

**FLUXOS DE CALOR ENTRE O OCEANO E A ATMOSFERA ACIMA DOS  
CONTRASTES HORIZONTAIS TERMAIS ENTRE AS ÁGUAS DA CORRENTE DO  
BRASIL E DA CORRENTE COSTEIRA DO BRASIL**

Fernando ROSSATO<sup>1</sup>, Ronald Buss de SOUZA<sup>2</sup>, Marcelo Freitas SANTINI<sup>2</sup>, Luciano Ponzi  
PEZZI<sup>3</sup>

<sup>2</sup>Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria - RS.

<sup>1</sup>Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/INPE, Santa Maria - RS.

<sup>3</sup>Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE, São José dos Campos, SP  
rossato.fernando@hotmail.com

**RESUMO:** Este trabalho apresenta estimativas de fluxos de calor latente (*HI*) e sensível (*Hs*) na região de plataforma continental sul brasileira e parte do talude na região compreendida entre as latitudes das localidades de Paranaguá (PR) e Chuí (RS). Dados meteorológicos e oceanográficos foram coletados *in situ* através em cinco transectos perpendiculares à costa sul brasileira a bordo do NHOc. Cruzeiro do Sul entre os dias 11 e 21 de junho de 2012. Os resultados demonstram que sobre as áreas de oceano profundo onde predominam massas d'água carregadas pela Corrente do Brasil (CB) há um maior fluxo *HI* e *Hs* do oceano para atmosfera, acarretando um maior transporte de energia. Nas áreas costeiras, dominadas no inverno pelas massas d'água carregadas pela Corrente Costeira do Brasil (CCB) os fluxos de calor são menos intensos. Esse comportamento de gradiente de fluxos de calor ao longo de seções zonais da costa sul brasileira ocorre em toda área desse estudo, com exceção do transecto perpendicular à cidade de Araranguá (SC), onde a incidência de um sistema atmosférico transiente pode ter ocasionado a redução do *HI* em regiões oceânicas mais profundas.

**ABSTRACT:** This paper presents estimates of latent heat fluxes (*HI*) and sensitive (*Hs*) in the southern Brazilian continental shelf and slope in the region between the latitudes of the localities of Paranaguá (PR) and Chui (RS). Meteorological and oceanographic data were collected in situ by five transects perpendicular to the southern Brazilian coast aboard the NHOc. Cruzeiro do Sul between 11 and 21 June 2012. The results show that over areas of deep ocean water masses dominated carried by the Brazil Current (BC) there is a higher *HI* and *Hs* from the ocean to the atmosphere, resulting in a higher power transmission. In coastal areas, dominated by winter water masses carried by the Brazil Coastal Current (BCC) the heat fluxes are smaller. This behavior of gradient heat fluxes along zonal sections of the southern Brazilian coast occurs in every area of study, with the exception of transect perpendicular to the city of Araranguá (SC), where the incidence of a transient atmospheric system may have caused the reduction *HI* in the deepest regions of the ocean.

## 1. INTRODUÇÃO

Como parte dos objetivos dos projetos ACEX (*Atlantic Ocean Carbon Experiment*) e SIMTECO (Sistema Integrado de monitoramento do Tempo, do Clima e do Oceano para a Região Sul do Brasil), observações acerca dos parâmetros de interação oceano-atmosfera na região costeira ao sul do Brasil foram realizadas durante o cruzeiro de pesquisa a bordo do Navio Hidro-Oceanográfico (NHOc.) Cruzeiro do Sul. Esse cruzeiro realizou-se entre os dias 11 e 21 de junho de 2012, na região de plataforma continental e parte do talude compreendida entre as latitudes das localidades de Paranaguá (PR) e Chuí (RS).

A interação entre massas de águas e a atmosfera pode ser descrita através da representação dos  $Hl$  e  $Hs$  entre o oceano e a atmosfera. O Oceano Atlântico Sudoeste é considerado uma área chave para melhor entender e prever o tempo e o clima da região sul e sudeste do Brasil (Pezzi e Souza, 2009). Poucos estudos têm abordado a importância de estudar a interação oceano-atmosfera no Atlântico Sudoeste. Para a região da Confluência Brasil-Malvinas (CBM), onde fortes gradientes horizontais termais também ocorrem entre águas transportadas por correntes distintas, Pezzi et al. (2005) e Acevedo et al. (2010) indicam que sobre as águas quentes da CB ocorre um maior fluxo de calor 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 estimar os  $Hl$  e  $Hs$  na região da plataforma continental e talude da costa sul brasileira a partir de dados coletados *in situ* durante o mês de junho de 2012. Da mesma maneira que ocorre na região da CBM, a hipótese principal é que esses contrastes termais intensos de inverno entre as águas da CB e da CCB modulem a CLA na região desse estudo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Dados meteorológicos e oceanográficos foram coletados a bordo do NHOc. Cruzeiro do Sul ao longo de cinco transectos (perfis) perpendiculares à costa nas latitudes da Baía de Paranaguá (P1), Itajaí (P2), Araranguá (P3), Mostardas (P4) e Chuí (P5) (Figura 1). Esses transectos foram selecionados por representarem regiões com fortes gradientes termais superficiais entre as águas quentes da CB e da CCB observados através da análise de imagens de satélites. Os  $Hl$  e  $Hs$  foram estimados seguindo o esquema proposto por Fairall et al. (1996). O esquema utiliza dados de umidade do ar, velocidade do vento,  $T_{ar}$  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 no Oceano Atlântico Sudoeste (Pezzi et al., 2005; Acevedo et al., 2010).

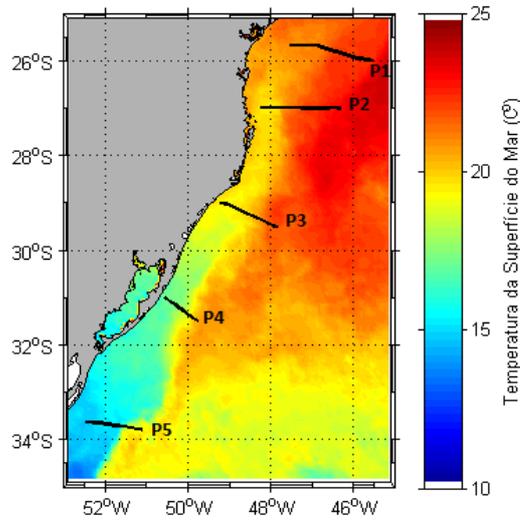


Figura 1. Imagem de TSM do sensor MODIS média mensal para junho de 2012 com a posição dos transectos onde os dados meteorológicos e de TSM foram recolhidos pelo NHOc. Cruzeiro do Sul.

Para identificar a posição onde ocorrem os maiores gradientes horizontais de  $Hl$ , foram calculados na direção perpendicular à costa do Brasil nos transectos apresentados na Figura 1 os gradientes de  $Hl$  através da seguinte equação:

$$|\nabla Hl| = \sqrt{(\partial Hl / \partial x)^2 + (\partial Hl / \partial y)^2}$$

onde  $\nabla Hl$  é o gradiente horizontal de  $Hl$ ,  $\partial Hl / \partial x$  é a variação zonal de  $Hl$  e  $\partial Hl / \partial y$  é a variação meridional de  $Hl$ . O método indica a posição do maior valor de gradiente que aponta diretamente a longitude em que se localiza a região de maior contraste, indicando a posição onde águas relativamente mais frias da CCB interagem com águas relativamente mais quentes da CB.

### 3. RESULTADOS

Sobre as águas da CB há um maior fluxo de calor para atmosfera (Figura 2), 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  $Hl$ . Já na região costeira dominada por águas da CCB temos uma CLA mais estável com menores fluxos de calor do oceano para a atmosfera. Outra situação observada esta relacionada a sistemas pré e pós-frontais que modelando os  $Hs$ . Em casos pré-frontais,  $Hs$  tendem a ser quase nulos ou até mesmo negativos. Em situações pós-frontais,  $Hs$  é intensificado. A Figura 2 também mostra dados de TSM e de  $T_{ar}$  ao longo de cada transecto. A diferença da TSM e do  $T_{ar}$  ( $TSM - T_{ar}$ ) é frequentemente utilizada para estimar a estabilidade da CLA. Nos locais em que a TSM é maior que a do  $T_{ar}$  geralmente a CLA torna-se instável, o que gera turbulência e aumenta a mistura vertical e intensifica. Observa-se na Figura 2, que padrões positivos de estabilidade do ar ( $TSM$

>  $T_{ar}$ ) dominam todos transectos, sendo assim mais instável. A única exceção ocorreu no transecto P4 onde valores negativos de estabilidade ( $TSM < T_{ar}$ ) diminuem a turbulência e os fluxos de calor do oceano para a atmosfera.

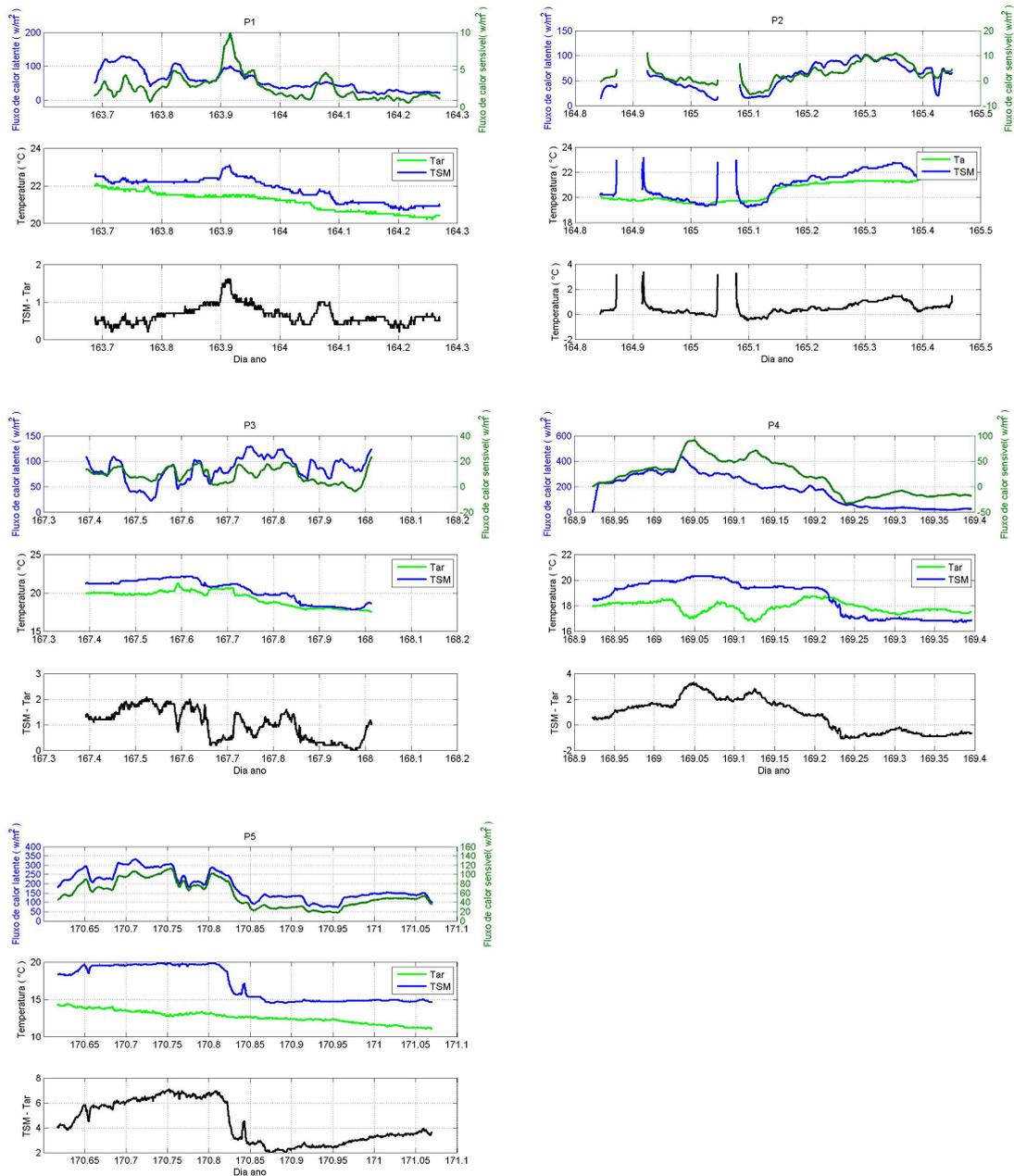


Figura 2. Fluxos de calor latente e sensível (acima), TSM e  $T_{ar}$  (centro) e parâmetro de estabilidade da CLA (abaixo) através dos cinco transectos (P1, P2, P3, P4, P5) estimados com dados coletados pelos projetos ACEX/ SIMTECO.

A Figura 3 mostra a variação zonal do gradiente de  $Hl$  durante os cinco transectos, indicando a posição do maior gradiente de fluxo de calor. Esse, por ser basicamente modulado pela TSM, aponta diretamente a longitude em que se localiza a região de maior contraste termal entre as águas da CB e da CCB. Isso pode ser claramente identificado nos transectos P3 em  $49,05^{\circ}W$  e P4 em  $51,25^{\circ}W$  de longitude.

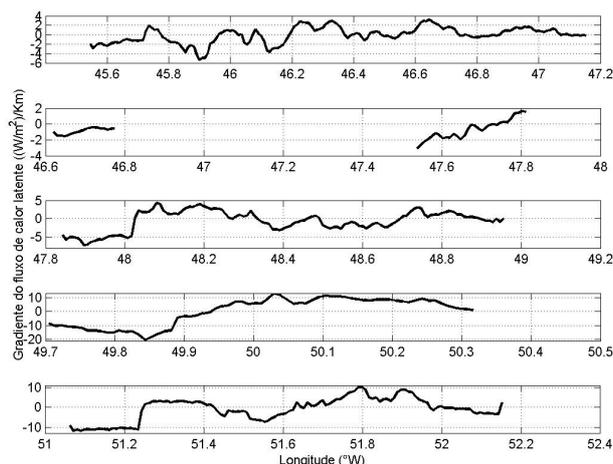


Figura 3. Gradiente horizontal do  $HL$  estimados com dados coletados pelos projetos ACEX e SIMTECO.

#### 4. CONCLUSÃO

As estimativas de  $HL$  e  $Hs$  são maiores sobre as águas relativamente mais distantes da região costeira onde predomina a CB, acarretando uma maior transferência de energia do oceano para a atmosfera. Este processo ocorre em toda área de estudo, com exceção do transecto P3 onde a incidência de um sistema frontal aparentemente reduziu o  $HL$  do oceano e a atmosfera sobre as águas da CB. Já na região costeira, a presença de águas mais frias da CCB torna a CLA mais estável. A variação zonal do gradiente de  $HL$  indica que as regiões de maior contraste de fluxos representam limite geográfico entre as águas da CB e da CCB. Estes resultados inéditos permitem uma melhor parametrização de modelos de previsão do tempo e mostram a influência de águas relativamente mais frias originárias da Bacia do Prata na modulação da CLA da região costeira do sul do Brasil.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de estudo ao primeiro autor, aos projetos ACEX (CNPq) e SIMTECO (FINEP). Agradecemos também a inestimável ajuda do comandante e tripulação do NHOc. Cruzeiro do Sul durante a realização do experimento ACEX/SIMTECO.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO, O. C. et al. 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, 2010.

FAIRALL, C. W. et al. Bulk parameterization of air-sea fluxes for Tropical Ocean-Global Atmosphere Coupled-Ocean Atmosphere Response Experiment. *Journal of Geophysical Research*, 101, 3747-3764, 1996.

PEZZI, L. P. et al. Ocean-atmosphere *in situ* observations at the brazil-malvinas confluence region. *Geophysical Research Letters*, v. 32. 2005.