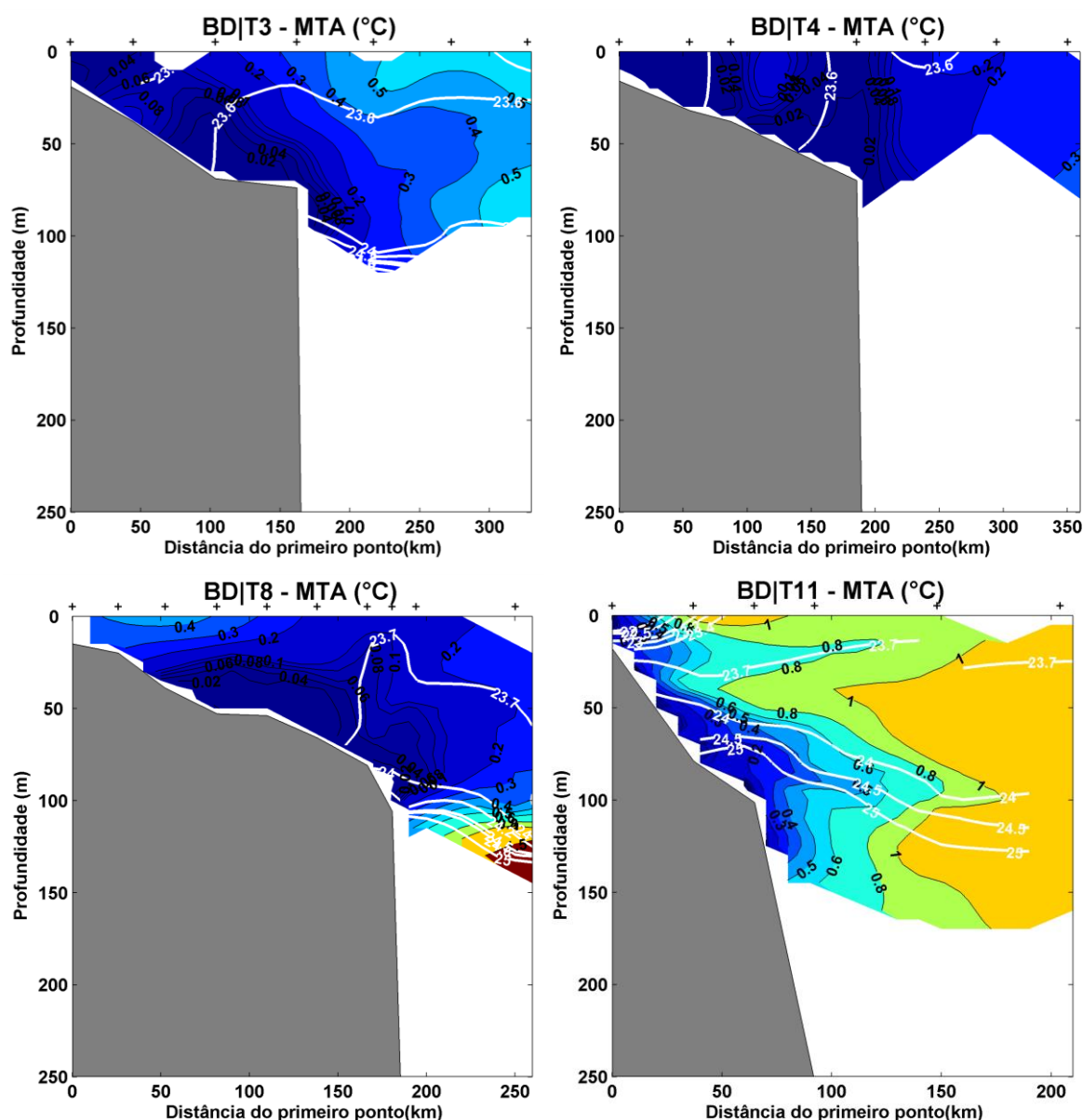


Figura 33 - Distribuição de MTA (°C) ao longo dos transectos T3, T4, T8 e T11, durante o período BD.

No período AD a camada superficial da PCNB está sob forte influência da pluma do Amazonas a partir do transecto T6 (Fig. 21). Nos transectos T3 e T5 não ocorrem a pluma, durante esse período. Nestes transectos, os valores de MTA abaixo de $0,1^{\circ}\text{C}$ foram observados na borda da PCNB em uma faixa que vai do fundo à superfície ao longo da isopícnica de 23 e $22,5\text{kg.m}^{-3}$, respectivamente (Fig. 33).

Nos transectos T7 e T12 do período AD, a distribuição de MTA mostra uma faixa de valores abaixo de $0,4^{\circ}\text{C}$ em direção ao oceano aberto e ao longo da densidade de $23,5\text{kg.m}^{-3}$

na borda da PCNB, similar ao observado no transecto T14, no período TAB, e T11, no período BD.

Nos períodos analisados, as características de MTA apresentam semelhanças diretamente relacionadas à presença ou ausência da pluma do rio Amazonas sobre a plataforma. Estas semelhanças estão associadas ao fluxo da CNB junto à PCNB, mostrando-se independentes das variações na intensidade do mesmo entre estes períodos (Fig. 11-13).

A presença da pluma do rio Amazonas causa o estabelecimento de uma camada mais aquecida e com um forte gradiente de salinidade, conhecida como Camada de Barreira que dificulta o entranhamento e/ou trocas entre águas de fundo com as da superfície (Piller et al. 1999; Silva et al., 2005).

A Camada de Barreira gera ainda o deslocamento mais horizontal da faixa de MTA abaixo de 0,4°C, limitado aos 30m de profundidade nos transectos em que ocorre a presença da pluma do rio Amazonas. Nestes casos, a fraca MTA observada não sugere uma camada de mistura vertical evidente que se estende para a camada da pluma. A formação da Camada de Barreira na região noroeste do Atlântico Equatorial tem relação direta com a precipitação na área de atuação da ZCIT e com o aporte de água doce da drenagem continental na camada superficial do oceano (Piller et al, 1999; Breugem, et al., 2008. Silva et al. (2005) demonstram que no período AD a camada de barreira chega aos 50m de espessura devido a forte picnoclina gerada pela presença da pluma do Amazonas. Já no período TAB a formação da camada de barreira praticamente não ocorre ao longo da PCNB devido a menor influência da pluma.

A pluma do rio Amazonas também está diretamente associada ao aporte de nutrientes que gera grande atividade biológica na região a noroeste da foz do rio Amazonas (Hu et al., 2004; Geyer et al., 1996). Por outro lado, a ausência da pluma e o deslocamento ascendente da água da camada de fundo da PCNB observado nos resultados podem permitir a ressuspensão de nutrientes das camadas de fundo para as camadas mais superficiais, contribuindo para a manutenção da atividade biológica sobre a PCNB e área adjacente.

Os resultados também mostram faixas de valores diferentes entre as regiões a noroeste (<0,4°C) e sudeste (<0,1°C) da foz do rio Amazonas, indicando o maior grau de mistura que

ocorre entre as águas de fundo e de superfície ao longo da plataforma, comprovando que este processo ocorre ligado a direção do fluxo da corrente junto à PCNB.

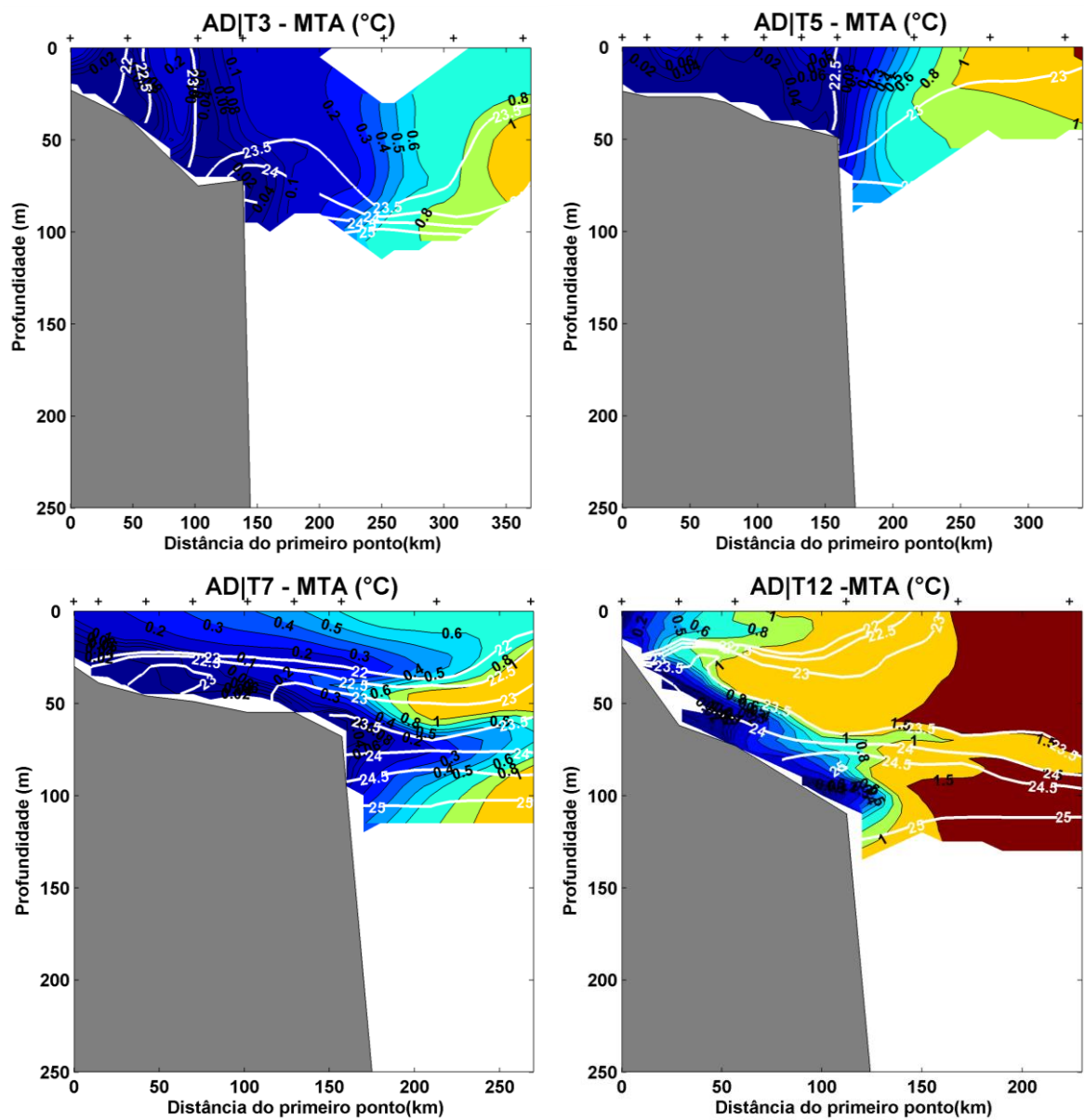


FIGURA 34 - Distribuição de MTA ao longo dos transectos T3, T5, T7 e T12, durante o período AD.

Capítulo 7

Conclusões

A CNB apresenta variações consideráveis de intensidade entre os períodos estudados, sendo menos intensa durante o período AD e mais intensa e estável na área a noroeste da foz do rio Amazonas, durante os períodos TAB e BD. Ao longo da borda da PCNB (região sobre isóbata de 100m), variações de intensidade da CNB podem estar relacionadas a contribuições desta corrente para o fluxo da SCE e SCNE.

No período TAB e BD a CNB apresentou velocidades superiores a $1,2\text{m.s}^{-1}$ que estiveram associadas à presença de uma faixa de baixos valores de TSM (menores que $27,5^{\circ}\text{C}$) na superfície do mar. Os resultados de modelo também mostraram maior intensidade da CNB coerentes com a presença de uma faixa de baixas temperaturas junto à PCNB para os mesmos períodos. Porém os valores de temperatura do modelo são subestimados e mostraram diferenças de até $2,5^{\circ}\text{C}$ abaixo do observado por satélite e medidas *in situ* (CTD) na região adjacente à foz do rio Amazonas.

A análise da distribuição vertical da temperatura possibilita afirmar que águas de temperaturas relativamente menores chegam à região por meio da CNB na camada sobre a termoclina, onde ocupam uma faixa que excede 100km de largura a partir da isóbata de 100m, estendendo-se em direção ao oceano aberto, adjacente à borda da plataforma.

O fluxo da CNB junto à borda da PCNB favorece a presença de águas de topo de termoclina ($S > 36$ e $T < 26^{\circ}\text{C}$) sobre a camada de fundo da plataforma. De acordo com a distribuição de MTA, estas águas de fundo tendem a se deslocar para camadas mais superficiais ao longo e/ou próximo a isopícnal de $23,7\text{kg.m}^{-3}$ nos períodos analisados. Entretanto a presença da pluma do Amazonas na camada superficial dificulta a mistura desta

água de fundo com as da superfície. Isto promove o deslocamento destas águas sob a pluma (abaixo de 30m) e para o oceano aberto.

A análise de MTA mostra que o deslocamento de água de fundo para camadas superficiais apresenta ligação com o fluxo da CNB ao longo da borda da PCNB. Porém parece não ter relação com as variações sazonais e espaciais da corrente, principalmente nos transectos a noroeste da foz do rio Amazonas, que estão mais relacionados com a presença da pluma do rio Amazonas.

Os resultados de dados obtidos *in situ*, por satélite e de modelo revelam que a dinâmica da CNB ao longo da borda da plataforma tem relação direta com as alterações observadas na temperatura da coluna d'água sobre e ao largo da PCNB. No entanto, a região da borda da plataforma ainda carece de estudos que avaliem o fluxo da CNB junto à quebra da PCNB e talude, que pode interferir na composição e transporte das águas da região equatorial para áreas do oceano adjacente.

As características geomorfológicas da PCNB também podem ter influencia sobre o fluxo de correntes e, conseqüentemente, sobre processos de mistura, trocas de propriedades e de produção primária na coluna d'água, ao longo da borda da plataforma.

Sugere-se que em estudos futuros possam ser abordados, além de características físicas como transporte de calor pela corrente, a análise de suspensão de sedimentos e composição de nutrientes nas águas de fundo da plataforma e talude. Estas informações poderiam ser levantadas por meio de fundeios e/ou distribuição espacial de estações de coleta nos transectos, que contemplem melhor a região da borda da PCNB e adjacências.

A partir dos dados de corrente *in situ* analisados neste estudo, não foi possível observar com clareza características da corrente como retroflexão da CNB que alimentam o fluxo da SCE e SCNE a 44°W e 47°W, respectivamente. Estas características poderiam ser melhores entendidas a partir de transectos com maior alcance *offshore* e de acordo com a variação temporal da corrente. Assim, contribuiriam para o melhor entendimento e descrição de características importantes do fluxo do sistema CNB/SNB ainda pouco exploradas.

As sugestões acima permitiriam uma complementação e avaliação mais acurada sobre as informações levantadas neste estudo e, portanto, o enriquecimento no conhecimento da circulação e processos físicos e dinâmicos na borda Oeste do Atlântico Equatorial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barnier, B.; Reynaud, T.; Beckmann, A.; Böning, C.; Molines, J.; Bernard, S.; Jia, Y.; 2001. On the Sazonal Variability and Eddies in North Brazil Current: Insights from Model Intercomparison experiments. *Progress in Oceanography* 44: 195-230.
- Bourles, B.; Molinari, R. L.; Jonhs, E.; Wilson, W. D.; Leaman; K.D.; 1999. Upper layer currents in the western tropical atlantic (1989-1991). *Journal of Geophysical Research* 104: 1361-1375.
- Breugem, W. P.; Chang, P.; Jang, C. J.; Mignot, J.; Hzeleger, W.; 2008. Barrier layers and tropical Atlantic SST biases in coupled GCMs. *Tellus* 60A: 885-887.
- Coelho, M. S.; Gan, M. A.; Conforte, J. C.; 2004. Estudo da Variabilidade e Posição da Nebulosidade Associada à ZCIT do Atlântico, Durante a Estação Chuvosa de 1998 e 1999 no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia* 19: 23-34.
- Diégues, F.M.F; 1972. Introdução a oceanografia do Estuário Amazônico. *Anais Hidrográficos*. Tomo XXIX 129-157.
- Ffield, A.; 2005. North Brazil Current Rings View by TRMM Microwave Image SST and the Influence of Amazon Plume. *Deep-sea Research I* 52: 137-160.
- Fontes, R. F. C.; Castro, B. M.; Beardsley, R. C.; 2008. Numerical study of circulation the inner Amazon Shelf. *Ocean Dynamics* 58: 187-198.
- Fratantoni, D. M.; Glickson, D. A.; 2002. North Brazil Current Rings Generation and Evolution Observed by SeaWifs. *Journal of Physical Oceanography* 32: 1058-1074.
- Fratantoni, D. M; Richardson, P. L.; 2006. The Evolution and Demise of North Brazil Current Rings. *Journal Of Physical Oceanography* 36: 1241-1264.
- Fedorova, N.; Carvalho, M. H.; 2006. Processos Sinóticos em anos de El Niño e La Niña: Nebulosidade Convectiva nas Regiões Equatoriais e Tropicais da América do Sul e Oceanos Adjacentes. *Revista Brasileira de Meteorologia* 21: 1-14.
- Gawarkiewicz, G. G.; Chapman, D. C.; 1992. The role of stratification in the formation and maintenance of shelf-break fronts. *Journal of Physical Oceanography* 22: 753-772.
- Geyer, W. R.; Beardsley, R. C.; Lentz, E. J.; Candela, J.; Limeburner, R; Jonhs, W. E.; Castro, B. M.; Soares, I. D.; 1996. Physical Oceanography of the Amazon Shelf. *Continental Shelf Research* 16: 575-616.
- Grodsky, S. A.; Carton, J. A.; 2003. The Intertropical Convergence Zone in the South Atlantic and the Equatorial Cold Tongue. *Journal of Climate* 16: 723-733.
- Hu, C.; Montgomery, E. T.; Schmitt, R. W.; Muller-Karger, F. E.; 2004. The dispersal of the Amazon and Orinoco River waters in the Tropical Atlantic and Caribbean Sea: Observations from Space and S-Palace Floats. *Deep-sea Research II* 51: 1151-1171.

- Illig, S.; Dewitte, B.; Ayoub, N.; du Penhoat, Y.; Reverdin, G.; De Mey, P.; Bonjean, F.; Lagerlef, G. S. E.; 2004. Interannual Equatorial Waves in the Tropical Atlantic from High Resolution OGCM Experiment in 1981-2000. *Journal of Geophysical Research* 109 C02022.
- Johns, W. E.; Lee, T. N.; Beardsley, R. C.; Candela, J.; Limeburner, R. & Castro, B.M., 1998. Annual cycle and variability of the North Brazil Current. *Journal of Physical Oceanography* 28: 103-128.
- Johns, W. E.; Zanttop, R.; Goni, G. J.; 2003. Cross-gyre transport by North Brazil Current rings. *Elsevier Oceanography Series* 68: 411-441.
- Kreling, A. P. M. Estrutura vertical dos vórtices da Corrente Norte do Brasil. 2010. 74f. Dissertação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2010.
- Lakshcorst, M.; Fratantoni, D.; Ollitaut, M.; Richardson, P.; Send, U.; 2009 The Mid-Depth Circulation of the Northwestern Tropical Atlantic Observed by Floats. *Nature* 333: 56-69
- Le Bars, Y.; Lyard, F.; Jeandel, C.; Dardengo, L.; 2010. The AMANDES tidal model for the Amazon estuary and shelf. *Ocean Modeling* 31: 132-149.
- Lentz, S.J.; 1995. Seasonal variations in the Amazon plume structure inferred from historical hydrographic data. *Journal of Geophysical Research* 100(C2): 2391-2400.
- Lentz, S. J.; Limeburner R.; 1995. The Amazon River plume during Amazon: spatial characteristics and salinity variables. *Journal of Geophysical Research* 100(C2): 2355-2375.
- Linder, C. A.; Gawarkiewicz, G. G.; Pickart, R. S.; 2004. Seasonal characteristics of bottom boundary layer detachment at the shelfbreak front in the Middle Atlantic Bight. *Journal of Geophysical Research* 109 C03049.
- Lupikin, R.; Garzoli, S. L.; 2005. Near-Surface circulation in the Tropical Atlantic Ocean. *Deep-sea research I* 52: 495-518.
- Marin, F. O.; 2009. Subcorrente Norte do Brasil ao largo da costa do nordeste. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- Marin, F.; Ganiaux, G.; Bourlès, B.; Giordani, H.; Gouriou, Y.; Key, E.; 2009. Why were Sea Surface Temperature so different Eastern Equatorial Atlantic in June 2005 and 2006? *Journal of Physical Oceanography* 39: 1416-1431.
- Molinari, R. L.; 1982. Observations of eastward currents in the tropical South Atlantic Ocean: 1978-1980. *Journal of Geophysical Research* 87: 9707-9714.
- Moraes, S. O. C.; 2011. Caracterização da Corrente Norte do Brasil na Região da Retroflexão. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio De Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- Nikiema, O.; Devenona, J. L.; Baklouti, M.; 2007. Numerical modeling of the Amazon River plume. *Continental Shelf Research* 27: 873-899.

Pickart, R. S.; 2000. Bottom Boundary Layer and Detachment in the Shelfbreak jet of the Muddle Atlantic Bight. *Journal of Physical Oceanography* 30: 2668-2686.

Piller K.; 1999. The barrier layer in the Western Tropical Atlantic Ocean. *Geophysical Research Letters* 26: 2069-2072.

Schott, F. A.; Fisher, J.; Stramma, L.; 1998. Transport and Pathways of the Upper-layer Circulation in the Western Tropical Atlantic. *Journal of Physical Oceanography* 28: 1904-1928.

Schott, F. A.; Brandt, P.; Hamman, M.; Fisher, J.; Stramma, L.; 2002. On the boundary flow off Brazil at 5-10°S and its conection to the interior tropical Atlantic. *Geophysical research Letters* 29: 1-4.

Schott, F.; Dengler, M.; Zantopp, R.; Stramma, L.; Fisher, J.; Brandt, P.; 2005. The shallow and deep Western Boundary cisculation of the south Atlantic at 5°-11°S. *Journal of Physical Oceanography* 35: 2031-2053.

Silva, A.; Araujo, M.; Medeiros, C.; Silva, M.; Bourles, B.; 2005. Sasonal Changes in the Mixed and Barrier Layers in the Western Equatorial Atlantic. *Brazilian Journal of Oceanography* 53: 3-4.

Silva, A. C.; 2006. Analysis of water properties in the western tropical Atlantic as inferred from shipboard measurements and numerical model results. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Centro Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2006.

Silva, A. C.; Araujo, M.; Pinheiro, L. S.; 2007. Caracterização hidrográfica da plataforma continental do maranhão a partir de dados oceanográficos medidos, remotos e modelados. *Revista Brasileira de Geofísica* (Impresso) 25: 281-294.

Silva, A. C. ; Santos, Souza, M. L.; Araujo, M. C. ; Bourlès, B.; 2009. Observações hidrológicas e resultados de modelagem no espalhamento sazonal e espacial da pluma de água Amazônica. *Acta Amazonica* (Impresso) 39: 361-370.

Silva, A. C.; Araujo, Moacyr; Bourles, B.; 2010 Seasonal variability of the Amazon River plume during REVIZEE Program. *Tropical Oceanography* (Impresso) 1: 1-22.

Stramma, L.; Fisher, L. Reppin, J.; 1995. The North Brazil Undercurrent. *Deep-Sea research I* 42: 773-795.

Stramma, L.; Schott, F.; 1999. The Mean Flow Field of the Tropical Atlantic Ocean. *Deep-Sea Research II* 46: 279-303.

Stramma, L.; Rhein, M.; Brandt, P.; Dengler, M.; Boning, C.; Walter, M.; 2005. The Upper Ocean Circulation in the Western Tropical Atlantic in Boreal Fall 200. *Deep-sea Research I* 52: 221-240.

Veleda, D. R. A.; 2008. Seasonal and Intraseasonal Variability of the Western Boundary Regime off the Eastern Brazilian Coast. Tese (Doutorado em Oceanografia) - Centro de Geociências e Tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

Waliser, D. E.; Gautier, C.; 1993. A Satellite-Derived Climatology of the ITCZ. *Journal of Climate* 6: 2162-2174.

Weingartner, T. J.; Weisberg, R. H.; 1991. A Description of the Annual Cycle in Sea Surface Temperature and Upper Ocean Heat in the Equatorial Atlantic. *Journal of Physical Oceanography Publications* 21: 83-96.

Wilson, W. D.; Johns, W. E.; Garzoli, S. L.; 2002. Velocity structure of the North Brazil Current rings. *Geophysical Research Letters* 29: 114-1-114-3.