

## BALANÇO DE ENERGIA NUM POMAR DE MANGUEIRA IRRIGADA

Bernardo Barbosa da SILVA<sup>1</sup>, Pedro Vieira de AZEVEDO<sup>1</sup>, Antônio Heriberto de Castro TEIXEIRA<sup>2</sup>, José Monteiro SOARES<sup>2</sup>, José Espínola SOBRINHO<sup>3</sup>, Pabrcício Marcos de Oliveira LOPES<sup>4</sup>, Vicente de Paulo da Silva RODRIGUES<sup>4</sup>

### RESUMO

Neste trabalho são apresentados resultados preliminares de um experimento agrometeorológico realizado no período de agosto a dezembro de 1998, num pomar de mangueira (*Mangifera indica* L) variedade Tommy Atkins, irrigada por gotejamento no Projeto Bebedouro em Petrolina, PE (09° S; 40° 22' O; 365,5 m). Instalou-se uma torre micrometeorológica destinada ao monitoramento da radiação solar global, radiação refletida pela cultura, saldo de radiação, temperatura da cultura com termômetro ao infravermelho e diferença psicrométrica em dois níveis, com termopares de cobre-constantan. Foram instalados quatro placas para medida do fluxo de calor no solo e duas baterias de tensiômetros destinados ao monitoramento da umidade do solo até uma profundidade de 1,8 m. Os sinais analógicos foram conectados a um sistema de aquisição de dados (21X da Campbell Scientific), programado para tomada de dados a cada segundo e extração de médias a cada intervalo de tempo de 10 minutos. De acordo com o balanço de energia realizado, pode-se concluir que o fluxo de calor latente foi da ordem de 80% do saldo de radiação, enquanto que o fluxo de calor sensível mostrou-se mais variável e com ocasionais inversões de sinal.

**Palavras-chave:** evapotranspiração real, calor latente, mangueira irrigada, Razão de Bowen.

### INTRODUÇÃO

O método da razão de Bowen tem sido muito utilizado na estimativa da evapotranspiração de diferentes culturas, desde que introduzido por Bowen (1926); tendo sido inicialmente destinado à estimativas da evaporação de oceanos. Aliás, o primeiro a sugerir a estimativa da evaporação de tais superfícies usando um balanço de energia foi Schmidt (1915) apud Lewis (1995), que introduziu o uso da razão entre os fluxos de calor sensível e latente. Naquela oportunidade um grande problema consistia na estimativa da radiação solar disponível, e uma solução analítica fora apresentada justo

<sup>1</sup> Dr. Professor Adjunto, Depto. de Ciências Atmosféricas, UFPB. e.mail bernardo@dca.ufpb.br

<sup>2</sup> MSc. Pesquisador Embrapa Semi-árido. e.mail heribert@cpatsa.embrapa.br

<sup>3</sup> MSc Professor Adjunto, ESAM, Mossoró, RN. e.mail espinola@esam.br

<sup>4</sup> Estudante de Pós-graduação CCT.UFPB

por Ira Bowen (Lewis, 1995) quando atuava no Caltech (The California Institute of Technology). Desde então, inúmeros estudos têm feito uso da razão de Bowen.

O balanço de energia em superfícies livre de água, em vegetação natural ou em culturas, irrigadas ou não, tem grande importância em estudos de trocas de energia e massa na camada limite planetária e, por conseguinte, em estudos meteorológicos e de estimativas evaporativas e/ou da evapotranspiração real. No Brasil podem ser citados alguns estudos, dentre tantos outros a fazerem uso do método da razão de Bowen (MRB), tais como os de André e Viswanadham (1986), Silva et al.(1997), Siqueira e Leitão (1998) e Oliveira e Leitão (1998). No exterior existem inúmeras pesquisas que têm feito uso de tal técnica, a exemplo das contribuições de Angus and Watts (19984), Gay (1988), Dugas et al.(1991), Prueger et al.(1997). Pode-se destacar a análise de erros conduzida por Angus e Watts (1984), que diferentemente de muitos outros que compararam medições lisimétricas com aquelas advindas da aplicação do MRB, empreenderam uma análise criteriosa de erros absolutos e relativos associados ao uso do MRB.

A aplicação direta do método do balanço de energia na estimativa do consumo hídrico de culturas que cobrem grande extensão horizontal e relativa homogeneidade tem sido uma prática comum em muitos institutos de pesquisa e universidades em diferentes países. No entanto, a sua utilização em culturas esparsas e de grande porte, como frutíferas tais como mangueira, cajueiros, citros em geral, aceroleira etc, constitui objeto de estudos de poucos grupos. Neste sentido pretende-se com este estudo a efetivação de um balanço de energia baseado em medições realizadas no topo da copa de plantas de mangueira com vistas a geração de produtos que possibilitem o manejo racional de água naquela cultura.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento de campo foi realizado no Campo Experimental de Bebedouro, em área da Embrapa Semi-árido, em Petrolina, PE (09° S; 40° 22' O; 365,5 m), no período de agosto a dezembro de 1998. O clima da região é classificado como BSw<sub>h</sub>'se conforme a classificação de Köppen. Trata-se de um clima semi-árido, com estação chuvosa limitada aos meses de janeiro a abril e média pluviométrica anual de 530 mm. A cultura estudada foi a mangueira (*Mangifera indica* L.), cultivar Tommy Atkins, com seis anos de idade e cultivada em espaçamento de 8 m x 5 m, sendo irrigada por gotejamento com vazão de 3,9 l/h. Instalou-se uma torre micrometeorológica com 7 m de altura, na qual foram dispostos três radiômetros (radiação solar global, radiação refletida sobre e entre fileiras), dois saldo-radiômetros (sobre e entre fileiras, a 1 m do topo de uma planta de mangueira), um termômetro ao infravermelho, dois psicrômetros (um tangenciando o topo e outro a 1 m do mesmo) e dois anemômetros (um tangenciando o topo e outro a 1 m do mesmo).

Próximo ao caule da planta foram instalados ainda duas placas para medição do fluxo de calor no solo, além de mais duas colocadas entre fileiras. A umidade do solo foi monitorada através de duas baterias de tensiômetros, instalados a intervalos de 0,20 m e até 1,8 m de profundidade. Todos os sinais analógicos foram coletados através de um sistema de aquisição de dados (21X da Campbell Scientific), programado para varreduras a cada segundo e extração de médias a cada 10 minutos.

O balanço de energia realizado teve por base as medições do saldo de radiação  $R_n$ , ( $W.m^{-2}$ ); do fluxo de calor no solo  $G$ , ( $W.m^{-2}$ ); e dos gradientes de temperatura do ar ( $^{\circ}C$ ) e pressão de vapor d'água (kPa), que combinados adequadamente possibilitam estimar o fluxo de calor latente  $LE$  ( $W.m^{-2}$ ); para tanto, utilizou-se o método da Razão de Bowen e as seguintes expressões:

$$LE = \frac{R_n - G}{1 + \beta} \quad (1)$$

sendo

$$\beta = \frac{H}{LE} = \frac{p_o \cdot c_p}{L \cdot \varepsilon} \left( \frac{K_h}{K_v} \right) \frac{\partial T / \partial Z}{\partial e / \partial Z} = \gamma \left( \frac{K_h}{K_v} \right) \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (2)$$

onde  $\beta$  é a razão de Bowen,  $H$  ( $W.m^{-2}$ ) é fluxo de calor sensível,  $p_o$  é a pressão atmosférica local (kPa),  $c_p$  é o calor específico do ar à pressão constante ( $J.kg^{-1}.oC^{-1}$ ),  $L$  é o calor latente de vaporização da água ( $J.kg^{-1}$ ),  $\varepsilon$  é razão entre as massas moleculares da água e do ar seco,  $K_h$  e  $K_v$  são os coeficientes de difusão turbulenta do calor sensível e do vapor d'água, respectivamente,  $\Delta T$  e  $\Delta e$  são as diferenças de temperatura do ar ( $oC$ ) e pressão de vapor d'água (Pa), medidas em dois níveis, e  $\gamma$  é a constante psicrométrica. Deve ser observado que ao se realizar o balanço de energia,  $R_n + LE + G + H = 0$ , e que os fluxos são positivos quando dirigidos para o dossel da cultura. Nesse sentido, durante o período diurno são negativos os fluxos  $G$ ,  $LE$  e  $H$ , este último nos instantes em que a cultura estive mais aquecida que o ar.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram incluídos para discussão dos resultados os balanços de energia realizados nos dias 6 de agosto, 18 de setembro, 18 de outubro, 17 e 22 de novembro do ano de 1998. Nas estimativas dos componentes do balanço de energia, quais sejam: saldo de radiação ( $R_n$ ), fluxos de calor no solo ( $G$ ), de calor sensível ( $H$ ) e de calor latente ( $LE$ ), utilizou-se o método da razão de Bowen para o intervalo de tempo correspondente aos instantes em que  $R_n$  se apresentou positivo, a exemplo do que tem sido sugerido em outros estudos, como por exemplo o de Prueger et al.(1997). Nesse sentido, foram obtidos os resultados que estão sumarizados na Tabela 1.

Como pode ser observado na referida tabela, nos dias analisados a cultura sempre se encontrou ligeiramente mais aquecida que o ar. No final do ciclo produtivo, houve uma sensível redução da evapotranspiração. Observou-se, quando das análises da temperatura do copa, que durante diversas ocasiões houve alternância nos sinais do fluxo de calor sensível H. O fluxo de calor no solo, em geral, representou uma pequena fração do saldo de radiação, como se pode notar na Tabela 1, e em geral da ordem ou inferior aos 5%. Isso se deve à dimensão da copa, com cerca de 30 m<sup>2</sup> de área projetada no solo. Ressalte-se que estão ainda sendo processados os dados de umidade do solo, afim de se empreender comparações com os valores tabelados acima e para todo o período de medições.

Nas figuras 1 e 2 foram incluídos alguns ciclos diurnos dos componentes do balanço de energia. Pode-se observar que em 6 de agosto, em plena floração, houve muita variabilidade no campo da nebulosidade, mas que os padrões de Rn, G, H e LE são absolutamente concordantes com o observado em culturas de pequeno porte.

Na Figura 2, correspondente ao dia 18 de setembro de 1998, a cultura apresentou uma Etr total diária de 5,8 mm, enquanto que o saldo de radiação totalizou 445,6 W/m<sup>2</sup>. Observa-se que pela manhã a cultura se encontra menos aquecida que o ar, o que se evidencia pelo comportamento de H. Ao mesmo tempo, observa-se uma grande proximidade entre os valores instantâneos de Rn e LE, com uma marcante presença de nebulosidade. Ao se analisar os dados de porometria, constatou-se uma redução na transpiração da cultura na parte da tarde, possivelmente como resultado de uma grande demanda atmosférica e inércia da planta em reabastecer suas partes mais expostas à radiação solar.

## CONCLUSÕES

Embora aplicado à culturas esparsas, o método do balanço de energia baseado na Razão de Bowen, se apresentou muito consistente quando comparado com o método do balanço de água no solo. O fluxo de calor latente apresentou valores da ordem de 75% do saldo de radiação, sendo maior nos primeiros estádios da cultura e diminuindo durante a fase de maturação dos frutos. Na maioria dos dias, o fluxo de calor sensível foi negativo, indicando que a cultura se encontrava ligeiramente mais aquecida que o ar atmosférico adjacente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRÉ, R.G.B; VISWANADHAM, Y.. Distribuição de energia numa cultura de soja. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 1: 29-37, 1986.

- ANGUS, D. E. e WATTS, P. L. Evapotranspiration – How good is the Bowen ratio method? **Agricultural Water Management**, Amsterdam, 8: 138-150, 1984.
- BOWEN, I. S.. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. **Phys. Rev.**, 27: 779-787, 1926.
- DUGAS, W. A.; FRITSCHEN, L. J.; GAY, L. W.; HELD, A. A.; MATTHIAS, A. D.; REICOSKY, D. 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, 56: 1-20, 1991.
- GAY, L. W. A portable Bowen ratio system for evapotranspiration measurements. In: Proceeding Natl. Conference on Irrigation and Drainage, New York, ASCE. p. 625-632, 1988.
- LEWIS, J. M. The story behind the Bowen Ratio. **Bulletin of the American Meteorology Society**, 76(12):2433-2443, 1995.
- OLIVEIRA, G. M. e LEITÃO, M. M. V. B. R. Medidas e estimativas horárias de evapotranspiração numa cultura de amendoim. In: CONGRESSO BRAS. DE METEOROLOGIA, 10, I SEMINÁRIO BRAS. DE AGROMETEOROLOGIA, Brasília, outubro de 1998. **Anais**, artigo No. AG 98010 (em CD).
- PRUEGER, J. H., HATFIELD, J. L., AASE, J. K., PIKUL Jr., J. Bowen-ratio comparisons with lysimeter evapotranspiration. **Agronomy Journal**, 89: 730-736, 1997.
- SIQUEIRA, A. A. e LEITÃO, M. M. V. B. R. Estimativa da evapotranspiração em áreas de caatinga e reflorestada com Algaroba no semi-árido do Nordeste brasileiro. In: CONG. BRAS. de METEOROLOGIA, 10, I SEMINÁRIO BRAS. DE AGROMETEOROLOGIA, Brasília, outubro de 1998. **Anais**, artigo No. AG98003 (CD).
- SILVA, B. B. da; SLACK, D. C.; OLIVEIRA, A.O.; NETTO, J.A. Energy balance in a vineyard field under semiarid condition in Northeast of Brazil. In: Proceeding of ASAE, Minneapolis, Minnesota, August, 1997. Paper No. 972180.