

# Estimativa numérica da velocidade de transferência do CO<sub>2</sub> na região do Oceano Atlântico Tropical

Fabio Fonseca<sup>1</sup> e Jacyra Soares<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de interação ar-mar, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo.

E-mail: [fabfonseca@gmail.com](mailto:fabfonseca@gmail.com); [jacyra@usp.br](mailto:jacyra@usp.br)

## RESUMO

Dentro do contexto atual, onde se investigam o papel dos gases do efeito estufa nas mudanças climáticas, é de suma importância tratar o transporte destas variáveis na interface oceano-atmosfera. Aqui será apresentada uma estimativa numérica da velocidade de transferência do CO<sub>2</sub> para a região do oceano Atlântico tropical, variável esta que possui papel preponderante para o cálculo do transporte deste gás pela interface oceano-atmosfera.

## INTRODUÇÃO

O fluxo de CO<sub>2</sub> através da superfície oceano-atmosfera pode ser determinado pelo produto da velocidade de transferência  $k_{CO_2}$ , que representa a resistência à troca de gases na interface e o gradiente da pressão parcial do CO<sub>2</sub> ( $p_{CO_2}$ ), que representa o potencial para esta troca (Jeffery *et al.*, 2007). Destas duas variáveis, a velocidade de transferência é a mais complexa de ser obtida, e implementações numéricas são utilizadas para a sua estimativa.

Hare *et al.* (2004) propõem uma especialização do algoritmo de fluxos de calor latente, sensível e momento de Fairall *et al.* (2000), mas focada na transferência de CO<sub>2</sub> na interface ar-mar, e o batizaram de NOAA/COARE. O principal resultado obtido do NOAA/COARE é a velocidade de transferência para o CO<sub>2</sub>, utilizada para o cálculo do fluxo de CO<sub>2</sub> por meio de fórmulas tipo bulk.

## DADOS UTILIZADOS E REGIÃO DE ESTUDO

Para estimar a velocidade de transferência do CO<sub>2</sub> foram utilizados dados observados por uma bóia oceanográfica fundeada em (10° S, 10° W) do *Prediction and Research Moored Array over the Tropical Atlantic Ocean* (PIRATA; Servain *et al.*, 1998; Boulès *et al.*, 2008).

O período de simulação (de 01 a 08 de fevereiro de 2002) é aquele em que a Zona de Convergência Inter-tropical se apresenta sobre a região equatorial e foi escolhido por apresentar a menor contribuição de processos advectivos ao balanço de calor (Skjelka, 2010), tornando possível a simulação dos processos físicos utilizando um modelo unidimensional.

Variável	Altura do sensor (m)	Resolução de coleta dos dados (min)
Vento zonal	4,0	10
Onda curta incidente	3,5	2
Temperatura da atmosfera	3,0	10
Umidade Relativa	3,0	10
Temperatura da superfície do mar	-1,0	10

Tabela 1: Conjunto de variáveis meteorológicas e oceanográficas medidos pela bóia PIRATA, altura dos sensores e resolução temporal. Período de dados corresponde de 01 a 08 de fevereiro de 2002.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Hare *et al.* (2004), aplica a teoria de similaridade de Monin-Obukov à camada limite oceânica e propõem relações de escala para a transferência de CO<sub>2</sub> entre oceano e atmosfera e uma equação para a velocidade de transferência do CO<sub>2</sub>, dada por:

$$k_{CO_2} = \frac{u_{*a}}{\left( \left( \frac{\rho_w}{\rho_a} \right)^{1/2} r_w \right) r_a \alpha_{CO_2}} \quad (1)$$

onde  $u_{*a}$  é a velocidade característica da atmosfera,  $\rho_w$  é a densidade da água,  $\rho_a$  é a densidade do ar,  $r_w$  e  $r_a$  são as resistências adimensionais para o ar e a água, respectivamente, e sua apresentação completa está em Jeffery *et al.* (2007). Para validar a estimativa da velocidade de transferência do CO<sub>2</sub> foram comparados qualitativamente os valores gerados para  $k_{CO_2}$  com aqueles de Jeffery *et al.* (2007). A escolha se deu pois Jeffery *et al.* (2007) utilizou metodologia semelhante a apresentada aqui e utilizou os mesmos dados e região de estudo.

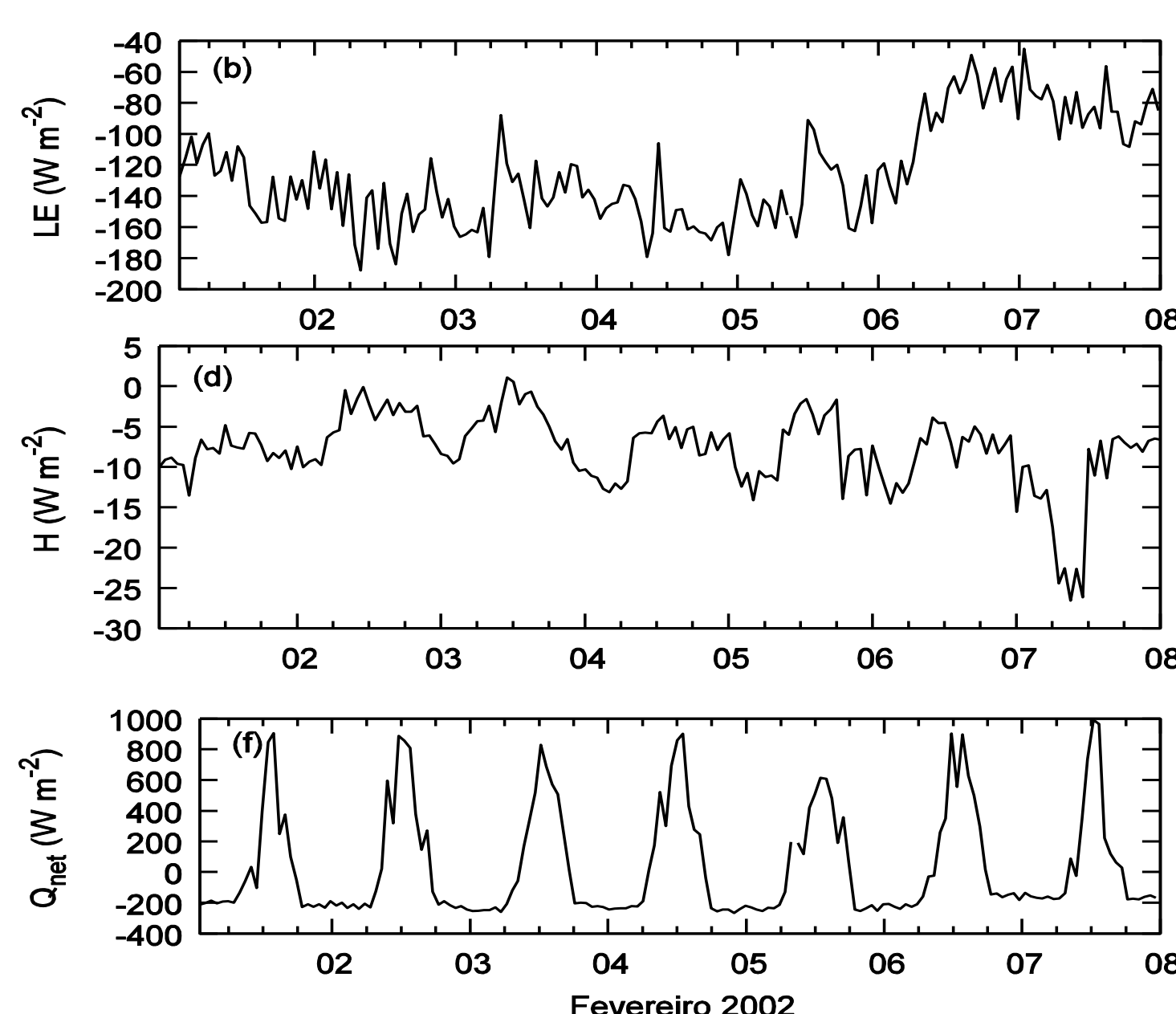


Figura 1: Balanço de calor estimado a partir de dados observados pela bóia PIRATA fundeada em (10°S, 10°W). (a) fluxo turbulento de calor latente estimado; (b) fluxo turbulento de calor sensível e (c) fluxo líquido de calor.

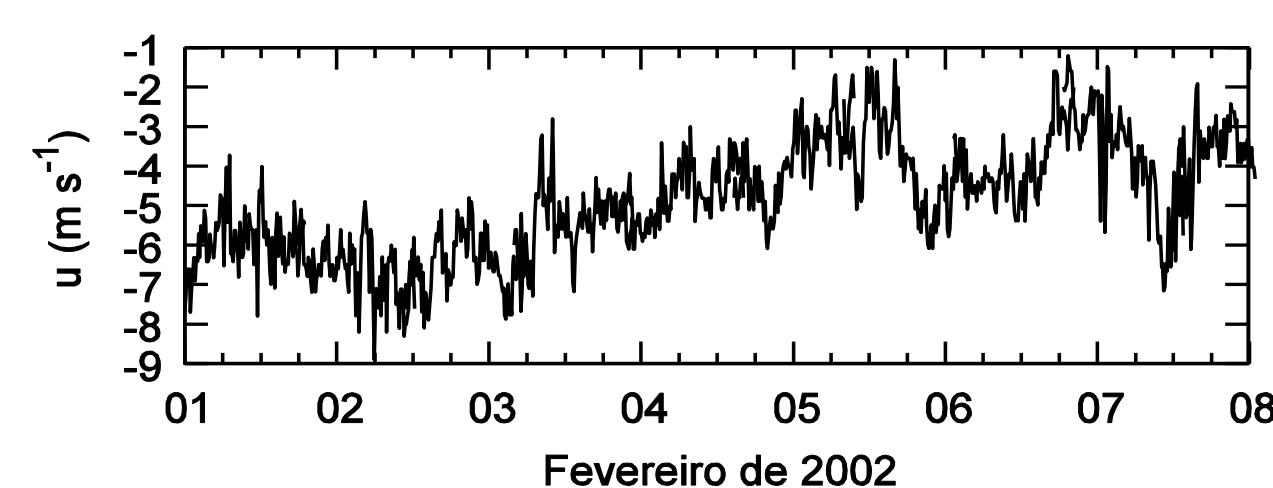


Figura 2: Velocidade do vento zonal observada em 4 m.

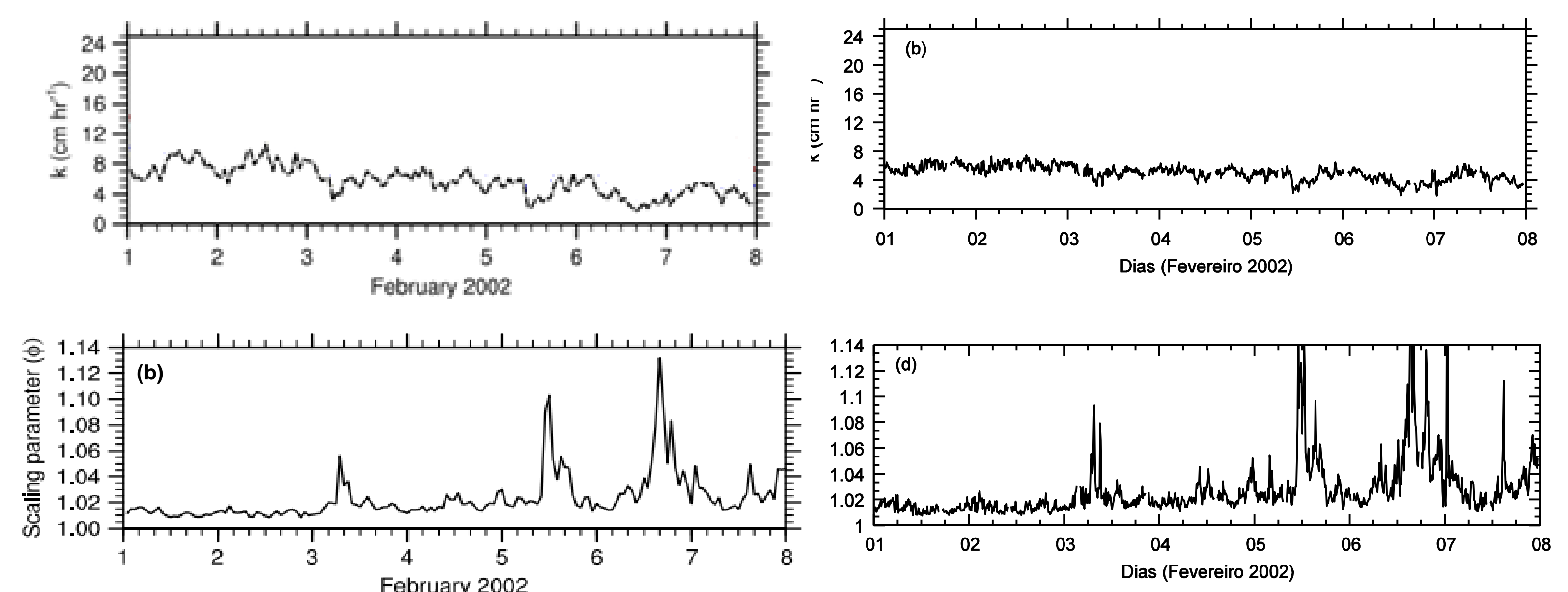


Figura 3: Do lado esquerdo, os resultados apresentados por Jeffery *et al.* (2007) e do lado direito os resultados obtidos para este trabalho. (a) e (b) velocidade de transferência estimada e (c) e (d) termo adimensional relativo ao acréscimo da velocidade de transferência devido a efeitos de empuxo na subcamada molecular.

## CONCLUSÕES

A estimativa numérica para a velocidade de transferência do CO<sub>2</sub> e sua validação qualitativa foram efetuadas com sucesso. Utilizando a parametrização para a transferência de CO<sub>2</sub> em conjunto com os valores do fluxo de calor latente, fluxo de calor sensível, fluxo de momento e velocidade característica da atmosfera simulados, foi efetuada a validação qualitativa do parâmetro. O presente resultado permitirá, no futuro, estimar o fluxo de CO<sub>2</sub> entre a interface oceano-atmosfera a partir da concentração deste gás na atmosfera e de parâmetros meteorológicos e oceanográficos simples, como a temperatura do ar e do mar e outras.

## REFERÊNCIAS

- Fairall, C. W., Hare, J. E., Edson, J. B., McGillis, W. (2000). Parameterization and Micrometeorological Measurement of Air-Sea Gas Transfer. *Boundary-Layer Meteorology* 96, 63-105.
- Hare, J.E., Fairall, C.W., McGillis, W.R., Edson, J.B., Ward, B., Wanninkhof, R. (2004). Evaluation of the National Oceanic and Atmospheric Administration/ Coupled-Ocean Atmospheric Response Experiment (NOAA/COARE) air-sea gas transfer parameterization using GasEx data. *Journal of Geophysical Research* 109, C08S11.
- Jeffery, C.D., Woolf, D.K., Robinson, I.S., Donlon, C.J. (2007). One-dimensional modelling of convective CO<sub>2</sub> exchange in the Tropical Atlantic. *Ocean Modelling* 19, 161-182.
- Skjelka, U., Soares, J., Oliveira, A. P. (2010). Study of the equatorial Atlantic ocean mixing layer using a one-dimensional turbulence model. *Brazilian Journal of Oceanography* 58, 57-69.