



**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/MCTI**

Rafael Afonso do Nascimento Reis – Bolsista PIBIC/INPE –
CNPq/MCTI

Laboratório de Meteorologia e Oceanografia por Satélites.

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais

CRS/CIE/INPE – MCTI

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 – MCTI

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/INPE - MCTI

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 - MCTI

Local de Trabalho/Execução do projeto:

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

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

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

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE – MCTI **6**

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 e na região da Passagem de Drake onde um braço da Corrente Circumpolar Antártica se desprende dando origem a Corrente das Malvinas;
- * 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.

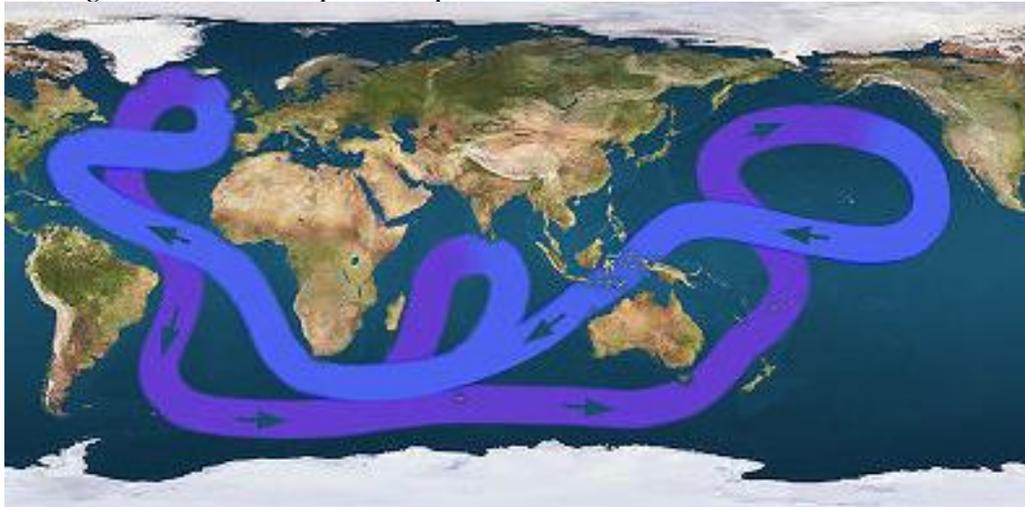


Figura 2: Circulação termohalina global. Circulação das águas oceânicas mais profundas. Fonte: http://www.nilsonantoniobrena.xpg.com.br/a_chuva_acida.pdf

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.

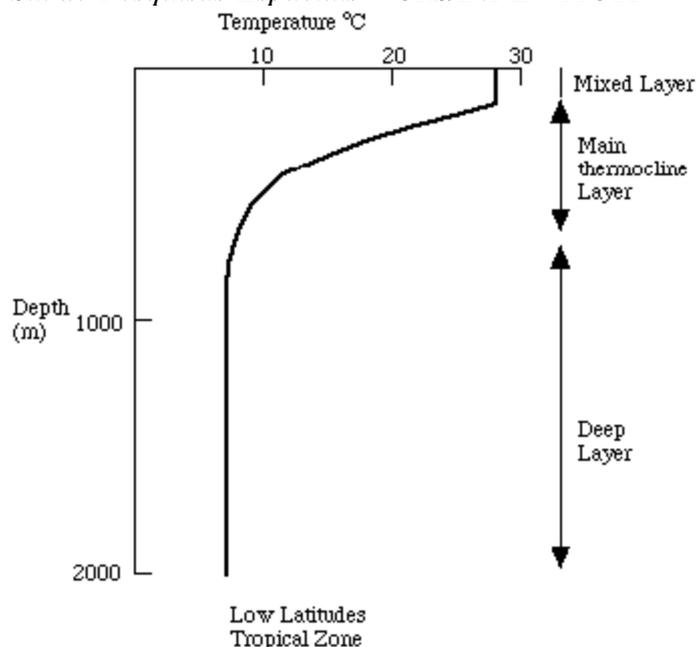


Figura 3: Estrutura termal oceânica destacando-se as diferentes partes da estrutura.

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.

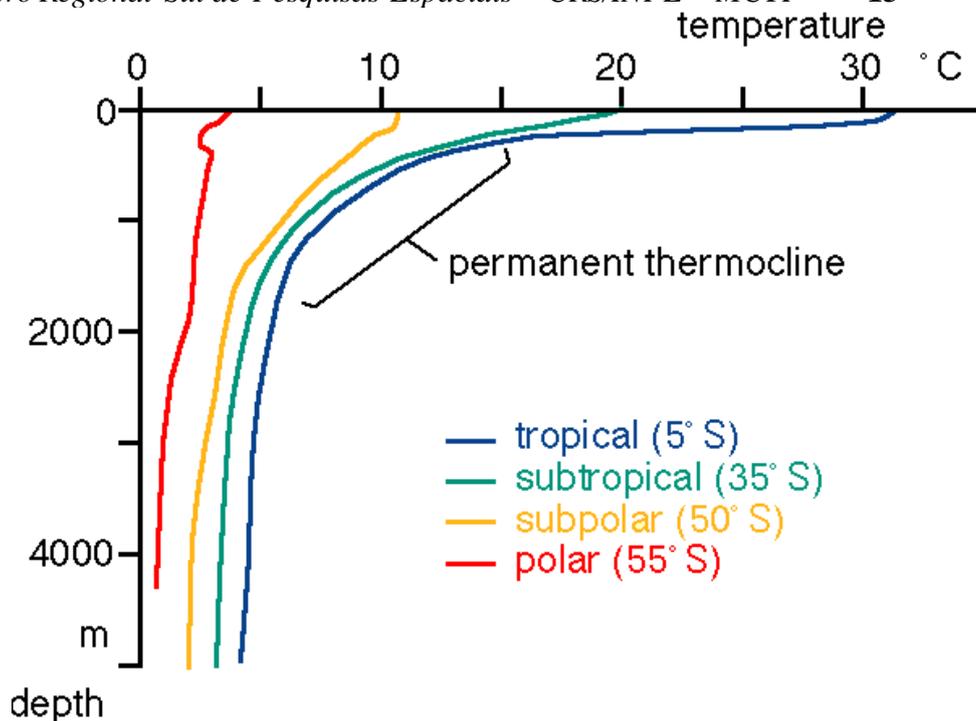


Figura 4: Diferença nos perfil de temperatura em altas e médias latitudes. Indicadas na figura, estão os perfis de águas tropicais, subtropicais, subpolares e polares.

3.4 Área de Estudo

A área estudada principalmente 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 de longitude.

Porem também é estudada a região da Passagem de Drake onde se tem a origem da CM a partir de um braço desprendido da Corrente Circumpolar Antártica (CCA). Esta região esta localizada entre os 55°S e 64°S de latitude e 65°W e 70°W de longitude.

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.



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.

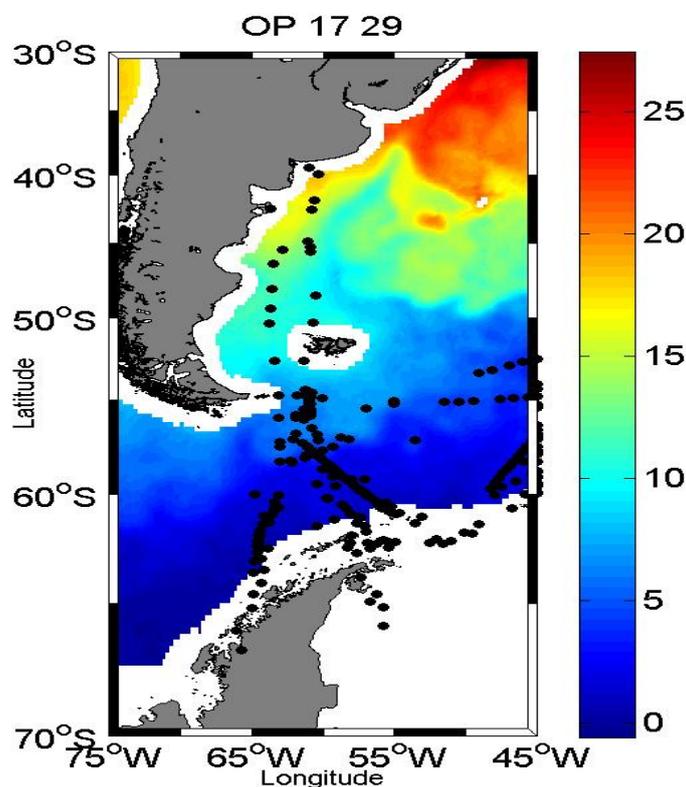
Neste trabalho, para cada uma das observações disponíveis de XBT, plotamos um gráfico com respeito à temperatura.

4.2 Descrição dos dados

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

Brasileiro) nas Operações Antárticas XVII a XXIX (1998 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 424 perfis de XBTs.

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



Figurara 6: Ponto de coleta de dados das Operações Antárticas 17 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.

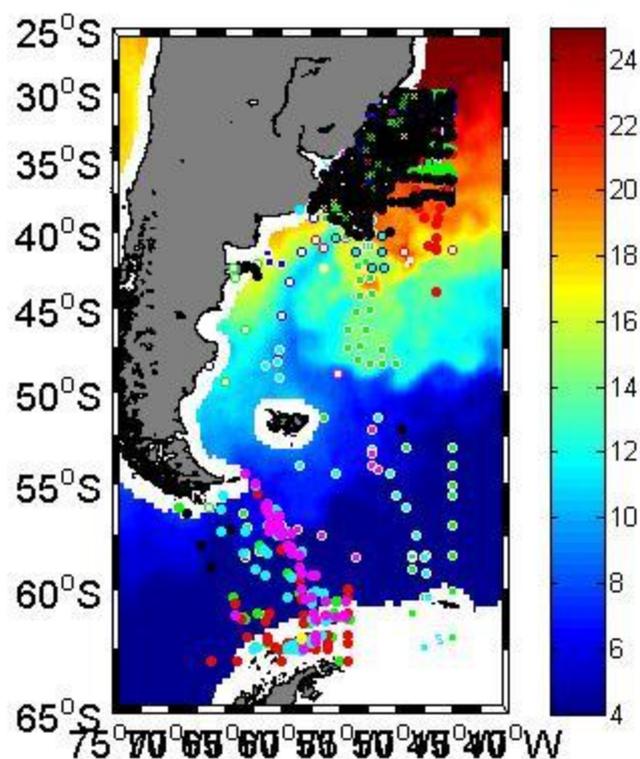


Figura 7: Ponto de coleta dos dados do BNDO (cada cor representa um ano)

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

Após a análise e suavização de todos os dados obtidos nas Operações Antárticas, o bolsista está dividindo estes dados por regiões de 1° por 1° e fazendo a média dos perfis de temperatura dentro desses quadrados e após isto será feita a comparação destes dados com os do National Oceanographic Data Center (NODC) para avaliar a validade destes dados.

O bolsista plotou um perfil de temperatura com a profundidade para cada uma das observações de todas as Operações Antárticas 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.

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.

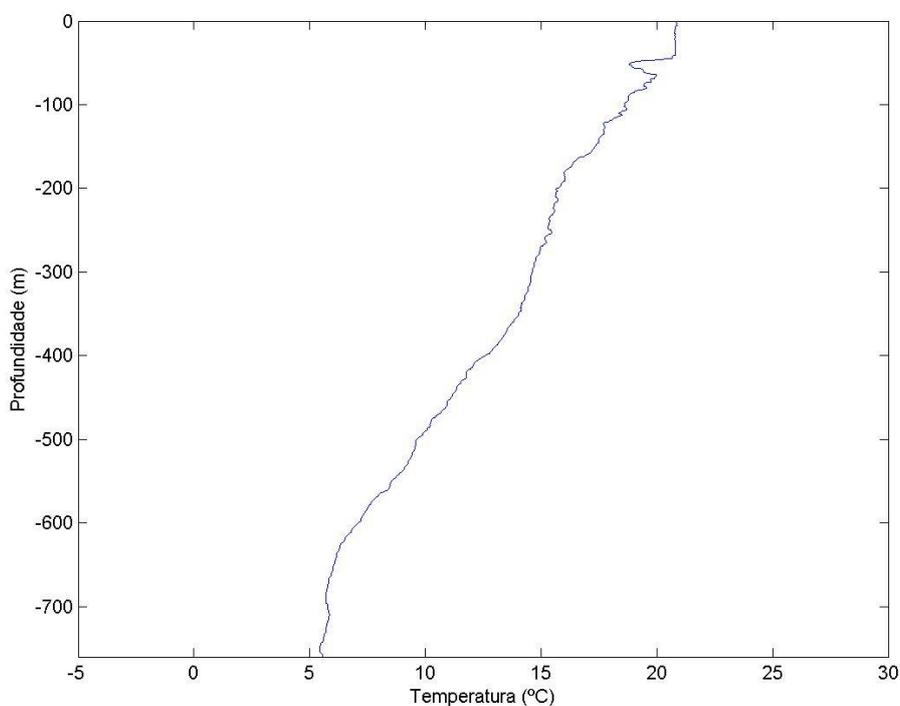


Figura 8: Perfil de XBT para uma Latitude de 38° S e uma Longitude de 52°W

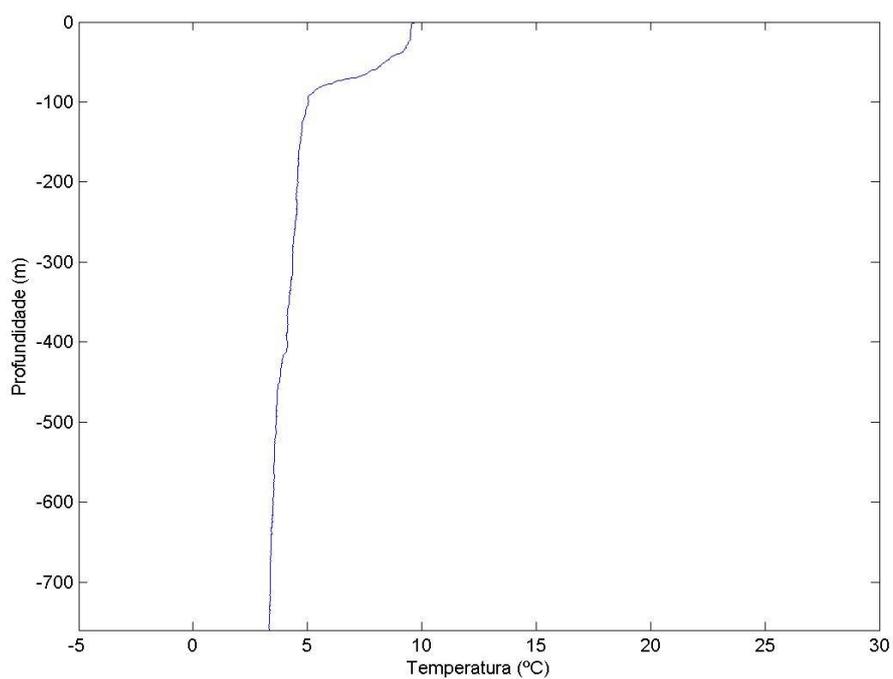


Figura 9: Perfil de XBT para uma Latitude de 46° S e uma Longitude de 59°W

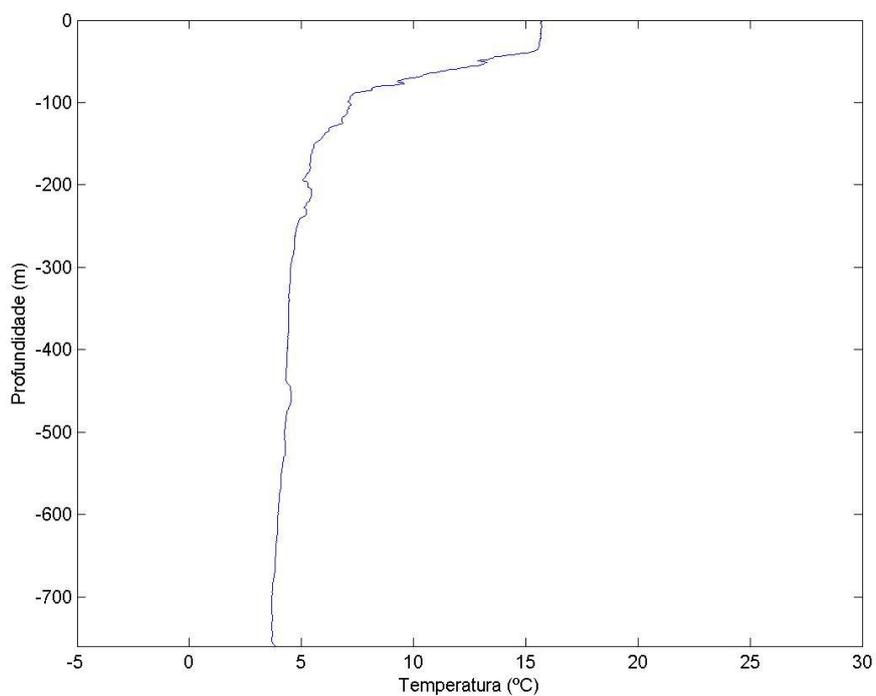


Figura 10: Perfil de XBT para uma Latitude de 40° S e uma Longitude de 53° W

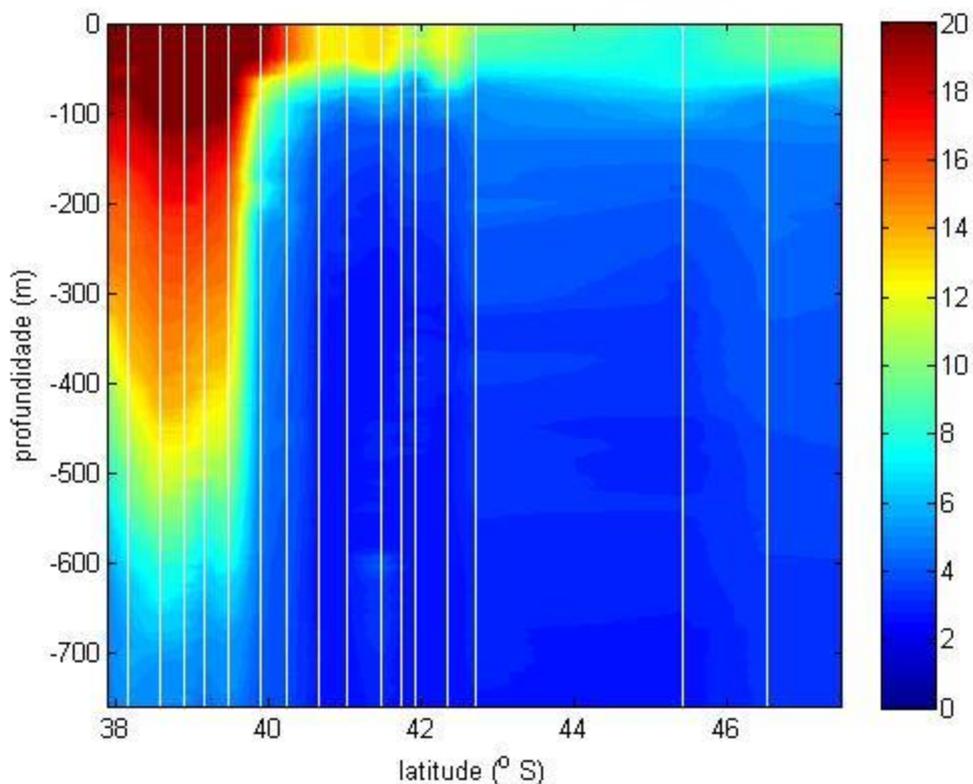


Figura 11: Perfil da Confluência obtido através da interpolação dos dados de XBTs da OP 29

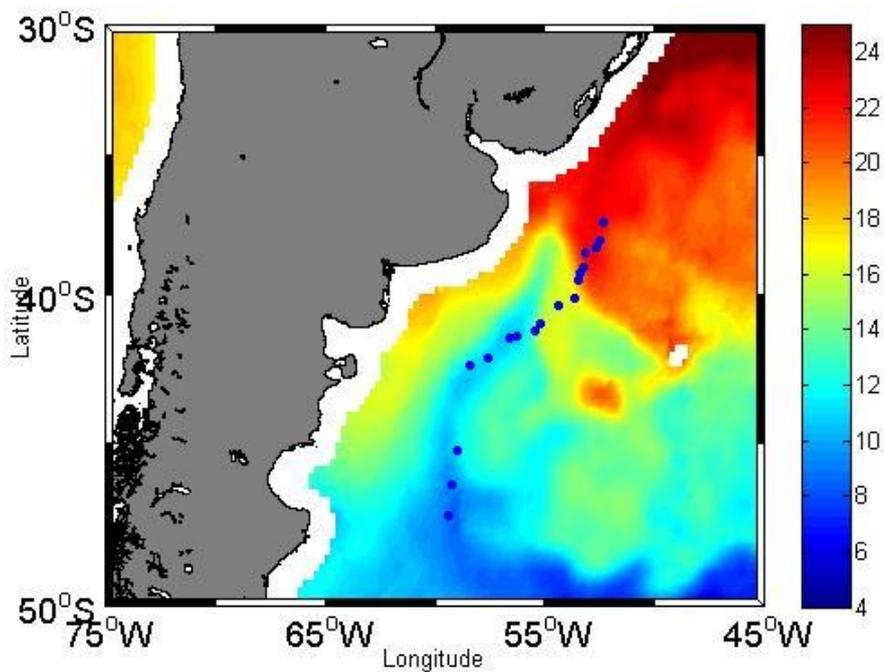


Figura 12: Ponto de coleta dos dados de XBTs da Operação 29

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.

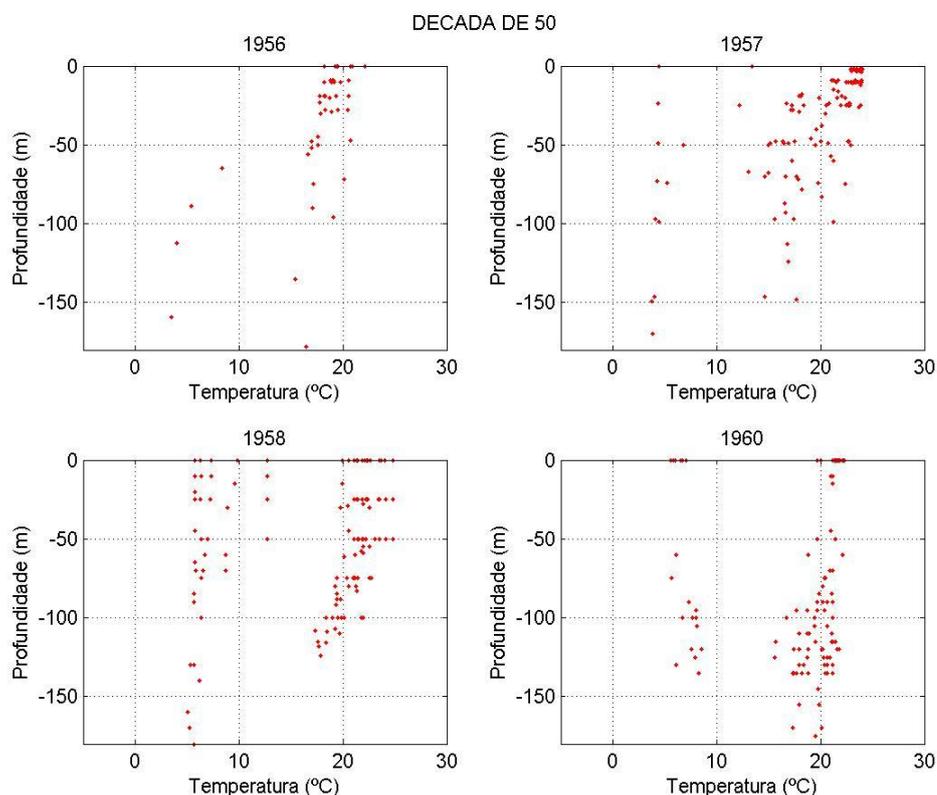


Figura 13: Perfis de temperatura em função da profundidade dos dados do BNDO para a década de 1950

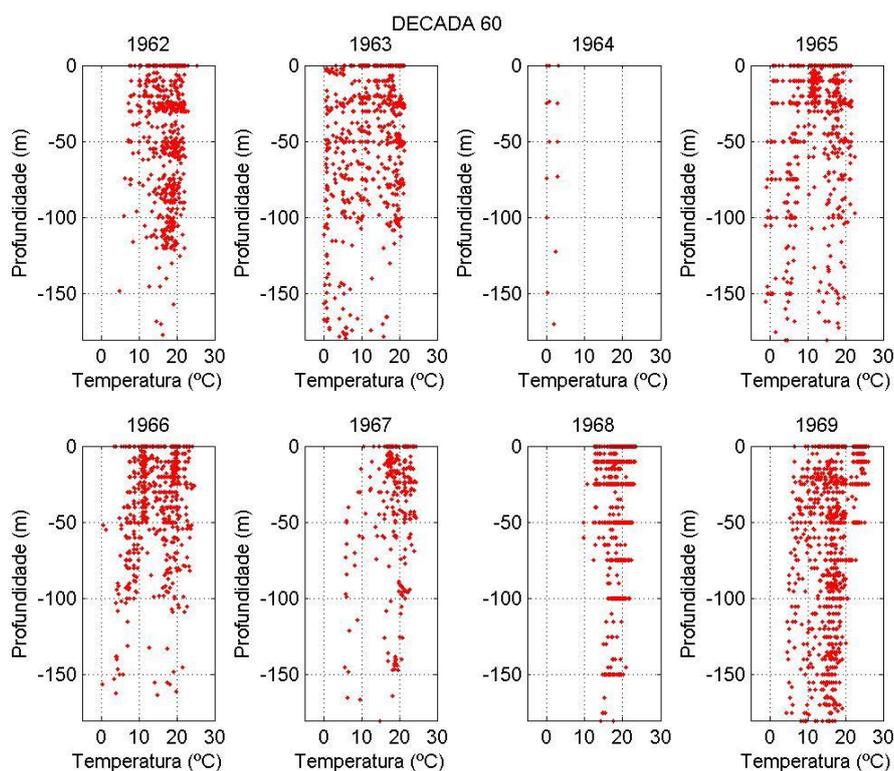


Figura 14: Perfis de temperatura em função da profundidade dos dados do BNDO para a década de 1960

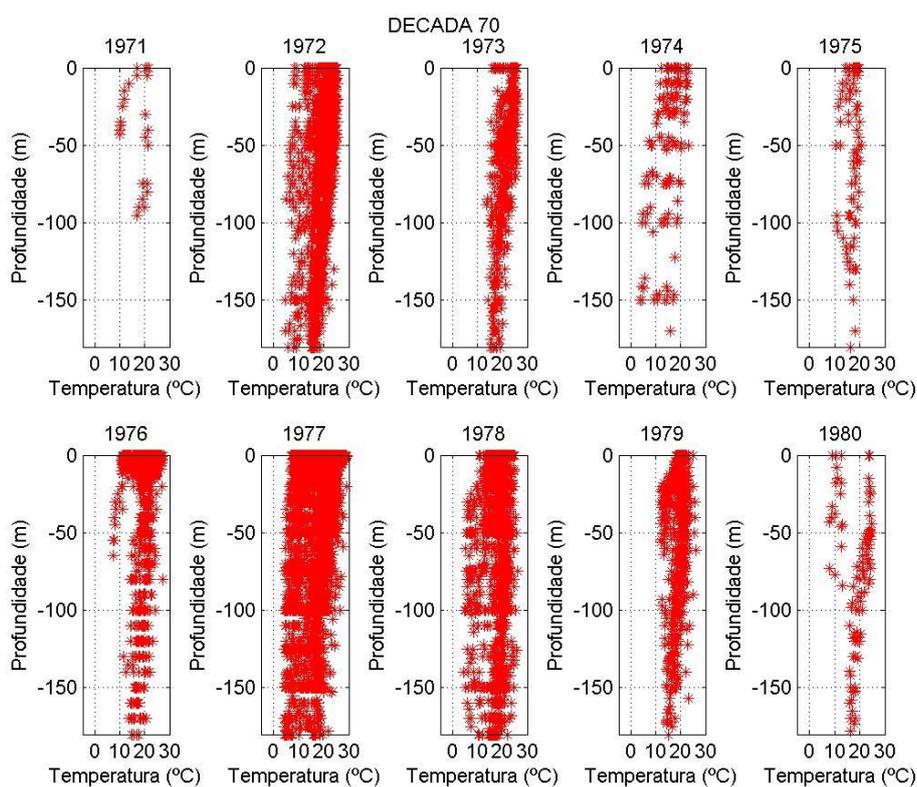


Figura 15: Perfis de temperatura em função da profundidade dos dados do BNDO para a década de 1970

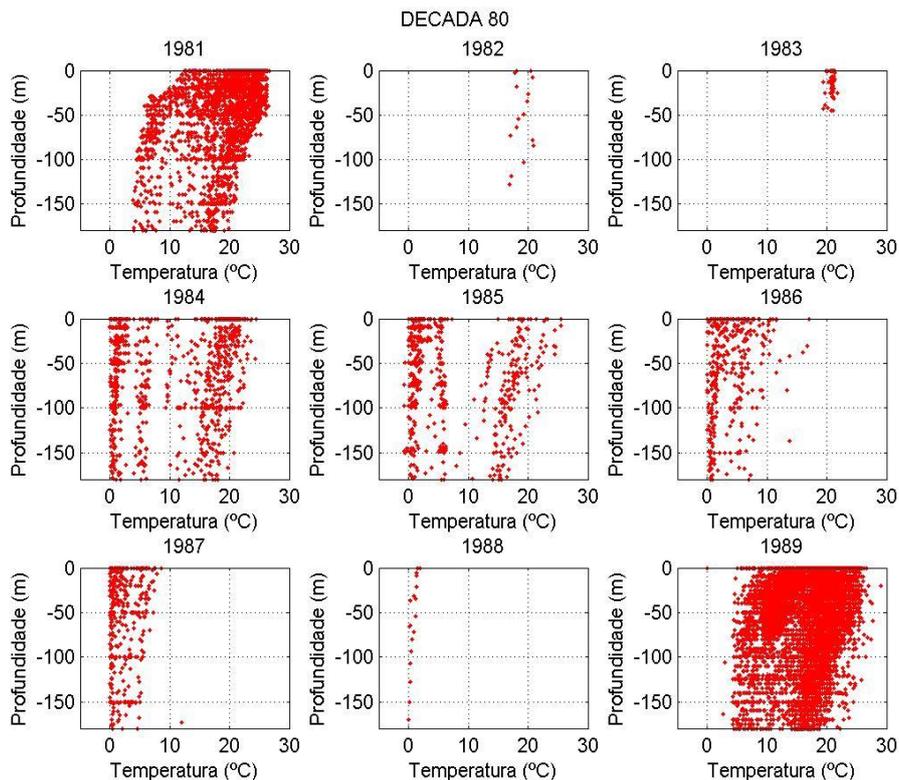


Figura 16: Perfis de temperatura em função da profundidade dos dados do BNDO para a década de 1980

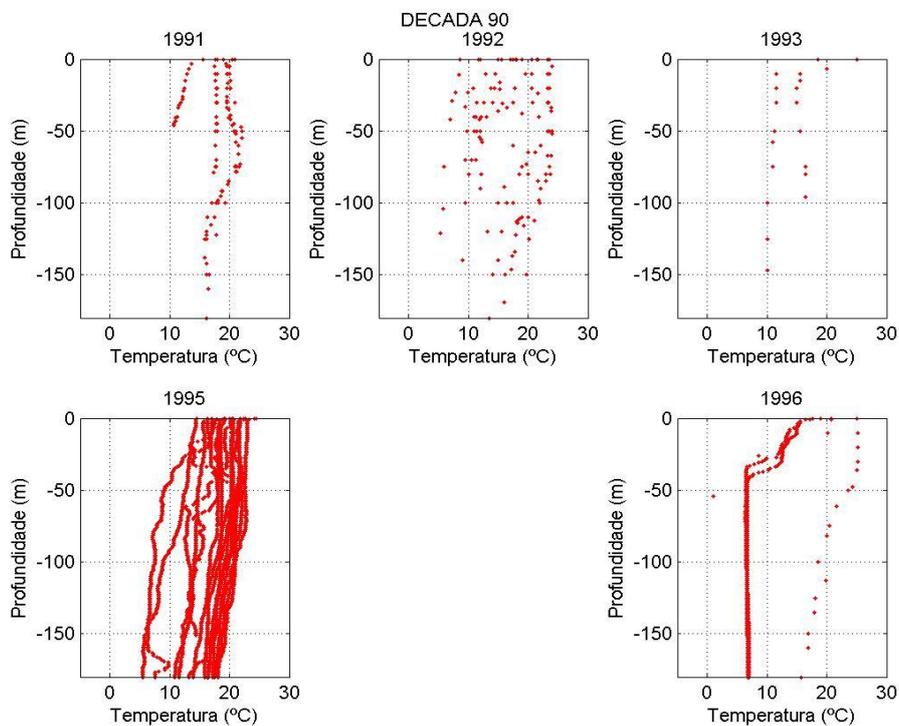


Figura 17: Perfis de temperatura em função da profundidade dos dados do BNDO para a década de 1990

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).

Após uma análise dos 424 dados das operações antárticas XII a XXIX foram separados os 241 dados que apresentavam melhor descrição da região da CBM e da Passagem de Drake para assim ser feita uma análise dos padrões termais das águas nas duas regiões.

Esses 241 dados foram divididos em 197 da região de domínio da CBM e 44 da região da Passagem de Drake e plotados em um gráfico de temperatura em função da profundidade como mostram a figura 18.

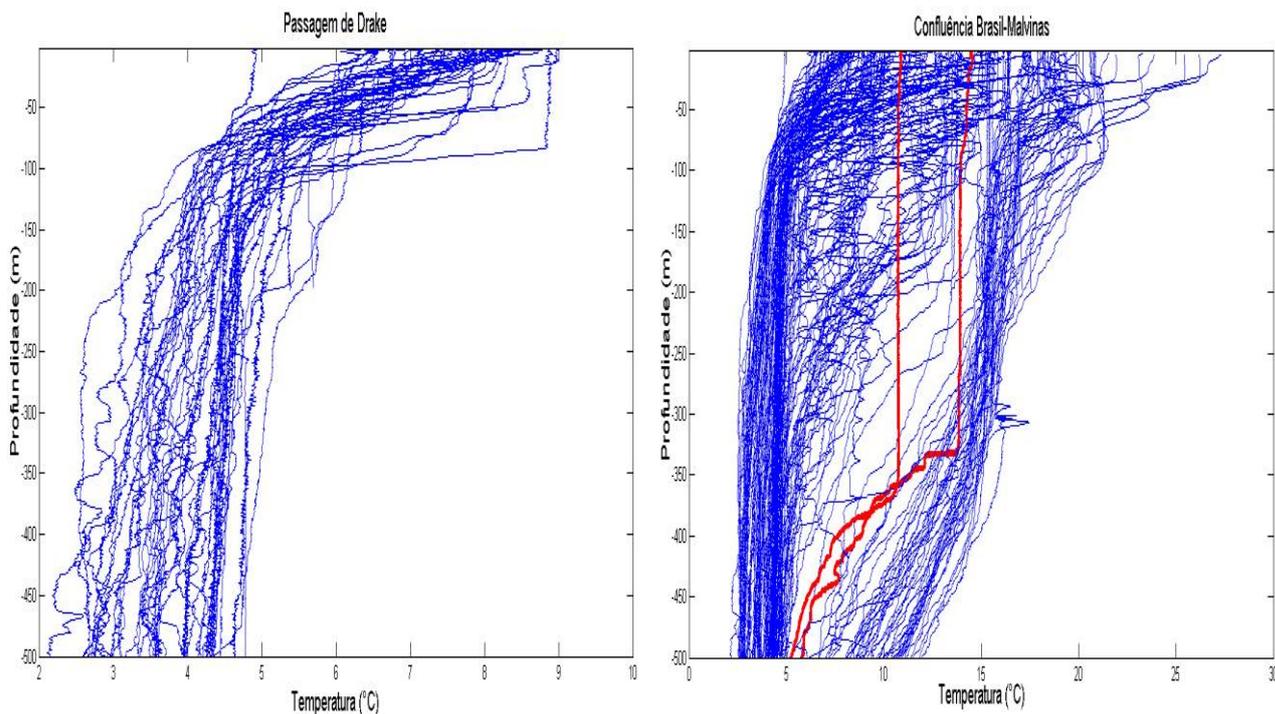


Figura 18: Perfis de temperatura em função da profundidade para a Passagem de Drake (esq.) e para a Confluência Brasil-Malvinas (dir.). Em vermelho nota-se os perfis coletados dentro de um vórtice quente na OP XXVIII.

Podemos observar, através desses perfis, que mesmo em regiões polares a Termoclina Sazonal é muito importante e variada, pois a água em superfície é constantemente resfriada pela atmosfera. Em casos extremos, as águas superficiais podem se tornar tão densas que afundam para grandes profundidades (Tomczak e Godfrey, 1994). No nosso caso na Passagem de Drake, a termoclina sazonal aparece bem definida até a profundidade de 100 m. Através da Figura 2, podemos observar que existe uma diferença na temperatura da superfície do mar (TSM) das águas entre a SAF e a PF de aproximadamente 1,5 °C, em concordância com Pickard e Emery (1990) Também, de acordo com Tomczak e Godfrey (1994) e os resultados apresentados aqui, as águas subantárticas de superfície tem sua temperatura variando entre 4 °C e 14 °C durante o verão.

Os dados de XBTs tomados na região da CBM (Figura 18) mostram que a diferença de TSM entre as porções norte (quente) e sul (fria) chega a aproximadamente 8 °C. Esse intenso contraste térmico é muito característico, fazendo dessa região uma das mais energéticas do oceano global. Em alguns casos ocorrem intensos contrastes termais até abaixo da termoclina, através dos processos de entranhamento entre as águas chamados

Os dados coletados na região da CBM também mostram que a TSM da CB chega até uma temperatura de 25 °C, enquanto que a da CM chegando até 14 °C, diferente da TSM de sua região de origem na Passagem de Drake onde a TSM chegou a apenas 9 °C. Isso nos mostra um claro aquecimento das águas superficiais durante seu percurso até a CBM.

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 :

VII Brazilian Micrometeorology Workshop com o trabalho ESTRUTURA TERMAL DO OCEANO NA REGIÃO DA CONFLUÊNCIA BRASIL-MALVINAS ENTRE 2001 E 2011.

II Workshop APECS Brasil com o trabalho ESTRUTURA TERMAL DAS ÁGUAS DA CONFLUÊNCIA BRASIL-MALVINAS E PASSAGEM DE DRAKE NAS OPERAÇÕES ANTÁRTICAS XVII A XXIX.

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

Estrutura termal do oceano na região da Confluência Brasil-Malvinas entre 2001 e 2011

^{1,2} Rafael Afonso do Nascimento Reis; ^{1,2} Anderson Henrique Henriques Coelho; ²

Ronald Buss de Souza

¹ Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

e-mail: rafael_cgb@hotmail.com

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

1. Introdução

No Atlântico Sudoeste próximo aos 40 °S, o encontro de das águas da Corrente do Brasil (CB), quente e salina, e da Corrente das Malvinas (CM), fria e de mais baixa salinidade, é conhecida como Confluência Brasil-Malvinas (CBM). A região apresenta grande atividade oceânica de mesoescala (Pezzi e Souza, 2009), sendo considerada uma das mais energéticas do oceano global. A temperatura da superfície do mar (TSM) varia sazonalmente, chegando a amplitudes de cerca de 13 °C em baixas latitudes e 4 °C em altas latitudes.

O estudo da variabilidade oceânica na CBM é comumente realizado através de imagens de satélites, porém é igualmente importante entender a distribuição tri-dimensional dos campos de temperatura da água do mar. Esse O trabalho tem por objetivo descrever a estrutura termal das massas d'águas das porções quente e fria da CBM entre os anos de 2001 e 2011. Também espera-se descrever a presença de feições tipo *interleavings* da região de estudo. Esse fenômeno é o acamadamento horizontal de massas d'água de diferentes origens. Esse fenômeno facilita a mistura entre distintas massas d'água através do aumento da superfície da área de contato entre elas (Bianchi et al., 2002).

2. Materiais e Métodos

Para esse estudo foram utilizados 131 perfis de batitermógrafos descartáveis (XBTs), lançados durante as Operações Antárticas 20 a 29 do PROANTAR (Programa

Antártico Brasileiro) entre 2001 e 2011. Os dados foram divididos entre o lado quente (CB com 45 perfis) e frio (CM com 86 perfis) da CBM. Um perfil médio de temperatura em função da profundidade, assim como seu respectivo desvio padrão, foi obtido para cada região estudada. Através dessa estatística básica foi gerado um gráfico indicando um, dois e três desvios padrão acima e abaixo da média para melhor descrever a alta variabilidade das massas d'água. As medidas de temperatura com uma diferença superior a um desvio padrão para cada profundidade foram consideradas como sendo assinaturas dos *interleavings*.

3.Resultados e Discussões

Na Figura 1 podemos observar que a TSM da CB é em média 18 °C com desvio padrão de 1,7 °C. A TSM média para a CM é de 8 °C com desvio padrão de 3,7 °C. Dos 131 perfis utilizados neste trabalho, podemos observar a presença de 7 *interleavings* na região da CB e 7 na CM. Dos *interleavings* encontrados na região da CB, apenas um se encontra abaixo da termoclina a cerca de 480 m de profundidade. Os outros se encontram entre 50 e 150 m. Já nos *interleavings* da CM, em sua grande maioria, foram encontrados abaixo da termoclina. Na CM, o *interleaving* mais expressivo foi encontrado a 121 m de profundidade.

4.Conclusões

Esse trabalho descreve as características termais das massas d'água na CBM a partir de dados observacionais coletados entre 2001 e 2011. Foi possível perceber a presença de assinaturas de *interleavings* existentes em 14 perfis entre os 131 utilizados neste trabalho. O estudo da distribuição média de temperatura da água do mar nas porções quente e fria da CBM é de extrema importância para estudos mais avançados na área interação oceano-atmosfera. A ação dos *interleavings* modulando os processos de fluxos de calor entre a atmosfera e o oceano ainda é completamente desconhecida.

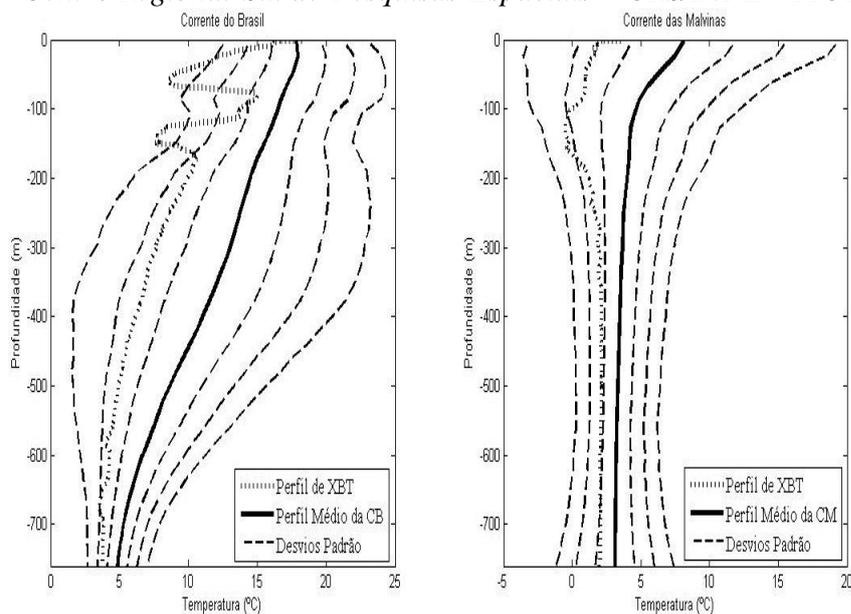


Figura 1. Perfil médio de temperatura da água do mar com desvio padrão para CB (esq.) e CM(dir.) entre 2001 e 2011. Em linha pontilhada destacam-se exemplos de perfis com *interleavings*.

5.Referência Bibliográfica

BIANCHI A. A.; PIOLA A. R.; COLLINO G, J. (2002) **Evidence of double diffusion in the Brazil–Malvinas Confluence**. Deep-Sea Res. I 49: p. 41-52.
PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B. (2009) **Variabilidade de mesoescala e interação oceanoatmosfera no Atlântico Sudoeste**. Tempo e clima no Brasil. CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (org.), Ed. Oficina de Textos, São Paulo. 463p.

ANEXO 2

ESTRUTURA TERMAL DAS ÁGUAS DA CONFLUÊNCIA BRASIL-MALVINAS E PASSAGEM DE DRAKE NAS OPERAÇÕES ANTÁRTICAS XVII A XXIX

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

¹ Universidade Federal de Santa Maria - UFSM – CEP 97105-900

² Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE – CEP 97105970.
Email: rafael_cgb@hotmail.com, ronald@dsr.inpe.br

RESUMO

A região da Confluência Brasil-Malvinas (CBM) no oceano Atlântico Sudoeste é onde ocorre o encontro entre a CB e a CM originada na Passagem de Drake. Através de dados multi-temporais de XBTs lançados durante as Operações Antárticas XVII a XXIX, esse estudo analisa os padrões termais das águas da CBM e da Passagem de Drake. Como esperado para a Passagem de Drake, os resultados mostram que a diferença entre a TSM da parte norte e sul da CCA é de até 1,5 °C. Já na CBM a diferença entre a TSM da CB e da CM chega a 8 °C.

INTRODUÇÃO

A Corrente Circumpolar Antártica (CCA) é caracterizada pelo movimento circumpolar de águas ao longo de frentes oceanográficas caracterizadas por fortes gradientes de temperatura e salinidade. Ao longo da CCA, as águas subantárticas que se encontram ao norte são separadas das massas d'água antárticas mais frias que se encontram ao sul (Orsi et al., 1995). As frentes oceanográficas da CCA (Frente Subantártica - SAF e Frente Polar - PF) são espremidas na região da Passagem de Drake, o que torna esta uma região perfeita para se estudar as diferentes características entre essas massas d'água.

Após passar pela região da Passagem de Drake, um braço da SAF se desprende da CCA e segue em direção ao norte no Oceano Atlântico Sudoeste dando origem à Corrente das Malvinas (CM), que próxima aos 40° S onde encontra a Corrente do Brasil (CB), dando origem à Confluência Brasil-Malvinas (CBM).

A CBM, por ser uma região de encontro entre duas massas d'água com características muito distintas, tem fortes movimentos meândricos que causam a liberação de vórtices quentes originados da CB e lançados na direção da CM. A CBM é considerada uma das regiões mais energéticas do Oceano Global.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a análise da estrutura termal das águas da região da CBM e da Passagem de Drake foram utilizados dados de XBTs (*Expendable Bathy-Thermographs*), que são sondas descartáveis lançadas no oceano e para medir o perfil de temperatura da água do mar com respeito à sua profundidade.

Os dados utilizados foram coletados entre os anos de 1998 a 2011 (Operações Antárticas XVII a XXIX, respectivamente) pelo PROANTAR (Programa Antártico Brasileiro) a partir do Navio de Apoio Oceanográfico (NApOc) Ary Rongel. Nesse trabalho serão utilizados apenas os dados coletados ao longo do percurso entre Rio Grande (Brasil) e a Antártica, nos meses de outubro a novembro de cada ano nas localidades mostradas na Figura 1. Para a região da CBM, foram usados 197 perfis de XBT e para a região da Passagem de Drake foram usados 44 perfis.

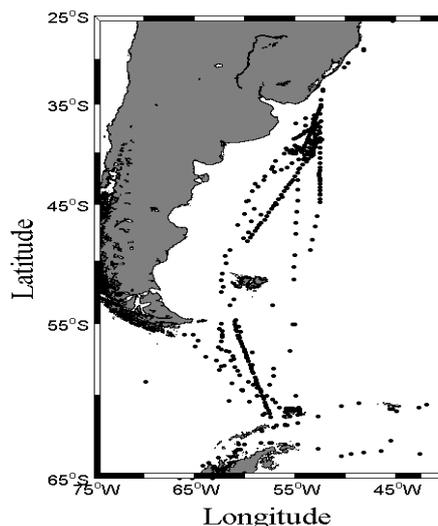


Figura 1: Locais de coleta dos perfis de XBT das Operações Antárticas XVII a XXIX

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta os perfis de temperatura da água do mar em função da profundidade para as duas localidades. Podemos observar, através desses perfis, que mesmo em regiões polares a Termoclina Sazonal é muito importante e variada, pois a água em superfície é constantemente resfriada pela atmosfera. Em casos extremos, as águas superficiais podem se tornar tão densas que afundam para grandes profundidades (Tomczak e Godfrey, 1994). No nosso caso na Passagem de Drake, a termoclina sazonal aparece bem definida até a profundidade de 100 m. Através da Figura 2, podemos observar que existe uma diferença na temperatura da superfície do mar (TSM) das águas entre a SAF e a PF de aproximadamente 1,5 °C, em concordância com Pickard e Emery (1990) Também, de acordo com Tomczak e Godfrey (1994) e os resultados apresentados aqui, as águas subantárticas de superfície tem sua temperatura variando entre 4 °C e 14 °C durante o verão.

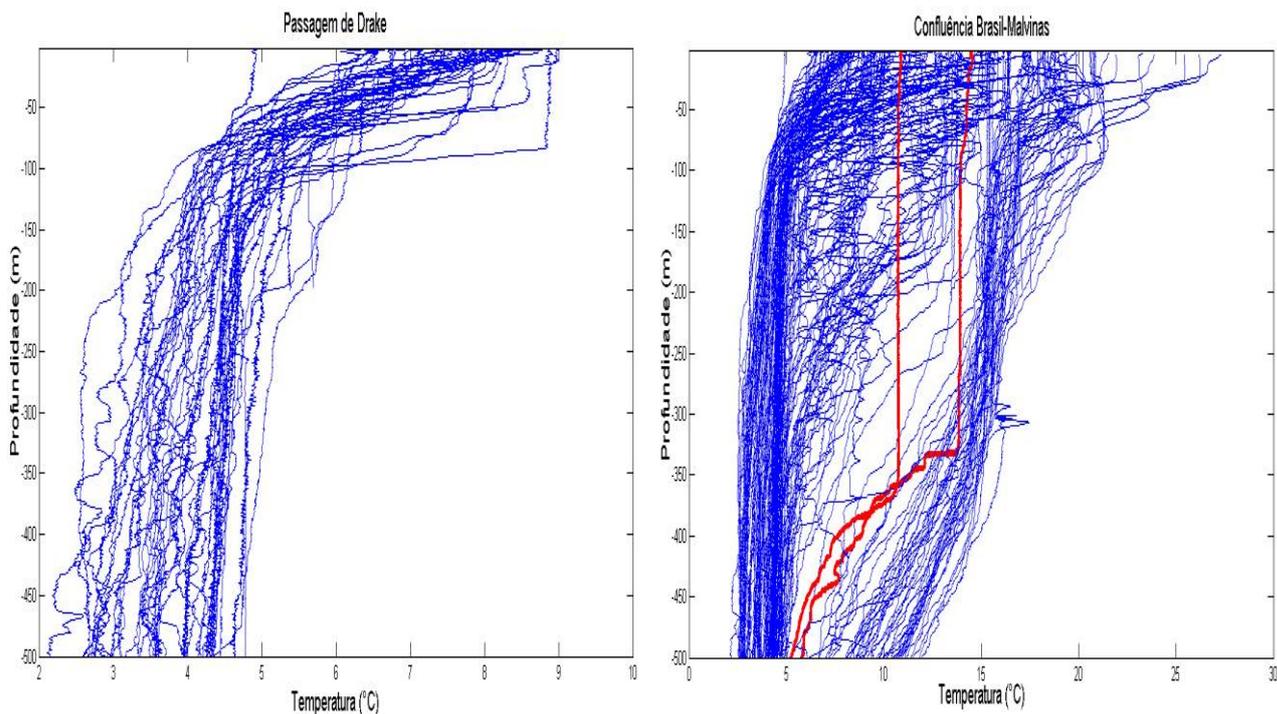


Figura 2: Perfis de temperatura em função da profundidade para a Passagem de Drake (esq.) e para a Confluência Brasil-Malvinas (dir.). Em vermelho nota-se os perfis coletados dentro de um vórtice quente na OP XXVIII.

Os dados de XBTs tomados na região da CBM (Figura 2) mostram que a diferença de TSM entre as porções norte (quente) e sul (fria) chega a aproximadamente 8 °C. Esse intenso contraste térmico é muito característico, fazendo dessa região uma das mais energéticas do oceano global. Em alguns casos ocorrem intensos contrastes termais até abaixo da termoclina, através dos processos de entranhamento entre as águas chamados de *interleavings*.

Os dados coletados na região da CBM também mostram que a TSM da CB chega até uma temperatura de 25 °C, enquanto que a da CM chegando até 14 °C, diferente da TSM de sua região de origem na Passagem de Drake onde a TSM chegou a apenas 9 °C. Isso nos mostra um claro aquecimento das águas superficiais durante seu percurso até a CBM.

CONCLUSÕES

Os resultados apresentados nesse trabalho nos mostram que ambas as regiões de estudo apresentam altos gradientes vertical e horizontal de temperatura. Esses gradientes, quando na superfície do mar, tem um impacto direto nos fluxos de calor entre o oceano e atmosfera, afetando de maneira ainda não totalmente compreendida o tempo e o clima na região sul da América do Sul.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ORSI, A. H., T. WHITWORTH and W. D. NOWLIN. 1995. On the meridional extent and fronts of the Antarctic Circumpolar Current. *Deep Sea Res.*, Part 1, 42, 641–673.

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.

PICKARD, G. L.; EMERY, W. J. (1990) Descriptive Physical Oceanography, 5° ed., Pergamon Press, Oxford, 180 p.

RABELO, L.B. Estudo da variabilidade da estrutura vertical da temperatura da água e da profundidade da termocline 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. (1994) Regional Oceanography: An Introduction. London: Pergamon Press. 422 p.

Agradecimentos: Os autores agradecem o CNPq pelo fornecimento de bolsa PIBIC e pelo apoio aos projetos SOS-Climate (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.