

## COMPARAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS DE CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM POMAR DE MANGUEIRA

ANTÔNIO HERIBERTO DE CASTRO TEIXEIRA<sup>1</sup>; WIM G. M. BASTIAANSEN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Engo Agrônomo, Pesquisador Ph.D., Depto. de Agrometeorologia, Embrapa Semi-Árido, Petrolina-PE,

Fone (0xx87)38621711, [heribert@cpatsa.embrapa.br](mailto:heribert@cpatsa.embrapa.br)

<sup>2</sup>Engo Agrícola, Ph.D., WaterWatch, Wageningen, Holanda

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de 2009 – GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções – Belo Horizonte – MG.

**RESUMO:** O uso de diferentes metodologias para a obtenção da evapotranspiração (ET) é importante para sua estimativa precisa em estudos hidrológicos. Para este acesso foram usadas medições do balanço de energia em um pomar de mangueira irrigado na região semi-árida do Brasil. Os fluxos de calor latente ( $\lambda E$ ) e sensível (H) foram obtidos pelos sistemas das correlações turbulentas (CT), da razão de Bowen (RB). O fechamento deste balanço pelo método CT mostrou uma diferença média de 12% com relação à energia disponível. Como alternativas para correção,  $\lambda E$  foi calculado pelos métodos residual e combinado. Neste último método foi usada a razão H/ $\lambda E$  das medições do sistema CT. Tomando os resultados deste último sistema como referência, maiores diferenças foram encontradas para o método residual, enquanto que as menores foram para o método RB. O método combinado se apresentou como uma boa alternativa para utilização dos fluxos turbulentos com fechamento do balanço de energia, entretanto pode-se usar o método residual com ajustes quando não há disponibilidade da medição direta de  $\lambda E$ .

**PALAVRAS CHAVES:** fluxo de calor latente, correlações turbulentas, razão de Bowen.

## COMPARISON OF DIFFERENT METHODS FOR EVAPOTRANSPIRATION CALCULATION IN MANGO ORCHARD

**ABSTRACT:** The use of different methodologies for evapotranspiration (ET) acquisitions is important for the estimations accuracy in hydrology studies. For this assessment energy balance measurements were done in an irrigated mango orchard in the semi-arid region of Brazil. The latent ( $\lambda E$ ) and sensible (H) heat fluxes were obtained by eddy covariance (EC) and Bowen ratio (BR) systems. The energy balance closure in the EC method showed an average gap of 12%. As alternative ways for corrections,  $\lambda E$  was computed by the residual and the combination methods. This last method utilizes the Bowen ratio determined from the EC system. Taking the EC method as a reference, the maximum differences were noticed for the residual method, while the minimum ones were found for the BR method. The combination method appeared as a good alternative for using the turbulent fluxes with energy balance closure, however one can use the residual method with adjusts when direct measurements of  $\lambda E$  are not available.

**KEYWORDS:** latent heat flux, eddy covariance, Bowen ratio

**INTRODUÇÃO:** O cálculo da ET é de grande importância para o manejo dos recursos hídricos. Devido às grandes profundidades das raízes, o balanço hídrico no solo é muito difícil de ser realizado em fruteiras, especialmente naquelas menos uniformes em climas semi-áridos (Rana et al., 2005). Medições diretas da transpiração utilizando a técnica do fluxo de seiva (Yunusa et al., 2004) em conjunto com a evaporação direta do solo podem trazer bons resultados, mas estes são afetadas pelas variações individuais das plantas. Neste caso os métodos das correlações turbulentas (CT) e da razão de Bowen (RB) se destacam. O último é útil quando H não pode ser medido diretamente, sendo  $\lambda E$  estimado por meio de medições adicionais do saldo de radiação ( $R_n$ ) e do fluxo de calor no solo (G) (Teixeira et al., 2007). O método CT tem uma vantagem sobre o método RB devido à obtenção direta de  $\lambda E$  e H, entretanto falha com relação à falta de fechamento do balanço de energia (Teixeira et al., 2008). Em ambos os casos, a precisão das medições ou estimativas da ET é de crucial importância para sua utilização no manejo dos recursos hídricos e em particular da irrigação. Devido às desvantagens de ambos os métodos citados, o objetivo desse trabalho foi testar quatro metodologias para determinação da ET com a utilização das medições turbulentas complementadas com  $R_n$  e G. Os resultados destas análises servirão como subsídio ao manejo de água em fruteiras de porte alto e com largos espaçamentos na região semi-árida brasileira.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Os dados utilizados nesse estudo foram obtidos no período de 2003 a 2005, em um pomar comercial de mangueira localizado na região semi-árida do Nordeste brasileiro em Petrolina-PE (09°22' S, 40°34' W). A variedade Tommy Atkins apresentava-se com 18 anos (em 2003), com plantas espaçadas em grades de 10 m x 10 m, irrigada por micro-aspersão em uma área de 11,92 ha. As medições micrometeorológicas abrangeram dois ciclos produtivos e compreenderam as variáveis necessárias aos cálculos dos componentes do balanço de energia através dos sistemas CT e RB. Com os dados do primeiro sistema,  $\lambda E$  foi obtido em função do calor latente de vaporização ( $\lambda$ ) e dos desvios instantâneos da densidade do vapor ( $\rho_v'$ ) e da velocidade vertical do vento ( $w'$ ) em relação às médias. H foi medido em função da densidade do ar ( $\rho_a$ ), do calor específico à pressão constante ( $c_p$ ), dos desvios instantâneos da temperatura do ar em relação às médias ( $T'$ ) e de  $w'$  (Teixeira et al. 2008). No método RB estimou-se  $\lambda E$  por meio da fórmula simplificada do balanço de energia, composta por medições de  $R_n$  e G e da determinação da razão de Bowen ( $\beta = H/\lambda E$ ) (Teixeira et al., 2007). Em adição a estes métodos padrões, duas combinações das medições dos fluxos foram empregadas na estimativa do  $\lambda E$  pelo método residual ( $\lambda E_{RES}$ ) e pelo método combinado ( $\lambda E_{CT\_RB}$ ):

$$\lambda E_{RES} = R_n - H_{CT} - G \quad (1)$$

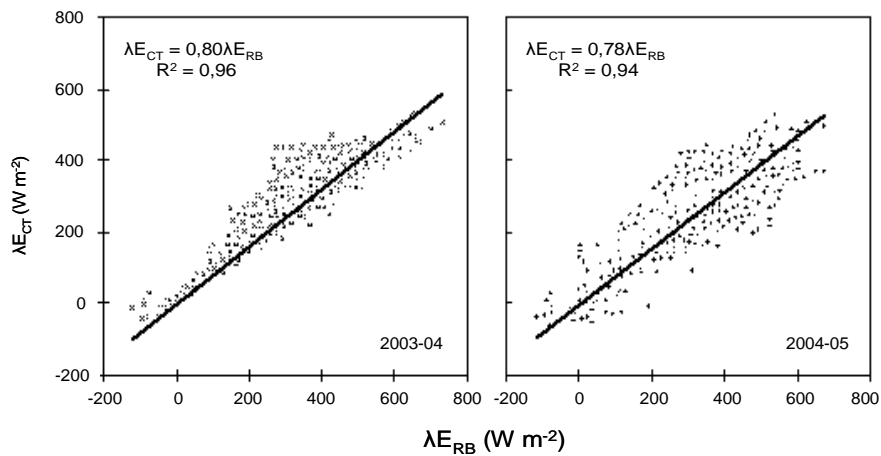
$$\lambda E_{CT\_RB} = \frac{R_n - G}{1 + \beta_{CT}} \quad (2)$$

onde:

$$\beta_{CT} = \frac{H_{CT}}{\lambda E_{CT}} \quad (3)$$

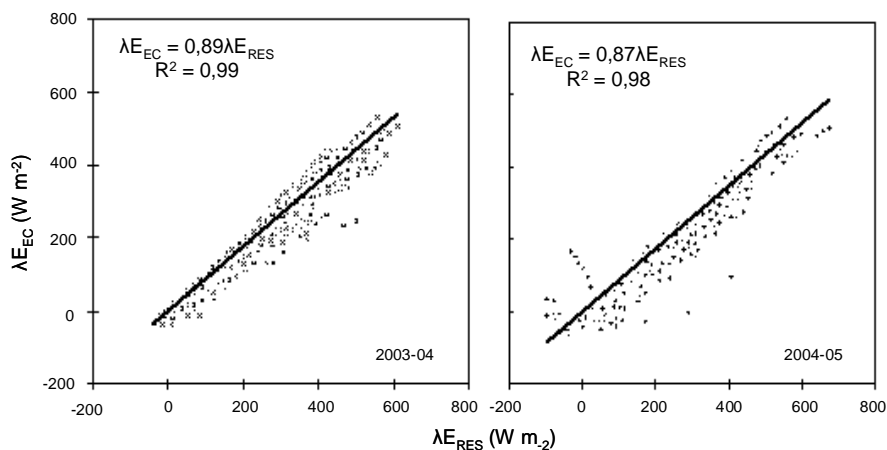
**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A comparação entre os valores de  $\lambda E$  obtidos pelos sistemas BR e CT para períodos de meia hora são apresentados na Figura 1. As correlações foram bastante satisfatórias, com valores mais altos do método RB sobre as medições do sistema CT. Os dados mostraram que  $\lambda E_{CT}$  foi em média 20% inferior que  $\lambda E_{BR}$  para ambos

os ciclos. Dugas et al. (1991) também reportaram valores de  $\lambda E_{CT}$  de 23 a 33% dos valores de  $\lambda E_{BR}$  em trigo irrigado.



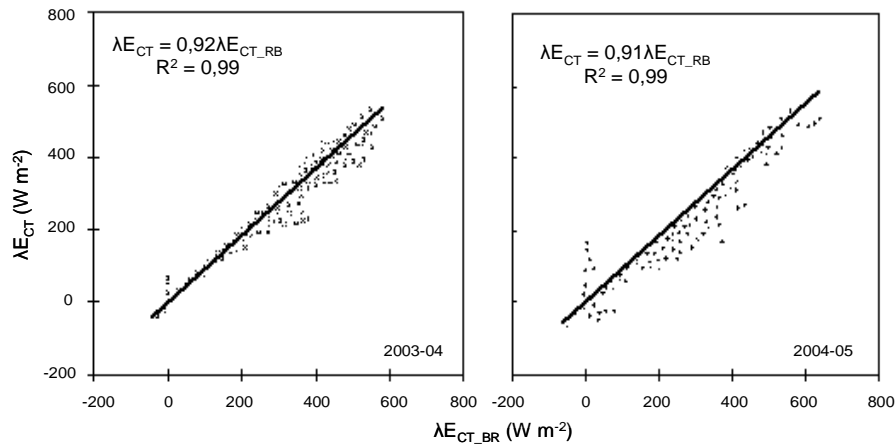
**Figura 1.** Comparação entre fluxos de calor latente medidos pelo sistema das correlações turbulentas ( $\lambda E_{CT}$ ) com aqueles obtidos pelo método da razão de Bowen ( $\lambda E_{BR}$ ). Primeiro ciclo produtivo: 2003-04; Segundo ciclo produtivo: 2004-05.

A qualidade dos dados do sistema CT foi verificada por meio da relação dos fluxos ( $\lambda E_{CT} + H_{CT}$ ) e a energia disponível ( $R_n - G$ ) em escala diária. A razão dos fluxos turbulentos para a energia disponível foi em média 88%. Um erro de 10 a 30% aparece frequentemente nas estimativas de  $\lambda E_{EC}$ . Um resumo das medições em 22 experimentos ao longo de 50 anos indicou uma lacuna geral no fechamento do balanço de energia em sistemas CT, com um erro médio de 22% (Wilson et al., 2002). Para contornar este problema, vários estudos adotam soluções práticas. A Figura 2 apresenta a relação entre as medições de  $\lambda E_{CT}$  com os valores provenientes do método residual ( $\lambda E_{RES}$ ) para períodos de meia hora.  $\lambda E_{CT}$  representou em média 88% de  $\lambda E_{RES}$  o que pode ser uma indicação de super estimativa do método residual. A vantagem deste último método é que não é necessário ter equipamentos caros para a obtenção de  $\lambda E$  diretamente.



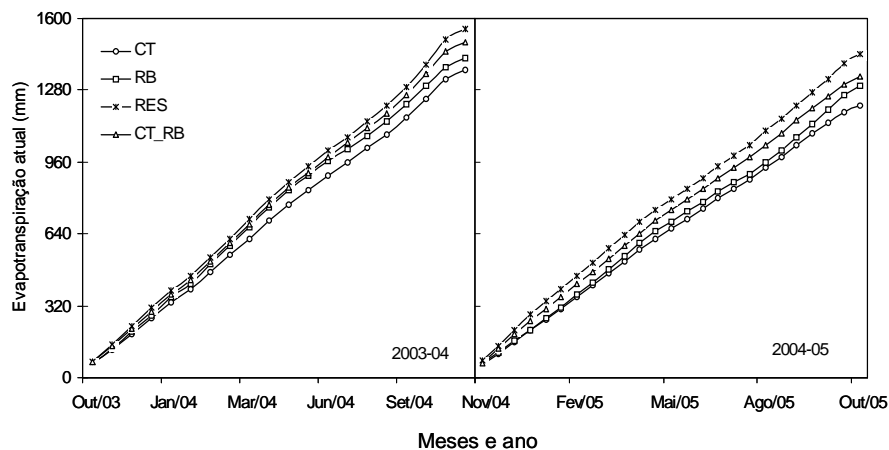
**Figura 2.** Comparação entre fluxos de calor latente medidos pelo sistema das correlações turbulentas ( $\lambda E_{CT}$ ) com aqueles obtidos pelo método residual ( $\lambda E_{RES}$ ). Primeiro ciclo produtivo: 2003-04; Segundo ciclo produtivo: 2004-05.

Com o uso das Equações 2 e 3, o balanço de energia foi re-calculado no método combinado (Twine, 2000). A Figura 3 evidencia que, além da melhor correlação, as medições do sistema CT corresponderam a 92% dos resultados obtidos pelo método combinado.



**Figura 3.** Comparação entre fluxos de calor latente medidos pelo sistema das correlações turbulentas ( $\lambda E_{CT}$ ) com aqueles obtidos pelo método combinado ( $\lambda E_{CT\_RB}$ ). Primeiro ciclo produtivo: 2003-04; Segundo ciclo produtivo: 2004-05.

Para observação das diferenças em escala de tempo maior, os dados de  $\lambda E$  obtidos pelos quatro métodos foram convertidos para milímetros de água, e os valores diários foram acumulados para períodos de 20 dias, conforme a Figura 4.



**Figura 4.** Evapotranspiração acumulada, durante dois ciclos produtivos do pomar de mangueira, em Petrolina-PE, Brasil, pelos métodos das correlações turbulentas (CT), razão de Bowen (RB), residual (RES) e combinado (CT\_BR).

Na Figura 4, percebe-se que os máximos valores foram verificados para o método residual, enquanto os mínimos foram provenientes das medições diretas do sistema CT, estando os métodos RB e CT\_BR com valores intermediários. Após as análises dos diferentes métodos, como argumentos a favor do combinado (CT\_BR), pode-se concluir que além de assegurar o fechamento do balanço de energia e apresentar melhor correlação com as medições diretas do sistema das correlações turbulentas, este método fornece diretamente a fração evaporativa, utiliza medições do sistema altamente avançado das correlações turbulentas, representa em média a linha mais central da Figura 4 e tem consistência com a melhor teoria de medições do fluxo turbulento de calor latente.

**CONCLUSÕES:** Os resultados apresentados neste trabalho são importantes para o manejo da irrigação, alocação de água, economia de água e sustentabilidade ambiental. Os métodos estudados apresentaram boas correlações. Embora o sistema das correlações turbulentas tenha apresentando um erro de 12% no fechamento do balanço de energia, é aceitável tendo em

vista outros estudos reportados na literatura. O método da razão de Bowen é mais barato e mais fácil de operacionalização, porém respondeu menos às variações dos estágios fenológicos. As análises dos diferentes métodos permitiram a seleção do método combinado para a aplicação em estudos hidrológicos devido principalmente à maior correlação com medições diretas do sistema das correlações turbulentas; à utilização de medições diretas dos fluxos de calor latente e sensível assegurando o fechamento do balanço de energia; e por representar a curva média da evapotranspiração acumulada em comparação com os outros métodos. Entretanto, sem a disponibilidade de medições diretas da evapotranspiração, o método residual é uma boa opção quando ajustado, enquanto que o da razão de Bowen também é aplicável para períodos diários, pois é o mais barato e as diferenças de resultados com relação às medições turbulentas são reduzidas quando a escala de tempo aumenta.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

DUGAS, W. A.; FRITSCHEN, L. J.; GAY, L. W.; Held, A. A.; MATTHIAS, A. D.; REICOSKY, C.; STEDUTO, P.; STEINER, J. L. Bowen ratio, eddy correlation and portable chamber measurements of sensible and latent heat flux over irrigated spring wheat. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 56, p. 1-20, 1991.

RANA, G.; KATERJI, N.; LORENZA, F. de. Measuring and modelling of evapotranspiration of irrigated citrus orchard under Mediterranean conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 128, p. 199-209, 2005.

TEIXEIRA, A. H. de C.; BASTIAANSSEN, W. G. M.; BASSOI, L. H. Crop water parameters of irrigated wine and table grapes to support water productivity analysis in Sao Francisco River basin, Brazil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 94, p. 31-42, 2007.

TEIXEIRA, A. H. de C.; BASTIAANSSEN, W. G. M.; MOURA, M. S. B.; SOARES, J. M.; AHMAD, M-ud-D; BOS, M. G. Energy and Water Balance Measurements for Water Productivity Analysis in Irrigated Mango Trees, Northeast Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 148, p. 1524-1537, 2008.

TWINE, T. E.; KUSTAS, W. P.; NORMAN, J. M.; COOK, D. R.; HOUSER, P. R.; MEYERS, T. P.; PRUEGER, J. H.; STARKS, P. J.; WESELY, M. L. Correcting eddy-covariance flux estimates over grassland. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 103, p. 279-300, 2000.

WILSON, K.; GOLDSTEIN, A.; FALGE, E.; AUBINET, M.; BALDOCCHI, D., BERBIGIER, P.; BERNHOFER, C.; CEULEMANS, R.; DOLMAN, H.; FIELD, C.; GRELLE, A.; IBROM, A.; LAW, B. E.; KOWALSKI, A.; MEYERS, T.; MONCRIEFF, J.; MONSON, R.; OECHEL, W.; TENHUNEN, J.; VALENTINI, R.; VERMA, S. Energy balance closure at Fluxnet sites, **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 113, p. 223-243, 2002.

YUNUSA, I. A. M.; WALKER, R. R.; LU, P. Evapotranspiration components from energy balance, sapflow and microlysimetry techniques for an irrigated vineyard in inland Australia. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 127, p. 93-107, 2004.