

**ANÁLISE ESTATÍSTICA DE SÉRIES TEMPORAIS DE DADOS
PROVENIENTES DE SENSORES REMOTOS E REANÁLISE NA REGIÃO
DO OCEANO ATLÂNTICO SUDOESTE**

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)

Fernando Rossato (Universidade Federal de Santa Maria, bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: rossato.fernando@hotmail.com

Dr. Ronald Buss de Souza (CRS/INPE, Orientador)
E-mail: ronald@dsr.inpe.br

Julho de 2012

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

PROJETO

**ANÁLISE ESTATÍSTICA DE SÉRIES TEMPORAIS DE DADOS PROVENIENTES
DE SENSORES REMOTOS E REANÁLISE NA REGIÃO DO OCEANO ATLÂNTICO
SUDESTE**

Relatório elaborado por Fernando Rossato relatando as atividades executadas por:

Fernando Rossato – Bolsista PIBIC/INPE-CNPq/MCTI
Laboratório de Meteorologia e Oceanografia por Satélites
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
CRS/INPE
E-mail: rossato.fernando@hotmail.com

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

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Título: ANÁLISE ESTATÍSTICA DE SÉRIES TEMPORAIS DE DADOS PROVENIENTES DE SENSORES REMOTOS E REANÁLISE NA REGIÃO DO OCEANO ATLÂNTICO SUDOESTE

Bolsista:

Fernando Rossato

Curso de Bacharelado em 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.

AGRADECIMENTOS

O bolsista gostaria de agradecer especialmente:

Ao Orientador Dr. Ronald Buss de Souza pela ajuda no desenvolvimento do projeto, pelo seu incentivo e encorajamento ao bolsista, apoiando seu crescimento e por acreditar na sua capacidade.

Aos meus colegas de Laboratório de Meteorologia e Oceanografia por Satélites, pela paciência, companheirismo e auxílio nas atividades.

Aos funcionários, servidores do CRS/INPE – MCTI e do LAMOS/INPE pelo apoio e pela infraestrutura disponibilizada.

Ao Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCTI pela aprovação do Projeto de Pesquisa, que me permitiu dar os primeiros passos na iniciação científica e tecnológica, propiciando grande crescimento profissional.

Ao Coordenador Dr. Ezzat Selim Chalhoub e a Secretária do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCTI, Sra. Egidia Inácio da Rosa, pelo constante apoio, alertas e sua incansável preocupação com toda a burocracia e datas limites do Programa para com os bolsistas de I. C. & T do CRS/INPE - MCTI.

RESUMO

Este relatório tem o objetivo de detalhar as atividades desenvolvidas a partir da análise e comparação de estimativas de fluxo de calor latente e sensível de dados tomados *in situ* com os do modelo ETA e do projeto OAFIux (*Objectively Analyzed Air-Sea Fluxes*). A região de estudo, Confluência Brasil-Malvinas (CBM), está localizada no Oceano Atlântico Sudoeste próxima dos 40° S de latitude. A CBM é a região de frente oceanográfica onde ocorre o encontro entre as águas quentes e salinas da Corrente do Brasil (CB), de origem tropical, e as águas frias e menos salinas da Corrente das Malvinas (CM), de origem subantártica. Essa região é uma das mais energéticas do oceano devido os fortes gradientes de TSM e alta variabilidade oceânica de mesoescala, a CBM tem um papel importante na modulação do tempo e clima das regiões sul e sudeste do Brasil. A comparação entre valores estimados de fluxos de calor latente e sensível *in situ* e obtidos por outras duas bases de dados diferentes tem por objetivo avaliar os valores encontrados. O modelo ETA conseguiu prever valores próximos na região da frente oceanográfica entre a CB e a CM e superestimou sobre as águas das mesmas correntes; já o projeto OAFIux obteve resultados mais satisfatórios, principalmente nos fluxos de calor sensível. Diferenças entre os fluxos de calor estimados por dados observacionais e por modelos podem ser explicadas pela diferença temporal entre as estimativas e também pelo efeito da mesoescala no oceano. Neste relatório também está representado um estudo sobre estimativas de fluxos de calor latente e sensível, utilizando os dados meteorológicos e oceanográficos coletados pelo projeto ACEx (*Atlantic Ocean Carbon Experiment*), na região de plataforma e parte do talude compreendida entre as latitudes das localidades de Paranaguá (PR) e Chuí (RS). Através de cinco transecto perpendiculares à costa. Os resultados demonstram que sobre as águas relativamente mais distantes da região costeira há um maior fluxo de calor e umidade para atmosfera, acarretando um maior transporte de energia. Este processo ocorre em toda área de estudo, com exceção do transecto P3 onde a incidência de um sistema frontal pode ter acarretado redução do fluxo de latente. Já na região costeira temos uma camada limite atmosférica mais estável com menores fluxos de calor do oceano para a atmosfera.

Sumário

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO.....	3
AGRADECIMENTOS.....	4
RESUMO	5
CAPÍTULO 1	7
INTRODUÇÃO	7
CAPÍTULO 2	9
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	9
CAPÍTULO 3	11
MATERIAIS E MÉTODOS	11
CAPÍTULO 4	14
RESULTADOS	14
CAPÍTULO 5	17
CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	17
CAPÍTULO 6	18
PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS	18
CAPÍTULO 7	19
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
CAPÍTULO 8	21
ANEXO	21

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O presente trabalho propõe estudar a variabilidade temporal de dados provenientes de sensores remotos (temperatura da superfície do mar e vento) e reanálises (vento, fluxos, pressão atmosférica e temperatura do ar) na Região do Oceano Atlântico Sudoeste (ATS) entre 20°S e 50°S, 32°W e 70°W. Além do Oceano Atlântico Sudoeste como um todo, a Tabela 1 e a Figura 1 mostram os limites meridionais e zonais das nove áreas que serão estudadas cobrindo diferentes regiões do Oceano ATS, para que se avaliem os sinais predominantes dos campos de TSM de regiões diferentes sob diferentes condições oceanográficas e meteorológicas sobre o ATS. Nessas regiões inclui-se a região da Confluência Brasil-Malvinas (CBM) e nessa, mais especificamente, a região do fluxo de retorno da Corrente do Brasil (CB). As caixas serão usadas para, através das séries de tempo de médias espaciais dos parâmetros analisados internas a cada caixa, avaliar-se possíveis discrepâncias em seus ciclos predominantes e seus prováveis forçantes. As caixas consideradas distribuem-se na região costeira do Brasil, Uruguai e Argentina e em águas profundas sob influência do regime quente da Corrente do Brasil (CB) e do regime frio da Corrente Sul Atlântica e da Corrente da Malvinas (CM).

Área	Nome	Latitudes	Longitudes
1	Costa do Rio de Janeiro (RJ)	23° S - 24° S	43° W - 44° W
2	Costa de Santa Marta (SM)	28° 12' S - 29° 12' S	47° 30' W - 49° W
3	Costa do Rio Grande do Sul (RS)	31° 30' S - 33° 30' S	50° 18' W - 52° 30' W
4	Corrente do Brasil (CB)	33° 30' S - 35° 30' S	47° W - 49° 30' W
5	Rio da Prata (LP)	35° S - 36° 12' S	55° W - 56° 48' W
6	Confluência Brasil-Malvinas (CBM)	34° 48' S - 37° 30' S	52° 30' W - 54° 48' W
7	Corrente da Patagônia 1 (CP1)	38° S - 40° 12' S	55° 30' W - 57° 30' W
8	Corrente da Patagônia 2 (CP2)	42° S - 44° S	60° W - 62° 48' W
9	Retroflexão da CB (RCB)	42° S - 44° S	53° 30' W - 55° 30' W

Tabela 1. Áreas de estudo de norte para sul incluindo seus limites meridionais e zonais.

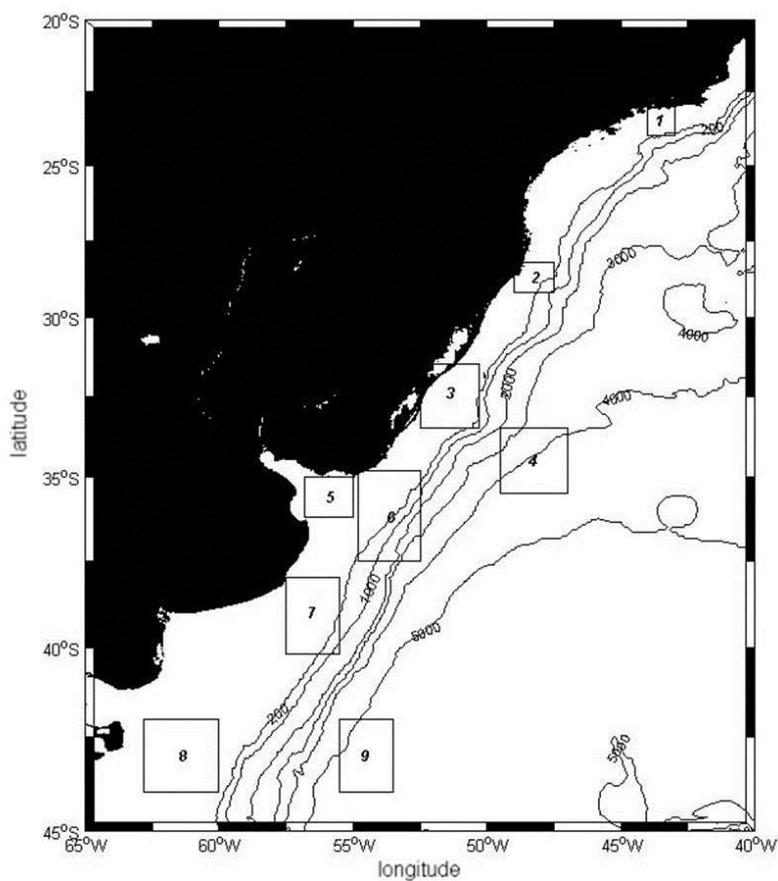


Figura 1. Delimitadas, estão as nove áreas específicas cobrindo diferentes regiões do Oceano ATS.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Após a extração das séries temporais dos bancos de dados, serão calculadas as médias históricas mensais, doravante denominadas de médias climatológicas. A variabilidade interanual será analisada a partir de séries de anomalia normalizada (Wilks, 2006), onde o sinal anual é removido para uma melhor caracterização do sinal com periodicidades maiores que um ano. Para a identificação do padrão de variabilidade espaço-temporal será aplicada a Análises por Componentes Principais (ACP). A ACP é uma técnica bastante utilizada em análises de séries temporais, dada à possibilidade de demonstrar, em duas dimensões, a variação conjunta no tempo e espaço de um conjunto de dados (Wilks, 2006).

Para estudar as frequências dominantes das séries temporais será realizada a transformada de ondeletas (TO) sobre as séries temporais de anomalia normalizada das variáveis aqui estudadas. A técnica de TO tem sido bastante utilizada em pesquisas nas áreas de oceanografia e meteorologia (Torrence e Campo, 1998; Andreoli e Kayano, 2004). A TO assemelha-se à análise da transformada de Fourier (TF). Ambas trabalham no domínio da frequência e são particularmente úteis, pois permitem analisar o conteúdo do sinal decompondo-o em diferentes escalas de tempo.

A diferença entre as técnicas é basicamente no modo como estas captam o comportamento das séries. O TF permite caracterizar o comportamento global, ao passo que a aplicação das ondeletas revela o comportamento local da série no tempo. Assim, sinais de caráter não-estacionário, com picos de energia em muitas frequências diferentes, são mais bem estudados com a TO (Morettin, 1999). Detalhes sobre este método são bem apresentados em Torrence e Campo (1998). Possíveis correlações entre a variabilidade temporal local (áreas menores), variabilidade regional e de fenômenos climáticos de larga escala serão estudadas a partir do teste estatístico de correlação cruzada. Os fenômenos de larga escala serão representados por meio de índices ou séries temporais.

2.1 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA

Como parte integrante do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR), o programa INTERCONF visa estudar a interação oceano-atmosfera na região da CBM, localizada na região sudoeste do Oceano Atlântico. Desde 2004 são realizadas coletas de dados utilizando radiossondas e perfiladores oceânicos do tipo XBTs na descida em direção a Antártica nos meses de outubro ou novembro de cada ano com o Navio de Apoio Oceanográfico (NApOc.).

A CBM é a região de frente oceanográfica onde ocorre o encontro entre as águas quentes e salinas da Corrente do Brasil (CB), de origem tropical, e as águas frias e menos salinas da Corrente das Malvinas (CM), de origem subantártica (Peterson e Stramma, 1991). A interação entre essas duas massas de águas distintas e a atmosfera pode ser descrita através da representação dos fluxos de calor latente e sensível entre o oceano e a atmosfera. Considerada uma das regiões mais enérgicas do oceano global, próxima dos 40° S, a CBM tem um papel importante na modulação do tempo e clima das regiões sul e sudeste do Brasil (Pezzi e Souza, 2009).

Poucos estudos têm abordado a importância de estudar a interação oceano-atmosfera na região da CBM. Os resultados demonstrados por Pezzi et al. (2005, 2009), Acevedo et al. (2010) e Arsego (2012) indicam que sobre as águas quentes da CB ocorre um maior fluxo de calor e umidade para atmosfera, acarretando um maior transporte de energia. No lado frio da frente temos uma camada limite atmosférica (CLA) mais estável e valores mais baixos de fluxos de calor do oceano para a atmosfera, podendo ser até negativos.

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- Analisar e descrever o comportamento temporal e espacial de dados de oceanografia e meteorologia provenientes de satélites e de reanálises na região do Oceano Atlântico Sudoeste através de métodos de análise de sinal;
- Avaliar e comparar as diferenças nos parâmetros da superfície do mar (TSM), fluxos radiativos de calor, ventos, temperatura do ar na superfície e pressão atmosférica ao nível do mar entre diferentes séries de dados.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

No período de janeiro a junho, deste ano, que substitui o Nórton Franciscatto de Paula -antigo bolsista- realizei leituras em livros, artigos, dissertações e projetos, e, juntamente com a leitura, assisti a palestras e debates sobre o assunto. Li também, manuais do software Matlab® e suas rotinas para continuar desenvolvendo este trabalho. Das nove áreas a serem estudadas, iniciei neste trabalho, a análise pela região da CBM, 31° S – 45° S e 50° W – 60°W, que envolve a área de número seis.

Neste trabalho, realizei uma análise e uma comparação das estimativas dos fluxos de calor latente e sensível derivados de dados tomados *in situ* na região da CBM pelo projeto INTERCONF com simulados pelo modelo regional ETA do CPTEC/INPE e estimados a partir do projeto OAFlex (*Objectively Analyzed Air-Sea Fluxes*).

Também foi realizado um estudo sobre estimativas de fluxos de calor latente e sensível, utilizando os dados meteorológicos e oceanográficos coletados durante o cruzeiro conjunto dos projetos ACEX (*Atlantic Ocean Carbon Experiment*) a bordo do Navio Hidroceanográfico (NHOc) Cruzeiro do Sul e SIMTECO (Sistema Integrado de monitoramento do Tempo, do Clima e do Oceano). O cruzeiro foi realizado entre os dias 11 e 21 de junho de 2012, na região de plataforma e parte do talude compreendida entre as latitudes das localidades de Paranaguá (PR) e Chuí (RS).

Como parte dos objetivos dos projetos ACEX e SIMTECO observações acerca dos parâmetros de interação oceano-atmosfera na região costeira ao sul do Brasil foram realizadas no cruzeiro de pesquisa do NHOc. Através da análise de imagens termais de satélites, foram selecionadas regiões com fortes gradientes térmicos superficiais e posicionados cinco transecto perpendiculares a costa (Figura 2): Baía de Paranaguá (P1), Itajaí (P2), Araranguá (P3), Mostardas (P4) e Chuí (P5).

Os fluxos de calor latente e sensível foram estimados através desses cinco transectos no momento de lançamento das radiossondagens, seguindo o esquema proposto por Fairall et al. (1996). Foram utilizados dados de umidade do ar, velocidade do vento,

temperatura do ar e temperatura da superfície do mar coletados pela estação meteorológica automática localizada sobre o passadiço do H38.

Usando os dados meteorológicos e oceanográficos coletados pelo INTERCONF a bordo do NApOc. Ary Rongel entre os dias 14 e 17 de abril de 2011 durante a Operação Antártica XXIX, os fluxos de calor latente e sensível também foram estimados seguindo o esquema proposto por Fairall et al. (1996), utilizando os dados de umidade do ar, velocidade do vento, temperatura do ar e TSM.

Apesar do esquema de parametrização proposto por Fairall et al. (1996) ter sido elaborado para as estimativas de fluxos de calor no Pacífico Equatorial, ele vem sendo utilizado em trabalhos recentes na região da CBM (Pezzi et al., 2005, 2009; Acevedo et al., 2010).

O fluxo de calor sensível está associado à transferência mecânica de energia por condução entre dois corpos a diferentes temperaturas, enquanto que o fluxo de calor latente está associado à mudança de fase de uma substância. O calor sensível (Q_S) e o calor latente (Q_L) são estimados por:

$$Q_S = \rho C_p C_h U (\theta_{ar} - TSM)$$

$$Q_L = \rho L_e C_e U (q_s - q_{ar})$$

Onde C_h , C_e , e C_p são, respectivamente, os coeficientes de transferência de calor, umidade e momento, θ_{ar} é a temperatura potencial do ar, q_s é a umidade específica ao nível do mar, q_{ar} é a umidade específica no nível de 10 metros, TSM é a temperatura da superfície do mar (temperatura de balde) e U é a velocidade média do vento na superfície do mar.

Os dados observacionais foram tomados ao longo de um perfil no oceano entre as latitudes de 35° S e 45° S e as estimativas provenientes desse transecto foram comparadas para a mesma época e local com aquelas oriundas das simulações do modelo regional ETA e com as estimativas do projeto OAFflux.

O modelo regional ETA possui uma resolução de 20 km. O perfil proveniente das estimativas de fluxo de calor do modelo ETA ao longo da região da CBM amostra ambos os lados da frente oceanográfica e os dados foram tomados para as mesmas latitudes percorridas pelo navio ao longo da longitude de 53° W, que coincide com a longitude média do perfil observacional. Já os dados do projeto OAFlux possuem uma resolução espacial de 1° e uma resolução temporal de 1 dia e, neste trabalho, são representados por dez pontos escolhidos mais próximos dos dados *in situ*. Os dados estão disponíveis gratuitamente no endereço eletrônico <<http://oaflux.who.edu>>.

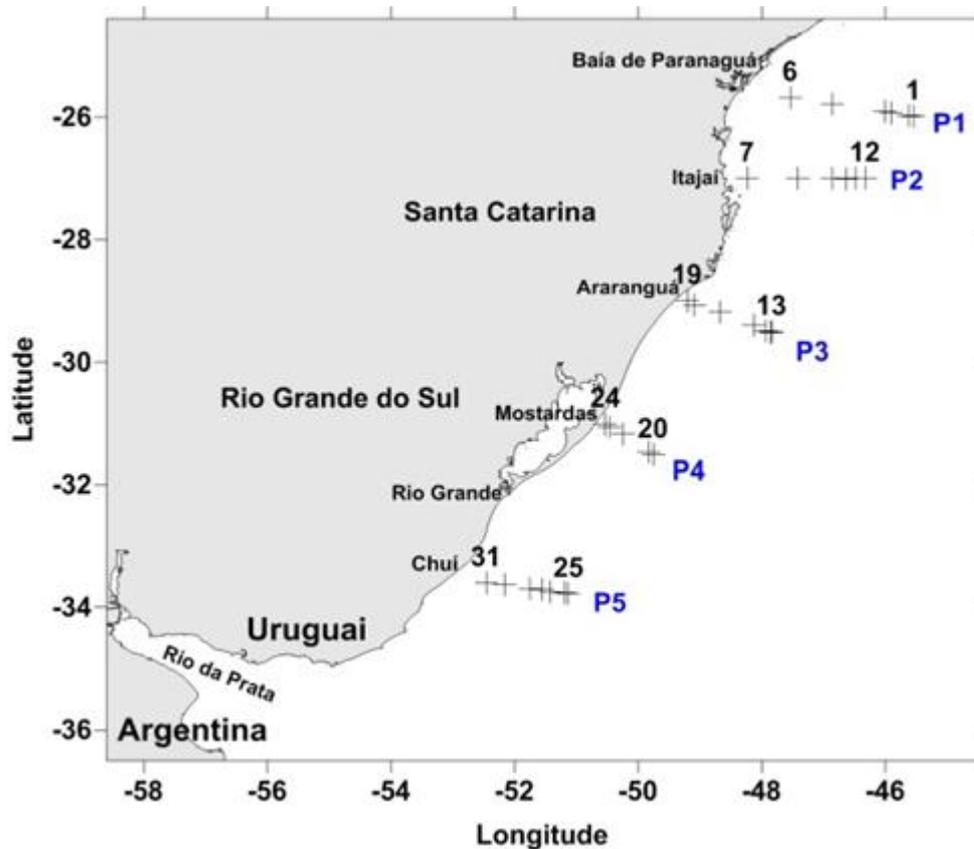


Figura 2. Posição das estações realizadas ao longo do cruzeiro ACEX/SIMTECO e os cinco transecto. Fonte: Relatório Técnico de Cruzeiro Oceanográfico no NHO Cruzeiro do Sul.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

Até o presente momento esse estudo avaliou os dados da Operação Antártica XXIX, baseando-se nos dados meteorológicos e oceanográficos coletados pelo INTERCONF a bordo do NApOc. Ary Rongel entre 4 de dezembro de 2010 e 17 de março de 2011. Primeiramente, realizou-se uma análise dos dados de TSM e da temperatura do ar (Tar), na região da CBM entre as latitudes de 35 °S e 45 °S durante o trajeto de ida e de volta do navio. A diferença da temperatura da superfície do mar e do ar (TSM - Tar) é frequentemente utilizada para estimar a estabilidade da camada limite atmosférica, nos locais em que a temperatura da superfície do mar é maior que a do ar, geralmente, a camada limite torna-se instável, o que aumenta a mistura vertical e intensifica os ventos em superfície. Notou-se que padrões positivos de estabilidade do ar (TSM > Tar) ocorrem com mais frequência no lado quente (norte) da frente oceanográfica. Sendo assim mais instável, o que favorece a turbulência e os fluxos de calor do oceano para a atmosfera.

Na Figura 3 os resultados obtidos demonstram que, para o período de 14 a 17 de abril de 2011 na região da CBM, os fluxos de calor sensível e latente do modelo regional ETA são próximos àqueles estimados através dos dados observacionais somente sobre a região onde ocorre o máximo gradiente de TSM entre a CB e a CM (entre 37 °S e 41 °S). Sobre as águas da CM, o modelo superestimou em cerca de 100 W/m² os valores de calor latente e 80 W/m² os de calor sensível. Já no lado quente da CBM, o modelo superestimou em cerca de 175 W/m² os valores de calor latente e 60 W/m² os de calor sensível.

Comparando os fluxos de calor latente e sensível estimados pelo projeto OAFflux e os dados observacionais, os resultados dos dados in situ são acompanhados de forma satisfatória pelos dados estimados pelo projeto, principalmente os dados de fluxo de calor sensível, e com pequena subestimação dos fluxos de calor latente, revelando assim uma boa confiabilidade dos dados derivados do projeto.

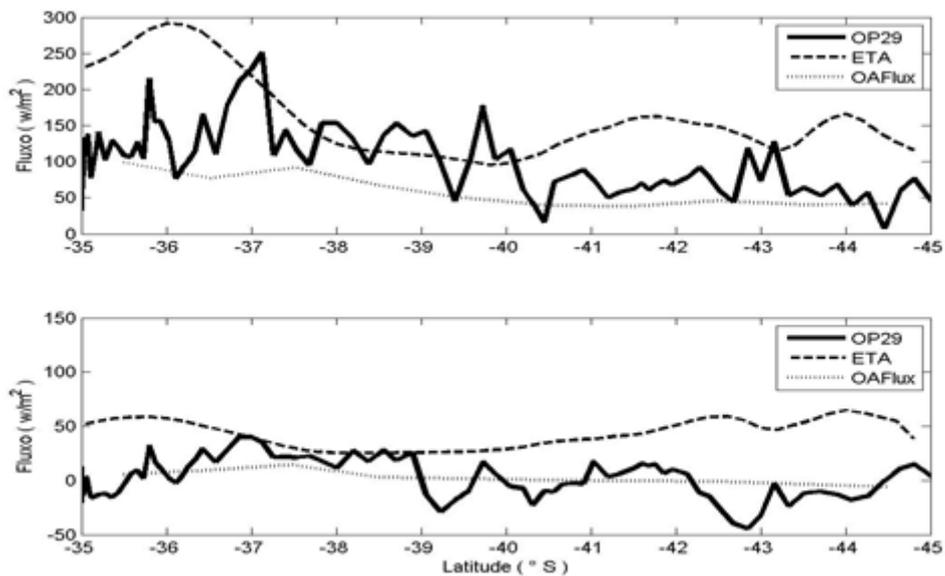


Figura 3. Fluxos de calor latente (acima) e sensível (abaixo) estimados com dados da Operação Antártica 29 no período entre 14 e 17 de abril de 2011 e comparados com saídas do Modelo ETA e OAFflux na região da CBM.

Na figura 4 os resultados demonstram que sobre as águas relativamente mais distantes da região costeira há um maior fluxo de calor e umidade para atmosfera, acarretando um maior transporte de energia. Este processo ocorre em toda área de estudo, com exceção do transecto P3 onde a incidência de um sistema frontal pode ter acarretado redução do fluxo de latente. Já na região costeira temos uma camada limite atmosférica mais estável com menores fluxos de calor do oceano para a atmosfera. Outra relação observada está relacionada a situações pré e pós-frontais que modelam os fluxos de sensível. Em casos pré-frontais, fluxos de sensível tendem a ser quase nulos ou até mesmo negativos. Em situações pós-frontais, o fluxo de calor sensível é intensificado.

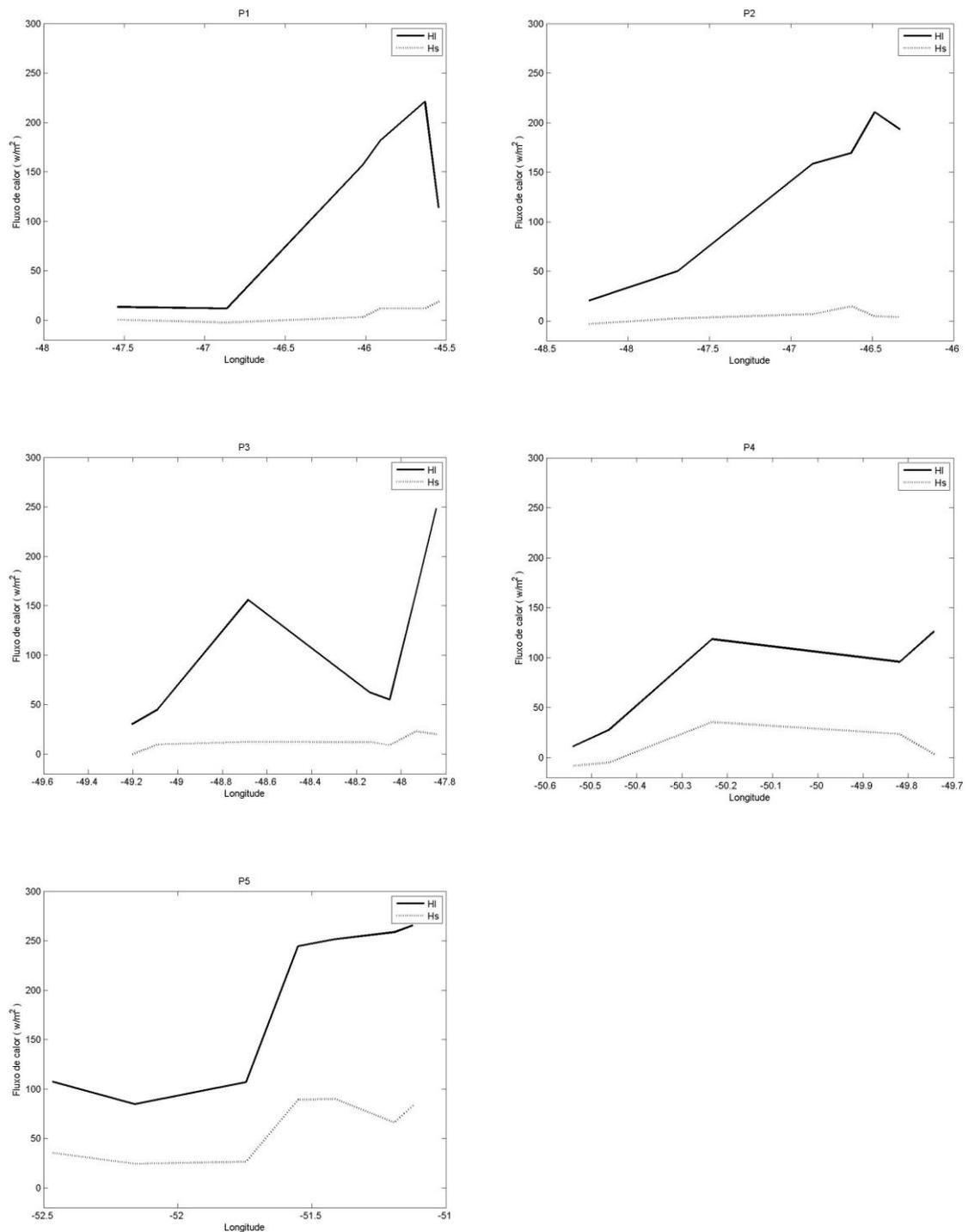


Figura 4. Fluxos de calor latente (HI) e sensível (Hs) estimados com dados meteorológicos e oceanográficos coletados pelos projetos ACEX/SIMTECO no período entre 11 e 21 de junho de 2012 para os cinco transecto.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Os resultados apresentados demonstram o que outros autores encontraram na escala sinótica em anos anteriores para a mesma região: os fluxos de calor, principalmente latente, são sempre maiores no lado quente da CBM. O parâmetro de estabilidade medido pela diferença entre a TSM e a temperatura do ar mostra que no lado quente da CBM a CLA é geralmente menos estável em comparação com o lado frio, dominado pelas águas da CM.

A comparação entre valores estimados de fluxos de calor latente e sensível in situ e obtidos por outras duas bases de dados diferentes tem por objetivo avaliar os valores encontrados. O modelo ETA conseguiu prever valores próximos na região da frente oceanográfica entre a CB e a CM, e superestimou sobre as águas da CB e da CM, já o projeto OAFlex obteve resultados mais satisfatórios, principalmente nos fluxos de calor sensível. Diferenças entre os fluxos de calor estimados por dados observacionais e por modelos podem ser explicadas pela diferença temporal entre as estimativas e também pelo efeito da mesoescala no oceano.

A continuação deste trabalho vai analisar as nove áreas propostas da Tabela 1, extraíndo das series temporais as medias climatológicas e analisando a variabilidade interanual a partir de séries de anomalia normalizada.

CAPÍTULO 6

PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS

O bolsista participou de um evento no período de vigência da bolsa. O II Workshop APECS-Brasil, *Rio grande – RS. De 14 a 17 de maio de 2012*, apresentando o trabalho intitulado: Comparação de estimativas de fluxos de calor no oceano Atlântico Sudoeste oriundas de dados observacionais, de modelo e do projeto OAFlex. O resumo deste trabalho está em anexo.

CAPÍTULO 7

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO, O. C.; PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B.; ANABOR, V.; DEGRAZIA, G. A. 2010. Atmospheric Boundary Layer Adjustment to the Synoptic Cycle at the Brazil-Malvinas Confluence, South Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research*, 115, D22107, doi: 10.1029/2009JD013785.

ARSEGO, D. Fluxos de Calor e Transferência de Energia Calorífica entre o Oceano e a Atmosfera sobre Estruturas Oceânicas de Mesoescala no Atlântico Sul. 2012. 96 f. Dissertação (Metrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

CHELTON, D. B.; SCHLAX, M. G.; WITTER, D. L.; RICHMAN, J. G. GEOSAT altimeter observations of the surface circulation of the Southern Ocean. *Journal Geophysical Research*, v. 95, p. 17877-17903. 1990.

FAIRALL, C. W.; BRADLEY, E. F.; ROGERS, D. P. EDSON, J. B.; YOUNG, G. S. 1996. Bulk parameterization of air-sea fluxes for Tropical Ocean-Global Atmosphere Coupled-Ocean Atmosphere Response Experiment. *Journal of Geophysical Research*, 101, 3747-3764.

MORETTIN, P. A.; Ondas e Ondeletas: da análise de Fourier à análise de ondaletas. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo

PETERSON, R. G.; STRAMMA, L. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. *Progress in Oceanography*, v. 26, p. 1-73. 1991.

PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B.; DOURADO, M. S.; GARCIA, A. E.; MATA, M. M. Ocean-atmosphere in situ observations at the brazil-malvinas confluence region. *Geophysical Research Letters*, v. 32. 2005.

PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B.; ACEVEDO, O. C.; WAINER, I; MATA, M.; GARCIA, C. A. E.; CAMARGO, R. 2009. Multi-year Measurements of the Oceanic and Atmospheric Boundary Layers at the Brazil-Malvinas Confluence Region. *Journal of Geophysical Research*, 114, D19103, doi: 10.1029/ 2008JD011379.

PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B. Variabilidade de mesoescala e interação oceano-atmosfera no Atlântico Sudoeste. In: CAVALCANTI et al. *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 385-405.

SOUZA R. B. *Oceanografia por Satélites*. Organizador. Oficina de Textos, São Paulo, SP, 2005.

CAPÍTULO 8

ANEXO

COMPARAÇÃO DE ESTIMATIVAS DE FLUXOS DE CALOR NO OCEANO ATLÂNTICO SUDOESTE ORIUNDAS DE DADOS OBSERVACIONAIS, DE MODELO E DO PROJETO OAFLUX

Fernando Rossato^{1,2}, Diogo Alessandro Arsego^{1,2}, Marcelo Freitas Santini² & 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: 97105-970
e-mail: rossato.fernando@hotmail.com, diogo.arsego@gmail.com, santini.marcelo@gmail.com, ronald@dsr.inpe.br

RESUMO

A Confluência Brasil-Malvinas (CBM) é a região de encontro entre as águas quentes da CB e frias CM. Essa região é uma das mais energéticas do oceano devido os fortes gradientes de TSM e alta variabilidade oceânica de mesoescala. O objetivo deste trabalho é comparar as estimativas de fluxo de calor latente e sensível de dados tomados *in situ* com os do modelo ETA e do projeto OAFlux (*Objectively Analyzed Air-Sea Fluxes*). Os resultados demonstram que os fluxos do modelo são próximos àqueles estimados pelos dados observacionais na região da CBM assim como os comparados com estimativas do projeto OAFlux.

INTRODUÇÃO

Como parte integrante do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR), o programa INTERCONF visa estudar a interação oceano-atmosfera na região da CBM, localizada na região sudoeste do Oceano Atlântico. Desde 2004 são realizadas coletas de dados utilizando radiossondas e perfiladores oceânicos do tipo XBTs na descida em direção a Antártica nos meses de outubro ou novembro de cada ano com o Navio de Apoio Oceanográfico (NApOc.). A CBM é a região de frente oceanográfica onde ocorre o encontro entre as águas quentes e salinas da Corrente do Brasil (CB), de origem tropical, e as águas frias e menos salinas da Corrente das Malvinas (CM), de origem subantártica (Peterson e Stramma, 1991). A interação entre essas duas massas de águas distintas e a atmosfera pode ser descrita através da representação dos fluxos de calor latente e sensível entre o oceano e a atmosfera. Considerada uma das regiões mais enérgicas do oceano global, próxima dos 40° S, a CBM tem um papel importante na modulação do tempo e clima das regiões sul e sudeste do Brasil (Pezzi e Souza, 2009).

Poucos estudos têm abordado a importância de estudar a interação oceano-atmosfera na região da CBM. Os resultados demonstrados por Pezzi et al. (2005, 2009), Acevedo et al. (2010) e Arsego (2012) indicam que sobre as águas quentes da CB ocorre um maior fluxo de calor e umidade para atmosfera, acarretando um maior transporte de energia. No lado frio da frente temos uma camada limite atmosférica (CLA) mais estável e valores mais baixos de fluxos de calor do oceano para a atmosfera, podendo ser até negativos. O Objetivo deste trabalho é analisar e comparar as estimativas dos fluxos de calor latente e sensível derivados de dados tomados *in situ* na região da CBM pelo projeto INTERCONF com simulados pelo modelo regional ETA do CPTEC/INPE e estimados a partir do projeto OAFlux (*Objectively Analyzed*

Air-Sea Fluxes).

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizando os dados meteorológicos e oceanográficos coletados pelo INTERCONF a bordo do NApOc. Ary Rongel entre os dias 14 e 17 de abril de 2011 durante a Operação Antártica XXIX, os fluxos de calor latente e sensível foram estimados seguindo o esquema proposto por Fairall et al. (1996), utilizando os dados de umidade do ar, velocidade do vento, temperatura do ar e TSM.

Apesar do esquema de parametrização proposto por Fairall et al. (1996) ter sido elaborado para as estimativas de fluxos de calor no Pacífico Equatorial, ele vem sendo utilizado em trabalhos recentes na região da CBM (Pezzi et al., 2005, 2009; Acevedo et al., 2010).

O fluxo de calor sensível está associado à transferência mecânica de energia por condução entre dois corpos a diferentes temperaturas, enquanto que o fluxo de calor latente está associado à mudança de fase de uma substância. O calor sensível (Q_S) e o calor latente (Q_L) são estimados por:

$$Q_S = \rho C_p C_h U (\theta_{ar} - TSM)$$
$$Q_L = \rho L_e C_e U (q_s - q_{ar})$$

Onde C_h , C_e , e C_p são, respectivamente, os coeficientes de transferência de calor, umidade e momento, θ_{ar} é a temperatura potencial do ar, q_s é a umidade específica ao nível do mar, q_{ar} é a umidade específica no nível de 10 metros, TSM é a temperatura da superfície do mar (temperatura de balde) e U é a velocidade média do vento na superfície do mar.

Os dados observacionais foram tomados ao longo de um perfil no oceano entre as latitudes de 35° S e 45° S e as estimativas provenientes desse transecto foram comparadas para a mesma época e local com aquelas oriundas das simulações do modelo regional ETA e com as estimativas do projeto OAFflux.

O modelo regional ETA possui uma resolução de 20 km. O perfil proveniente das estimativas de fluxo de calor do modelo ETA ao longo da região da CBM amostra ambos os lados da frente oceanográfica e os dados foram tomados para as mesmas latitudes percorridas pelo navio ao longo da longitude de 53° W, que coincide com a longitude média do perfil observacional. Já os dados do projeto OAFflux possuem uma resolução espacial de 1° e uma resolução temporal de 1 dia e, neste trabalho, são representados por dez pontos escolhidos mais próximos dos dados *in situ*. Os dados estão disponíveis gratuitamente no endereço eletrônico <<http://oafux.who.edu>>.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos (Figura 1) demonstram que, para o período de 14 a 17 de abril de 2011 na região da CBM, os fluxos de calor sensível e latente do modelo regional ETA são próximos àqueles estimados através dos dados observacionais somente sobre a região onde ocorre o máximo gradiente de TSM entre a CB e a CM (entre 37 °S e 41 °S). Sobre as águas da CM, o modelo superestimou em cerca de 100 W/m² os valores de calor latente e 80 W/m² os de calor sensível. Já no lado quente da CBM, o modelo superestimou em cerca de 175 W/m² os valores de calor latente e 60 W/m² os de calor sensível.

Comparando os fluxos de calor latente e sensível estimados pelo projeto OAFflux e os dados observacionais, os resultados dos dados *in situ* são acompanhados de forma satisfatória

pelos dados estimados pelo projeto, principalmente os dados de fluxo de calor sensível, e com pequena subestimação dos fluxos de calor latente, revelando assim uma boa confiabilidade dos dados derivados do projeto.

CONCLUSÃO

A comparação entre valores estimados de fluxos de calor latente e sensível *in situ* e obtidos por outras duas bases de dados diferentes tem por objetivo avaliar os valores encontrados. O modelo ETA conseguiu prever valores próximos na região da frente oceanográfica entre a CB e a CM, e superestimou sobre as águas da CB e da CM, já o projeto OAFlux obteve resultados mais satisfatórios, principalmente nos fluxos de calor sensível. Diferenças entre os fluxos de calor estimados por dados observacionais e por modelos podem ser explicadas pela diferença temporal entre as estimativas e também pelo efeito da mesoescala no oceano.

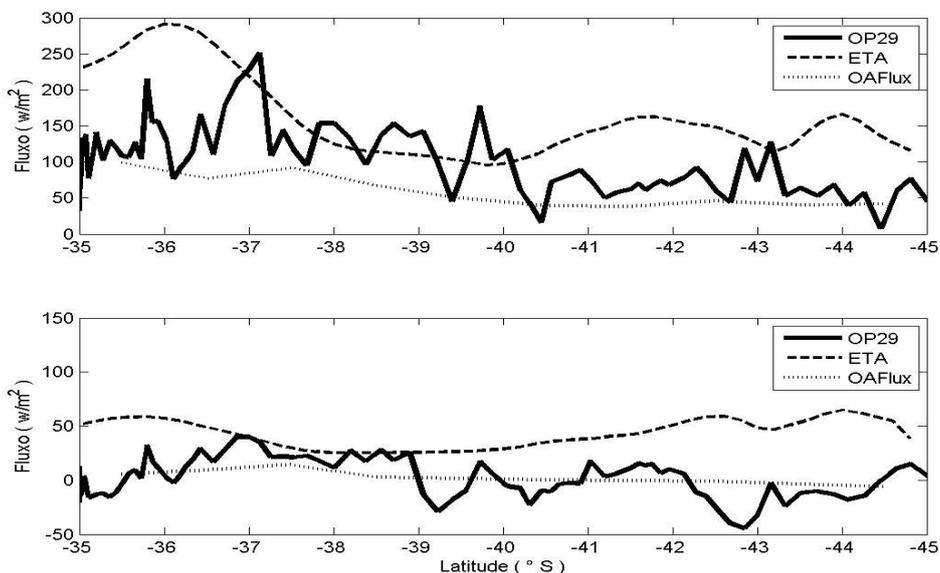


Figura 1. Fluxos de calor latente (acima) e sensível (abaixo) estimados com dados da Operação Antártica 29 no período entre 14 e 17 de abril de 2011 e comparados com saídas do Modelo ETA e OAFlux na região da CBM.

REFERÊNCIAS

ACEVEDO, O. C.; PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B.; ANABOR, V.; DEGRAZIA, G. A. 2010. Atmospheric Boundary Layer Adjustment to the Synoptic Cycle at the Brazil-Malvinas Confluence, South Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research*, 115, D22107, doi: 10.1029/2009JD013785.

ARSEGO, D. Fluxos de Calor e Transferência de Energia Calorífica entre o Oceano e a Atmosfera sobre Estruturas Oceânicas de Mesoescala no Atlântico Sul. 2012. 96 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

FAIRALL, C. W.; BRADLEY, E. F.; ROGERS, D. P. EDSON, J. B.; YOUNG, G. S. 1996.

Bulk parameterization of air-sea fluxes for Tropical Ocean-Global Atmosphere Coupled-Ocean Atmosphere Response Experiment. *Journal of Geophysical Research*, 101, 3747-3764.

PETERSON, R. G.; STRAMMA, L. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. *Progress in Oceanography*, v. 26, p. 1-73. 1991.

PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B.; DOURADO, M. S.; GARCIA, A. E.; MATA, M. M. Ocean-atmosphere *in situ* observations at the Brazil-Malvinas confluence region. *Geophysical Research Letters*, v. 32. 2005.

PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B.; ACEVEDO, O. C.; WAINER, I.; MATA, M.; GARCIA, C. A. E.; CAMARGO, R. 2009. Multi-year Measurements of the Oceanic and Atmospheric Boundary Layers at the Brazil-Malvinas Confluence Region. *Journal of Geophysical Research*, 114, D19103, doi: 10.1029/2008JD011379.

PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B. Variabilidade de mesoescala e interação oceano-atmosfera no Atlântico Sudoeste. In: CAVALCANTI et al. *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 385-405.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de estudo ao primeiro autor, a tripulação do NApOc Ary Rongel pela inestimável ajuda durante a fase de coleta de dados e o apoio financeiro do CNPq/PROANTAR aos projetos SOS-Climate e INCT da Criosfera (704222/2009).