

ISSN 0104-1347

ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA DO FEJJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.) EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR E DA EVAPORAÇÃO DA ÁGUA DO TANQUE CLASSE A

ESTIMATION OF MAXIMUM EVAPOTRANSPIRATION IN BEANS (*Phaseolus vulgaris* L.) AS A FUNCTION OF THE LEAF AREA INDEX AND CLASS "A" PAN EVAPORATION

Paulo Emílio Pereira de Albuquerque¹, Antonio Evaldo Klar², Reinaldo Lúcio Gomide³

RESUMO

Um método simples e que tem sido amplamente usado na obtenção da evapotranspiração da cultura (ET_c) é o padronizado pela FAO. Esse se baseia em medir a evaporação de água do tanque Classe A (ECA) e multiplicar por coeficientes (do tanque e da cultura) que gerarão a ET_c . No entanto, a estimativa dos referidos coeficientes (K_p e K_c) nem sempre retrata de forma satisfatória as condições reais de clima e estágio de desenvolvimento da cultura. Procurando-se vencer essa dificuldade, tornando-se desnecessário o uso de tais coeficientes, foi objetivo deste trabalho comprovar a boa concordância entre a ET_c , calculada pelo método de Penman-Monteith, e o índice de área foliar (IAF) e a ECA e entre a ET_c unicamente com o IAF, através da análise de regressão linear múltipla, para o feijoeiro. A melhor relação encontrada foi a que considerou o fator biológico (IAF) conjuntamente com o ambiental (ECA), isto é, $ET_c = -1,304 + 0,8368.IAF + 0,5537.ECA$ ($r^2 = 0,854$), comprovando a metodologia como de boa eficiência para predizer a ET_c .

Palavras-chave: evapotranspiração, evaporação, tanque Classe A, índice de área foliar, feijoeiro.

SUMMARY

A simple method which has been largely utilized in the search of crop evapotranspiration (ET_c) is that recommended by FAO. It utilizes the Class "A" pan evaporation measurements (ECA) and coefficients (pan- K_p and

crop- K_c). Afterwards, the ET_c is obtained by multiplying ECA by both coefficients. However, the estimate of K_p and K_c values do not always represent satisfactorily the actual climatic and crop growth stage conditions. In order to overcome this problem and to become unnecessary the use of such coefficients, the objective of this work was to investigate the relationship among the ET_c , calculated by the Penman-Monteith method, and the leaf area index (LAI) and the ECA, and also between the ET_c exclusively with the LAI, by means of multiple linear regression analysis for beans. The best relationship obtained was that which took into account both the biological (LAI) and ambiental (ECA) factors, that is, $ET_c = -1.304 + 0.8368.LAI + 0.5537.ECA$ ($r^2 = 0.854$), indicating a good efficiency of this methodology to predict the ET_c .

Key words: evapotranspiration, evaporation, Class "A" pan, leaf area index, crop beans.

INTRODUÇÃO

Os estudos sobre a evapotranspiração têm-se desenvolvido muito rapidamente nos últimos anos, em função do progresso na coleta e processamento de dados, em decorrência do incremento da informática como uma ferramenta útil nesse campo. Entretanto, embora haja essa grande facilidade, a aquisição de instrumentação elaborada é ainda onerosa e envolve metodologia, geralmente, sofisticada e laboriosa.

Em princípio, os métodos de estimar a evapotranspiração da cultura (ET_c) que envolvam

¹ Pesquisador III, D.Sc., Embrapa - Milho e Sorgo. Cx. Postal 151 - Sete Lagoas - MG. CEP: 35701-970. E-mail: emilio@cnpms.embrapa.br

² Professor Titular, Ph.D., UNESP - FCA, Dep. de Eng. Rural. Cx. Postal 237 - Botucatu - SP. CEP: 18603-970.

³ Pesquisador III, Ph.D., Embrapa - Milho e Sorgo. Cx. Postal 151 - Sete Lagoas - MG. CEP: 35701-970. E-mail: gomide@cnpms.embrapa.br

técnicas mais sofisticadas, como os de Penman-Monteith, da correlação de turbilhões (*eddy correlation*), da razão de Bowen, ou instrumentos, como os lisímetros, para medir diretamente a ET_c , servirão como padrão para aferir e calibrar técnicas mais simples de obter a ET_c .

Os métodos padrões recomendados pela FAO necessitam da obtenção da evapotranspiração de referência (ET_0), que, por sua vez, pode ser estimada através da evaporação da água do tanque Classe A (ECA). Porém, para a determinação de ET_0 e ET_c há necessidade de coeficientes empíricos. Há basicamente dois coeficientes: o do tanque (K_t) e o da cultura (K_c). O K_t é função da demanda evaporativa do local e é usado para transformar os valores da ECA em ET_0 . Já o K_c é função do tipo de cultura e do seu estágio de desenvolvimento; o seu produto pela ET_0 fornece a ET_c (DOORENBOS & PRUITT, 1977; DOORENBOS & KASSAM, 1979). Essa metodologia proposta pela FAO tem sido amplamente usada como alternativa na obtenção da ET_c .

Contudo, muitas vezes, esses coeficientes estimados não têm revelado de maneira satisfatória as verdadeiras condições da ET_c para um determinado local e uma cultura específica. Por outro lado, há uma grande dificuldade a ser vencida quando se desejam medir esses coeficientes.

Procurando contornar o problema da obtenção do K_c , alguns autores (RITCHIE & BURNETT, 1971; STONE & PEREIRA, 1994; GAMERO *et al.*, 1997) relacionaram esse coeficiente com o índice de área foliar (IAF). OLIVEIRA *et al.* (1993) relacionaram diretamente a ET_c com o IAF e verificaram que o primeiro foi bem descrito como uma função quadrática do segundo. Porém, há restrição ao uso dessa função quando a demanda hídrica da atmosfera se torna variável através do ciclo de desenvolvimento da cultura, que é, normalmente, uma condição inversa que ocorre em locais de clima semi-árido, nos quais a demanda hídrica é menos mutável ao longo de um período. Em função disso, em condições de clima úmido, a relação da ET_c apenas com o IAF se torna pobre, necessitando de incluir pelo menos mais um parâmetro que retrate a demanda hídrica da atmosfera. VILLA NOVA *et al.* (1996) tomaram como esse parâmetro a ECA. Portanto, além do IAF, foi incorporado ao modelo proposto a ECA, para representar a demanda hídrica da atmosfera.

VILLA NOVA *et al.* (1996) estudaram, através da análise de regressão linear múltipla, a relação entre a ET_c da cana-de-açúcar e o IAF e a ECA. Obtiveram excelente coeficiente de determinação para esse modelo, justificando que o sucesso desse ajuste foi devido ao bom acompanhamento da demanda atmosférica realizado pela ECA, fato que seria impossível se o IAF fosse a única variável independente do modelo. Também os autores ana-

lisaram dados obtidos dos trabalhos de OLIVEIRA *et al.* (1993), para milho, e de BASTOS (1994), para alface, os quais, da mesma forma, resultaram em boa concordância entre a ET_c e aqueles dois parâmetros.

Procurando corroborar a boa concordância entre a ET_c e o IAF e a ECA, através do modelo matemático estudado por VILLA NOVA *et al.* (1996), foi objetivo do presente trabalho obter os coeficientes desse modelo para o feijoeiro, assim como obter os coeficientes de um modelo que relaciona a ET_c unicamente com o IAF.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados foram gerados, em condições de campo, na Embrapa - Milho e Sorgo, localizada em Sete Lagoas, Minas Gerais, cujas coordenadas são 19°26' de latitude Sul e 44°10' de longitude Oeste e 719 m de altitude.

Foi utilizada a cultivar de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) Capixaba Precoce (grupo Preto), cuja semeadura foi realizada em 26/07/95. O espaçamento entre fileiras de semeadura foi de aproximadamente 45 cm, sendo semeadas 12-14 sementes por metro de fileira, visando uma população acima de 220.000 plantas por hectare.

A evapotranspiração da cultura (ET_c), que foi considerada como padrão para aferir o modelo a ser testado, foi determinada pelo método de Penman-Monteith que, entre diversos autores, é citado por KJELGAARD *et al.* (1994). Os valores da ET_c foram obtidos, diariamente, em alguns intervalos de tempo a partir dos 30 até os 72 dias após a semeadura (DAS), perfazendo um total de 37 dias de avaliações. Mesmo quando a cobertura do solo estava incompleta (aproximadamente até os 40 DAS), utilizou-se a mesma equação sem restrição. Os intervalos entre irrigações foram de 2 e 4 dias, em que se aplicou uma lâmina de água necessária para repor o solo à sua capacidade de campo. Isso foi suficiente para manter a cultura sempre em sua taxa máxima de evapotranspiração (ALBUQUERQUE, 1997).

Alguns parâmetros necessários ao modelo de Penman-Monteith, tais como saldo de radiação (R_n) e fluxo de calor no solo (G), foram medidos diretamente através de sensores da marca japonesa *Eko*, os quais foram acoplados a um registrador eletrônico com diagrama analógico, da *Yookogawa Corp.* O déficit da pressão de vapor (DPV) foi estimado conforme foi apresentado por ALBUQUERQUE (1997). O parâmetro r_a foi determinado pela equação apresentada, entre outros, por ALLEN *et al.* (1989) e JENSEN *et al.* (1990), os quais supuseram condições de estabilidade neutra, que ocorre com vegetação bem suprida de água e

próximo à sua copa. O parâmetro r_c foi estimado por meio da resistência estomática e do índice de área foliar, segundo metodologia mostrada por HATFIELD (1988), ALLEN *et al.* (1989), STEINER *et al.* (1991) e KJELGAARD *et al.* (1994). Os valores da ET_c de cada dia foram determinados no período em que R_{ii} se apresentava positivo.

Foram coletadas, num intervalo médio de 7 dias, amostras de plantas (cerca de 12 plantas por amostragem) para determinação do índice de área foliar (IAF), cujas medições da área foliar foram feitas em um integrador eletrônico de área, modelo LI-3000, da Li-Cor. A área foliar média por planta amostrada foi dividida pelo espaçamento da cultura para fornecer o IAF.

As medições de evaporação da água (ECA) foram feitas num tanque Classe A instalado na Estação Climatológica Principal de Sete Lagoas, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), distando aproximadamente 1500 m da área experimental.

Usaram-se dois modelos baseados na regressão linear múltipla para estimar a ET_c , conforme apresentaram OLIVEIRA *et al.* (1993) e VILLA NOVA *et al.* (1996):

$$ET_c = a_1 + b_1 IAF + c_1 IAF^2 \quad (1)$$

$$ET_c = a_2 + b_2 IAF + c_2 ECA \quad (2)$$

O segundo modelo tem duas variáveis independentes, o índice de área foliar (IAF) e a evaporação da água do tanque Classe A (ECA), enquanto que o primeiro somente o IAF.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A evapotranspiração diária do feijoeiro (ET_c) calculada pelo método de Penman-Monteith, a evaporação da água do tanque Classe A (ECA) e o índice de área foliar (IAF), durante alguns períodos do ciclo da cultura, estão apresentados na Figura 1. Observa-se que as variações da ET_c foram acompanhadas das variações da ECA, principalmente mais ao final do ciclo da cultura. À medida que esse ciclo transcorreu, o IAF aumentou, ou seja, cresceu a superfície de transpiração, fazendo com que a ET_c se aproximasse da ECA. GAMERO *et al.* (1997) verificaram, em cultura de feijão, que as variações dos valores do IAF acompanharam proporcionalmente as da ET_c , o que pode também ser observado no presente caso.

Com os dados medidos do índice de área foliar (IAF) e da evaporação da água do tanque Classe A (ECA) e com os valores estimados da evapotranspiração da cultura do feijão (ET_c) pelo método de Penman-Monteith, obtiveram-se as

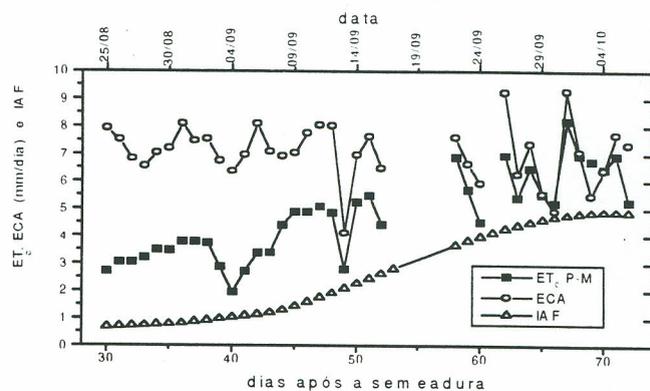


Figura 1. Evapotranspiração diária da cultura do feijão estimada pelo método de Penman-Monteith (ET_c P-M), evaporação de água do tanque Classe A (ECA) e índice de área foliar (IAF) do feijoeiro, observados em relação aos dias após a semeadura e respectivas datas (Sete Lagoas, 1995).

seguintes relações na análise de regressão linear múltipla, para os dois modelos testados:

$$ET_c = 2,254 + 1,316 IAF - 0,09449 IAF^2 \quad (r^2 = 0,727)$$

$$ET_c = -1,304 + 0,8368 IAF + 0,5537 ECA \quad (r^2 = 0,854)$$

A representação gráfica de ambos modelos está mostrada na Figura 2. Obteve-se no primeiro modelo, que é função exclusivamente do IAF, uma estimativa insatisfatória da ET_c em relação ao segundo modelo. Embora VILLA NOVA *et al.* (1996) tenham correlacionado IAF e ECA com valores medidos de ET_c em lisímetro, os resultados aqui obtidos foram melhores do que os apresentados por esses autores, possivelmente devido à evolução da cultura para um período de maior demanda hídrica (meses de setembro e outubro), o que concorda com OLIVEIRA *et al.* (1993) que relatam a melhor descrição desse modelo para condições de alta demanda hídrica. Além disso, no período inicial (dos 30 até os 39 dias após a semeadura), que coincidiu com o maior incremento do IAF, aparentemente houve melhor ajuste do modelo, apesar de ter sido um período de menor demanda hídrica. Parece que esse maior incremento do IAF no período inicial favoreceu a esse melhor desempenho, como também observaram VILLA NOVA *et al.* (1996).

O segundo modelo, no qual é incluído, além de um fator biológico (IAF), um fator ambiental (ECA), estimou melhor a ET_c , confirmando os trabalhos de OLIVEIRA *et al.* (1993), de BASTOS (1994) e de VILLA NOVA *et al.* (1996) com o referido modelo. A grande vantagem desse método de estimar a ET_c está no fato de não ser necessário medir ou estimar o coeficiente de cultura (K_c). Esse quando é estimado, apesar de sua simplicidade,

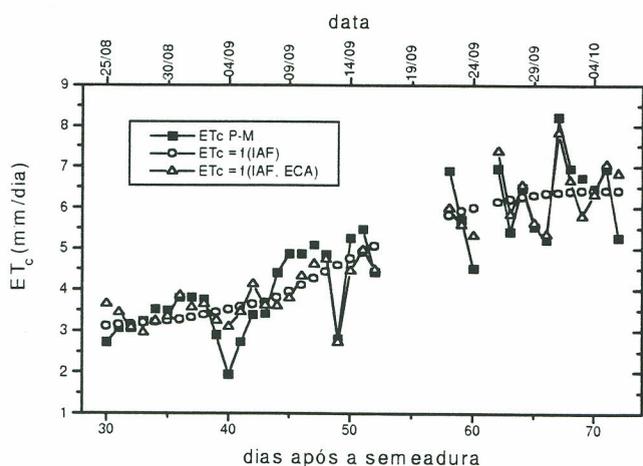


Figura 2. Evapotranspiração diária da cultura do feijão estimada pelo método de Penman-Monteith (ET_c P-M) e estimada como uma função apenas do índice de área foliar (IAF) e do IAF e evaporação de água do tanque Classe A (ECA), em função dos dias após a semeadura e respectivas datas (Sete Lagoas, 1995).

tem a desvantagem de nem sempre corresponder as condições específicas da cultura e do clima local.

Por outro lado, quando é medido, há necessidade de se medir também a evapotranspiração de referência (ET_o) e ET_c , o que torna uma forma mais complexa para a obtenção desse coeficiente. Desse modo, a medição da área foliar é muito simples, bastando que se possua o integrador de área. Há também, já feitos por diversos pesquisadores, métodos de estimar o IAF para várias culturas, a partir de medições do comprimento e/ou largura foliar e correlacionadas com a respectiva área.

Ainda analisando os modelos, deve-se enfatizar que somente são válidos nas condições nas quais foram gerados os dados para as suas obtenções, ou seja, com o IAF variando nos limites aproximados de 0,7 a 4,9 e a ECA de 4,1 a 9,3 mm/dia.

O valor máximo do IAF atingido pela cultura do feijão, no presente caso, foi cerca de 4,9. O coeficiente b_2 da regressão do segundo modelo representa a exposição das folhas à atmosfera, que é o coeficiente para o IAF. No presente caso, o valor obtido ($b = 0,8368$) foi maior do que o da alface ($b = 0,258$), que tende a ter as folhas mais fechadas, formando uma cabeça, e menor do que o do milho ($b = 1,012$) e o da cana-de-açúcar ($b = 1,465$) (VILLA NOVA *et al.*, 1996). Portanto, sob esse aspecto, as folhas do feijoeiro estão menos expostas do que as do milho e da cana-de-açúcar, ao passo que estão mais expostas em relação as da alface, fato que visivelmente é comprovado pelo tipo de arquitetura da planta do feijoeiro.

Com relação ao coeficiente c , que se refere à evaporação da água no tanque Classe A, os resultados não permitem fazer uma análise, porque os experimentos foram conduzidos em condições climáticas diversas umas das outras.

CONCLUSÕES

Fica comprovado o bom desempenho da análise de regressão linear múltipla como metodologia para prever a evapotranspiração da cultura do feijão (ET_c), a partir de dados do índice de área foliar (IAF) e da evaporação de água do tanque Classe A (ECA).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Pesquisador da EMBRAPA - Milho e Sorgo Dr. Antônio Carlos de Oliveira pelo auxílio na análise de regressão dos dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, P.E.P. de. **Evapotranspiração, balanços de energia e da água no solo e índices de estresse hídrico da cultura, em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), submetido a diferentes frequências de irrigação**. Botucatu: UNESP-FCA, 1997. 147 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agrônomicas, 1997.
- ALLEN, R.G., JENSEN, M.E., WRIGHT, J.L. *et al.* Operational estimates of reference evapotranspiration. **Agron J.**, Madison, v.81, p. 650-662, 1989.
- BASTOS, E.A. **Determinação dos coeficientes de cultura da alface (*Lactuca sativa* L.)**. Botucatu: UNESP-FCA, 1994. 101 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agrônomicas, 1994.
- DOORENBOS, J., KASSAM, A.H. **Efectos del agua en el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212 p. (Estudio FAO riego y drenage, 33).
- DOORENBOS, J., PRUITT, W.O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 144 p. (Irrigation and drainage paper, 24).
- GAMERO G., M.E., VILLA NOVA, N.A., LIBARDI, P.L. *et al.* Relação entre a evapotranspiração e o índice de área foliar da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, X, 1997, Piracicaba, SP. **Anais...**, Piracicaba: Sociedade Brasileira de

- Agrometeorologia/Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1997. 759 p. p. 641-643.
- HATFIELD, J.L. Research priorities in ET: evolving methods. **Trans. of the ASAE**, St. Joseph, v. 31, p. 490-495, 1988.
- JENSEN, M.E., BURMAN, R.D., ALLEN, R.G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1990. 332 p. (ASCE - Manual and reports on engineering practice, 70).
- KJELGAARD, J.F., STOCKLE, C.O., VILLAR MIR, J.M. *et al.* Evaluating methods to estimate corn evapotranspiration from short-time interval weather data. **Trans. of the ASAE**, St. Joseph, v. 37, p. 1825-1833, 1994.
- OLIVEIRA, F.A. de, SILVA, J.J.S. e, CAMPOS, T.G.da S. Evapotranspiração e desenvolvimento radicular do milho irrigado. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 28, n. 12, p. 1407-1415, 1993.
- RITCHIE, J.T., BURNETT, E. Dryland evaporative flux in subhumid climate: II- plant influences. **Agron. J.**, Madison, v. 63, p. 56-62, 1971.
- STEINER, J.L, HOWELL, T.A., SCHNEIDER, A.D. Lysimetric evaluation of daily potential evapotranspiration models for grain sorghum. **Agron. J.**, Madison, v. 83, p. 240-247, 1991.
- STONE, L.F., PEREIRA, A.L. Sucessão arroz-feijão irrigados por aspersão - efeitos de espaçamento entre linhas, adubação e cultivar no crescimento, desenvolvimento radicular e consumo d'água do arroz. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 29, n. 10, p. 1577-1592, 1994.
- VILLA NOVA, N.A., PEREIRA, A.R., BARBIERI, V. Evapotranspiration as a function of leaf area index and class A pan evaporation. **Rev. Bras. de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 2, p. 35-37, 1996.