

# EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA DO FEIJOEIRO, CV. GOIANO PRECOCE, EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR E DA EVAPORAÇÃO DO TANQUE CLASSE A

## DRY-BEAN MAXIMUM EVAPOTRANSPIRATION AS A FUNCTION OF THE LEAF AREA INDEX AND CLASS A PAN EVAPORATION

Nilson Augusto Villa Nova<sup>1</sup>, Paulo César Sentelhas<sup>2</sup>,  
André Belmont Pereira<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP), Departamento de Ciências Exatas, Piracicaba, SP.

<sup>3</sup> Autor para contato: Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG, Campus em Uvaranas, Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Agrícola, Ponta Grossa, PR, Brasil; (42) 220-3089; e-mail: abelmont@uepg.br

*Recebido para publicação em 19/09/2003*

*Aceito para publicação em 19/11/2003*

### RESUMO

A evapotranspiração máxima de uma cultura (ET<sub>m</sub>) é dependente de uma série de fatores biológicos e ambientais. O Índice de Área Foliar (IAF) é o mais importante fator biológico, representando o tamanho da superfície evapotranspirante, enquanto que a Evaporação do Tanque Classe A (ECA) é um indicador da demanda hídrica da atmosfera. Utilizando essas duas variáveis e aplicando a análise de regressão linear múltipla (ET<sub>m</sub> = **a** + **b**.IAF + **c**.ECA), verificou-se que essa relação representa adequadamente os valores medidos da evapotranspiração máxima do feijoeiro, cv. Goiano Precoce, nas diferentes fases de seu desenvolvimento. Esse método elimina a necessidade da calibração local, ou seja, a necessidade de se conhecer os valores do coeficiente do tanque (K<sub>p</sub>) e da cultura (K<sub>c</sub>) para converter ECA em ET<sub>m</sub>. Os valores obtidos para os coeficientes da regressão múltipla foram: **a** = -0,755; **b** = 0,544; e **c** = 0,813, sendo R<sup>2</sup> = 0,85. Na avaliação do método, obteve-se boa precisão (R<sup>2</sup> = 0,85) e elevada exatidão (a = 0 e b = 1,0), sendo uma opção prática para a obtenção da ET<sub>m</sub>, sem necessidade de informações meteorológicas.

Palavras-chave: Lisímetro, irrigação, demanda atmosférica

### ABSTRACT

The maximum crop evapotranspiration (ET<sub>m</sub>) is a variable that is affected by several biological and environmental factors. The Leaf Area Index (LAI) is the main biological factor, representing the size of the evapotranspirative surface, whereas

Class A pan evaporation (ECA) is a variable that represents the atmospheric water demand. By utilizing these two variables and applying the multiple linear regression ( $ET_m = a + b.LAI + c.ECA$ ), it was verified that such a relationship estimates the dry-bean (cv. Goiano Precoce)  $ET_m$  very well, throughout all the phenological phases. Local calibration using pan coefficient ( $K_p$ ) and crop coefficient ( $K_c$ ) is not necessary to convert pan evaporation (ECA) into  $ET_m$ , faced with the application of the current method. The coefficients of the multiple linear regression obtained were:  $a = -0.755$ ;  $b = 0.544$ ; and  $c = 0.813$ , with a coefficient of determination  $R^2 = 0.85$  for dry-bean, cv. Goiano Precoce. When this method was evaluated, the results showed a good precision ( $R^2 = 0.85$ ) and a high accuracy ( $a = 0.0$  e  $b = 1.0$ ), which allowed us to reach the conclusion that the proposed methodology might be seen as a practical way to obtain  $ET_m$  without the need of other meteorological information.

Key words: Lysimeter, irrigation, atmospheric water demand

## 1. Introdução

De acordo com recomendações em uso, pode-se estimar a demanda de água de uma cultura em condições não restritivas de água no solo, também denominada de Evapotranspiração Máxima ( $ET_m$ ), desde que se conheça o coeficiente de cultura de cada fase ( $k_c$ ). O  $k_c$  pode ser estimado pela relação (Doorenbos e Kassam, 1979):

$$K_c = \frac{ET_m}{ET_o} \quad (1)$$

A evapotranspiração de referência,  $ET_o$ , vem a ser a perda de água da grama em plena fase de desenvolvimento, sem restrição de água e sendo cultivada no centro de uma extensa área úmida. Sendo assim, a evapotranspiração é função apenas dos fluxos verticais de temperatura, umidade e energia, sendo nulas as trocas horizontais. Inúmeros métodos foram desenvolvidos para o cálculo de  $ET_o$ , destacando-se entre eles Penman (1956) e Monteith (1965), pela consistência teórica, e os métodos de Thornthwaite (1948), Camargo (1971) e do tanque Classe A (Doorenbos e Kassam, 1979), pela praticidade que apresentam. Dentre todos estes métodos, somente o do tanque Classe A apresenta fator de correção para a advecção. Assim, ao utilizarmos os dados climáticos de uma região árida para estimar a  $ET_o$  por meio de fórmulas estaremos sempre cometendo erros de estimativa, conforme demonstra o trabalho de Sentelhas (1998). Isso ocorre tanto pelo efeito advectivo, como pelo próprio

controle estomático da cultura, que sempre existe quando a demanda atmosférica é maior do que o fluxo permitido pela condutividade hidráulica do sistema solo-planta.

Nesse último aspecto, o método do tanque Classe A parece ser superior aos demais, pois inclui o fator de correção  $K_p$  (denominado coeficiente de tanque). Este fator, segundo Doorenbos e Pruitt (1977), pode ser determinado em função de medidas de  $ET_o$ , realizadas em diferentes condições de demanda atmosférica, caracterizadas pela umidade relativa do ar (UR) e velocidade do vento (U), que interferem diretamente no controle estomático. Uma vez determinado o valor de  $ET_o$ , de acordo com a equação (1), um valor de  $K_c$ , que usualmente é definido pelo porte da cultura ou pela densidade de cobertura do terreno, é proposto por Doorenbos e Kassam (1979), sem que se faça alusão ao índice de área foliar. O referido índice constitui o principal coletor de energia atmosférica disponível para a fotossíntese, podendo, portanto, ser uma variável a ser considerada em estudos de consumo de água de culturas, com vistas a obtenção de sua produtividade potencial em um dado local, a qual se verifica sob condições de  $ET_m$ .

Tentando eliminar a necessidade de determinação dos coeficientes  $K_p$  e  $K_c$ , Pereira et al. (1995), Villa Nova et al. (1996), André e Ferraudo (1997) e Albuquerque et al. (1997), empregaram a análise de regressão múltipla para estimar  $ET_m$ , utilizando como variáveis independentes a evaporação do tanque Classe A (ECA) e o Índice de Área Foliar (IAF). O método

proporcionou bons resultados para as culturas da batata, cana-de-açúcar, milho, alface e feijão. Apesar disso, os coeficientes estatísticos obtidos para cada regressão são válidos para o local em questão, variando também de acordo com a espécie e variedade/cultivar.

O objetivo deste trabalho foi determinar a relação entre a ETm do feijoeiro, cultivar Goiano Precoce, o Índice de Área Foliar (IAF) e a Evaporação do Tanque Classe A (ECA), para obtenção dos coeficientes do modelo  $ETm = a + b.IAF + c.ECA$ , propostos por Villa Nova *et al.* (1996) e Pereira *et al.* (1995).

## 2. Material e métodos

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos em condições de campo por Pavani (1985), no município de Jaboticabal, SP (Lat.: 21°15'22" S; Long.: 48°18'58" W; Alt.: 575m). No experimento utilizou-se a cultivar Goiano Precoce, que foi cultivada em dois lisímetros (2,0 x 2,0 x 0,615 m) de lençol freático constante, instalados numa área de 216m<sup>2</sup> (18 x 12m), de onde se obteve os valores de ETm. A cultura foi se-

meada no dia 17 de junho de 1985. Os dados de ECA foram obtidos junto a uma estação evaporimétrica próxima do experimento. Ao longo do experimento determinou-se o IAF, através de amostragens não destrutivas, a intervalos que variaram de 3 a 4 dias.

Procurou-se definir o valor de ETm de maneira idêntica àquela realizada por Villa Nova *et al.* (1996) para a cultura da cana-de-açúcar, em função do IAF e da ECA, sem utilização dos valores de Kp e Kc. Os dados apresentados na Tabela 1 foram utilizados na determinação dos coeficientes linear (**a**) e angulares (**b** e **c**) da regressão linear múltipla entre ETm, IAF e ECA, como segue:

$$ETm = a + b.IAF + c.ECA \quad (2)$$

Os dados também foram utilizados para a determinação dos valores de Kc, em função da ECA,

$$Kca = \frac{ETm}{ECA} \quad (3)$$

ou substituindo (2) em (3):

$$Kca = \frac{a}{ECA} + \frac{b.IAF}{ECA} + c \quad (4)$$

**Tabela 1** - Valores de Evapotranspiração Máxima (ETm), Índice de Área Foliar (IAF) obtidos para a cultura do feijoeiro, cv. Goiano Precoce, e de Evaporação do Tanque classe A (ECA), utilizados no presente estudo (Fonte: Pavani, 1985).

Data de amostragem	DAE*	ETm (mm.dia <sup>-1</sup> )	IAF	ECA (mm.dia <sup>-1</sup> )
23/07	25	3,7	0,37	5,6
26/07	28	3,5	0,47	5,2
30/07	32	4,4	0,57	6,1
02/08	35	4,9	0,82	5,9
06/08	39	5,1	1,36	6,1
09/08	42	5,1	1,70	6,1
13/08	46	6,0	2,14	6,8
16/08	49	5,7	2,36	6,4
23/08	56	6,1	2,63	6,7
30/08	63	4,1	2,14	5,4
03/09	67	4,6	1,55	5,4
06/09	70	6,2	1,13	7,8
10/09	74	6,7	0,43	8,3
13/09	77	6,2	0,28	8,8

DAE = dias após a emergência.

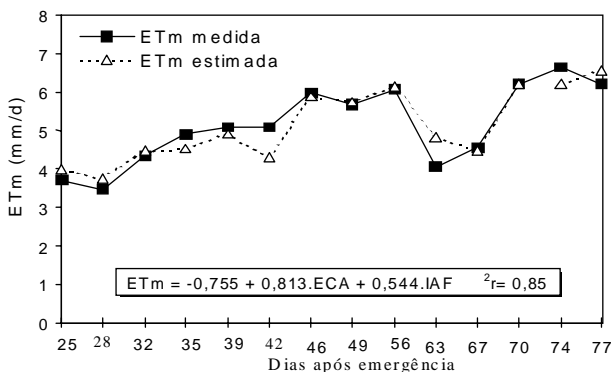
### 3. Resultados e discussão

Como já foi demonstrado por vários autores para as culturas de cana-de-açúcar (Villa Nova *et al.*, 1996), de milho (Villa Nova *et al.*, 1996; André e Ferraud, 1997), de batata (Pereira *et al.*, 1995), de alface (Villa Nova *et al.*, 1996) e de feijão (Albuquerque *et al.*, 1997), o método de regressão linear múltipla para estimativa da ET<sub>m</sub>, a partir do fator biológico (IAF) e do ambiental (ECA), também se mostrou viável para a cultura do feijão, cultivar Goiano Precoce. Os coeficientes linear (**a**) e angulares (**b** e **c**) determinados para a cultivar Goiano Precoce foram, respectivamente, -0,755, 0,544 e 0,813, resultando no seguinte modelo de estimativa da ET<sub>m</sub>:

$$ET_m = -0,755 + 0,544.IAF + 0,813.ECA$$

$$(R^2 = 0,85) \quad (5)$$

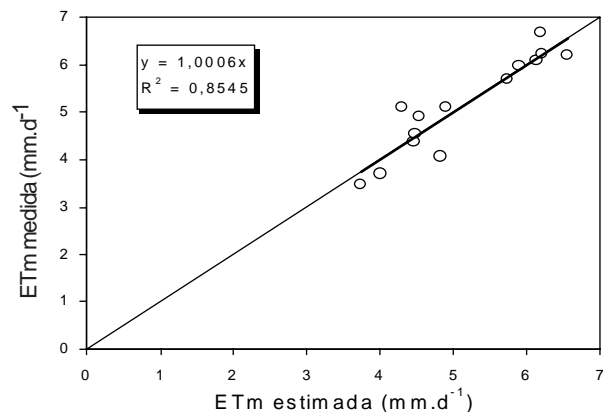
Os valores dos coeficientes da regressão são diferentes dos obtidos por Albuquerque *et al.* (1997), para a cultivar Capixaba Precoce, sendo essa mais vigorosa com o IAF chegando a valor máximo de 4,9, com  $b = 0,8368$ , ao passo que a cultivar utilizada neste estudo não apresentou IAF superior a 3, o que justifica o valor inferior de  $b$ , igual 0,544, visto que esse coeficiente indica a interação da planta com a atmosfera. A Figura 1 mostra a relação entre a ET<sub>m</sub> medida e estimada pelo método da regressão.



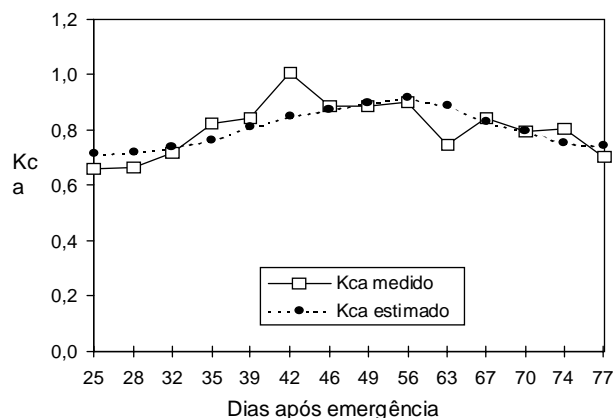
**Figura 1** - Evapotranspiração máxima medida e estimada do feijoeiro, cultivar Goiano Precoce, em função do Índice de Área Foliar e da Evaporação do Tanque Classe A, em Jaboticabal, SP.

A boa correlação existente entre a ET<sub>m</sub> medida em lisímetro e a ET<sub>m</sub> estimada pela equação (5) também pode ser observada na Figura 2, onde verifica-se o ajuste das estimativas em relação aos valores medidos. Observa-se que tanto a exatidão ( $b = 1,0006$ ) como a precisão ( $R^2 = 0,8545$ ) das estimativas foram elevadas, e dentro da ordem de grandeza encontrada para outras culturas e cultivares de feijão, valendo destacar que a estimativa de ET<sub>m</sub> por este método independe do conhecimento dos valores de K<sub>p</sub> e K<sub>c</sub>, exigidos pela metodologia convencional.

Com relação ao K<sub>ca</sub>, pela equação (4), pode-se observar que para um dado valor de IAF, um aumento da ECA irá proporcionar uma diminuição de K<sub>ca</sub> (Figura 3), comum em situações de elevada demanda evaporativa da atmosfera (valor elevado de ECA), em função das restrições impostas pela planta. Os valores medidos de K<sub>ca</sub> variaram de 0,66 a 1,01, enquanto que os valores estimados variaram de 0,71 a 0,91, para o período compreendido entre o 25° e o 77° dia após a emergência. Ao se comparar esses valores aos preconizados pela FAO (Doorenbos e Pruitt, 1975), que não levam em consideração o IAF e se aplicam à obtenção da ET<sub>m</sub> através da multiplicação com a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), verifica-se que os valores de K<sub>c</sub>, para o mesmo período analisado, variam de 0,8 a 1,2, o que corresponde à mesma ordem de grandeza, levando-se em consideração que o K<sub>p</sub> durante a época do experimento variou de 0,8 a 0,85, conforme a Figura 3.



**Figura 2.** Relação entre evapotranspiração máxima medida e estimada pelo método da regressão linear múltipla para o feijoeiro, cultivar Goiano Precoce, em Jaboticabal, SP.



**Figura 3** - Comparação da razão entre evapotranspiração máxima e evaporação do tanque classe A medida e estimada para o feijoeiro, cultivar Goiano Precoce, em Jaboticabal, SP.

#### 4. Conclusões

1. Considerando-se que o método proposto para a determinação de ETm integra as condições de clima local e de desenvolvimento vegetativo da cultura, a metodologia em estudo é viável, recomendando-se o seu emprego para condições climáticas similares àquelas observadas no experimento e para a cultivar de feijoeiro Goiano Precoce;

2. Sendo comum a adoção de lâminas de irrigação correspondentes a frações da evaporação do tanque Classe A, sem que haja a necessidade de um grande número de equipamentos de medida de elementos do clima, a racionalização do controle e da aplicação de água no genótipo da espécie vegetal em estudo, através do método proposto, se mostra como uma prática de grande valor prático.

#### REFERÊNCIAS

1 ALBUQUERQUE, P.E.; KLAR, A.E.; GOMIDE, R.L. Estimativa da evapotranspiração máxima do feijoeiro

(*Phaseolus vulgaris* L.) em função do índice de área foliar e da evaporação do tanque Classe A. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.2, p.183-187, 1997.

2 ANDRÉ, R.G.B.; FERRAUDO, A.S. Aspectos hídricos da cultura do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, Piracicaba, 1997. **Anais...** Sociedade Brasileira de Agrometeorologia: Piracicaba, p.629-631, 1997.

3 CAMARGO, A.P. **Balço hídrico no Estado de São Paulo**. 3.ed. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas. 1971. 24p.

4 DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 144p. (Irrigation and Drainage paper, 24).

5 DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efectos del agua en rendimento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212p. (Riego y Drenaje, 33).

6 MONTEITH, J.L. Evaporation and environment. **Symposia of the Society for Experimental Biology**, Cambridge, v.19, p.205-234, 1965.

7 PAVANI, L.C. **Evapotranspiração e produtividade em feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Goiano Precoce), sob três níveis de potencial de água no solo**. 1985. 170p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.

8 PENMAN, H.L. Evaporation: an introductory survey. **Netherlands Journal for Agricultural Science**, Wageningen, v.4, p.9-29, 1956.

9 PEREIRA, A.B.; VILLA NOVA, N.A.; TUON, R.L.; BARBIERI, V. Estimativa da evapotranspiração máxima da batata nas condições edafoclimáticas de Botucatu - SP, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.3, n.1, p.53-58, 1995.

10 SENTELHAS, P.C. **Estimativa diária da evapotranspiração de referência com dados de estação meteorológica convencional e automática**. 1998. 97p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

11 THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v.38, p.55-94, 1948.

12 VILLA NOVA, N.A.; PEREIRA, A.R.; BARBIERI, V. Evapotranspiration as a function of leaf area index and class A pan evaporation. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.4, n.2, p.35-37, 1996.