DOI: 10.5902/2179460X12258
Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM
Revista Ciência e Natura, Santa Maria
EISSN: 2179-460X, Edição Esp. Dez. 2013, p. 079 - 081

FECHAMENTO DO BALANÇO DE ENERGIA EM TORRES DE FLUXOS ATRAVÉS DO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS

Bianca Buss Maske, Luis Fernando Sapucci, Luis Gustavo Gonçalves de Gonçalves

CPTEC/INPE – Cachoeira Paulista – São Paulo – bianca.maske@cptec.inpe.br

RESUMO

O balanço de energia à superfície pode ter suas variáveis determinadas através medidas realizadas em torres de fluxos e, em tese, elas devem obedecer um fechamento. No entanto, como todo sistema de observação, os sensores envolvidos apresentam incertezas associadas aos materiais e a metodologia utilizada nas medições. Tais incertezas colaboram para o não fechamento do balanço, o que na prática é muito frequente. Utilizando a informação de que o fechamento do balanço de energia deve ser garantido, nesse trabalho é apresentado uma metodologia baseada no método dos mínimos quadrados para ajustar as observações através de uma solução que minimiza o quadrado dos resíduos.

ABSTRACT

The surface energy budget can have its variables determined by measurements on flux towers and, in theory, they should obey a closure. However, as every observations system, the sensors involved have uncertainties associated with the materials and methods used in the measurements. Such uncertainties collaborate negatively with closure of the budget, which is often observed in practice. Using the information that the closure of the surface energy budget must be guaranteed, this paper presents a methodology based on the method of least squares to fit the observations through a solution that minimizes the squared residuals.

INTRODUÇÃO

O cálculo do balanço de energia à superfície é determinado pelo saldo de radiação, fluxo de calor no solo, sensível e latente, e deve obedecer a um fechamento. No entanto, em trabalhos experimentais, o fechamento desse balanço é atendido em apenas 80%, restando um resíduo (Foken et al.,2006; Teichrieb et al.,2007). Como em qualquer quantidade medida nas observações em torres de fluxos, existem erros observacionais associados às incertezas da metodologia utilizada na medição. Erros aleatórios são impossíveis de ser determinados ou removidos, tendo de ser aceitos como parte das medidas. No entanto, baseado em injunções (do inglês *constrains*) ou regras entre as observações, é possível identificar determinadas soluções que asseguram resultados mais próximos da "verdade". No caso do balanço de energia, o fechamento é uma forte injunção que contribui para a obtenção de observações mais corretas. Dessa forma, esse trabalho tem por objetivo aplicar um método de ajustamento baseado nos mínimos quadrados, denominado correlato, nas observações do balanço de energia à superfície que serão ajustadas baseadas no fechamento e o critério

DOI: 10.5902/2179460X12258
Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM
Revista Ciência e Natura, Santa Maria
EISSN: 2179-460X, Edição Esp. Dez. 2013, p. 079 - 081

utilizado para assegurar a melhor solução é aquele que minimiza o quadrado dos resíduos, assegurando valores mais confiáveis e determinando suas incertezas.

METODOLOGIA

O saldo de radiação observado pelo saldo radiômetro e o fluxo de calor no solo determinado por uma placa medidora de fluxo. Já os fluxos de calor sensível e latente utilizam a técnica Eddy-covariance para o seu cálculo. Essa técnica permite calcular o fluxo de um escalar qualquer, utilizando a covariância entre a flutuação da velocidade do vento e a flutuação de uma grandeza escalar transportada na atmosfera. O balanço de energia à superfície é determinado pelo saldo de radiação (R_n), fluxo de calor no solo (G), sensível (H) e latente (Le) os quais se relacionam pela seguinte equação:

$$R_n = Le + H + G \text{ (eq. 1)}$$

O método de ajustamento dos correlatos, que é empregado em observações (L_b) que possuem alguma dependência matemática entre elas, da forma $F(L_b)=0$, na qual para o cada passo de tempo o balanço de energia assumiria:

$$R_n - Le - H - G = 0 \text{ (eq. 2)}$$

Durante a minimização dos resíduos do fechamento, é possível determinar diferentes pesos para as diferentes observações, que seria o grau de confiança de cada uma em relação às demais. Para o caso do balanço de energia à superfície, os fluxos de calor sensível e latente receberam pesos menores, já que são as variáveis do balanço mais suscetíveis a erros (Foken et al.,2006).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados utilizados para exemplificar o método são de observações oriundas da torre de fluxo localizada na cidade de Santa Maria-RS, com frequência temporal de 30 minutos. Tais dados apresentam, em alguns dias, diferenças entre o saldo de radiação e os fluxos de superfície de até 600 W/m², comprometendo o fechando do balanço em 40% nos picos de saldo de radiação, como pode ser observado nas Fig.1 e 2-a.

Aplicando o método de ajustamento correlato, obtiveram-se resíduos entre o saldo de radiação e os fluxos de superfície reduzidos a valores da ordem de 10^{-14} W/m², fazendo com que balanço entre as variáveis fosse atendido, como mostrado nas Fig.1 e 2-b. Nesse processo inclusive, as variáveis com peso igual a 1 sofreram alguma correção, pois não existem medidas completamente exatas.

A minimização de erros em observações é de extrema importância, principalmente no caso de variáveis que são determinadas a partir delas, pois os erros se propagam com influência variável, podendo muitas vezes pequenos erros afetar significativamente o resultado final.

DOI: 10.5902/2179460X12258
Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM
Revista Ciência e Natura, Santa Maria
EISSN: 2179-460X, Edição Esp. Dez. 2013, p. 079 - 081

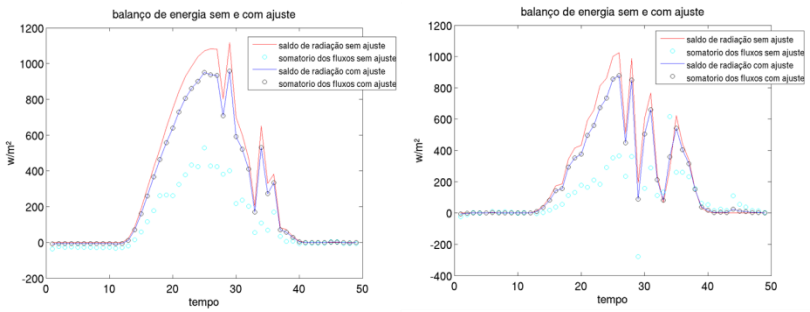

Figura 1- Dois exemplos de ciclo diurno. Balanço sem ajuste: saldo de radiação (vermelho) e somatório dos fluxos de superfície (azul claro). Balanço com ajuste: saldo de radiação (azul escuro) e somatório dos fluxos de superfície (preto).

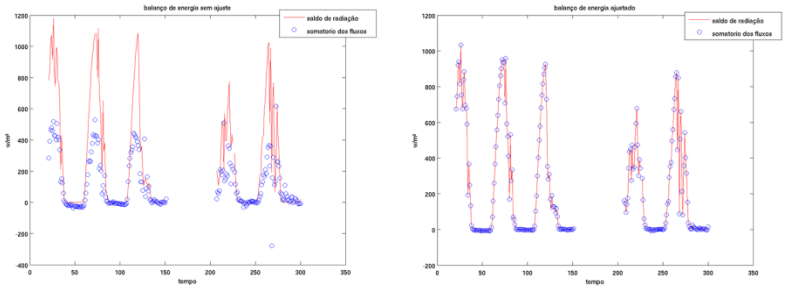

Figura 2- Saldo de radiação (vermelho) e somatório dos fluxos de superfície (azul) A)sem ajustamento e B)com ajustamento para o período de uma semana.

CONCLUSÕES

O método de ajustamento aplicado obteve resultados satisfatórios, resolvendo o problema de fechamento do balanço de energia à superfície, através da busca da solução que minimiza o quadrado dos resíduos, contribuindo para que se obtenha observações mais confiáveis e determinando suas reais incertezas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal de Santa Maria por gentilmente ter disponibilizado os dados para a pesquisa.

REFERENCIAS

Teichrieb, C. A., Zimermann, H. R., Moraes O. L. L., Acevedo O. Análise do balanço de energia em duas torres micrometeorológicas do PAMPA07, **Ciência e Natura-Micrometeorologia,** p149-152, 2007**.**

Foken, T., Wimmer, F., Mauder, M., Thomas, C., Liebethal, C. Some aspects of the energy balance closure problem, **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 6, 4395-4402, 2006.

Camargo, P.O. **Ajustamento de Observações**, Notas de aula da Engenharia Cartográfica, FCT-UNESP, Campus Presidente Prudente, 2000.