

## Modelo Penman-FAO Ajustado para a Estimativa da Necessidade Hídrica do Feijão no Cerrado

Omar Cruz Rocha<sup>1</sup>  
Antonio Fernando Guerra<sup>2</sup>

Manejar a irrigação de forma adequada é fundamental para os produtores irrigantes do Bioma Cerrado. No entanto, a falta de tecnologias e de modelos de estimativa de evapotranspiração ajustados à região tem contribuído para desacreditar o método, tornando a prática de manejo da irrigação quase que inexistente na região. Assim, a água de irrigação vem sendo aplicada sem nenhum critério racional de monitoramento, resultando no uso inadequado dos recursos hídricos. Os critérios de manejo de água possíveis de serem usados são baseados em medidas no solo, na planta e na atmosfera. Os baseados em medidas no solo fundamentam-se na determinação direta ou indireta do teor de água ou em medidas de tensão de água no solo. Já os fundamentados em medidas na planta restringem-se ao monitoramento do status hídrico vegetal. Embora ambos possam ser eficientes, comumente, oferecem limitações operacionais. No entanto, outra possibilidade é usar métodos baseados em medidas climáticas que variam desde simples medidas de evaporação de uma superfície livre de água (Tanque Classe A) até equações complexas para estimativa da evapotranspiração. Estas podem ser alternativas viáveis para facilitar a

operacionalização do manejo de irrigação. Até então, a grande limitação dessas equações encontrava-se na precisão das estimativas que dependiam do uso de modelos desenvolvidos em condições climáticas e agronômicas muito diferentes daquelas que ocorrem no Cerrado. Segundo [Jensen et al. \(1989\)](#), não existe um método, com base em dados climáticos, que possa ser globalmente adequado, sem que exista, também, algum tipo de calibração local ou regional, principalmente, em regiões tropicais.

Por essa razão, este trabalho teve o objetivo de disponibilizar aos produtores o modelo Penman-FAO ajustado para o Cerrado para permitir estimar com segurança a necessidade hídrica do feijão-preto no período de maio a setembro.

As medidas dos parâmetros vegetativos e climáticos foram obtidas na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF - sobre feijão-preto (*Phaseolus vulgaris* L.), variedade Diamante Negro, cultivado em um Latossolo Vermelho textura argilosa, no período de 23 de junho a 5 de setembro de 1999.

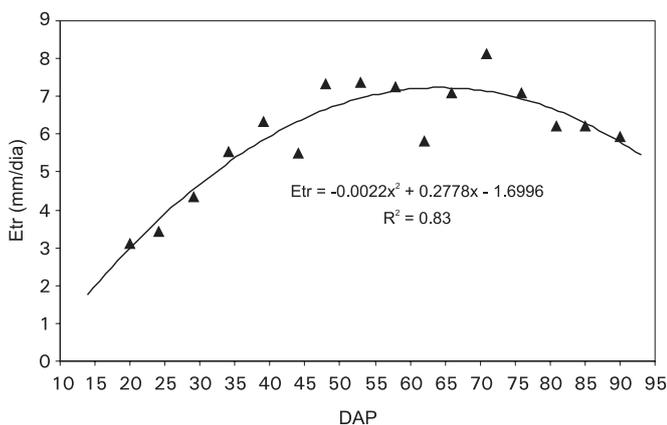
<sup>1</sup> Eng. Agrôn., M.Sc., Embrapa Cerrados, omar@cpac.embrapa.br

<sup>2</sup> Eng. Agríc., Ph.D., Embrapa Cerrados, guerra@cpac.embrapa.br

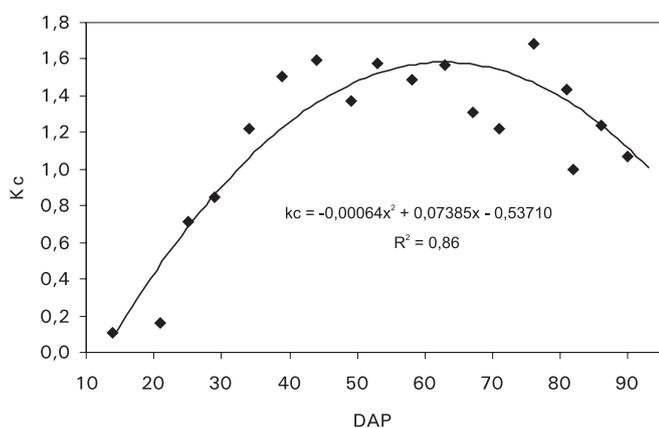
O ensaio foi instalado em uma área com aproximadamente 9 ha, dotada de um lisímetro de pesagem e irrigado por um equipamento por aspersão do tipo pivô central.

A curva de evapotranspiração real (Etr) do feijão em relação aos dias após plantio (DAP) é apresentada na Figura 1, na qual é observada uma demanda máxima diária de 7,2 mm. As irrigações iniciais foram feitas, aproximadamente, a cada três dias com lâminas em torno de 10 a 12 mm com o propósito de garantir a germinação das sementes e preencher o reservatório do solo. As irrigações seguintes foram realizadas com base nas leituras diárias de três baterias de tensiômetros instalados nas profundidades de 10, 20 e 30 cm na linha de plantio. O momento de irrigar foi determinado, quando a leitura média dos tensiômetros instalados a 10 cm atingia 40 kPa, conforme [Fiquerêdo et al. \(1997\)](#).

Com base na evapotranspiração real média obtida do lisímetro para os intervalos de irrigação de cinco dias e das leituras do tanque classe A, para os mesmos intervalos, determinaram-se os coeficientes de cultura com base na equação da Figura 2.



**Figura 1.** Evapotranspiração real do feijão-preto, variedade Diamante Negro, em relação aos dias após plantio(DAP), em Planaltina, DF.



**Figura 2.** Coeficiente de cultura para o Feijão-preto, variedade Diamante Negro, em relação aos dias após o plantio (DAP) em Planaltina, DF.

A comparação entre a evapotranspiração observada e a estimada envolveu dois procedimentos: o primeiro uma regressão linear quadrática dos resultados, para analisar o comportamento da curva estimada em relação à observada, principalmente, no que diz respeito ao momento de máxima aplicação de água do modelo, o que foi obtido a partir da derivada primeira da equação resultante; e o segundo uma regressão linear simples, na qual se analisavam o erro médio da estimativa, a correlação entre as evapotranspirações e o teste F, proposto por [Graybill \(1976\)](#). Pela aplicação do teste F a 99% de probabilidade, analisou-se a hipótese de que a evapotranspiração estimada era similar à observada, perfazendo uma linha reta, passando pela origem e de declividade igual a 45 graus, ou seja  $\beta_0 = 0$  e  $\beta_1 = 1$ .

A evapotranspiração, segundo Penman-FAO (DOORENBOS; PRUITT, 1977) é determinada conforme a equação:

$$ET_o = C \left[ \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} R_n + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} f(u)(e_s - e) \right]$$

onde:

$$f(u) = 2,7(1 + 0,864u_2)$$

sendo:

ET<sub>o</sub> = a evapotranspiração de referência (mm/dia);

R<sub>n</sub> = [(R<sub>g</sub>(1- $\alpha$ ) + B<sub>ol</sub>)/59] o balanço diário de radiação em mm/dia, sendo R<sub>g</sub> a irradiância solar global sobre a superfície do solo,  $\alpha$  é coeficiente de reflexão da superfície e B<sub>ol</sub> é o balanço de radiação de ondas longas, estimado segundo [Doorembos e Pruitt \(1977\)](#);

f(u) = função empírica relacionada à velocidade do vento;

u<sub>2</sub> = velocidade do vento, medida a 2 m de altura, em m/s;

$\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$  é um fator adimensional de proporcionalidade;

$\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} = 1 - \left( \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right)$  sendo também um fator adimensional de proporcionalidade;

$\gamma = CpP/(0,622L)$  é uma constante psicrométrica, sendo Cp o calor específico do ar à pressão constante, P a pressão atmosférica e L o calor latente de vaporização (kJPa/K);

(e<sub>s</sub> - e) = é o deficit de pressão de vapor (kPa);

C = fator de ajustamento baseado sobre a condição climática local, ajustado conforme Allen e Pruitt (1989) da seguinte forma:

$$C = 0,892 - 0,0781 u_d + 0,00219 u_d R_s + 0,000402 UR_{\max}$$

$$R_s + 0,000196 \frac{u_d}{u_n} u_d UR_{\max} + 0,0000198 \frac{u_d}{u_n}$$

$$u_d UR_{\max} R_s + 0,00000236 u_d^2 UR_{\max} R_s$$

$$- 0,0000086 \left( \frac{u_d}{u_n} \right)^2 u_d UR_{\max} - 0,000000292 \frac{u_d}{u_n}$$

$$u_d^2 (UR_{\max})^2 R_s - 0,0000161 UR_{\max} R_s^2$$

onde:

$u_d$  = velocidade diurna do vento (m/s);

$u_n$  = velocidade noturna do vento (m/s);

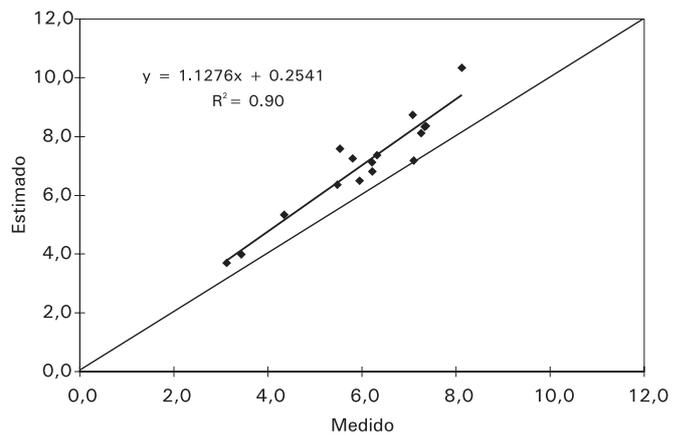
Obs:(  $u_d / u_n < 4$  )

$UR_{\max}$  = umidade relativa máxima para o período (%); (30% a 90%) e

$R_s$  = radiação solar recebida na superfície da terra sobre um plano horizontal(mm/dia). (3 a 12 mm.dia<sup>-1</sup>)

Pela Figura 3, que apresenta a relação entre os dados médios de Etr medidos no lisímetros e estimados a partir do modelo Penman-FAO, verifica-se uma performance pouco satisfatória do modelo, pois se percebe que, apesar de uma correlação bastante elevada  $R^2 = 0,90$ , existe baixa concordância  $\beta_0 = 0,2541$  e  $\beta_1 = 1,1276$ , resultando em dados que superestimaram a Etr do feijão em 16,97%, (Tabela 1) demonstrando haver diferença entre os dados medidos e estimados, o que pode ser comprovado na Tabela 2, na qual se constata um F de

Graybill significativo. Todavia, observando a [Figura 4](#), nota-se que o ponto de máxima evapotranspiração desse modelo ocorreu aos 62 DAP, exatamente um dia antes do observado no lisímetro, o que demonstra excelente conformação da curva estimada em relação à medida. Essa observação, associada a testes nos parâmetros do modelo, indicou a necessidade de redução no valor da constante da função de vento de 2,7 para 2,0 ([ROCHA, 2000](#); [ROCHA et al., 2003](#)). Com esse ajuste, o desempenho do modelo melhorou significativamente, como pode ser observado na [Figura 5](#) na qual a correlação se manteve  $R^2 = 0,90$ , e a concordância aumentou ( $\beta_0 = 0,2506$  e  $\beta_1 = 0,9859$ ). Fato que proporcionou grande redução no erro médio da estimativa (2,74%), contribuindo para um F de Graybill não significativo, o que permite confirmar o ótimo desempenho do modelo PF desde que tenha o valor da constante da função de vento ajustado para 2,0.



**Figura 3.** Relação entre a Etr estimada com base no modelo Penman-FAO, e medida em lisímetro de pesagem, em Planaltina, DF, para o Feijão-preto.

**Tabela 1.** Erros médios na estimativa da  $E_t$  do feijoeiro obtidos com a aplicação do modelo Penman-FAO e sua versão ajustada, em Planaltina, DF.

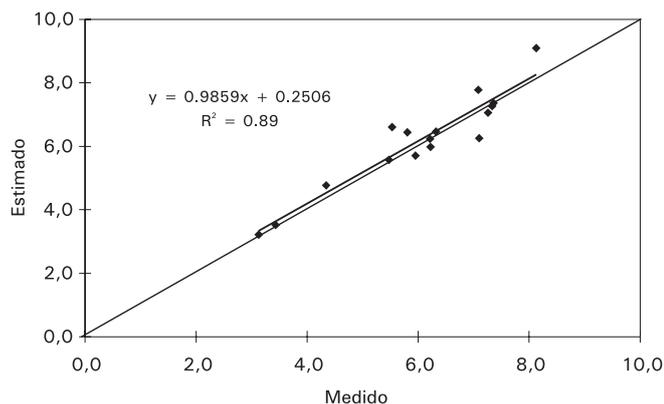
Modelo	Evapotranspiração real* (mm)		Erro médio da estimativa (%)
	Medida	Estimada	
Penman-FAO	96,70	113,10	16,97
Penman-FAO (ajustado)	96,70	99,35	2,74

\* Etr resultante do somatório das médias diárias observadas por intervalo de irrigação.

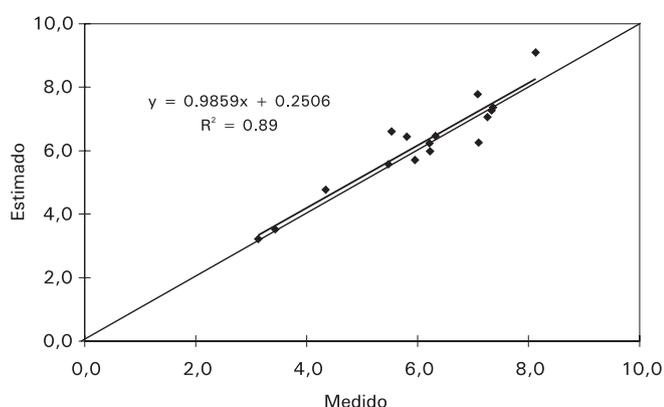
**Tabela 2.** Valores da análise de regressão simples entre a  $E_t$  estimada pelo modelo Penman-FAO e sua versão ajustada e a  $E_t$  do Feijão-preto medida em lisímetro de pesagens em Planaltina-DF.

Modelos	Coeficientes			F de Graybill
	$b_0$	$b_1$	$R^2$	
Penman-FAO	0,2541	1,1276	0,90	29,52**
Penman-FAO (ajustado)	0,2506	0,9859	0,89	0,82

\*\*Significativo a 99% de probabilidade.



**Figura 4.** Comparação entre a Etr estimada a partir do modelo Penman-FAO e medida em lisímetro de pesagem, em relação aos dias após plantio (DAP), em Planaltina, DF, para o Feijão-preto.



**Figura 5.** Relação entre a Etr estimada a partir do modelo Penman-FAO ajustado e medida em lisímetro de pesagem, em Planaltina, DF, para o Feijão-preto.

## Referências Bibliográficas

ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O. Closure to "Rational use of the FAO Blaney-Criddle formula. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v. 112, n. IR2, p. 139-155, 1989.

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

FIGUERÊDO, S. F.; GUERRA, A. F.; SILVA, D. B. da; ANTONINI, J. C. dos A.; RODRIGUES, G. C. Manejo de irrigação e fertilização nitrogenada na cultura do feijão. **Relatório Técnico Anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1991-1995**, Planaltina, DF, p. 95-97, 1997.

GRAYBILL, F. A. **Theory and application of the linear model**. Belmont: Duxbury, 1976. 704 p.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R.G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1989. p. 332. (Manuals and reports, 70).

ROCHA, O. C. **Performance de modelos na estimativa da evapotranspiração do feijão-preto no Cerrado**. 2000. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

ROCHA, O. C.; GUERRA, A. F.; AZEVEDO, H. M. de. Ajuste do modelo Christiansen-Hargreaves para a estimativa da evapotranspiração do feijão no Cerrado. **Revista Brasileira de Irrigação e Drenagem**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 263-268, 2003.

## Penman- FAO model adjustment for estimating evapotranspiration of bean crop in the Cerrado region

**Abstract** - *Bean crop producers from the Brazilian Cerrado region have only one technology adjusted for irrigation management which consist in the measurement of soil-water tension through the use of tensiometers. Although this methodology has high potential of use, it has not been widely adopted by the producers due to problems in instrumentation maintenance. Thus, the utilization of models for crop evapotranspiration estimates have shown to be applicable to the Cerrado region. So, this paper aims to evaluate the performance of Penman-FAO model to estimate evapotranspiration of black bean crop in the dry season of the Brazilian Cerrado region. It also aims to provide an adjusted model to estimate evapotranspiration which permit an efficient management for the agricultural irrigated system of the Cerrado region. The black bean evapotranspiration was measured by using a weighing lysimeter. The experiment was carried in the experimental area of the Brazilian Agricultural Research Corporation (Embrapa Cerrados), located in Planaltina, DF, Brazil. When calculated with crop coefficient determined in this research and tested with adjusted wind function constant ( $C = 2.0$ ), Penman-FAO model presented an excellent performance and may be used in irrigation management of black bean crop.*

**Index terms:** *Phaseolus vulgaris, weighing lysimeter, irrigation scheduling*

### Comunicado Técnico, 121

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:  
**Embrapa Cerrados**

**Endereço:** BR 020 Km 18 Rod. Brasília/Fortaleza  
Caixa postal: 08223 CEP 73310-970

**Fone:** (61) 3388-9898

**Fax:** (61) 3388-9879

**E-mail:** sac@cpac.embrapa.br

Impresso no Serviço Gráfico da Embrapa Cerrados

**1ª edição**

1ª impressão (2005): 200 exemplares

### Comitê de Publicações

**Presidente:** José de Ribamar N. dos Anjos  
**Secretária Executiva:** Maria Edilva Nogueira

### Expediente

**Supervisão editorial:** Maria Helena Gonçalves Teixeira  
**Revisão de texto:** Maria Helena Gonçalves Teixeira  
**Normalização bibliográfica:** Hozana Alvares de Oliveira  
**Editoração eletrônica:** Leila Sandra Gomes Alencar  
**Impressão e acabamento:** Divino Batista de Souza  
Jaime Arbués Carneiro