

Acesso à qualidade dos dados em sistema das correlações turbulentas e impacto no cálculo da evapotranspiração da cultura da mangueira

Antônio Heriberto de Castro Teixeira¹, Wim, G. M. Bastiaanssen²

¹Embrapa Semiárido – CPATSA – BR, 428, Km 152 – S/N – Zona Rural – Petrolina – PE – Brazil, email: heribert@cpatsa.embrapa.br

² WaterWatch – Generaal Foulkesweg 28, 6703 BS, Wageningen, The Netherlands, email: w.bastiaanssen@waterwatch.nl

ABSTRACT: Energy balance measurements were carried out in a mango orchard during two growing seasons in the semi-arid region of Brazil. The actual evapotranspiration (ET) was acquired by eddy covariance (EC) techniques. The daily energy balance closure in the EC measurements showed an average gap of 12%, being insufficient for calibrating transient soil water flow models. A new regression closure technique was tested for closing the energy balance. The forcing closure method is promising because it considers all energy fluxes in the optimization process, as each of them has its source of error. For seasonal periods the average difference between the corrected evapotranspiration values from the regression analysis and those from eddy covariance measurements was 23% analysing a wet and a dry growing season of the mango orchard. Considering the range of final rates, direct turbulent flux measurements have to be used with caution.

Palavras-chave: Correlações turbulentas, fechamento do balanço de energia, cultura da mangueira

1 – INTRODUÇÃO

A determinação da evapotranspiração atual (ET) em culturas irrigadas tem recebido grande atenção devido à crescente competição por outros setores consumidores de água. A redução da ET em sistemas de irrigação é uma solução viável para o balanço hídrico equilibrado em bacias hidrográficas super exploradas.

Dentre os métodos micro-meteorológicos para medição da ET, destaca-se o das correlações turbulentas – CT. Os sistemas CT podem medir diretamente os fluxos de calor, vapor e massa, mas requerem considerável esforço para manutenção da qualidade dos dados. Estes sistemas têm sido usados, por exemplo, por Simmons et al. (2007), Teixeira et al. (2008a,b).

De acordo com estes experimentos, usualmente não ocorre o fechamento do balanço de energia. Este não fechamento causa um problema sério para soluções práticas, podendo ser atribuído também a imprecisões nas medições do saldo de radiação (R_n) e no fluxo de calor no solo (G), tornando importante a aplicação de um método de correção onde os erros destas medições adicionais estejam incluídos (Allen, 2008).

Um sistema CT foi instalado para medição dos fluxos de calor latente (λE) e sensível (H) conjuntamente com medições de R_n e G em um pomar de mangueira irrigado no município de Petrolina-PE, Brasil. As análises da precisão destas medições tem impactos diretos para o manejo e dimensionamento dos sistemas de irrigação. Neste trabalho um método de correção baseado na equação de regressão entre os componentes do balanço de energia é testado para o fechamento deste balanço. Os resultados são úteis para culturas irrigadas em fileiras em condições semiáridas, provendo interpretações sobre a complexidade

dos dados provenientes de medições diretas dos sistemas CT e uma nova solução é suportada para a obtenção dos componentes do balanço de energia com o fechamento deste balanço.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

Medições em campo foram conduzidas de 2003 a 2005, em um pomar de mangueira localizado na região semiárida do Estado de Pernambuco, Brasil (09°22' S, 40°34' W). A variedade estudada cv. *Tommy Atkins* estava com 18 anos de idade, em 2003, com espaçamento regular de 10 m x 10 m, uma altura média de 5,5 m, irrigada por sistema de micro-aspersão em uma área de 11,92 ha em meio a outras variedades de mangueira com alturas médias similares. Os sensores foram instalados no centro da parcela, o solo é classificado como latossolo vermelho-amarelo, com altura do lençol freático a 2,5 m e a cultura estando a 5.500 m do Rio São Francisco.

Todos os componentes do balanço de energia foram medidos por um sistema CT, saldo-radiômetro e fluxímetros de solo. O sistema CT determinou H e λE com um anemômetro sônico tri-dimensional (Model CSAT3, Campbell Scientific, Logan, UT, USA) e um higrômetro (Model KH20, Campbell Scientific, Logan, UT, USA), respectivamente. Os sensores CT foram instalados a 8,5 m do solo acima da copa de uma árvore com uma separação horizontal de 0,15 m e frequência de amostragem de 16 Hz. Correções para λE devidas aos fluxos de calor sensível e latente (Webb et al. 1980), absorção de oxigênio (Tanner et al. 1993) e perda de frequência (Moore 1986) foram aplicadas. Os fluxos foram computados para períodos de meia hora e somados para obtenção dos valores diários.

R_n foi medido com um saldo radiômetro (modelo NR-Lite, Kipp & Zonnen, Delft, the Netherlands) acima da copa de uma árvore na altura de 7,5 m e G foi obtido através de dois fluxímetros de solo (modelo NR-Lite, Kipp & Zonnen, Delft, the Netherlands) na profundidade de 2 cm a 100 cm da fileira de árvores.

Os fluxos de energia foram expressos através da equação do balanço de energia:

$$R_n - \lambda E - G - H = 0 \quad (1)$$

Com as medições do sistema CT, λE e H foram calculados da seguinte forma:

$$\lambda E_{EC} = \lambda \overline{w' \rho_v'} \quad (2)$$

$$H_{EC} = \rho_a c_p \overline{w' T_a'} \quad (3)$$

onde λ é o calor latente de vaporização, w' é o desvio instantâneo da velocidade vertical do vento com relação ao valor médio, ρ_v' é o desvio instantâneo da densidade do vapor d'água com relação ao valor médio, ρ_a é a densidade do ar, c_p é o calor específico do ar à pressão constante e T_a' é o desvio instantâneo da temperatura do ar em relação ao valor médio. As quantidades $\overline{w' T_a'}$ e $\overline{w' \rho_v'}$ são as covariâncias entre a velocidade vertical do vento e a temperatura do ar e a velocidade vertical do vento e o vapor d'água. As barras indicam médias (Stull, 1988).

Seguindo Allen (2008), o método da regressão para forçar o fechamento do balanço de energia foi aplicado:

$$R_n = c_0 + c_1 G + c_2 \lambda E + c_3 H \quad (4)$$

onde c_0 , c_1 e c_2 e c_3 são coeficientes de regressão que fornecem pesos para as diferentes medições, dependendo da incerteza de cada componente do balanço de energia.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para uma primeira inspeção na qualidade dos dados do sistema CT, o fechamento do balanço de energia para dois ciclos produtivos da cultura da mangueira foi analisado em escala diária (Figura 1)

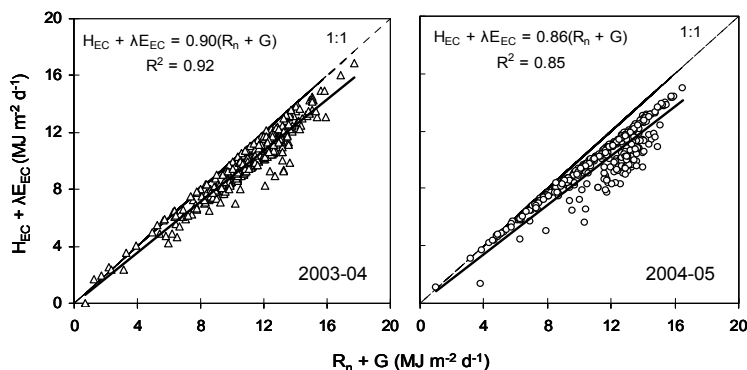


Figura 1. Relações entre os fluxos de calor latente (λE) e sensível (H) medidos pelo sistema das correlações turbulentas e a energia disponível ($R_n - G$) para o pomar de mangueira, em Petrolina-PE: primeiro ciclo produtivo (2003-04); segundo ciclo produtivo (2004-05).

A razão dos fluxos turbulentos para a energia disponível foi em média 88% com a raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) de $1,7 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Erros no fechamento do balanço de energia da ordem de 10 a 30% são comuns na literatura, podendo estes serem inerentes do próprio sistema CT ou das medições de R_n e G .

O método da regressão proposto por Allen (2008) foi então testado para solucionar o problema do fechamento do balanço de energia e os resultados comparados com as medições diretas do sistema CT. A Equação 4 foi aplicada para diferentes períodos do dia: i) usando todo o período para 24 horas; ii) usando apenas o período diurno; e iii) usando apenas o período noturno. Correções sistemáticas para os componentes do balanço de energia na cultura da mangueira foram identificadas (Tabela 1).

Tabela 1. Coeficientes de regressão para o balanço de energia na escala de meia hora em pomar de mangueira em Petrolina-PE, durante os ciclos produtivos de 2003-04 e 2004-05.

Dados	c_0 (W m^{-2})	c_1 (G)	c_2 (λE)	c_3 (H)	R^2	RMSE (W m^{-2})
2003-04						
24 horas	-	4,25	0,71	1,47	0,93	37,1
Período diurno	-	6,83	0,64	1,48	0,86	53,6
Período noturno	-	1,54	1,08	0,67	0,80	2,4
24 horas	54,9	4,00	0,67	1,38	0,98	13,3
Período diurno	76,9	6,54	0,54	1,25	0,90	69,4
Período noturno	-11,8	1,22	0,86	0,53	0,81	2,1
2004-05						
24 horas	-	5,06	0,93	0,87	0,93	25,2
Período diurno	-	5,21	0,73	1,40	0,91	36,0
Período noturno	-	1,54	0,88	0,58	0,46	4,8
24 horas	40,2	4,80	0,88	0,82	0,96	14,9
Período diurno	61,4	4,58	0,64	1,23	0,93	35,1
Período noturno	-17,4	1,05	0,60	0,40	0,65	3,7

Os coeficientes de regressão (R^2) foram mais elevados quando todos os dados no período de 24 horas foram incluídos. A média de R^2 foi 0,97 quando o coeficiente de interceptação c_0 foi incluído, mesmo este sendo de apenas 0,65 no período noturno do ciclo produtivo de 2004-05. Estes altos valores para R^2 podem ser atribuídos aos elevados extremos e às variações nos valores dos componentes dos balanços de energia nos períodos alternativos de dia e de noite.

Em ambos os ciclos produtivos, os valores medidos de H pelo sistema CT durante o período diurno foram inferiores aos valores corrigidos ($c_3 = 1,40$ a $1,48$) e superiores para o período noturno ($c_3 = 0,58$ to $0,67$); os valores de λE , por sua vez, foram superiores durante todos os períodos do dia ($c_2 = 0,69$ e $0,84$ para períodos diurnos e noturnos, em média, respectivamente). Para o ciclo produtivo de 2003-04, a diferença entre as medições diretas e os valores corrigidos dos fluxos de H e λE foi maior que para o ciclo produtivo de 2004-05 devido à quantidade incomum de precipitação ocorrida no primeiro ciclo, afetando as medições provenientes tanto do anemômetro sônico como do higrômetro.

Os valores medidos de G foram muito inferiores que os corrigidos tanto para períodos diurnos como noturnos, sendo esta diferença maior para os diurnos. Isto era esperado, pois os fluxímetros de solo ficaram próximos aos micro-aspersores devido ao fato da necessidade de passagem de tratores entre as fileiras das árvores. Os valores muito baixos nas medições de G são então atribuídos ao efeito conjunto do sombreamento das copas das árvores e os altos níveis de umidade do solo proveniente do sistema de irrigação.

Levando em consideração o período de 24 horas, e as condições médias para os dois ciclos produtivos, os valores do sistema CT para λE foram superiores em 18% e os de H foram inferiores em 17%, sendo o maior problema as medições de G que apresentaram valores inferiores em 466% com relação aos corrigidos. Entretanto este erro com relação a G é reduzido para o período de 24 horas, devido ao balanço dos valores positivos e negativos entre o dia e a noite.

Embora o coeficiente de interceptação c_0 tendo sido elevado (média de 69 W m^{-2}), uma pequena melhora em R^2 ocorreu com a sua inclusão. O método da regressão de fechamento do balanço de energia (REG) foi então aplicado para todos os componentes deste balanço para os dois ciclos produtivos da cultura da mangueira em intervalos de 30 minutos com os coeficientes c_1 , c_2 e c_3 da Tabela 1 aplicados separadamente para períodos diurnos e noturnos.

Os valores da evapotranspiração acumulada para as medições diretas pelo sistema CT e após as correções pelo método da regressão (REG) são apresentados na Figura 2.

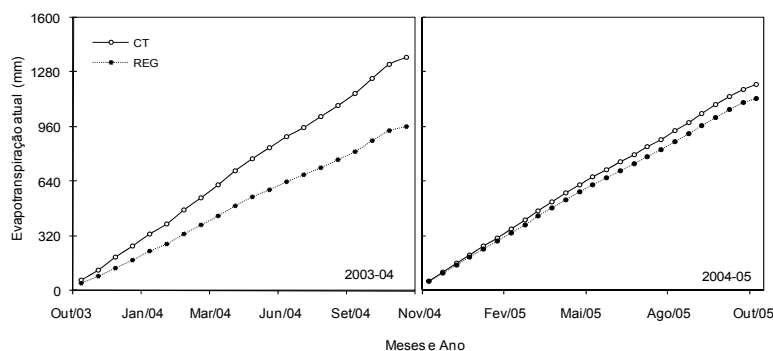


Figura 2. Evapotranspiração atual acumulada para o pomar de mangueira, em Petrolina-PE, durante os ciclos produtivos de 2003-04 e 2004-05: medições pelo sistema das correlações turbulentas (CT); método da regressão (REG).

Os valores resultantes das medições do sistema CT se apresentam maiores do que aqueles corrigidos pelo método REG, com médias de 1289 e 1046 mm, respectivamente,

acarretando em uma diferença em torno de 23% entre os valores medidos e os corrigidos, considerando-se os dois ciclos produtivos. As maiores diferenças são verificadas no ciclo produtivo de 2003-04, devendo-se a ocorrência de tempestades incomuns durante o período chuvoso, principalmente pelo fato do higrômetro não funcionar bem nestas circunstâncias.

4 – CONCLUSÕES

A evapotranspiração atual de um pomar comercial de mangueira foi determinada e analisada em diferentes escalas temporais através de medições diretas por um sistema das correlações turbulentas e com correções para o fechamento do balanço de energia pelo método da regressão.

O fechamento do balanço de energia nas medições diretas do sistema das correlações turbulentas apresentou uma falha de 12% em escala diária. As medições foram principalmente afetadas pelo período chuvoso. Há muitas outras explicações para este problema podendo-se concluir que as medições do sistema não fornecem medições precisas da evapotranspiração atual, sendo importante, portanto correções para todos os componentes do balanço de energia para o fechamento deste balanço.

O simples método da regressão se apresentou muito apropriado para os ajustes de todos os componentes do balanço de energia. Para valores estacionais, envolvendo diferentes condições de precipitação nos dois ciclos da mangueira, as diferenças entre as medições e as correções foram em média de 23%, sendo bem maiores no ciclo produtivo mais chuvoso.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. Quality Assessment of Weather Data and Micrometeorological Flux – Impacts on Evapotranspiration Calculation. *J. of Agric. Meteorol.*, v. 64, n. 4, p. 191-204, 2008.

MOORE, C. J. Frequency response corrections for eddy correlation systems. *Bound. Lay. Meteorol.*, v. 37, p. 17-35, 1986.

SIMMONS, L.J., WANG, J., SAMMIS, T.W., MILLER, D.R. An evaluation of two inexpensive energy-balance techniques for measuring water use in flood-irrigated pecans (*Carya illinoensis*). *Agric. Water Manage.*, v. 88, p. 181-191, 2007.

STULL, R.B. *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Ed. Kluwer Academic Publishers, Boston, 1998.

TANNER, B.D., SWIATEK, E., GREENE, J.P. Density fluctuations and use of the krypton hygrometer in surface flux measurements. In: *Proceedings of the National Irrigation Drainage Engineering*, Park City, UT, 21-23 July 1993. ASCE, New York, NY, 1993.

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. *Agric. For. Meteorol.*, v. 148, p. 1524-1537, 2008a.

TEIXEIRA, A.H. de C, BASTIAANSSEN, W.G.B, AHMAD M–ud–D, BOS, M.G. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil. *J. of Hydrol.*, v. 362, p. 110-127, 2008b.

WEBB, E.K., PEARMEN, G.L., LEUNING, R. Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapour transfer. Q. J. R. Meteorol. Soc., p. 106, n. 85-100, 1980.