



**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/INPE – MCT

E-mail: ronald@dsr.inpe.br

Santa Maria, julho de 2011



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/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/INPE - MCT

Local de Trabalho/Execução do projeto:

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

Trabalho desenvolvido no âmbito do Convênio INPE - UFSM, através do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/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 Espaciais, 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 XXIX (2001 a 2011, 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 Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) que datam desde a década de 1950 até a década de 1990. 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. Estes dados tem datas desde 1956 até 2011 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	3
RESUMO	4
SUMÁRIO	5
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	7
CAPÍTULO 2 – OBJETIVOS	8
CAPÍTULO 3 – FUNDAMENTAÇÃO TEORICA	9
3.1 Circulação Oceânica.....	09
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 Descrição dos dados.....	14
4.3 Processamento dos dados.....	16
CAPÍTULO 5 – ATIVIDADES DESENVOLVIDAS PELO BOLSISTA	17
5.1 Estudos realizados pelo bolsista.....	17



5.2 Organização dos dados.....	17
5.3 Plotagem dos dados.....	17
CAPÍTULO 6 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES E ATIVIDADES FUTURAS.....	26
CAPÍTULO 8 – TRABALHOS PUBLICADOS E APRESENTADOS.....	27
CAPÍTULO 9 –REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28

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:

- * Descrever os perfis de temperatura da água do mar em função da profundidade na áreas de estudo;
- * Comparar os perfis médios de temperatura entre as áreas analisadas;
- * Descrever as profundidades da termoclina nas regiões de estudo;
- * Descrever, quando presentes, feições típica da mistura entre massas d'água, como *interleavings*;
- * Analisar, quando presentes, as estruturas termais oceânicas de mesoescala como os vórtices quentes desprendidos da CB nas áreas de estudo.

CAPÍTULO 3**FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA****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.

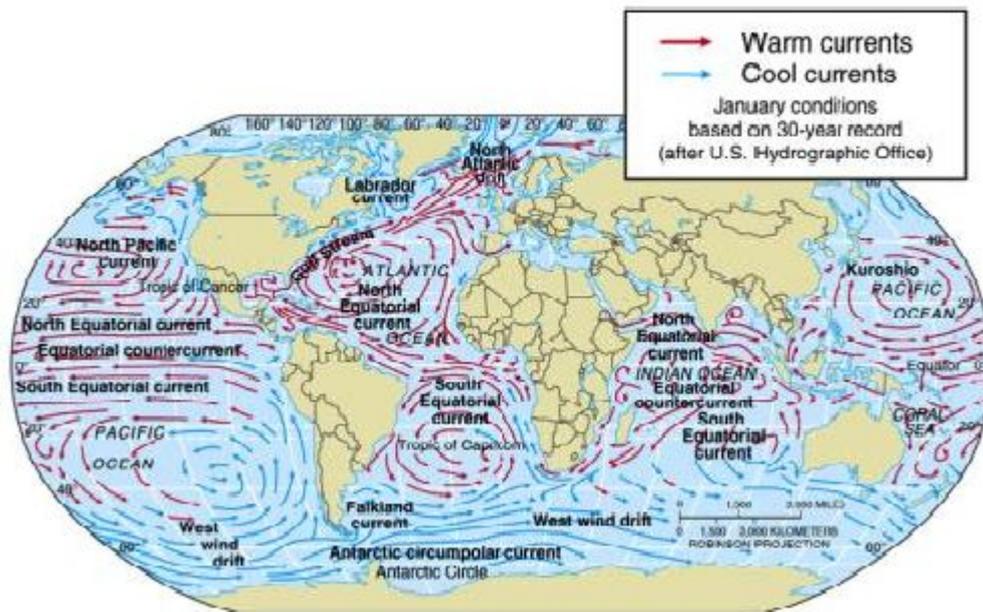


Figura 1: Circulação oceânica superficial global para o mês de janeiro. As linhas vermelhas representam as correntes quentes, enquanto, as linhas azuis representam as correntes frias. Fonte: http://www.ufrgs.br/geociencias/cporcher/Atividades%20Didaticas_arquivos/Geo02001/Ciclo%20Hidrologico.htm

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.

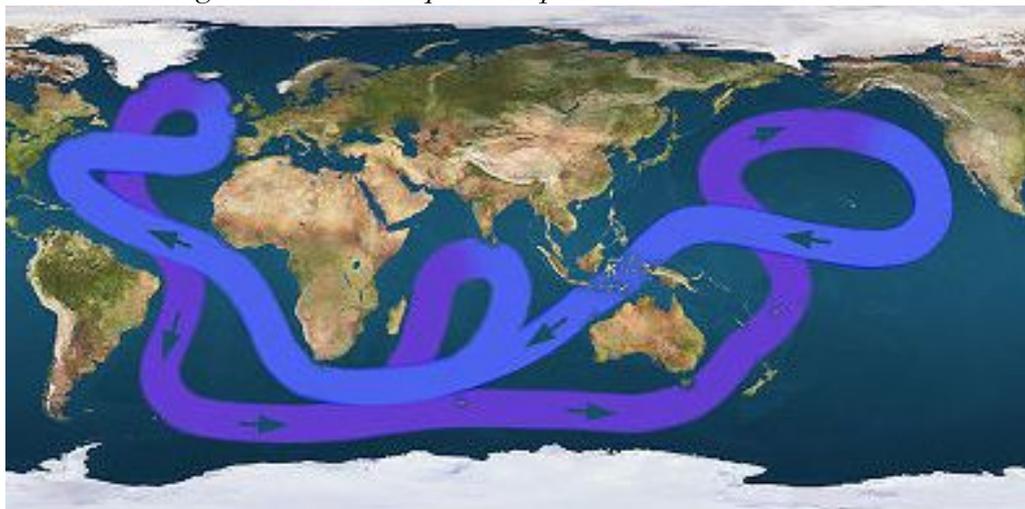


Figura 2: Circulação termohalina global. Circulação das águas oceânicas mais profundas. Fonte: http://www.nilsonantoniobrena.xpg.com.br/a_chuva_acida.pdf

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.

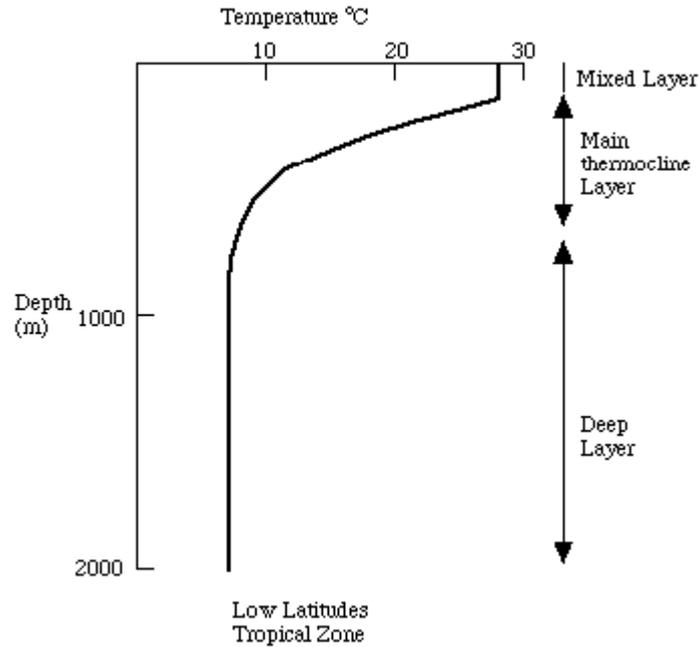


Figura 3: Estrutura termal oceânica destacando-se as diferentes partes da estrutura.

3.3.1 Camada de mistura

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

3.3.2 Termoclina

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.

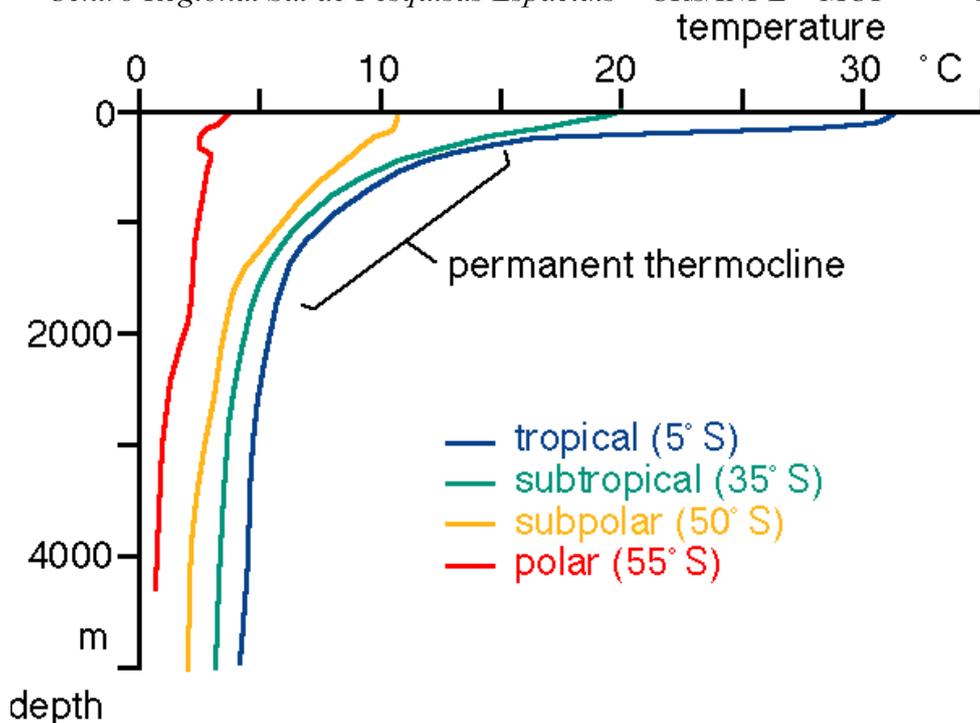


Figura 4: Diferença nos perfil de temperatura em altas e médias latitudes. Indicadas na figura, estão os perfis de águas tropicais, subtropicais, subpolares e polares.

3.4 Área de Estudo

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 Sonda 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 chegando, no caso desse trabalho, a 760 metros. A Figura 5 mostra a estrutura do XBT.

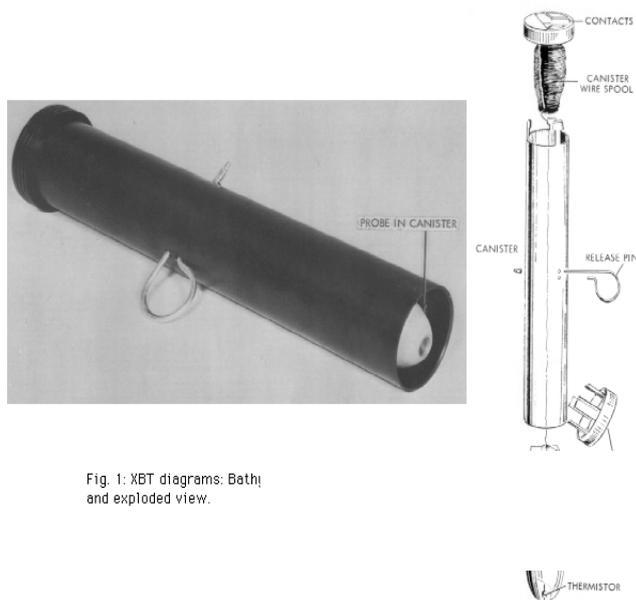


Fig. 1: XBT diagrams: Bath and exploded view.

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 Descrição dos dados

O dados utilizados neste trabalho obtidos através do PROANTAR (Programa Antártico

Brasileiro) nas Operações Antárticas XX a XXIX (2001 a 2011, 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 no período entre novembro e dezembro e abril para a OP29. Ao total o trabalho conta com 277 perfis de XBTs.

A figura 6 mostra o local onde foram lançados os XBTs em todas as operações.

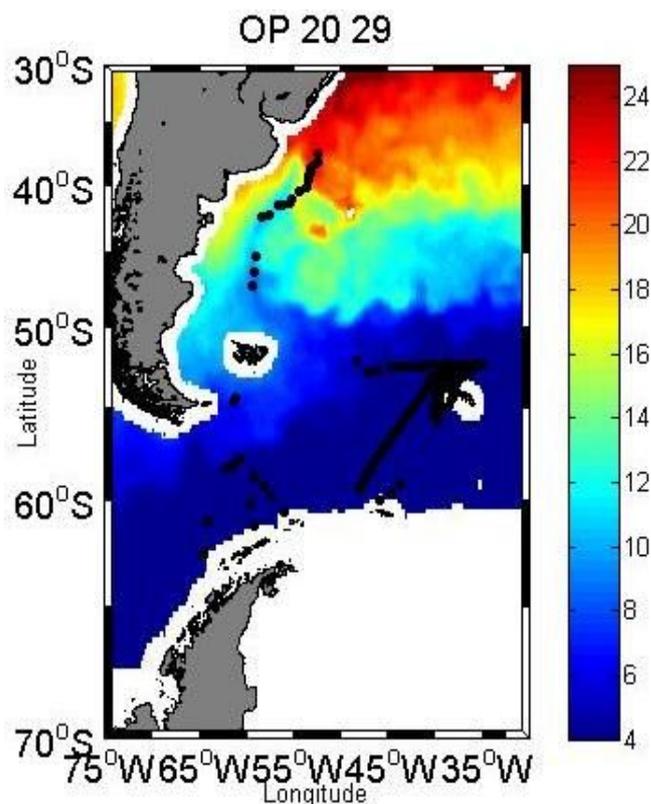


Figura 6: Ponto de coleta de dados das Operações Antárticas 20 a 29

Também utilizamos dados históricos do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) que datam desde a década de 1950 até a década de 1990. A figura 7 mostra o local de coleta dos mesmos.

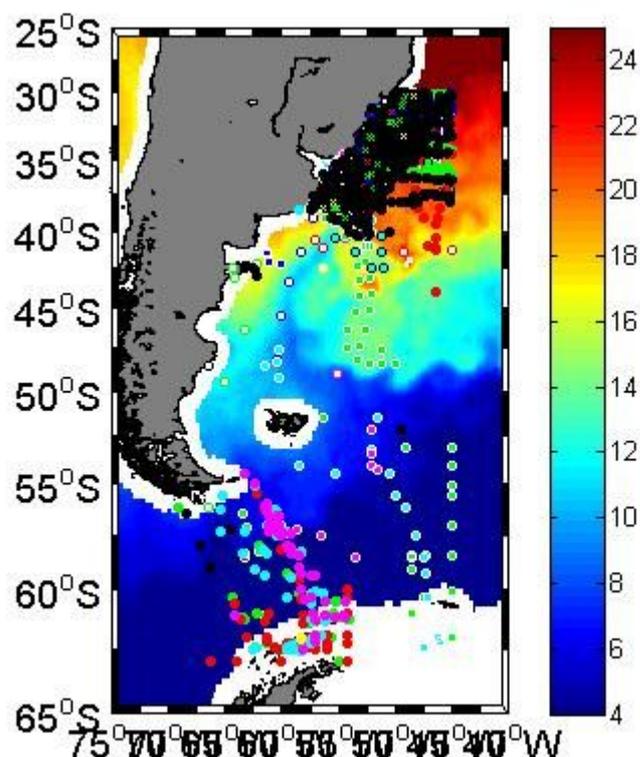


Figura 7: Ponto de coleta dos dados do BNDO (cada cor representa um ano)

4.3 Processamento dos dados

Com o auxílio do software MATLAB (*MATrix LABORatory*), 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. Também foi plotado um perfil vertical de temperatura para cada uma das operações como a vista na figura 11.

CAPÍTULO 5**ATIVIDADES DESENVOLVIDAS PELO BOLSISTA****5.1 Levantamento bibliográfico**

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 2011 (Operações Antárticas XXIX).

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

5.3 Processamento dos dados

O bolsista plotou um perfil de temperatura com a profundidade para cada uma das observações da Operação Antártica 29 e de cada ano dos dados do BNDO, a partir do Software MATLAB.

Após este procedimento foi feita uma interpolação dos perfis da operação 29 para ser feita a comparação com interpolações feitas com dados de operações anteriores para assim melhor compreender o contraste térmico na região da CBM.

CAPÍTULO 6**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Na leitura dos dados disponíveis da operação 29 foi totalizado um total de 18 observações. A partir 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 XXIX), respectivamente. Na Figura 11 vemos um perfil de interpolação dos dados de XBT da Operação Antártica 29. Já a figura 12 mostra o caminho percorrido pelo navio e onde foram lançados os XBTs.

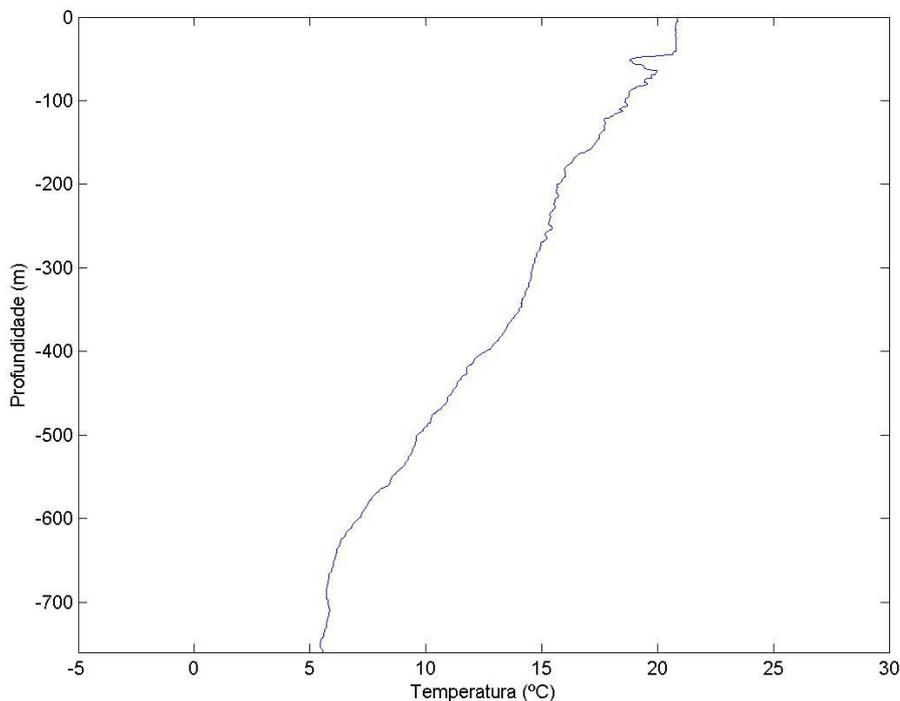


Figura 8: Perfil de XBT para uma Latitude de 38° S e uma Longitude de 52°W

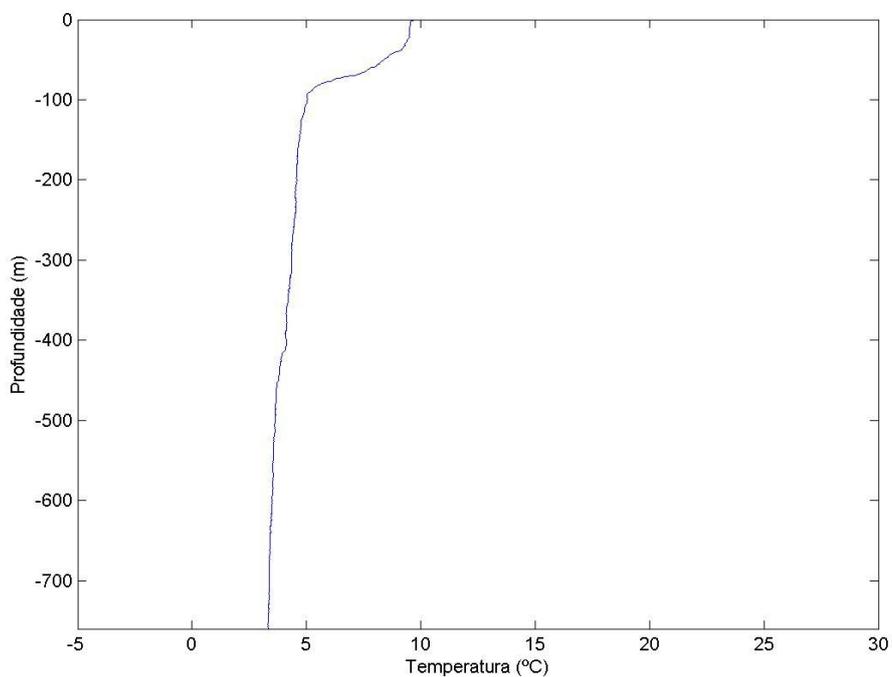


Figura 9: Perfil de XBT para uma Latitude de 46° S e uma Longitude de 59° W

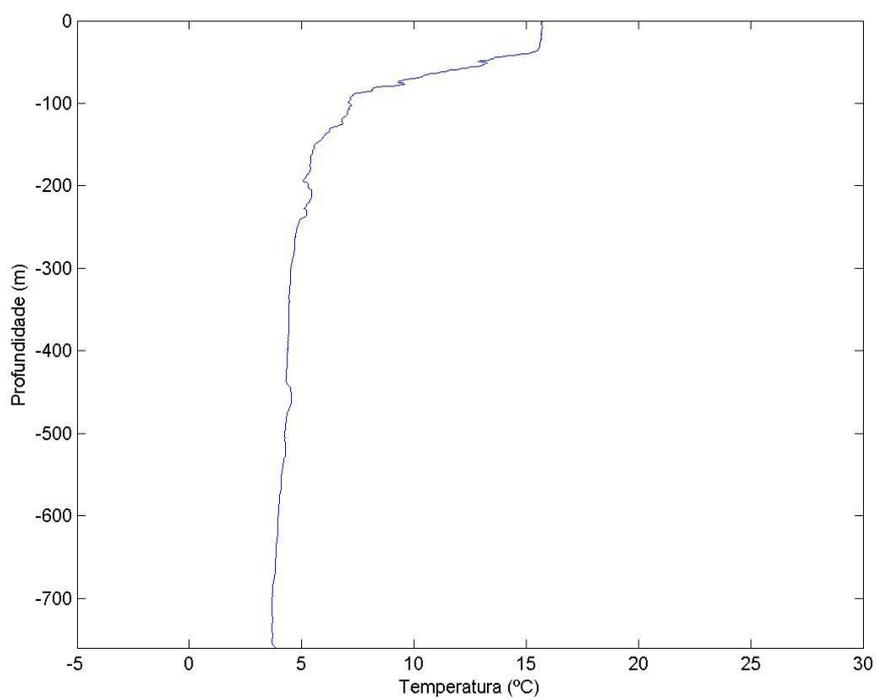


Figura 10: Perfil de XBT para uma Latitude de 40° S e uma Longitude de 53° W

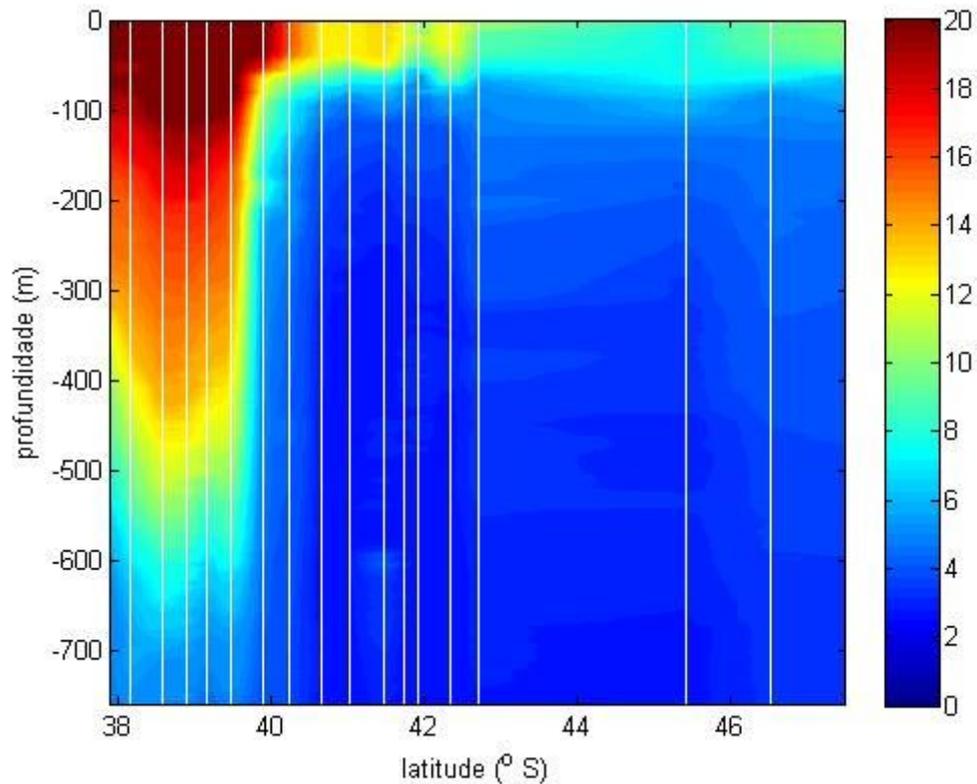


Figura 11: Perfil da Confluência obtido através da interpolação dos dados de XBTs da OP 29

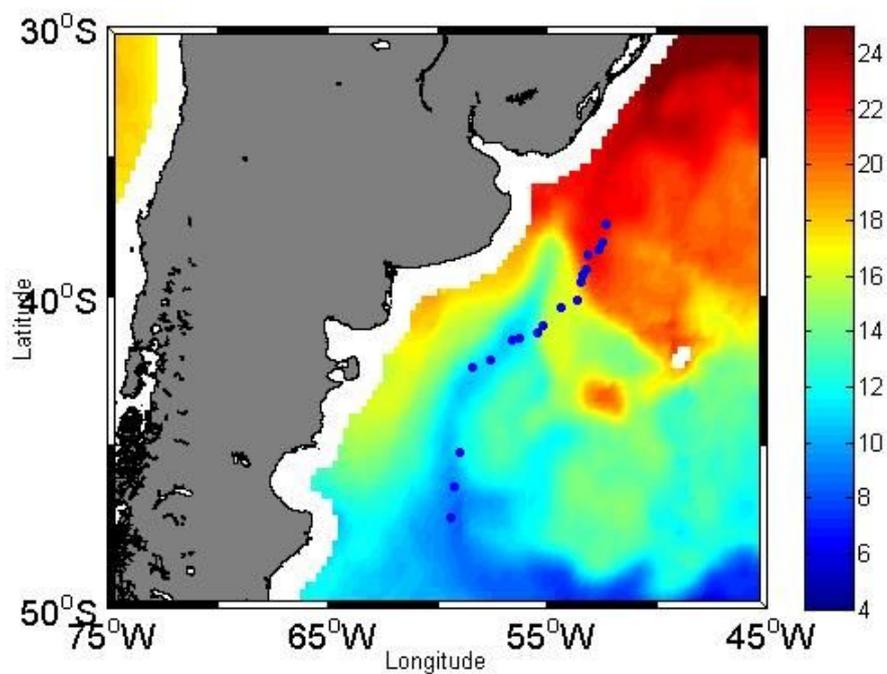


Figura 12: Ponto de coleta dos dados de XBTs da Operação 29

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 em média a 50 metros de profundidade. Abaixo desta coloca-se uma termoclina permanente que chega a profundidades de 100 metros.

Para os dados do BNDO foram plotados todos os perfis divididos por décadas e subdivididos por anos.

As figuras 13,14,15,16,17 mostram os perfis correspondentes as décadas de 1950,1960,1970,1980 e 1990 respectivamente. A figura 18 mostra os pontos de coletas dos dados com cada cor respectiva a um ano de coletas.

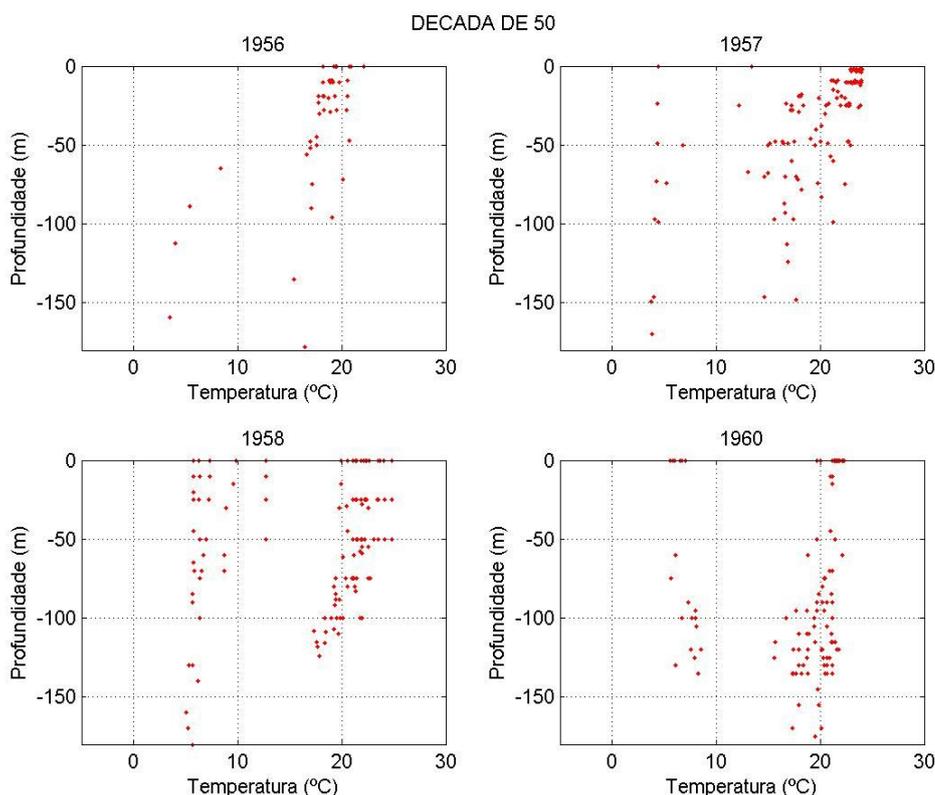


Figura 13: Perfis de temperatura em função da profundidade dos dados do BNDO para a década de 1950

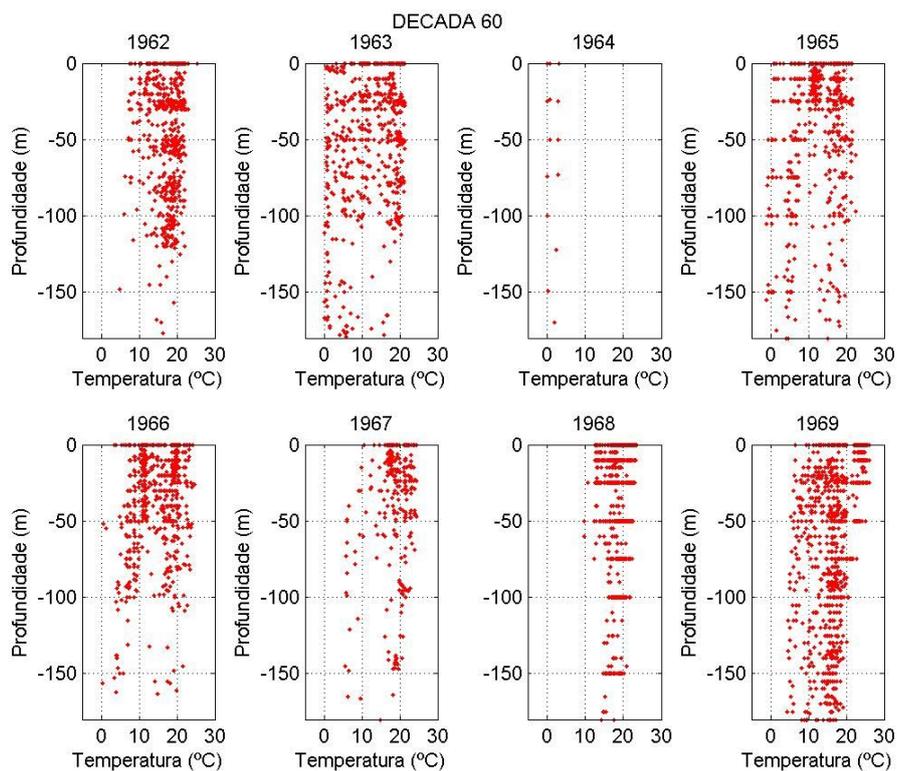


Figura 14: Perfis de temperatura em função da profundidade dos dados do BNDO para a década de 1960

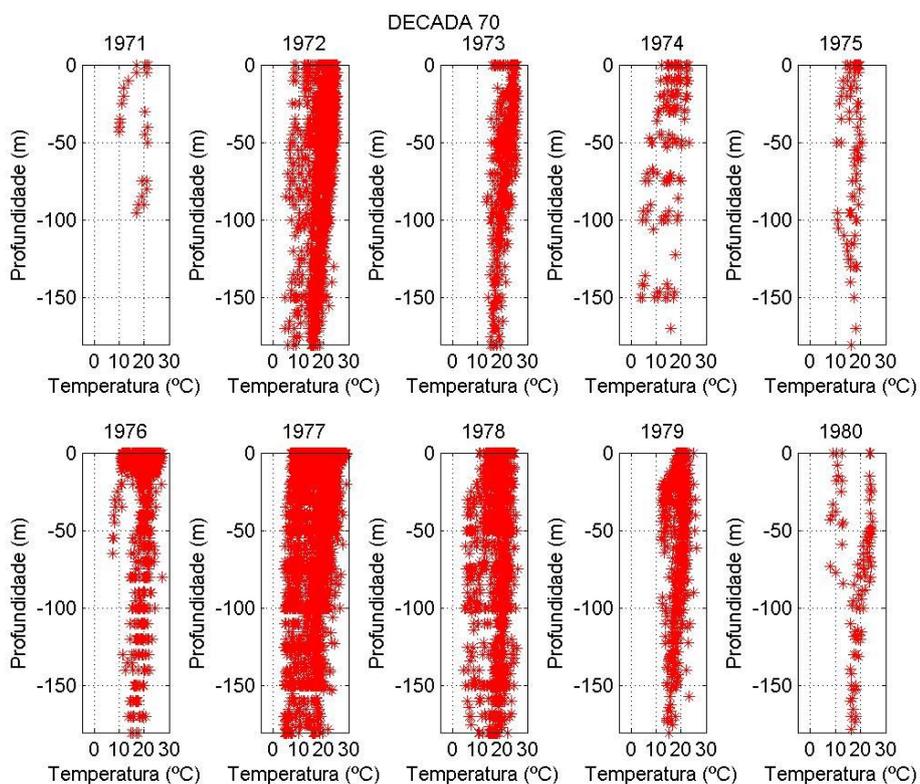


Figura 15: Perfis de temperatura em função da profundidade dos dados do BNDO para a década de 1970

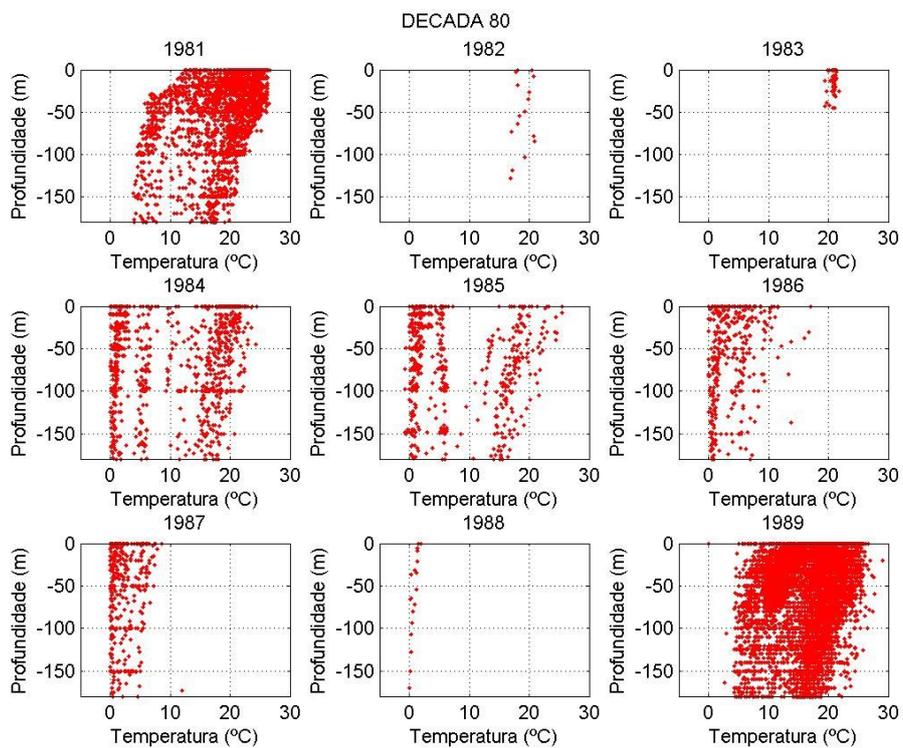


Figura 16: Perfis de temperatura em função da profundidade dos dados do BNDO para a década de 1980

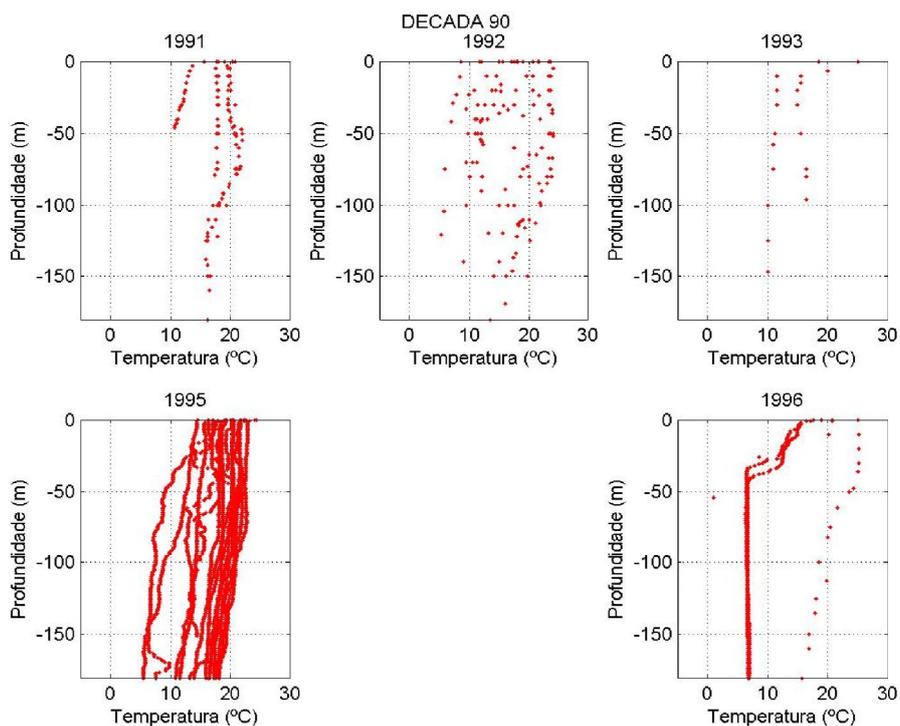


Figura 17: Perfis de temperatura em função da profundidade dos dados do BNDO para a década de 1990

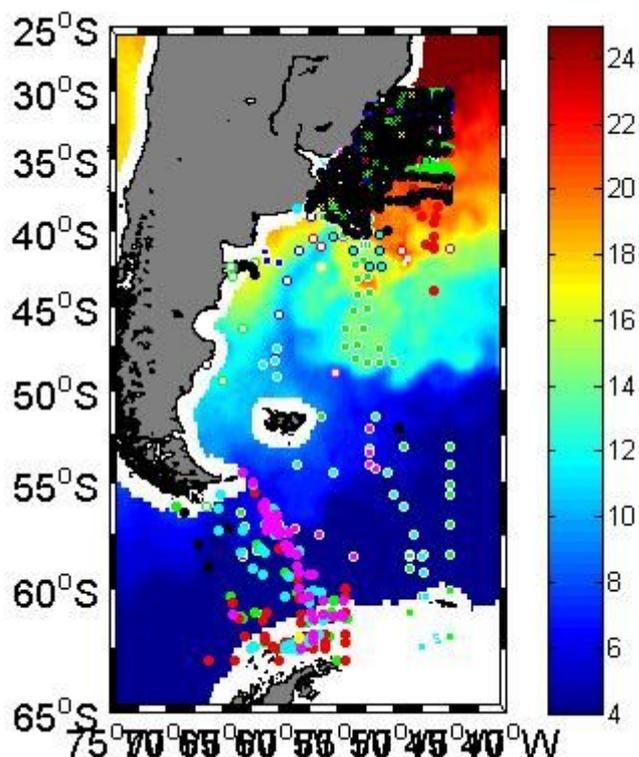


Figura 18: Pontos de lançamentos das sondas XBTs para os dados do BNDO

As águas polares localizadas na Passagem de Drake são representadas principalmente pelos gráficos dos anos de 1984 a 1988. Essas águas tem sua temperatura superficial entre 0 °C e 10 °C. Esses resultados mostram que há um claro aquecimento da CM à medida em que ela se aproxima da região da CBM, pois a temperatura média da CM, de acordo com Rabelo (2010) é de 8,2 °C para a região da CBM. A região da CB esta caracterizada principalmente pelos gráficos da década de 1970 . Os resultados mostram as águas da CB com uma temperatura superficial entre 10 °C e 20 °C. A termoclina, que é a camada onde a temperatura da água varia de maneira extrema com a profundidade, para as águas da CB tem uma profundidade que varia entre os 120 m e 150 m, como esperado, dependendo da região onde o dado foi coletado. Já para as medições na região polar da Passagem de Drake não podemos definir uma termoclina tendo em vista que em regiões polares a Termoclina Permanente não existe, a água em superfície constantemente resfriada pela atmosfera se torna tão densa que afunda a grandes profundidades no oceano, levando a isoterma da coluna d'água ate o fundo (Tomczak & Godfrey, 1994).

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 e foi possível comprovar a inexistência de uma termoclina permanente na Passagem de Drake por essa se tratar de uma região onde à a quebra da Corrente Circumpolar Antártica (CCA) que é uma região polar onde se origina a 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 no período apresentou trabalhos em dois eventos (resumos em anexo) sendo estes :

V Encontro Sul-Brasileiro de Meteorologia com o trabalho **ANÁLISE PRELIMINAR DA ESTRUTURA TERMAL DAS ÁGUAS DOS OCEANOS ATLÂNTICO SUL E AUSTRAL ATRAVÉS DE DADOS DE XBTs**

Simpósio de Iniciação Científica do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (SICCRS) com o trabalho **CLIMATOLOGIA DA ESTRUTURA TERMAL DO OCEANO ATLÂNTICO SUDOESTE A PARTIR DE DADOS OBSERVACIONAIS DE XBTS**

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.

ANEXO 1

**CLIMATOLOGIA DA ESTRUTURA TERMAL DO OCEANO ATLÂNTICO
SUDOESTE A PARTIR DE DADOS OBSERVACIONAIS DE XBTS**Rafael Afonso do Nascimento Reis¹ (UFSM, Bolsista PIBIC/INPE)Ronald Buss de Souza² (CRS-INPE, Orientador)

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo estudar a estrutura termal da região da confluência entre a Corrente do Brasil (CB) e a Corrente das Malvinas (CM), localizada no Oceano Atlântico Sudoeste. Nessa região, conhecida como Confluência Brasil-Malvinas (CBM), a CB (águas quentes e salinas) encontra a CM (águas frias e menos salinas) causando instabilidades que resultam em grande atividade de mesoescala marcada pela formação de grandes meandros e pela formação de inúmeros vórtices típicos da região. A CBM é considerada uma das mais energéticas do oceano global e sua dinâmica oceânica é relacionada à dinâmica de ambas as regiões subantártica/antártica e a subtropical. Para a análise da estrutura termal das massas d'água que se encontram nessa região são utilizados dados de XBTS (Expendable Bathy-Thermographs) lançados rotineiramente pelo Navio de Apoio Oceanográfico Ary Rongel no Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR) entre 2002 e 2009, e dados históricos de XBTS que datam desde a década de 1950 até a década de 1990 disponibilizados pelo Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO). Os XBTS são sondas lançadas no oceano para medir o perfil de temperatura da água do mar com respeito a profundidade. Dados do PROANTAR coletados em abril de em 2011 (Operação Antártica 29) estão sendo pré-processados e analisados. Os perfis de temperatura em função da profundidade da região da CBM durante para os dados analisados demonstram a presença de feições como *interleavings* e uma diferença entre as temperaturas de superfície de mais de 5 °C entre as águas da CB e da CM. Os dados também nos mostram um claro aquecimento e a origem da termoclina (tendo em vista que para as regiões polares não há uma termoclina aparente) nas águas da CM a partir de sua origem na passagem de Drake até a região da confluência. Os dados de XBT disponíveis oferecem uma ferramenta importante para o estudo da região da CBM onde os fortes gradientes termais



horizontais e verticais entre as águas da CB e da CM tem notoriamente uma influência importante sobre os processos de interação oceano-atmosfera com consequências no clima e tempo da América do Sul.

ANEXO 2

ANÁLISE PRELIMINAR DA ESTRUTURA TERMAL DAS ÁGUAS DOS OCEANOS ATLÂNTICO SUL E AUSTRAL ATRAVÉS DE DADOS DE XBTs

Rafael Afonso do Nascimento Reis^{1,2}
Ronald Buss de Souza²

¹ Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
Avenida Roraima 1000, Santa Maria (RS), Brasil – CEP 97105-900
rafael_cgb@hotmail.com

² Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS)
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
Avenida Roraima 1000, Santa Maria (RS), Brasil – CEP 97105-970
ronald@dsr.inpe.br

Abstract: Novel studies aimed at understanding the role of the South Atlantic Ocean in climate and weather in South America suggest that this region should be further investigated in several respects. The South Atlantic region includes the Brazil-Malvinas Confluence (BMC), where waters of Subantarctic origin meet those of tropical origin carried respectively by the Malvinas Current (MC) and the Brazil Current (AC). The region has connections with the Atlantic sector of the Southern Ocean, since the MC is originated as a branch directed to the north from the Antarctic Circumpolar Current (ACC). The BMC is one of the most energetic regions of the Global Ocean. The relative disponibility of data over the South Atlantic Ocean and Southern Ocean makes difficult to study and understand the their oceanographic and meteorological characteristics. The work presented here makes use of historical data of temperature of sea water in respect to depth collected *in situ* to describe the spatial and temporal characteristics of water masses in the South Atlantic Ocean and the Atlantic sector of the Southern Ocean. The results show that the data are useful to describe the thermal structure and horizontal and vertical thermal contrasts found in the study region. The data are also useful to describe some properties of the oceanic boundary layer which, owing to its interaction with the atmosphere through the fluxes of heat and momentum, is responsible for most of the processes that control the weather and climate of South America.

Resumo: Novos estudos dirigidos a compreender o papel do Oceano Atlântico Sul no clima e tempo da América do Sul indicam que essa região precisa ser melhor investigada sob vários aspectos. O Oceano Atlântico Sul compreende a região da Confluência Brasil-Malvinas (CBM), onde águas de origem subantártica se encontram com águas de origem tropical levadas, respectivamente, pela Corrente das Malvinas (CM) e pela Corrente do Brasil (CB). A região tem conexões com a setor atlântico do Oceano Austral, pois a CM é originada como um braço da direção norte da Corrente Circumpolar Antártica (CCA). A CBM é uma das mais energéticas do Oceano Global. A relativa disponibilidade de dados sobre o Oceano Atlântico Sul e Oceano Austral dificulta o estudo e a compreensão de suas características oceanográficas e meteorológicas. O trabalho apresentado aqui utiliza dados históricos de temperatura da água do mar em função da profundidade coletados *in situ* para descrever as características espaciais e temporais das massas de água do Oceano Atlântico Sul e setor atlântico do Oceano Austral. Os resultados mostram que os dados são úteis para descrever a estrutura termal e os contrastes termais

horizontais e verticais encontrados na região de estudo. Os dados são também úteis para descrever algumas propriedades da camada limite oceânica que, por sua interação com a atmosfera através dos fluxos de calor e *momentum*, é responsável por grande parte dos processos que controlam o tempo e o clima da América do Sul.

1-Introdução

O Oceano Atlântico Sul tem grande importância para o clima e o tempo da América do Sul (Pezzi e Souza, 2009). Nesse oceano, a porção sudoeste em latitudes próximas a 40° S compreende a região da Confluência Brasil-Malvinas (CBM), onde águas de origem subantártica se encontram com águas de origem tropical levadas, respectivamente, pela Corrente das Malvinas (CM) e pela Corrente do Brasil (CB). A CB é uma corrente que transporta águas quentes e salinas, oriundas da região equatorial. A CM transporta águas frias e de mais baixa salinidade, de origem subpolar. O encontro dessas duas correntes, na região conhecida como Confluência Brasil-Malvinas (CBM), resulta em grande atividade oceânica de mesoescala, marcada pela formação de inúmeros vórtices típicos na região (Pezzi e Souza, 2009). A temperatura da superfície do mar (TSM) varia espacial e temporalmente. As variações sazonais da TSM na região da CBM podem chegar a 13 °C em altas latitudes e a 4°C em baixas latitudes.

A relativa escassez de dados sobre o Oceano Atlântico Sul e Oceano Austral dificulta o estudo e a compreensão de suas características oceanográficas e meteorológicas. Dados históricos de temperatura da água do mar em função da profundidade tem sido coletados *in situ* por navios de pesquisa e de oportunidade desde a década de 1910 no Oceano Atlântico Sul e no setor atlântico do Oceano Austral. No Brasil esses dados são disponibilizados pelo Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) da Marinha do Brasil.

Como objetivo principal, esse trabalho analisa dados de temperatura da água do mar em função da profundidade no Oceano Atlântico Sul principalmente entre as latitudes de 30 °S a 35 °S e na região da Passagem de Drake entre a América do Sul e a Península Antártica, onde se origina a CM. Objetiva-se também descrever algumas propriedades da camada limite oceânica ou camada de mistura oceânica. Essa camada, por estender-se desde a termoclina até a interface oceano-atmosfera, é responsável pela interação com a atmosfera através dos fluxos de calor e *momentum* controlando, de forma ainda não totalmente esclarecida, grande parte dos processos ligados ao tempo e ao clima da América do Sul.

2-Material e Métodos

Os dados utilizados neste trabalho são dados históricos de XBTs (*Expendable Bathy-Thermographs*) obtidos junto ao BNDO entre os anos de 1911 e 1996. O XBT é uma sonda descartável, lançada em queda livre, portando um termistor que é sensível a variação da temperatura da água em função da profundidade enquanto afunda. Por motivos de consistência e valor científico, nesse trabalho somente serão utilizados os dados a partir da década de 1950. Os pontos ilustrados na Figura 1 representam a posição das estações onde os dados foram coletados. Os dados foram previamente analisados em sua consistência, filtrados e agrupados com referência ao domínio das águas frias da CM ou da Corrente Circumpolar Antártica (CCA) e das águas quentes da CB.

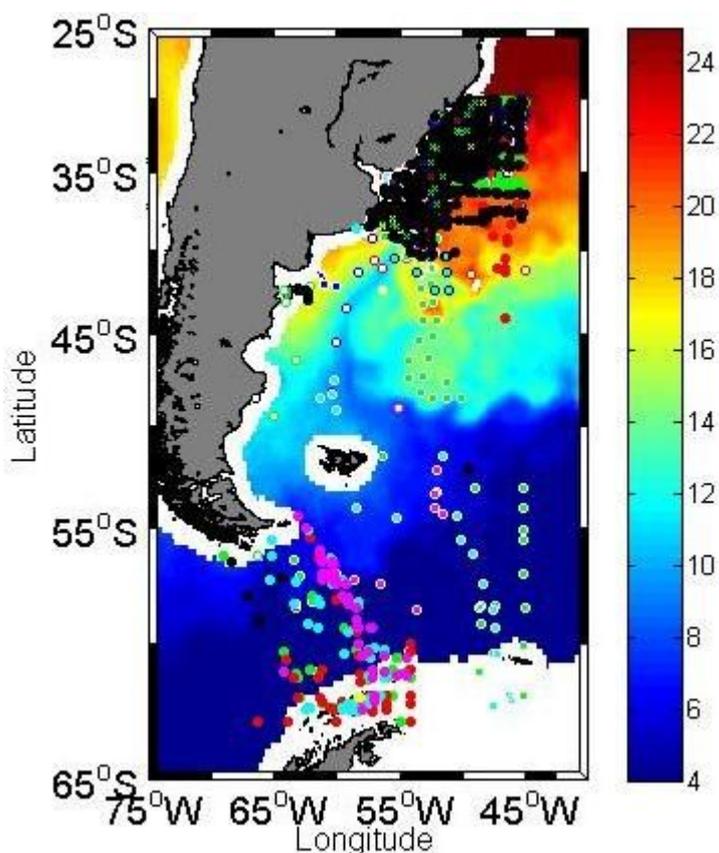


Figura 1: Posição de coletas dos dados com cada cor referente a um ano (imagem de TSM meramente ilustrativa referente a 31 de dezembro de 2009)

3-Resultados

As Figuras 2 a 6 apresentam os perfis de temperatura da água do mar em função da profundidade agrupados em função da época em que foram coletados (décadas de 1950, 1960, 1970, 1980 e 1990) sobre toda a região de estudo. O conjunto de dados representa as variações termais da região de estudo. As águas localizadas na Passagem de Drake são representadas principalmente pelos gráficos dos anos de 1984 a 1988. Essas águas tem sua temperatura superficial entre 0 °C e 10 °C. Valores mais altos de TSM observados nos anos de 1984, 1985 e 1986 pertencem a dados da região de domínio da CB

Esses resultados mostram que há um claro aquecimento da CM à medida em que ela se aproxima da região da CBM, pois a temperatura média da CM, de acordo com Rabelo (2010) é de 8,2 °C para a região da CBM. A região da CB esta caracterizada principalmente pelos gráficos da década de 1970 e do ano de 1989 (embora no ano de 1989 também houveram medições na Passagem de Drake, o que explica os valores de TSM abaixo de 10 °C). Os resultados mostram as águas da CB com uma temperatura superficial entre 10 °C e 20 °C. A termoclina, que é a camada onde a temperatura da água varia de maneira extrema com a profundidade, para as águas da CB tem uma profundidade que varia entre os 120 m e 150 m, como esperado, dependendo da região onde o dado foi coletado. Essa profundidade fica demonstrada em maior detalhes no gráfico do ano de 1974 onde podemos observar claramente uma queda brusca de temperatura até a profundidade de aproximadamente 150 m e depois a uma grande suavização na variação de temperatura onde esta se torna quase constante. Já no gráfico de 1977 pode-se observar que todo o conjunto de dados segue o mesmo padrão de variação, tendo sua termoclina para todo o conjunto próximo a os 120 m. Nos anos de 1972 e 1973 a termoclina fica na média dos 140 m. Para os outros anos da década de 1970, devido a grande dispersão dos dados, não foi possível determinar claramente uma termoclina. Já para as medições na região polar da Passagem de Drake não podemos definir uma termoclina tendo em vista que em regiões polares a Termoclina Permanente não existe, a água em superfície constantemente resfriada pela atmosfera se torna tão densa que afunda a grandes profundidades no oceano, levando a isoterma da coluna d'água ate o fundo (Tomczak & Godfrey, 1994).

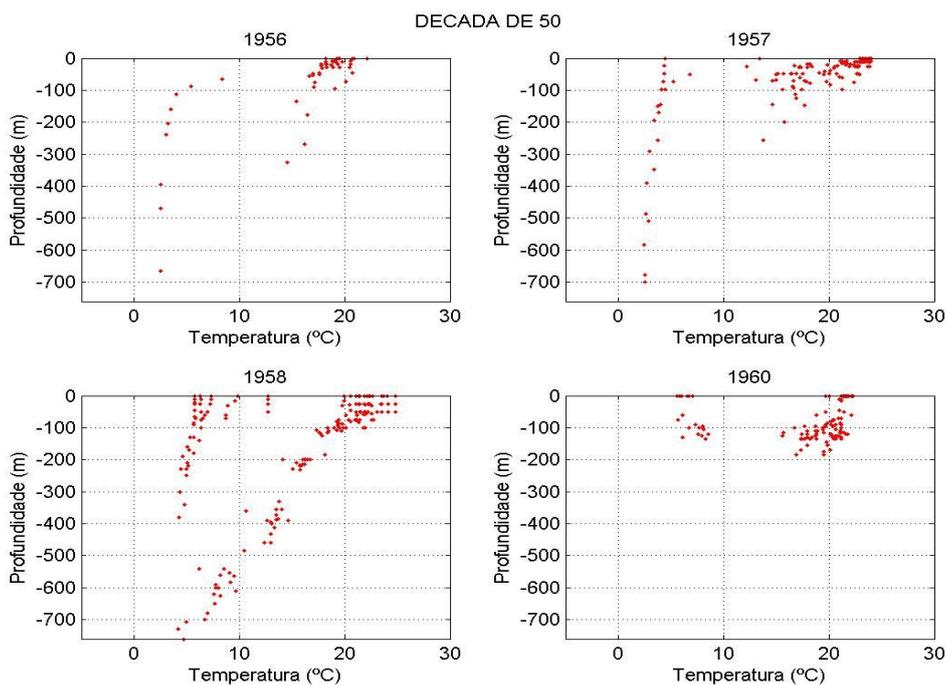


Figura 2: Perfis de temperatura da água do mar em função da profundidade dos dados do BNDO da década de 1950.

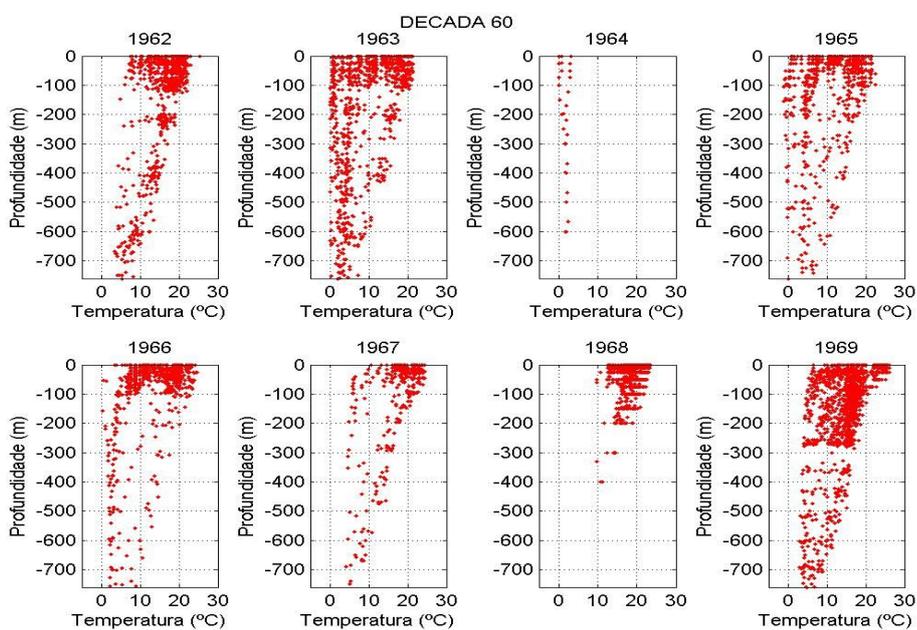


Figura 3: Perfis de temperatura da água do mar em função da profundidade dos dados do BNDO da década de 1960.

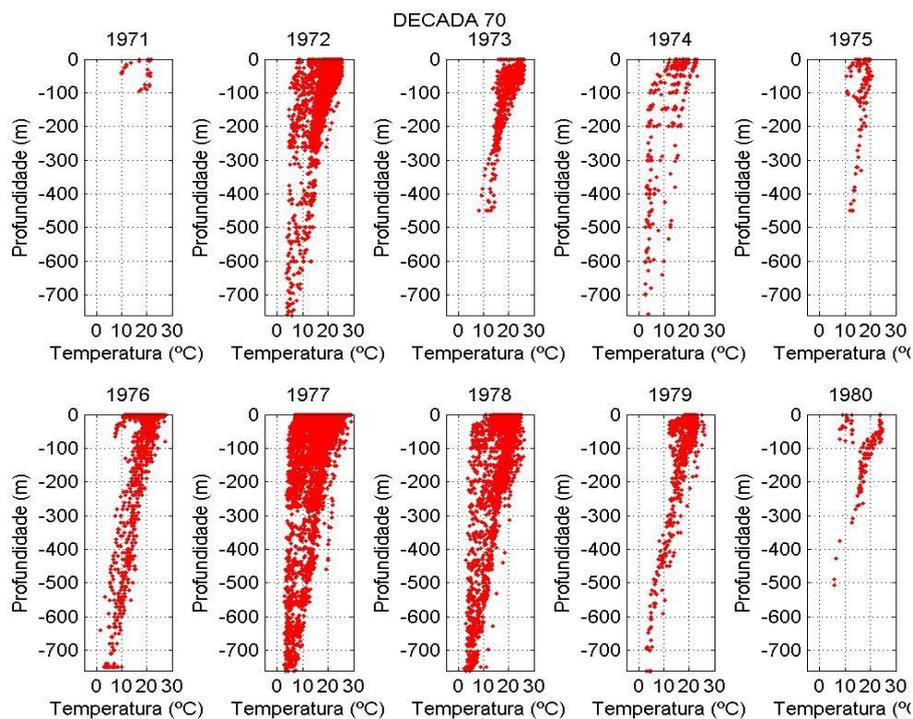


Figura 4: Perfis de temperatura da água do mar em função da profundidade dos dados do BNDO da década de 1970.

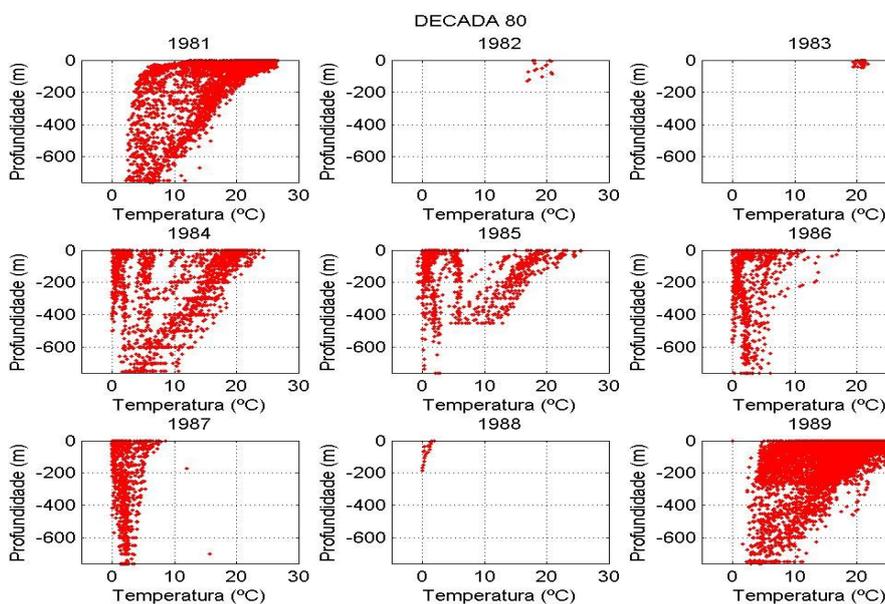


Figura 5: Perfis de temperatura da água do mar em função da profundidade dos dados do BNDO da década de 1980.

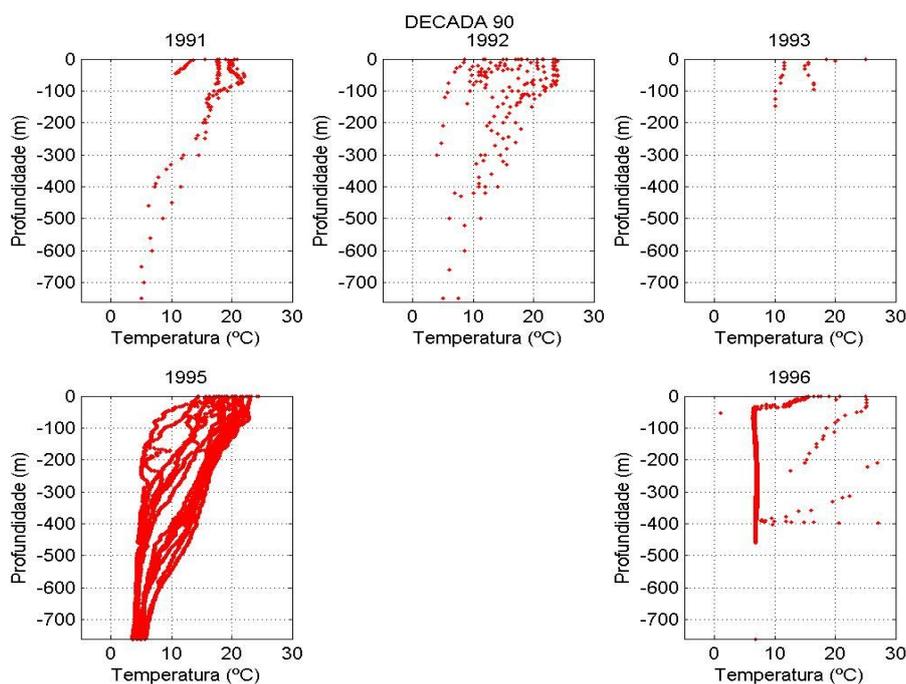


Figura 6: Perfis de temperatura da água do mar em função da profundidade dos dados do BNDO da década de 1990.

4-Conclusões

Os resultados preliminares apresentados nesse trabalho são um importante acréscimo para a pesquisa da região da CBM, pois apesar de ser uma das regiões mais energéticas do Oceano Global com alta variabilidade temporal e espacial, a coleta de dados *in situ* nesse local é muito rara. Este conjunto de dados nos dá uma melhor compreensão das características da região da confluência e das regiões de origem de suas águas tanto em suas características espaciais quanto temporais. Um próximo passo é dividir os dados por regiões de $1^\circ \times 1^\circ$ de latitude/longitude, e não pelo ano que estes foram coletados. Como foi mostrado anteriormente, num mesmo ano são feitas medições em diversas regiões da região de estudo. Um estudo mais detalhado de cada uma dessas regiões separadamente daria uma melhor compreensão das características da região da CBM e auxiliaria na criação de uma climatologia mais detalhada da mesma. Tal climatologia é de extrema importância tendo em vista que as características desta região afetam o transporte de biomassa e as condições meteorológicas da região sul da América do Sul.

5-Agradecimentos.

Os autores agradecem ao BNDO pela disponibilização dos dados. O CNPq é agradecido pelo fornecimento de bolsa PIBIC ao primeiro autor e pelo apoio aos projetos SOS-Climat (382756/2006) e INCT da Criosfera (704222/2009).

6-Referências Bibliográficas

PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B. **Variabilidade de meso-escala e interação Oceano-Atmosfera no Atlântico Sudoeste**. In: Iracema F. A. Cavalcanti; Nelson J. Ferreira; Maria Assunção F. Dias; Maria Gertrudes A. (Org.). Tempo e Clima no Brasil. 1a ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p 385-405.

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.

TOMCZAK, M.; GODFREY, J. S. **Regional Oceanography: An Introduction**. London. Pergamon Press, 1994. 422 p.