



**CLIMATOLOGIA DA ESTRUTURA TERMAL DO OCEANO
ATLÂNTICO SUDOESTE A PARTIR DE DADOS
OBSERVACIONAIS DE XBTS**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
PIBIC/INPE – CNPq/MCT**

Rafael Afonso do Nascimento Reis – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT
Laboratório de Meteorologia e Oceanografia por Satélites.
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
CRS/CIE/INPE – MCT
E-mail: rafael_cgb@hotmail.com

Dr. Ronald Buss de Souza – Orientador
Chefe do Serviço do Projeto Antártico
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
CRS/CIE/INPE – MCT
E-mail: ronald@dsr.inpe.br

Santa Maria, julho de 2010



**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
DO PROGRAMA: PIBIC/INPE – CNPq/MCT**

PROJETO

**CLIMATOLOGIA DA ESTRUTURA TERMAL DO OCEANO
ATLÂNTICO SUDOESTE A PARTIR DE DADOS
OBSERVACIONAIS DE XBT**

Relatório elaborado por Rafael Afonso do Nascimento Reis relatando as atividades executadas por:

Rafael Afonso do Nascimento Reis – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT
E-mail: rafael_cgb@hotmail.com

Dr. Ronald Buss de Souza – Orientador
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE – MCT
E-mail: ronald@dsr.inpe.br

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Título: CLIMATOLOGIA DA ESTRUTURA TERMAL DO OCEANO ATLÂNTICO SUDOESTE A PARTIR DE DADOS OBSERVACIONAIS DE XBT

Bolsista:

Rafael Afonso do Nascimento Reis

Curso de Meteorologia

Centro de Ciências Naturais e Exatas - CCNE/UFSM

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE - MCT

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Orientador:

Dr. Ronald Buss de Souza

Chefe do Serviço do Projeto Antártico

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE - MCT

Local de Trabalho/Execução do projeto:

Laboratório de Meteorologia e Oceanografia por Satélites - CRS/CIE/INPE – MCT.

Trabalho desenvolvido no âmbito do Convênio INPE - UFSM, através do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE – MCT.



AGRADECIMENTOS

Ao orientador Dr. Ronald Buss de Souza, Chefe do Serviço do Projeto Antártico, pela atenção e orientação que dedicou ao bolsista durante o período de Projeto.

A tripulação do NApOc Ary Rongel pela inestimável ajuda durante a fase de coleta de dados.

Aos colegas integrantes do Laboratório de Meteorologia e Oceanografia por Satélites, pelo companheirismo e auxílio nas atividades.

Ao pessoal da administração do Centro Regional Sul de Pesquisas Espacial, pela atenção e colaboração.

RESUMO

O presente projeto tem como objetivo descrever a estrutura termal na região da Confluência Brasil-Malvinas (CBM), uma região bastante energética e de extrema importância global, tendo sua dinâmica oceânica relacionada às dinâmicas oceânicas das regiões subantártica/antártica e subtropical. Nesta região, a Corrente do Brasil (águas quentes e salinas) encontra a Corrente das Malvinas (águas frias e menos salinas), causando instabilidades que resultam em grandes atividades de mesoescala marcado pela formação de grandes meandros e pela formação de inúmeros vórtices de mesoescala típicos da região. Os dados analisados são de sondas XBT, a qual mede o perfil de temperatura da água do mar com respeito à profundidade, que chega a 700 metros. Estes dados foram obtidos através do PROANTAR (Programa Antártico Brasileiro) nas Operações Antárticas XX a XXVII (2001 a 2008, respectivamente), que, a bordo do Navio de Apoio Oceanográfico (NApOc) Ary Rongel, lança sondas XBT ao longo do percurso de Rio Grande (Brasil) até a Antártica. Também utilizamos dados do *Global Transmission System* (GTS) que coleta dados no local desde 1966, dados do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO), e também dados de Stevenson, de 1996. A área de estudo fica no Oceano Atlântico Sudoeste, com a latitude entre 30°S e 50°S, e longitude entre 50°W e 60°W. Este local foi separado de 1° em 1°, e os dados foram colocados em uma planilha, totalizando 744 observações. Estes dados tem datas desde 1966 até 2009 e para cada uma das observações foi construído um perfil de temperatura com respeito à profundidade. A partir destes perfis, observam-se as diferenças existentes entre a temperatura da superfície do mar (e suas amplitudes) e a profundidade da termoclina nas Correntes do Brasil e das Malvinas. Também podemos ver claramente a influência que uma causa sobre a outra, nos perfis em que elas se encontram. Em regiões em que existem vórtices da CB, a camada de mistura é empurrada para baixo, devido à natureza quente das águas.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	4
RESUMO	5
SUMÁRIO	6
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	7
CAPÍTULO 2 – OBJETIVOS	8
CAPÍTULO 3 – DESENVOLVIMENTO TEÓRICO	9
3.1 Circulação Oceânica.....	9
3.2 Circulação Termohalina.....	10
3.3 Estrutura Termal Oceânica.....	11
3.3.1 Camada de Mistura.....	12
3.3.2 Termoclina.....	12
3.3.3 Camada Profunda.....	12
3.4 Área de Estudos.....	13
CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA	14
4.1 Equipamento Utilizado – XBT.....	14
4.2 Software MATLAB.....	15
CAPÍTULO 5 – ATIVIDADES DESENVOLVIDAS PELO BOLSISTA	16
5.1 Estudos realizados pelo bolsista.....	16
5.2 Organização dos dados.....	16
5.3 Plotagem dos dados.....	16
CAPÍTULO 6 – RESULTADOS E ANÁLISE	17
CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES E ATIVIDADES FUTURAS	21
CAPÍTULO 8 – TRABALHOS PUBLICADOS E APRESENTADOS	22
CAPÍTULO 9 –REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O Projeto INTERCONF (Interação Oceano-Atmosfera na Região da Confluência Brasil-Malvinas e sua relação com os processos oceânicos e atmosféricos subantárticos e antárticos) estabelecido pelo GOAL (Grupo de Oceanografia de Altas Latitudes) em 2002 visa estudar a variabilidade espacial e temporal dos campos de temperatura da superfície do mar na região da Confluência Brasil-Malvinas e os processos de interação oceano-atmosfera.

A região da Confluência Brasil-Malvinas, localizada no Oceano Atlântico Sudoeste, é considerada uma das mais energéticas do oceano global, sendo ela um importante fator para a compreensão dos fenômenos que ocorrem neste local.

Nesta região, as águas quentes e salinas da Corrente do Brasil (CB) encontram as águas frias e menos salinas da Corrente das Malvinas (CM) causando fenômenos de mesoescala, como meandros e vórtices, que dominam a dinâmica da região. A formação desses fenômenos ocorre com maiores amplitudes próximas da costa e vão decaindo conforme se afastam rumo ao oceano profundo. A CM é originada a partir de um braço da Corrente Circumpolar Antártica, quando esta cruza a Passagem de Drake ao sul do continente sul americano. Já a CB, podemos dizer que é basicamente composta por água tropical.

Os valores de temperatura da superfície do mar (TSM) variam conforme a época do ano, sendo que, no verão austral existe mais transporte da CB e no inverno austral, mais transporte de CM, por isso a variação da TSM na região adjacente ao Rio da Prata seria tão grande. Essas variações anuais de TSM podem chegar a 13°C em altas latitudes e a 4°C em baixas latitudes.

Imagens de satélites nos mostram as variações de TSM e as feições formadas na região da Confluência, porém, é importante estudarmos o que ocorre nas camadas de águas subjacentes.

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS

Este projeto tem por objetivo descrever a estrutura termal da Corrente do Brasil, da Corrente das Malvinas e da Confluência entre elas, mostrando a influência que a presença de uma pode causar sobre a outra, analisando detalhadamente cada uma dessas regiões.

Tem por objetivos específicos:

- * Revisão bibliográfica sobre o assunto em estudo;
- * Plotar perfis de temperatura pela profundidade para melhor entendimento do local;
- * Analisar os perfis de cada observação para a comparação entre as duas áreas;
- * Analisar as profundidades de termoclina e camada de mistura tanto na CB como na CM;
- * Analisar a existência da presença de feições como *interleavings*;
- * E analisar também as estruturas termais de vórtices quentes desprendidos da CB como a percebida na Operação Antártica 28.

CAPÍTULO 3

DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

3.1 Circulação Oceânica:

A radiação solar é responsável pela circulação oceânica, assim como também é responsável pela circulação atmosférica. A circulação atmosférica é, também, influente sobre a oceânica a partir de variações de densidades devidas ao clima e a fricção do vento.

Porém, devemos considerar a diferença entre o aquecimento do oceano e da atmosfera. Na atmosfera, a radiação solar é absorvida pela terra e, portanto, esta tem aquecimento de baixo para cima. Já no oceano, este aquecimento ocorre de cima para baixo, pois a energia vem de cima.

O oceano é mais aquecido no equador do que nos pólos, por isso, há uma circulação superficial das baixas latitudes em direção as altas latitudes e, conseqüentemente, existe uma circulação dos pólos para o equador, porém, em profundidades maiores. Outro aspecto do balanço térmico é que há uma perda líquida de energia térmica em altas latitudes, onde a água se resfria e, com isso ocorre o aumento da densidade, que as vezes é suficiente para afundar e deslocar as águas mais profundas.

A circulação devida ao vento ocorre em águas mais superficiais e é uma circulação horizontal das águas. O vento, soprando sobre a superfície do mar, coloca as águas superficiais em movimento. Devido a força de Coriolis (força devido a rotação da Terra) as correntes movem-se para a esquerda no hemisfério sul e para a direita no hemisfério norte. Isto gera uma circulação no sentido horário no hemisfério norte e no sentido anti-horário no hemisfério sul.

A figura 1 mostra a circulação superficial dos oceanos devido aos vários fatores aqui já colocados.

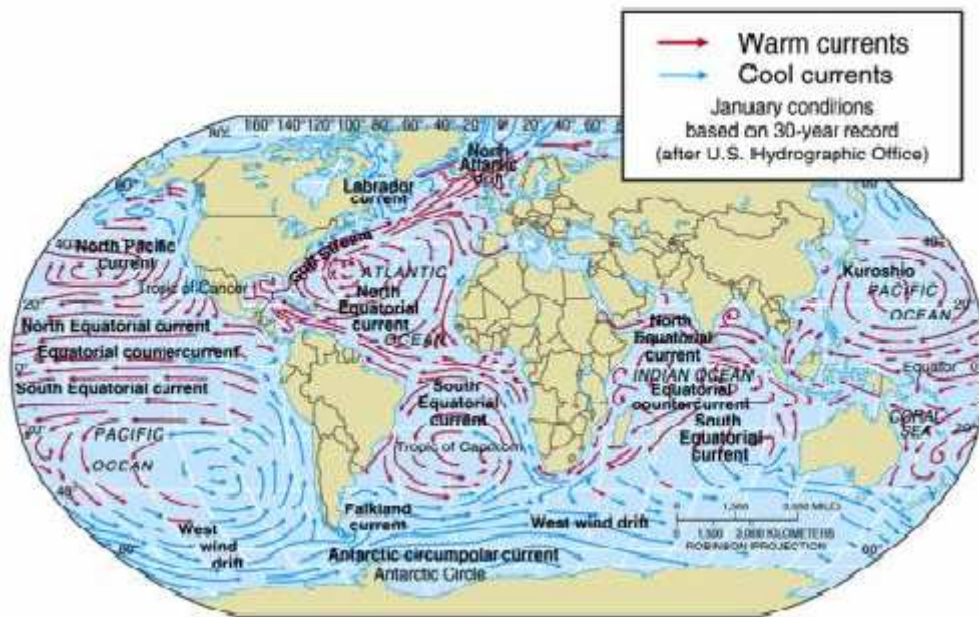


Figura 1: Circulação oceânica superficial global para o mês de janeiro. As linhas vermelhas representam as correntes quentes, enquanto, as linhas azuis representam as correntes frias. Fonte: http://www.ufrgs.br/geociencias/cporcher/Atividades%20Didaticas_arquivos/Geo02001/Ciclo%20Hidrologico.htm

Além desta circulação superficial existe uma circulação que chamamos de Circulação Termohalina, a qual se detém às águas profundas e é resultado na alteração na densidade das águas por variações de temperatura ou salinidade em alguma região do oceano.

3.2 Circulação Termohalina:

Esta circulação ocorre devido ao aumento de densidade da água em superfície, o que pode ocorrer por diminuição da temperatura ou quando há formação de gelo e a água residual tem salinidade aumentada. Pode-se dizer que uma das características da circulação termohalina é nascer como um fluxo vertical mergulhado a uma profundidade intermediária ou mesmo até o fundo, e prosseguindo como um fluxo horizontal. A figura 2 mostra a circulação termohalina global.



Figura 2: Circulação termohalina global. Circulação das águas oceânicas mais profundas. Fonte: http://www.nilsonantoniobrena.xpg.com.br/a_chuva_acida.pdf

Nessas águas profundas, os grandes fluxos são para o norte ou para o sul, não distribuídos por igual em toda a extensão do oceano, mas provavelmente mais fortes do lado oeste.

Podemos dizer que as correntes oceânicas são resultado dos movimentos termohalinos, que dominam águas mais profundas, e dos movimentos gerados pelo vento, que dominam as águas de superfície.

3.3 Estrutura Termal Oceânica:

A Figura 3 mostra um exemplo típico de estrutura termal oceânica. Esta figura representa um perfil de temperatura da água do mar com respeito a sua profundidade. Nesta mesma figura, podemos ver que estão destacadas as partes da estrutura, que são a camada de mistura, a termoclina principal e a camada profunda.

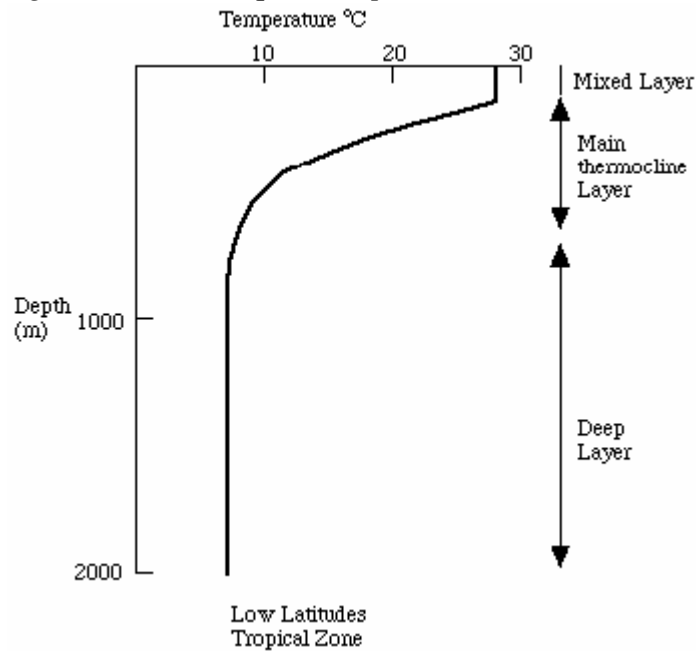


Figura 3: Estrutura termal oceânica destacando-se as diferentes partes da estrutura.

3.3.1 Camada de mistura:

A camada de mistura é a camada do oceano em que as propriedades físicas da água não variam na direção vertical.

3.3.2 Temoclina:

A termoclina, em baixas e médias latitudes, é uma camada com máximo decréscimo de temperatura por unidade de profundidade. É um gradiente brusco de temperatura.

3.3.3 Camada profunda:

A camada profunda é onde se colocam as águas mais frias, de origem antártica e as temperaturas seguem uniformemente até grandes profundidades.

Ao compararmos perfis onde a temperatura vai diminuindo (de médias para baixas latitudes) podemos observar que a curva vai se tornando cada vez mais paralela ao eixo da temperatura (Figura 4). Isto se deve ao fato de que, nas regiões polares, as variações de temperatura afeta menos a densidade que a variação de salinidade, ao contrário das regiões de altas temperaturas.

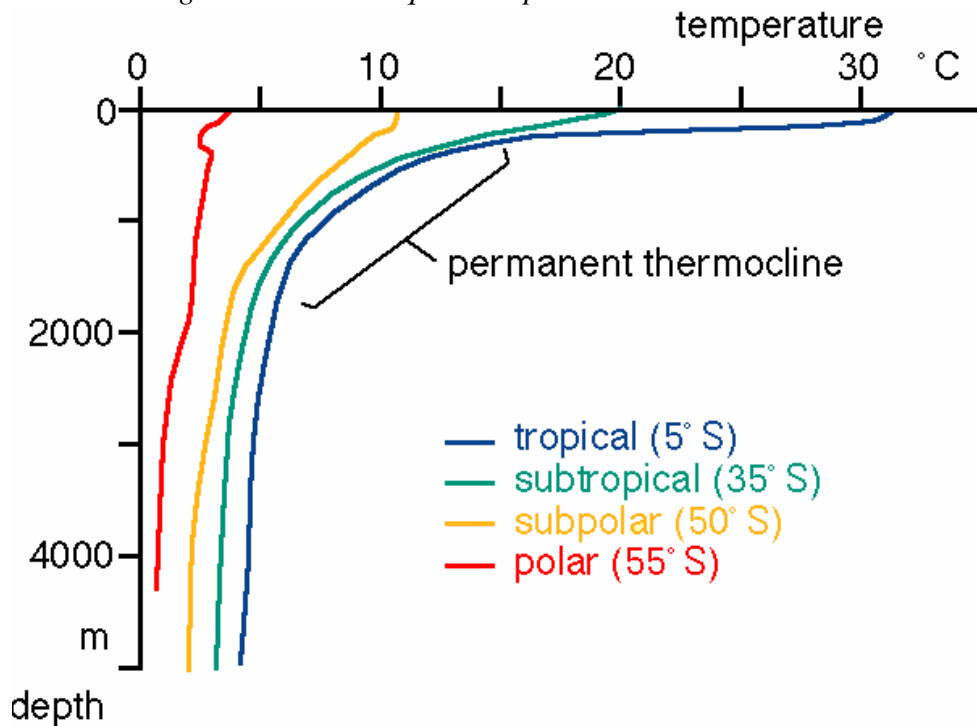


Figura 4: Diferença nos perfil de temperatura em altas e médias latitudes. Indicadas na figura, estão os perfis de águas tropicais, subtropicais, subpolares e polares.

3.4 Área de Estudos:

A área estudada é a região da Confluência Brasil-Malvinas (CBM) e esta está entre as mais energéticas regiões do oceano global, devido a sua grande atividade de mesoescala causada pela instabilidade que é gerada a partir do encontro destas duas correntes. Então, existe a formação de grandes meandros e inúmeros vórtices de mesoescala típicos da região. A área que estudamos neste trabalho está entre 30°S e 50°S de latitude e entre 50°W e 60°W.

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA

4.1 Equipamento Utilizado - XBT

Os dados disponíveis para este trabalho são observações de uma sonda chamada XBT (*Expendable Bathy-Thermographs*). O XBT faz a leitura da temperatura da água do mar com respeito à profundidade, que chega a 760 metros. A Figura 5 mostra a estrutura do XBT.

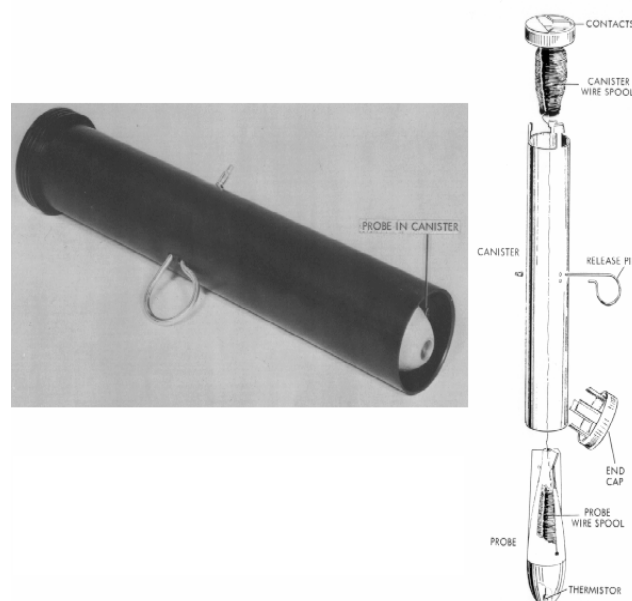


Figura 5: Estrutura do XBT. Na figura, à direita, um desenho da estrutura da sonda, com suas partes nomeadas. Fonte: <http://www.uncwil.edu/CMSR/capefear/tech/XBT.htm>

O XBT é ligado por um fio de cobre a um computador que fica a bordo do navio, e, enquanto vai fazendo a leitura das informações sobre a temperatura, vai passando estas informações para o computador. Ao chegar aos 760 metros de profundidade este fio se rompe e o equipamento é perdido.

Neste trabalho, para cada uma das observações disponíveis de XBT, plotamos um gráfico com respeito à temperatura.

4.2 Software MATLAB:

O MATLAB (*MATrix LABoratory*) é um software interativo de alta performance voltado para o cálculo numérico. Este software integra análise numérica, cálculo com matrizes, processamento de sinais e construção de gráficos.

Com o auxílio deste software, foram plotados os perfis de temperatura com a profundidade, e também foi possível que comparássemos estes dados plotando um perfil sobre o outro para que analisássemos de maneira mais comparativa as diferenças das duas correntes analisadas.

CAPÍTULO 5

ATIVIDADES DESENVOLVIDAS PELO BOLSISTA

5.1 Estudos realizados pelo bolsista:

O bolsista realizou leituras na área de oceanografia física, em livros, papers, dissertações e projetos, e, juntamente com a leitura, assistiu a palestras e debates sobre o assunto, participando de alguns eventos sobre o assunto.

Também foi estudado sobre o software MATLAB, o qual é muito útil para o desenvolvimento dos perfis de temperatura e cálculos numéricos que ajudam no andamento do trabalho.

5.2 Organização dos dados:

Primeiramente, o bolsista obteve dados do PROANTAR 2009 (Operações Antárticas XXVIII).

Após a obtenção dos dados, o bolsista fez um pré-processamento dos dados do e está fazendo uma análise dos perfis de temperatura da água do mar derivados desses dados.

5.3 Plotagem dos dados:

O bolsista plotou um perfil de temperatura com a profundidade para cada uma das observações da Operação Antártica 28 , a partir do Software MATLAB.

Após este procedimento foi feita uma interpolação dos perfis para melhor compreender o contraste térmico na região da CBM e também para melhor estudar o vórtice quente desprendido da CB.

CAPÍTULO 6

RESULTADOS E ANÁLISES

Na leitura dos dados disponíveis foi totalizado um total de 29 observações. Apartir destas observações foi construído um perfil de temperatura pela profundidade para cada um dos dados para dividi-los entre CB e CM para assim melhor estudar as características de cada uma das correntes e também a as características da CBM.

As Figuras 8, 9 e 10 mostram perfis da Corrente do Brasil, da Corrente das Malvinas e do encontro entre elas coletados na ultima Operação Antártica (OP XVIII), respectivamente. Na Figura 11 vemos um perfil de interpolação dos dados de XBT da Operação Antártica 28. Já a figura 12 mostra o caminho percorrido pelo navio e onde foram lançados os XBTs.

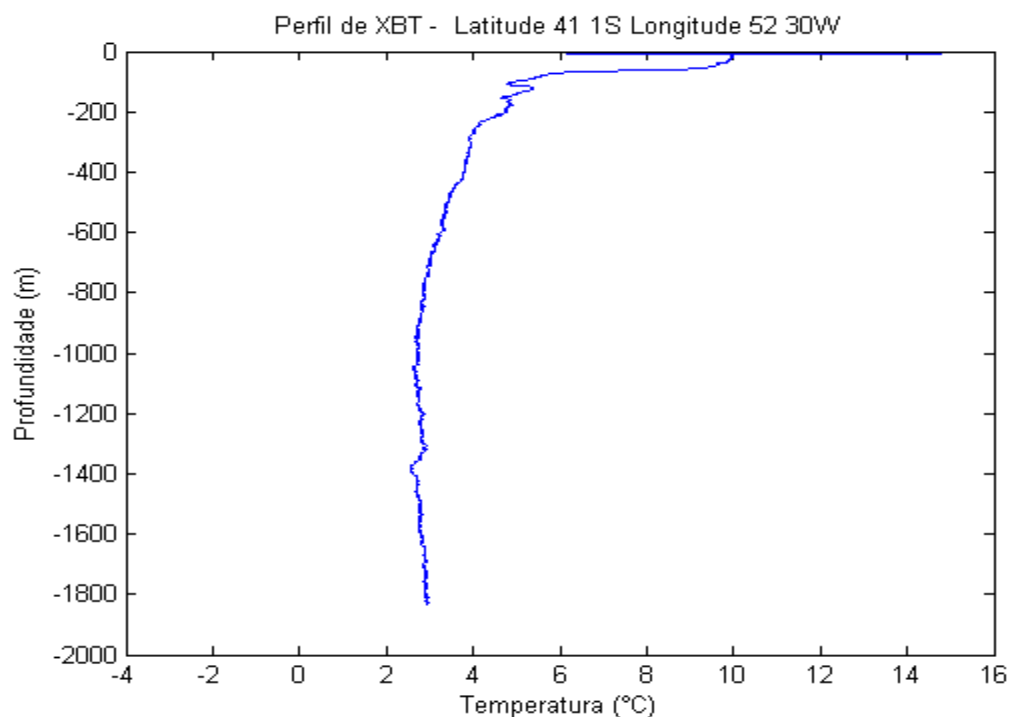


Figura 8: Perfil de XBT para uma Lat. 41 1S e Long. 52 30W(CB)

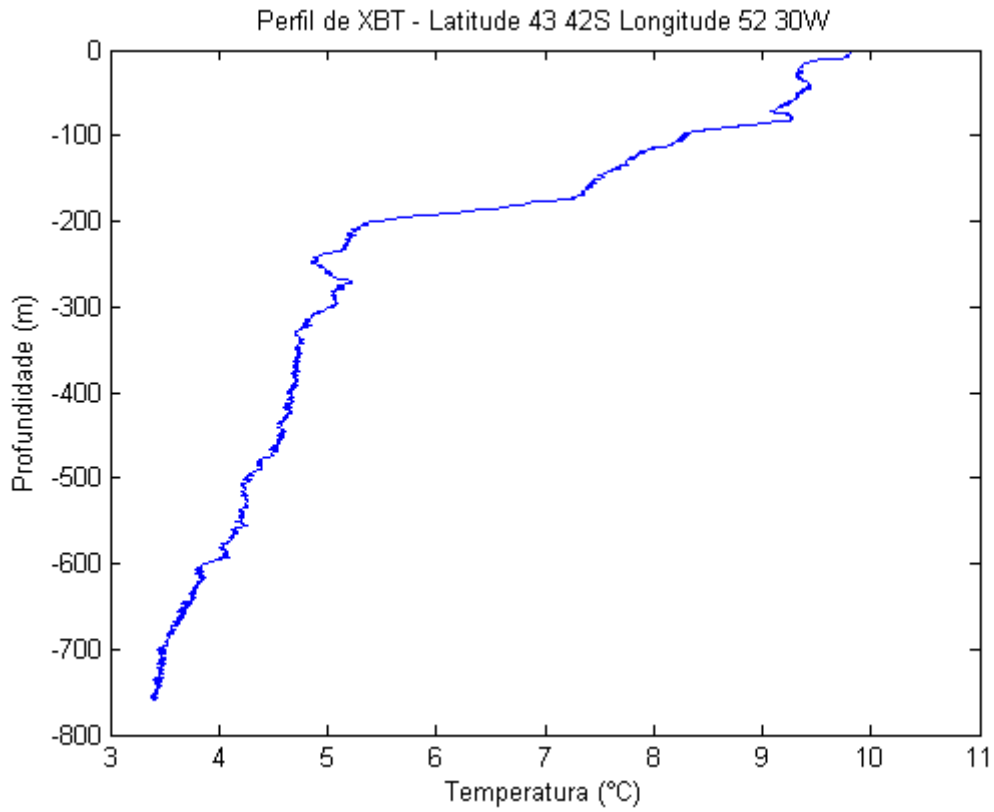


Figura 9: Perfil de XBT para uma Lat. 43 42S Long. 52 30W(CM)

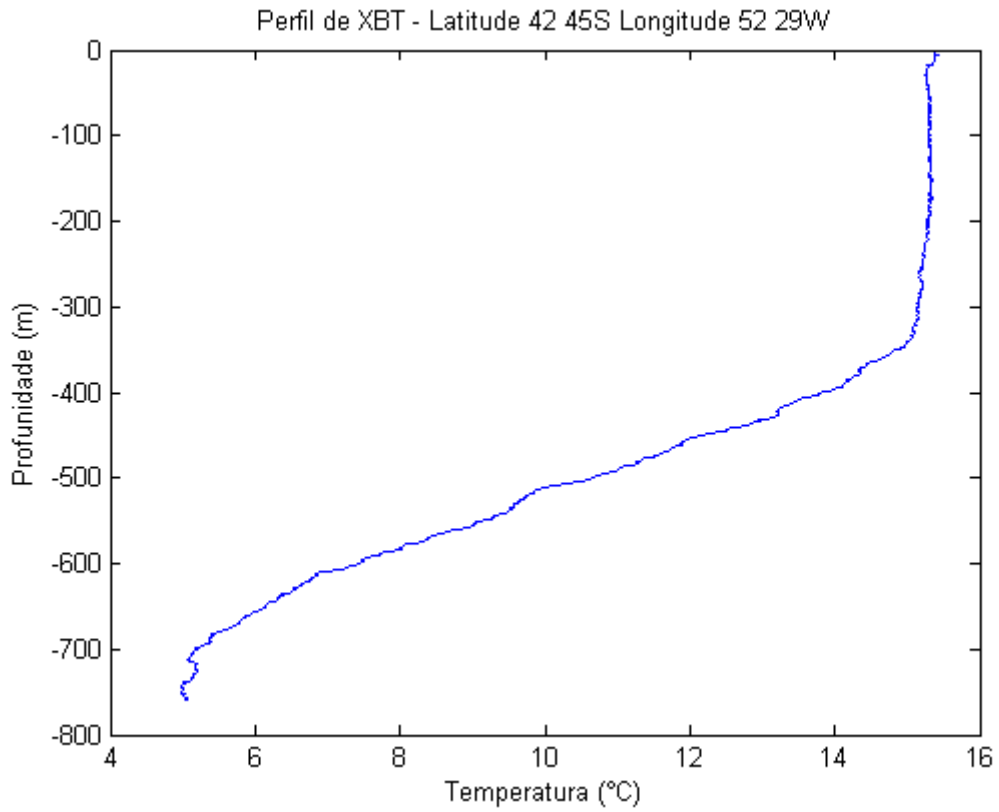


Figura 10: Perfil de XBT para uma Lat. 42 45S Long. 52 29W(CM)

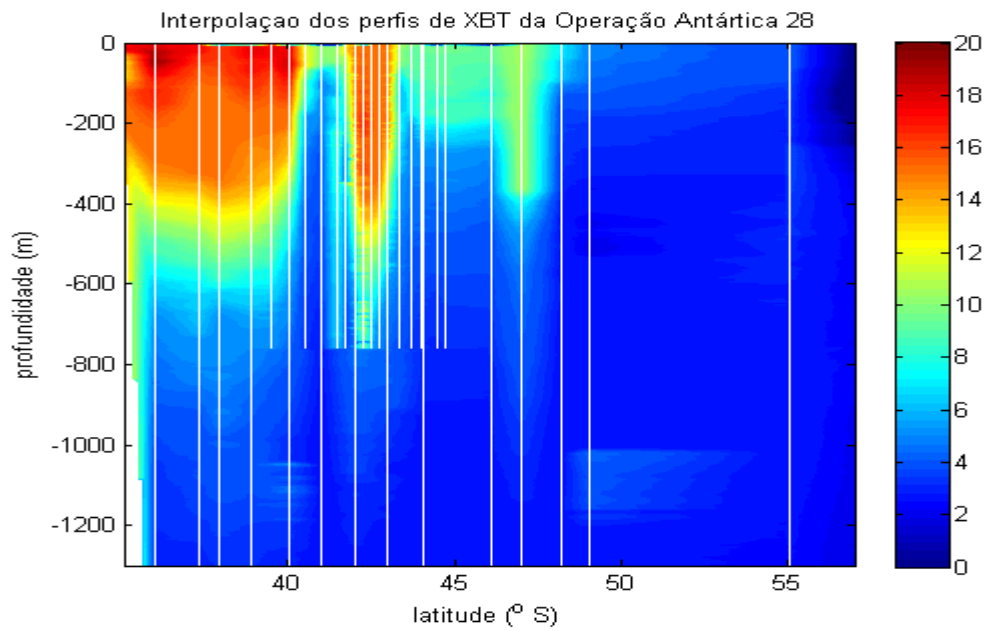


Figura 11: Interpolação dos dados de XBT da Operação Antártica 28

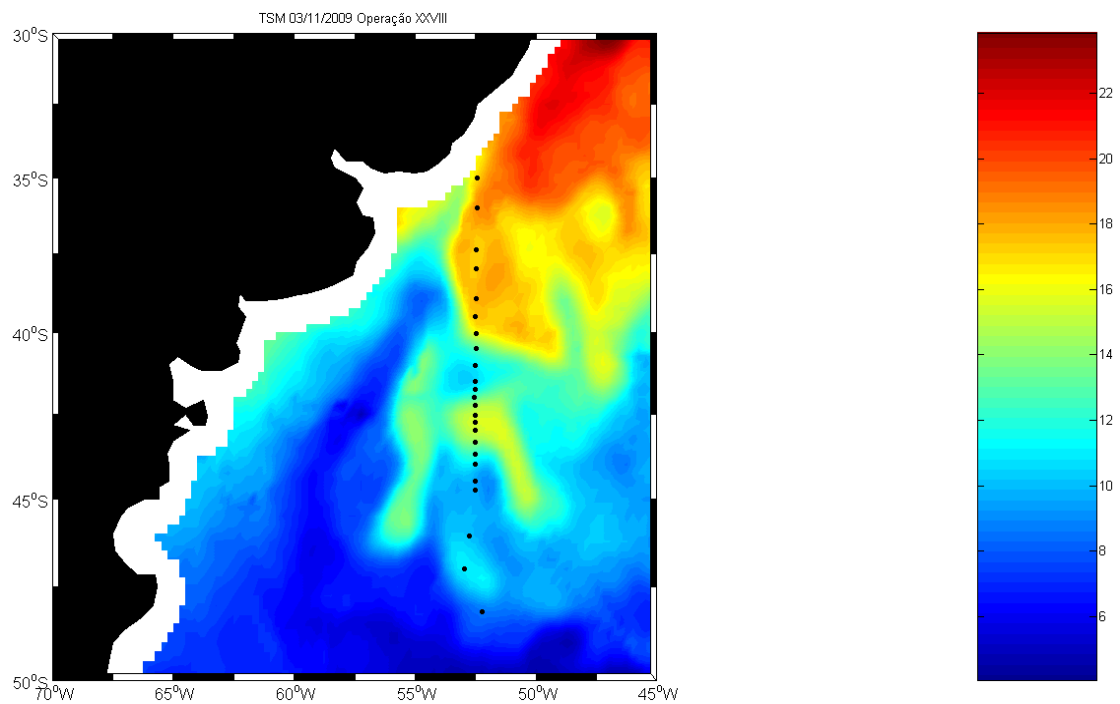


Figura 12: Pontos de lançamento das sondas XBTs na Operação Antártica 28

Foi analisado, a partir dos perfis de XBT, que na Corrente do Brasil as temperaturas superficiais ficam entre 15°C e 20°C e a termoclina coloca-se bem abaixo da superfície, estendendo-se até a profundidade de 300 metros. Abaixo disso, ficam as águas mais



frias de origem antártica, com cerca de 4°C até 760 metros, uniformemente. Já nas águas frias da Corrente das Malvinas a temperatura superficial das águas fica entre 5°C e 10°C e a presença de uma termoclina sazonal chega a 50 metros de profundidade. Abaixo desta coloca-se uma termoclina permanente que chega a profundidades de 100 metros. Na Figura 10, podemos observar a presença de um vórtice da CB, que, por ser quente, empurra a camada de mistura para baixo, até cerca de 400 metros de profundidade.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES E ATIVIDADES FUTURAS

Como resultados preliminares do trabalho desenvolvido, podemos notar a profundidade da termoclina da CB localizada mais abaixo do que na CM. Isto se deve ao fato de a CB ter águas mais quentes do que a CM. Ao se encontrarem, estas correntes causam alterações nas estruturas dos perfis de temperatura com a profundidade, podendo as águas quentes da CB causar uma baixa na camada de mistura em regiões de domínio da CM.

O trabalho aqui apresentado está em desenvolvimento. Dados históricos de XBT juntamente com aqueles recolhidos do PROANTAR serão usados para realizar uma avaliação estatística e histórica da temperatura da água com respeito a profundidade na região deste estudo e também descrever os processos de interleaving existentes na região de estudo e analisar a importância dos vórtices de mesoescala para o balanço de calor entre as águas da CB e CM. Esses processos são pouco conhecidos e modulam a



maneira com que o oceano influencia a atmosfera e os eventos que nela ocorrem. A compreensão desses processos pode ser uma ferramenta importante para melhorar as previsões do tempo e de eventos extremos na região sul-sudeste do Brasil.

CAPÍTULO 8

TRABALHOS PUBLICADOS E APRESENTADOS

O bolsista ainda não publicou ou apresentou nenhuma trabalho pois ele entrou no projeto em fevereiro de 2010 para substituir a antiga bolsista e portanto teve que fazer uma revisão bibliográfica para compreender o projeto e o que é estudado e também ler os trabalhos elaborados pela antiga bolsista . Porem o bolsista está elaborando trabalhos para serem apresentados na 25ª Jornada Acadêmica Integrada ainda a ser realizada no segundo semestre de 2010.

CAPÍTULO 9

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LENTINI, C. A. D. **The role of the Brazil-Malvinas Confluence of regional mesoscale dynamics and climate.** Ph.D. Thesis. Univ. Miami. Coral Gables, Florida, 192p., 2002.

STRAMMA, L.; ENGLAND M. **On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean.** Journal of Geophysical Research, 104(C9): 20,863-20,883, 1999.

WAINER, K.; GENT, P.; GONI, G. **Annual cycle of the Brazil-Malvinas confluence region in the Nacional Center for Atmospheric Research Climate System Model.** Journal of Geophysical Research, 105(C11): 26,167-26,177, 2000.



PICKARD, George L.; EMERY, William J. **Descriptive physical oceanography - an introduction**. 5. ed. - Great Britain:Pergamon Press, 1990. 320p.

SOUZA, R. B. . **Oceanografia por Satélites**, 2a Edição Revisada e Ampliada. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. v. 1. 382 p.

Rabelo, L.B. **Estudo da variabilidade da estrutura vertical da temperatura da água e da profundidade da termoclina na região da Confluência Brasil-Malvinas**. Dissertação de Mestrado em Sistemas Costeiros e Oceânicos. Centro de Estudos do Mar (CEM), Universidade Federal do Paraná (UFPR), 2010. 156p.

