



I Workshop Internacional de Inovações  
Tecnológicas na Irrigação  
&  
I Conferência sobre Recursos  
Hídricos do Semi-Árido Brasileiro  
26 a 28 de Setembro de 2007  
Sobral - CE

## ANÁLISE PRELIMINAR DO FECHAMENTO DO BALANÇO DE ENERGIA DETERMINADO PELA TÉCNICA DAS CORRELAÇÕES TURBULENTAS

BEZERRA, B. G.<sup>1</sup>; SANTOS, C. A. C. DOS<sup>1</sup>; SILVA, B. B. DA<sup>2</sup> & SILVA, S. T. A. DA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Doutorando em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, (UFCG). Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande-PB. bergson.bezerra@gmail.com.

<sup>2</sup>Professor Adjunto IV, D.Sc. Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, UFCG, Campina Grande-PB

**RESUMO:** Foi analisado o fechamento do balanço de energia obtido pelo método das correlações turbulentas de um pomar de bananeiras. Observou-se nos dias estudados que os resultados apresentaram bastante dispersão. Foram detectadas discrepâncias da ordem de 20% em dois dos três dias estudados.

**Palavras chaves:** Energia disponível, Fluxo de calor latente, Fluxo de calor sensível.

### PRELIMINARY ANALYSIS OF THE ENERGY BALANCE CLOSURE DETERMINED FOR EDDY CORRELATION METHOD

**ABSTRACT:** It was analyzed the energy balance closure obtained through eddy correlation method for a banana orchards, in the three days. It was observed in the studied days that the results showed very scatter. It was identified disagreement in the approximately 20% in the two days.

**Key-words:** Energy available, Latent heat flux, Sensible heat flux.

### INTRODUÇÃO

O fechamento do balanço de energia (BE), de acordo com a formulação da primeira lei da termodinâmica, requer que a soma dos fluxos de calor latente ( $LE$ ) e sensível ( $H$ ) estimados seja equivalente a somas de todas as outras fontes e/ou sumidouros de energia, conforme a equação que se segue:

$$LE + H = Rn - G - S - Q \quad (1)$$

em que:  $Rn$  é o saldo de radiação,  $G$  é o fluxo de calor no solo e calor,  $S$  é o calor estocado no dossel vegetativo e  $Q$  é a soma de todos os demais sumidouros, como por exemplo, a energia

utilizada no processo fotossintético. Normalmente o  $Q$  é negligenciado, pois constitui porções muito pequenas de energia, quando comparada com os demais termos do BE. Já o  $S$ , por sua vez, em estudos sobre culturas irrigadas também pode ser perfeitamente negligenciado, pois Borges (2006) concluiu que o seu efeito sobre o cômputo do BE é irrelevante.

Assim, o BE pode ser perfeitamente estimado, através da equação (1) reduzida aos quatro primeiros termos conforme a equação (2), onde o LE normalmente é obtido como resíduo, ou seja, pela diferença entre os demais termos. Dessa foram inúmeros trabalhos tem sido conduzido alcançando resultados fortemente concordantes, como fizeram (Trezza, 2003; Tasumi et al, 2005; Feitosa, 2005; Bezerra, 2006; Santos et al., 2007).

$$LE + H = Rn - G \quad (2)$$

Na obtenção do Be através do método das correlações turbulentas a igualdade da equação (2) não é satisfeita, isto é, não ocorre o fechamento do BE, apresentando diferenças relativamente significativas, com percentuais superiores ao que representaria os termos desprezados. Wilson et al. (2002) detectaram discrepâncias da ordem de 20% analisando dados obtidos com esta técnica em 22 locais de ecossistemas e climas contrastantes na Europa e EUA. Já Barr et al. (2006) obtiveram da ordem de 15% em florestas boreais no Canadá.

Wilson et al. (2002) afirmam que na análise dos fluxos de LE e H o fechamento do BE é diretamente relevante. Ainda segundo Wilson et al (2002) uma discrepância relativamente elevada sugere que os fluxos de LE e H são subestimados e/ou a energia disponível foi superestimada.

No entanto, a técnica é bastante refinada e pode vir a se tornar uma importante ferramenta na obtenção da evapotranspiração de cultivos irrigados em regiões semi-áridas. Diante do exposto, a presente pesquisa objetivou fazer uma análise preliminar do fechamento do balanço de energia estimado esta técnica sobre um pomar de bananeiras irrigadas no período diurno.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas medidas do  $R_n$ ,  $G$ ,  $H$  e  $LE$  propiciadas pela técnica das correlações turbulentas para três datas, 21 de novembro, 1 e 17 de dezembro de 2006. Os dados foram coletados a uma frequência de 10 Hz e armazenadas médias de 10 minutos em um datalogger CR23X (Campbell Sci. Inc, Logan, UT, USA). As medidas foram realizadas sobre um pomar de bananeiras irrigadas na Fazenda Frutacor, localizada no município de Quixeré-CE.

O  $R_n$  foi medido por um saldo radiômetro (Net Radiometer CNR1, Kipp & Zonen, Campbell Sci. Inc, Logan, UT, USA). O  $G$  foi obtido por fluxímetros (HFP01SC Self-Calibrating Soil Heat Flux Plate, Campbell Sci. Inc, Logan, UT, USA) instalada a 10 cm de profundidade.



Os resultados de H e LE foram obtidos pelas equações (3) e (4):

$$H = \rho C_p \overline{w'T'} \quad (3)$$

$$LE = \rho L \overline{w'q'} \quad (4)$$

em que:  $\rho$  é a densidade do ar ( $\text{Kg m}^{-3}$ ),  $C_p$  é o calor específico a pressão constante ( $\text{J Kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ),  $\overline{w'T'}$  é a covariância entre a componente vertical da velocidade do vento e a temperatura do ar,  $L$  é o calor latente de vaporização ( $\text{J Kg}^{-1}$ ) e  $\overline{w'q'}$  é a covariância entre a velocidade vertical do vento e a umidade específica.

A componente vertical da velocidade do vento foi medida por um Anemômetro Sônico Tridimensional (*CSAT3 3-D Anemometer Sonic, Campbell Sci. Inc, Logan, UT, USA*), a temperatura do ar foi medida por uma sonda de umidade relativa e temperatura (*HMP45C Temperature & Relative Humidity Probe, Vaisala, Finland*) e a umidade específica foi obtida a partir do fluxo de vapor d'água medido por um Analisador de  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  (*LI-7500  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  Analyser Li-COR, Campbell Scientific Inc., Logan, UT, USA*).

Os instrumentos foram instalados a altura de 2,0 m acima do dossel da cultura e a 8,0 m da superfície.

## RESULTADO E DISCUSSÃO

Em todos os dias estudados foram observadas consideradas dispersões entre os resultados da energia disponível e a soma de LE e H, conforme apresenta os gráficos das Figuras 1a a 1c. No entanto nos dias 21 de novembro e 17 de dezembro os resultados apresentaram tendências melhores ajustadas, apresentando coeficientes de determinação de aproximadamente 0,80. Já a acentuada dispersão verificada no dia 01 de dezembro é evidenciada pelo coeficiente de determinação,  $R^2 = 0,49$ . Estas discrepâncias, em grande parte podem ser atribuídas a interferências de fatores externos. Um desses fatores é o “*footprint*” relatado por (Göckede et al, 2005; Laine et al., 2006), que é um problema intrínseco desta técnica.

As linhas de tendências das dispersões entre os resultados da energia disponível e da soma de LE e H apresentaram coeficientes de inclinação de 0,77, 0,71 e 0,79 nos dias 21 de novembro, 01 e 17 de dezembro de 2006, respectivamente. Esses resultados são fortemente concordantes com os valores obtidos por Wilson et al. (2002), evidenciando dessa forma, que apesar de terem sido coletados em ecossistemas diferentes, apresentam de um modo geral comportamentos semelhantes.

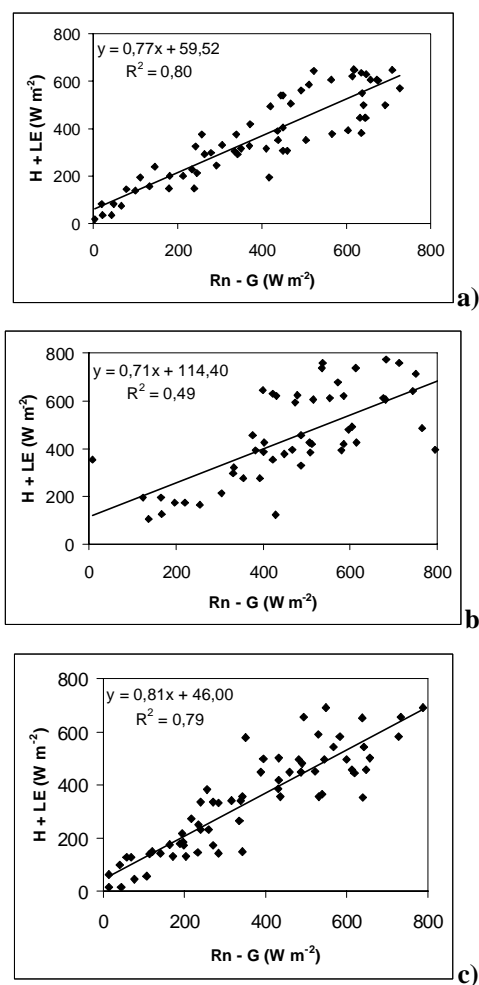


Figura 1: Dispersão das médias de 10 minutos dos fluxos do BE do período diurno, nos dias 21 de novembro, 1 e 17 de dezembro de 2006

## CONCLUSÕES

Diante dos resultados conclui-se que o fechamento do BE do presente estudo apresentou em dois dos três dias estudados discrepâncias da ordem de 20%, corroborando dessa forma, com os resultados de Wilson et al. (2002). Embora que no estudo supra-citado foram introduzidas medidas do calor armazenado no dossel vegetativo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a direção da Fazenda Frutacor por ter gentilmente cedido sua área de cultivo para instalação do experimento. Agradecem ainda ao CNPq pelo financiamento da pesquisa.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARR, A. G.; MORGENSTERN, K.; BLACK, T. A. McCAUGHEY, J. H. NESIC, Z. Surface energy balance closure by the eddy-covariance method above three boreal forest stands and implications for the measurement of the CO<sub>2</sub> flux. **Agricultural and Forest Meteorology**. v.140. p.322–337, 2006.
- BEZERRA, B. G. **Balço de energia e evapotranspiração em áreas com diferentes tipos de cobertura de solo no cariri cearense através do algoritmo SEBAL**. Campina Grande, 2006. 127p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). – Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, UFCG.
- BORGES, C. J. R. **Efeitos do calor armazenado no dossel e no solo no cálculo do balanço de energia em pomar de mangueiras irrigadas**. Campina Grande, 2006. 69p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, UFCG.
- GÖCKEDE, M.; MARKKANEN, T.; MAUDER, M.; ARNOLD, K.; LEPS, J. P.; FOKEN, T. Validation of footprint models using natural tracer measurements from a field experiment. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 135. p.314-325, 2005.
- LAINE, A.; SOTTOCORNOLA, M.; KIELY, G.; BRAYRNE, K. A.; WILSON, D. TUITILA, E. S. Estimating net ecosystem exchange in a patterned ecosystem: Example from blanket bog. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 138. p.231-243, 2006.
- SANTOS, C. A. C.; BEZERRA, B. G. SILVA, B. B.; SILVA, S. T. A. Estimativa da evapotranspiração diária utilizando técnicas de sensoriamento remoto orbital. In.: XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Anais... Aracaju-SE: 2007. (CD-ROM).
- TASUMI, M.; TREZZA, R.; ALLEN, R. A.; WRIGHT, J. L. Operational aspects of satellite-based energy balance models for irrigated crops in the semi-arid U.S. **Irrigation and Drainage Systems**. v. 19, p. 355-376, 2005.
- TREZZA, R. **Evapotranspiration using a satellite-based Surface energy balance with Standardized ground control**. Logan-UT. 2002. 247f. Thesis (Doctor of Philosophy in Biological and Agricultural Engineering). Utah State University.
- WILSON, K.; GOLDSTEIN, A.; FALGE, E. AUBINET, M.; BALDOCCHI, D.; BERBIGIER, P.; BERNHOFER, C.; CEULEMAN, R.; DOLMAN, H.; FIELD, C.; GRELLÉ, A.; IBROM, A.; LAW, B. E.; KOWALSKI, A.; MEYERS, T.; MONERIEFF, J.; MONSON, R.; OECHEL, W.; TENHUMEN, J.; VALENTIN, R.; VERMA, S. Energy balance closure at FLUXNET sites. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 113, p.223-243, 2002.