

# NOVO MÉTODO PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA (ET<sub>m</sub>) EM CULTIVOS IRRIGADOS

Dalziza de OLIVEIRA<sup>1\*</sup>, Kenneth G. HUBBARD<sup>2</sup>, Terry A. HOWELL<sup>3</sup>

## Introdução

A implantação de redes de estações meteorológicas automáticas, com transmissão de dados em tempo real, tornou viável a utilização de modelos agrometeorológicos para estimativa do balanço hídrico a nível diário. Tal agilidade no processamento da informação meteorológica permite seu uso no manejo da água de irrigação, permitindo a definição dos intervalos de irrigação e das lâminas de água a serem aplicadas.

Para o cálculo do balanço hídrico, contudo, faz-se necessário determinar a evapotranspiração máxima (ET<sub>m</sub>), o que tem sido tradicionalmente realizado aplicando-se coeficientes de cultura (K<sub>c</sub>) ao valor da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>). Esses coeficientes são específicos para cada cultura e estágio de desenvolvimento e, apesar de serem amplamente utilizados, são frequentemente específicos ao local e clima onde foram obtidos (HOWELL et al., 1995) e podem induzir a grandes erros nas estimativas de ET<sub>m</sub> (JAGTAP e JONES, 1989).

CHOUDHURY et al. (1986) propuseram um método direto de estimativa da ET<sub>m</sub> empregando medidas de temperatura da cultura tomadas com termômetros de infra-vermelho (T<sub>iv</sub>) como *input* no balanço de energia. Contudo, a necessidade de medições de T<sub>iv</sub> representa uma limitação para o uso desse método. No presente estudo, utilizou-se a proposta de CHOUDHURY et al. (1986) modificada para estimar a temperatura da cultura (T<sub>c</sub>) a partir do método das linhas de base para culturas não estressadas (*“non water-stressed baselines”*) proposto por IDSO (1982) e JACKSON et al. (1981). As *baselines* relacionam linearmente a diferença de temperatura entre a planta e o ar (T<sub>c</sub> - T<sub>a</sub>) com o déficit da pressão de vapor (VPD). Na sequência, uma *baseline* que permite fechamento do balanço de energia é ajustada através de regressão linear.

O objetivo deste estudo foi desenvolver um método que estime diretamente ET<sub>m</sub> a partir de dados meteorológicos obtidos rotineiramente em estações automáticas.

## Material e métodos

Ignorando a energia da fotossíntese e a energia armazenada na biomassa, a equação do balanço de energia é escrita como:

$$\lambda E = R_n - G - \frac{\rho_a c_p (T_c - T_a)}{r_a}$$

onde  $\lambda E$  é o fluxo de calor latente (W m<sup>-2</sup>), R<sub>n</sub> a energia líquida do sistema acima da cultura (W m<sup>-2</sup>), G o fluxo de calor no solo (W m<sup>-2</sup>), H o fluxo de calor sensível (W m<sup>-2</sup>),  $\rho_a$  a densidade do ar (kg m<sup>-3</sup>), c<sub>p</sub> o calor específico do ar (J kg<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>), T<sub>c</sub> e T<sub>a</sub> são,

respectivamente, a temperatura da cultura e a temperatura do ar (°C), e r<sub>a</sub> a resistência aerodinâmica (s m<sup>-1</sup>).

A radiação líquida (R<sub>n</sub>) foi estimada a partir de medidas diretas da radiação solar global (R<sub>s</sub>) e o fluxo de calor no solo (G) foi tomado como 10% de R<sub>n</sub> (CHOUDHURY et al., 1986). T<sub>c</sub> foi calculada inicialmente a partir da relação dada por IDSO (1982)

$$(T_c - T_a)_{LL} = 0,51 - 1,92 VPD$$

e posteriormente refinada utilizando um método iterativo.

A resistência aerodinâmica foi obtida com base na altura da cultura (h<sub>c</sub>) e velocidade do vento, conforme apresentado por MONTEITH (1973), com altura de deslocamento d = 0,63 h<sub>c</sub>, z<sub>om</sub> = 0,3 (h<sub>c</sub> - d), e z<sub>oh</sub> = 0,2 z<sub>om</sub>. Foram utilizadas correções para os valores de r<sub>a</sub> de acordo com as condições de estabilidade atmosférica.

Como referência para comparação com o modelo, medidas de ET foram tomadas em lisímetros de pesagem com alfafa (*Medicago sativa* L.) cv. Pioneer 5454, em área de solo argilo siltoso do grupo Pullman (thermic Torretic Paleustoll) no Laboratório do USDA-ARS em Bushland, TX, Estados Unidos (35°11' N, 102°06' W, 1.170 m de altitude). A data de brotação da alfafa foi tomada em torno de 10/abril, em função da temperatura. A área do experimento ocupou 4,4 ha (210 m L-O por 210 m N-S), totalmente irrigada para atender as necessidades da cultura. Cada lisímetro de pesagem media 3m por 3m, com 2,4m de profundidade, localizado no centro do campo. O sistema de pesagem permitiu precisão de 0,05 mm de ET. Medições eram feitas a cada 2s e médias de intervalos de 30min eram registrados (TOLK et al., 1995).

Amostras de plantas foram tomadas rotineiramente para representar a cultura em diferentes estágios fenológicos com relação à altura (h) e índice de área foliar (IAF). Foram realizados quatro cortes de alfafa em cada ano.

Os dados meteorológicos foram obtidos numa estação automática próxima da área dos lisímetros, coberta com grama, adubada e cortada rotineiramente na altura de 12 cm. A temperatura do ar, radiação solar, velocidade do vento, umidade relativa e precipitação foram medidas a cada 6 s e médias a cada 30 min foram registradas.

Os valores de ET dos lisímetros (ET<sub>lys</sub>) e também os gerados pelo modelo (ET<sub>m</sub>) foram somados ao nível diário para comparação. Os dados coletados em 1996 foram usados para calibração do modelo, e os de 1997 para sua validação. Foram excluídos os dados nos dias em que ocorreu irrigação, chuva durante o período diurno ou atividades de manutenção nos lisímetros. Os dados diários foram agrupados de duas maneiras: toda a estação de crescimento (da emergência à colheita), e cobertura completa do solo (IAF=3 e acima).

\* Trabalho executado com apoio financeiro do CNPq através de bolsa de doutorado no exterior

<sup>1</sup> Doutora, Pesquisadora do IAPAR-AEF, C. Postal 481, 86001-970, Londrina-PR, E-mail: dalziza@pr.gov.br

<sup>2</sup> Doutor, Prof. da Universidade de Nebraska-UNL, 244 L.W. Chase Hall, 68503-0728, Lincoln-NE, USA.

## Resultados e discussão

As condições meteorológicas para crescimento da alfafa foram bastante diferentes nos dois anos. Valores diários de  $h$  e  $IAF$  foram estimados através de ajuste de modelos matemáticos. Os valores de velocidade do vento a 2m de altura não propiciaram um bom ajuste do modelo, sendo necessária a correção desse valor para 4m de altura.

Observou-se melhor desempenho do modelo para o período de cobertura completa do solo do que para toda a estação de crescimento, o que era esperado, uma vez que as *baselines* foram sempre determinadas no meio da estação de crescimento das culturas, quando existe máxima cobertura vegetal (GARDNER et al., 1992).

Dividiu-se a estação de crescimento em três estágios para ajuste das equações que determinam  $T_c$ . Esses estágios representam diferentes condições da cultura em termos de  $IAF$  e maturidade fisiológica. Além do efeito do  $VPD$  e  $T_a$  sobre  $T_c$ , as *baselines* derivadas levaram em conta também a influência da radiação solar (no período diurno) e a velocidade do vento (no período noturno).

O ajuste do modelo para o período de cobertura completa do solo para alfafa/96 e alfafa/97 é apresentado na Figura 1. Além das altas correlações observadas, os erros dados pela raiz quadrada do erro médio (RMSE) foram de apenas 0,73 mm em 1996 e 0,75 mm em 1997. Essa margem de erro é pequena se considerarmos que um erro de 1,0 mm durante o verão resultaria numa imprecisão de 1 dia a mais ou a menos na definição da data de irrigação, o que não afetaria a produtividade da cultura.

## Conclusão

O uso do conceito de linhas de base (*baselines*) acoplado ao balanço de energia permite boas estimativas de evapotranspiração máxima, contudo as funções de estimativa de  $T_c$  devem incluir também fatores como a radiação solar e velocidade do vento para permitir melhor ajuste.

O modelo dispensa o uso de coeficientes de cultura, porém requer informação sobre altura das plantas ao longo do ciclo.

Recomenda-se uma verificação dos coeficientes de calibração quando o método for utilizado em condições edafoclimáticas muito diferentes das verificadas no local do estudo.

## Referências bibliográficas

- CHOUDHURY, B.J.; REGINATO, R.J.; S.B. IDSO. An analysis of infrared temperature observations over wheat and calculation of latent heat flux. **Agricultural and Forest Meteorology** v. 37, p.75-88, 1986.
- GARDNER, B.R.; NIELSEN, D.C.; SHOCK, C.C. Infrared thermometry and the crop water stress index. I. History, theory, and baselines. **J. Prod. Agric.** v.5, p.462-466, 1992.

HOWELL, T.A. et al. Evapotranspiration of irrigated winter wheat – Southern High Plains. **Transactions of the ASAE** v.38, n.3, p.745-759, 1995.

IDSO, S.B. 1982. Non-water-stressed baselines: a key to measuring and interpreting plant water stress. **Agric. Meteorol.** v.27, p.59-70, 1982.

JACKSON, R.D. et al., Canopy temperature as a crop water stress indicator. **Water Resour. Res.** v.17, p.1133-1138, 1981.

JAGTAP, S.S.; JONES, J.W. Stability of crop coefficients under different climate and irrigation management practices. **Irrig. Sci.** v.10, p.231-244, 1989.

MONTEITH, J.L. Principles of environmental physics. Edward Arnold, Londres, 241p. 1973.

TOLK, J.A. et al. Aerodynamic characteristics of maize as determined by energy balance techniques. **Agron. J.** v.87, p.464-473, 1995.

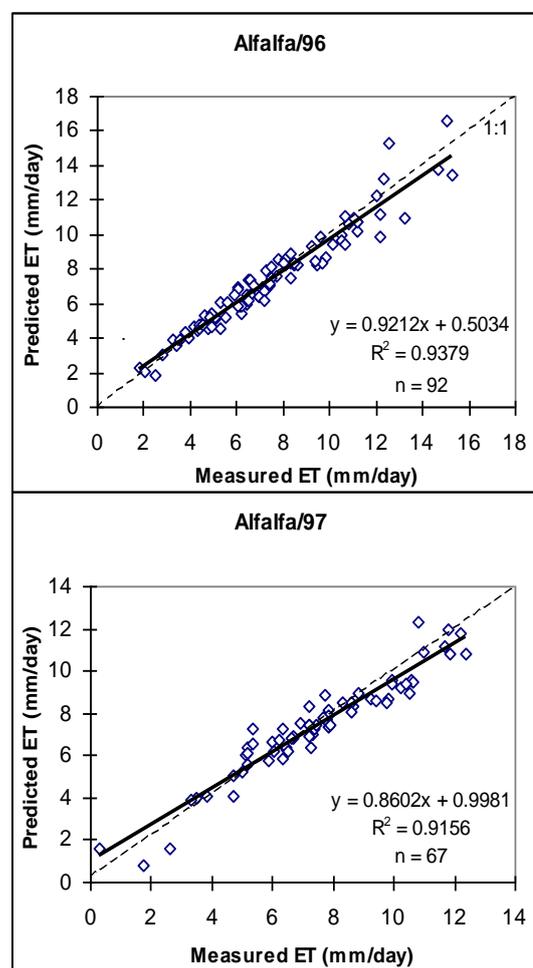


Figure 1. Evapotranspiração máxima diária (ETm, mm/dia) de alfafa em Bushland, TX – valores medidos (*Measured ET*) vs. estimados (*Predicted ET*) - para o período com cobertura completa do solo, nos anos 1996 e 1997.

