

ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA DO TRIGO CULTIVADO EM UBERABA, MG

Bruna Fukumoto Kobayashi¹; Taynara Tuany Borges Valeriano²; Ana Flavia Oliveira³;
Márcio José de Santana⁴; Rodrigo de Moraes Borges⁵

RESUMO

O presente trabalho objetivou determinar a evapotranspiração da cultura do trigo e coeficiente de cultura a partir da evapotranspiração de referência calculada por três métodos de estimativa: Penman-Monteith; Blaney-Cridle e Hargreaves-Samani. O trabalho foi conduzido na área experimental do Instituto Federal do Triângulo Mineiro, *Campus* Uberaba, MG. A evapotranspiração de referência foi estimada a partir do balanço de água no solo, obtendo-se consequentemente os dados da evapotranspiração da cultura em cada método utilizado. Dentre os resultados, pode-se concluir que os valores de evapotranspiração de referência obtidos através dos métodos de Hargreaves-Samani superestimaram os obtidos pelos métodos de Blaney-Cridle e Penman-Monteith. O mesmo ocorreu para lâminas estimadas a partir da evapotranspiração da cultura (145, 26; 359, 47 e 431,86 mm, respectivamente).

Palavras-chave: *Triticum* spp., manejo da irrigação, cálculo ETc.

ESTIMATE OF WHEAT EVAPOTRANSPIRATION IN UBERABA, MG

ABSTRACT

This study aimed at determining the crop evapotranspiration of wheat, and crop coefficient based on the reference evapotranspiration calculated with three estimation methods: Penman-Monteith; Blaney-Cridle and Hargreaves-Samani. The assay was carried in the experimental area of the Instituto Federal do Triângulo Mineiro, *Campus* Uberaba, MG. The reference evapotranspiration was estimated from the balance of water in the soil, therefore obtaining the data of crop evapotranspiration in each method used. Among the results obtained, it's possible to conclude that the values of reference evapotranspiration obtained through the method of

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triangulo Mineiro, e-mail: brunafkobayashi@hotmail.com

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triangulo Mineiro, e-mail: taynarabvaleriano@gmail.com

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triangulo Mineiro, e-mail: anaflavia.agro@hotmail.com

⁴Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triangulo Mineiro, e-mail: marciosantana@iftm.edu.br

⁵Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triangulo Mineiro, e-mail: rodrigodmb@gmail.com

Hargreaves-Samani overestimated the values obtained through the methods of Blaney-Criddle and Penman-Monteith. The same occurred for blades estimated from the crop evapotranspiration (145.26; 359.47 e 431.86 mm, respectively).

Keywords: *Triticum* spp., irrigation management, calculation ETc.

INTRODUÇÃO

O trigo é o segundo cereal mais produzido no mundo, com significativo peso na economia agrícola global. No Brasil, o trigo é cultivado principalmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste (BRASIL, 2018).

Dentre os tratos culturais, a irrigação constitui uma alternativa viável para melhoria da produtividade, na qual sua finalidade básica é proporcionar água à cultura para atender sua exigência hídrica (SANTANA et al., 2008). O solo junto a interação com a água, determina o limite superior de umidade que determinado solo apresenta, a capacidade de campo, importante na armazenagem e disponibilidade de água para as plantas (ANDRADE; STONE, 2010).

Segundo trabalho de Alves & Silva (2007), ensaios de irrigação realizados no Estado de São Paulo mostraram que a época de aplicação e a quantidade de água aplicada influem na produtividade do trigo. Segundo Carvalho et al. (2011), uma das alternativas para se racionalizar o uso da água, é estimar a evapotranspiração da cultura (ETc), a partir da evapotranspiração de referência (ETo) e do coeficiente de cultura (Kc).

Segundo Sousa et al. (2010), a evapotranspiração de referência (ETo) é uma variável que pode ser afetada pelos fatores climáticos. O modelo de Penman-Monteith-FAO 56 é considerado padrão. Porém, outros métodos são utilizados para se estimar a evapotranspiração de referência, como os Hargreaves-Samani e Blaney-Criddle (Gonçalves et al. 2009).

A evapotranspiração da cultura (ETc) é uma variável dependente dos elementos meteorológicos, da cultura e do solo podendo ser medida diretamente (lisímetros) ou indiretamente, por equações combinadas (OLIVEIRA et al. 2013). O coeficiente de cultura (Kc) é determinado empiricamente, varia com a cultura e com seu estágio de desenvolvimento da cultura (FIGUERÊDO et al. 2009). O objetivo desse trabalho foi determinar a evapotranspiração da cultura do trigo e coeficiente de cultura a partir da evapotranspiração de referência calculada por três métodos de estimativa: Penman-Monteith; Blaney-Criddle e Hargreaves-Samani.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área experimental sob pivô central no Instituto Federal do Triângulo Mineiro, *Campus* Uberaba, MG, localizado a 800m de altitude, com latitude de 19° 39' 19" S e longitude de 47° 57' 27" W. O clima do local, segundo a classificação de Köppen é do tipo tropical quente e úmido, com inverno frio e seco (Aw), com precipitação e temperatura média anual de 1571 mm e 22,3°C, respectivamente (CLIMATE, 2017). A cultivar utilizada foi a BRS 264 desenvolvida pela EMBRAPA, de ciclo precoce com produtividade média de 6000 kg ha⁻¹, e classificada como grão duro.

As equações de ajuste das curvas características de retenção da água no solo para as camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros de umidade residual (θ_r) e de saturação (θ_s) ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); m e n independentes de ajuste da equação de Genuchten (adimensional).

Camada (cm)	Parâmetros			
	θ_r	θ_s	m	n
0-20	0.1155	0.305	0.11	4.6
20-40	0.225	0.115	0.13	6.83

A densidade média do solo para as camadas de 0-20 e 20-40 cm, obtida foi de 1,15 e 1,2 kg dm^{-3} , respectivamente. A umidade correspondente à capacidade de campo foi de 0,23 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ (tensão de água no solo média de 10 kPa na camada de 0-20 cm). O manejo da irrigação foi efetuado com turno de rega variável, via tensiometria (quando a tensão crítica atingia valores próximos de 20kPa). Os dados de balanço e água no solo foram coletados em seis parcelas. A parcela experimental foi constituída de 3m de comprimento e 3m de largura, o espaçamento entre linhas foi de 0,20m. As adubações de plantio e cobertura foram realizadas de acordo com o CFSEMG (1999) para fósforo, potássio e nitrogênio. Foram realizadas duas adubações de cobertura (com potássio e nitrogênio) aos 15 e 25 dias após a emergência (DAE).

As baterias de tensiômetros foram instaladas a 0,10 e 0,30 m de profundidade nas parcelas experimentais. Com as tensões observadas foram calculadas as umidades correspondentes, a partir da curva de retenção de água no solo (Tabela 1). Estimou-se a evapotranspiração de referência aplicando-se as equações de Penman-Monteith parametrizado

pela FAO 56, Blaney-Criddle e Hargreaves-Samani, (Eqs. 1, 2 e 3), respectivamente.

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (1)$$

Em que: ET_o - evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}); Δ - declividade da curva de pressão de vapor na saturação ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); Rn - saldo de radiação ($\text{MJ m}^2 \text{dia}^{-1}$); G - fluxo de calor no solo ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); U_2 - velocidade do vento a 2 metros de altura (m s^{-1}); T - temperatura média ($^\circ\text{C}$); e_s - pressão de vapor na saturação (kPa); e e_a - pressão de vapor atual (kPa).

$$ET_o = cp (0,46 T_{med} + 8,13) \quad (2)$$

Em que: c - coeficiente de ajuste, representado pela inclinação da reta dos nomogramas e p - porcentagem do total de fotoperíodo médio mensal ($^\circ\text{C}$) sobre o total de fotoperíodo anual, obtido na Tabela Doorenbos e Pruitt (1984).

$$ET_o = 0,0135 \times KT_x (T_{m\acute{e}dia} + 17,8) \times (T_{max} - T_{min})^{0,5} \times Ra \quad (3)$$

Em que: ET_o - evapotranspiração de referência (mm/dia); $T_{m\acute{e}dia}$ - temperatura média do mês ($^\circ\text{C}$); T_{max} - temperatura máxima do mês ($^\circ\text{C}$); T_{min} - temperatura mínima do mês ($^\circ\text{C}$); Ra - radiação extraterrestre (mm/dia) e KT - 0,162 para região interiorana.

A evapotranspiração da cultura foi estimada por meio do balanço de água no solo num volume de controle correspondente à profundidade de 0,3 m (Equação 4):

$$\Delta h = P + I \pm Q - ET_c - E \quad (4)$$

Em que: Δh - variação do armazenamento (mm); P - lâmina precipitada (mm); I - irrigação (mm); Q - lâmina que entra ou sai do contorno inferior (mm); ET_c - evapotranspiração (mm) e E - deflúvio superficial (mm).

Para o cálculo do deflúvio superficial (E), foram confrontadas as lâminas precipitadas com a lâmina infiltrada, fornecida pela equação de infiltração acumulada do solo, a qual foi

estimada com dados obtidos pelo método do infiltrômetro de anel, com base no modelo do tipo potencial (Equação 5):

$$I = aT^n \quad (5)$$

Em que: I - infiltração acumulada (L); a - parâmetro do solo, dependente da condição inicial de umidade ($L T^{-n}$); T - tempo de infiltração (T); e n - parâmetro característico do solo, adimensional e constante, cujo valor pode situar-se entre 0 e 1.

O movimento de água no contorno inferior (Q) foi determinado pela Equação de Darcy-Buckingham (Equação 6):

$$q = -K(\theta) \frac{d\psi}{dx} \quad (6)$$

Em que: q- densidade de fluxo da água no solo (mm h^{-1}); $K(\theta)$ - condutividade hidráulica do solo (mm h^{-1}); e $\frac{d\psi}{dx}$ - gradiente de potencial total (mm mm^{-1}).

A condutividade hidráulica do solo não saturado foi determinada pelo método de (Mualem 1976), conforme a Equação 7.

$$K(\theta) = K_0 w^L \left[1 - \left(1 - w^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2 \quad (7)$$

Em que: $w = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$

Em que: w- saturação relativa; K_0 - condutividade hidráulica do solo saturado; L- parâmetro empírico, que foi estimado por Mualem (1976) como sendo, aproximadamente 0,5, para a maioria dos solos (Libardi, 1996); θ - umidade atual do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ_r - umidade residual do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); e θ_s - umidade de saturação do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$).

Para a obtenção da condutividade

hidráulica do solo saturado (K_0) foi utilizado o Permeômetro de Guelph. A variação do armazenamento foi calculada com base na Equação 8, considerando-se a profundidade igual a 0,3 m.

$$\Delta h = (\theta_2 - \theta_1) \cdot z \quad (8)$$

Em que: Δh - variação de armazenamento no intervalo de tempo considerado (mm); θ_2 - umidade média no tempo final ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e θ_1 - umidade média no tempo inicial ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); e z= profundidade considerada para o balanço (300 mm).

O coeficiente de cultura K_c foi determinado conforme Equação 9.

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (9)$$

Em que: ET_c - evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1}) e ET_o - evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1A, nota-se que houve dois momentos em que a ET_o esteve com valores mais elevados, aproximadamente aos 50 dias após a semeadura (DAS) e entre os 80 e 90 DAS. O valor máximo atingido foi de 6,61 mm e o mínimo de 2,54 mm, correspondente aos 86 e 36 DAS. Para essas condições a média foi de 4,45 mm. Na Figura 1B, observa-se a dispersão dos valores decendiais da ET_o , destacando os dois maiores valores que se distanciam da linha de tendência da equação já citados anteriormente.

Nas Figuras 1C e 1D estão descritos os valores diários e médias decendiais da cultura do trigo, respectivamente, obtidos por meio do balanço de água no solo (nas parcelas experimentais).

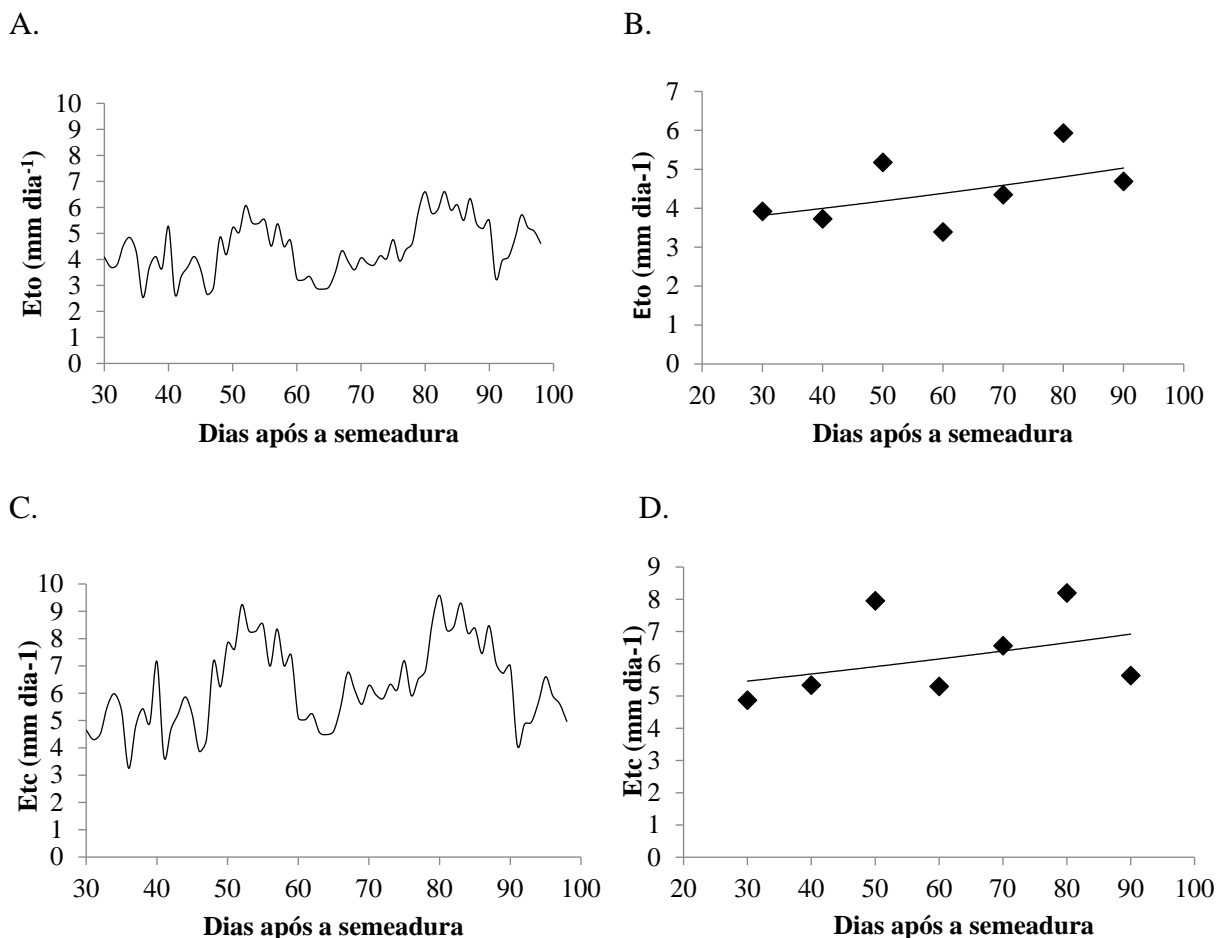


Figura 1. Valores de ETo estimados pelo método de Penman-Monteith e ETc: diários (A, C) e médias decenciais (B, D).

Na Figura 2A, com valores obtidos através do método de Blaney-Criddle, observa-se que houve uma variação na ETo conforme os dias após a semeadura, mantendo uma média de 3,73 mm. Nota-se, através da dispersão dos valores decenciais, que ao longo do ciclo houve aumento da ETo (Figura 2B), sendo que o valor máximo foi de 5,67 mm aos 95 DAS, e aos 47 DAS verificou-se a menor ETo, 2,29 mm. Considerando os valores diários de ETc, houve acompanhamento proporcional de valores obtidos de ETo, destacando-se as médias decenciais nos intervalos de 50, 60 e 70 DAS,

com valores mais elevados de 5,22; 5,76 e 5,97 mm, respectivamente.

No trabalho de Libardi & Costa (1997) utilizando-se lisímetro, foi observado o consumo de água crescente até a fase de formação de grãos quando a cultura apresentou uma demanda de água média de 5,48 mm dia⁻¹. Enquanto na pesquisa realizada na Embrapa Ponta Grossa, no Estado de Paraná, por Prevedello et al. (2007), foi encontrada evapotranspiração média de todo o período de 6,75 mm dia⁻¹.

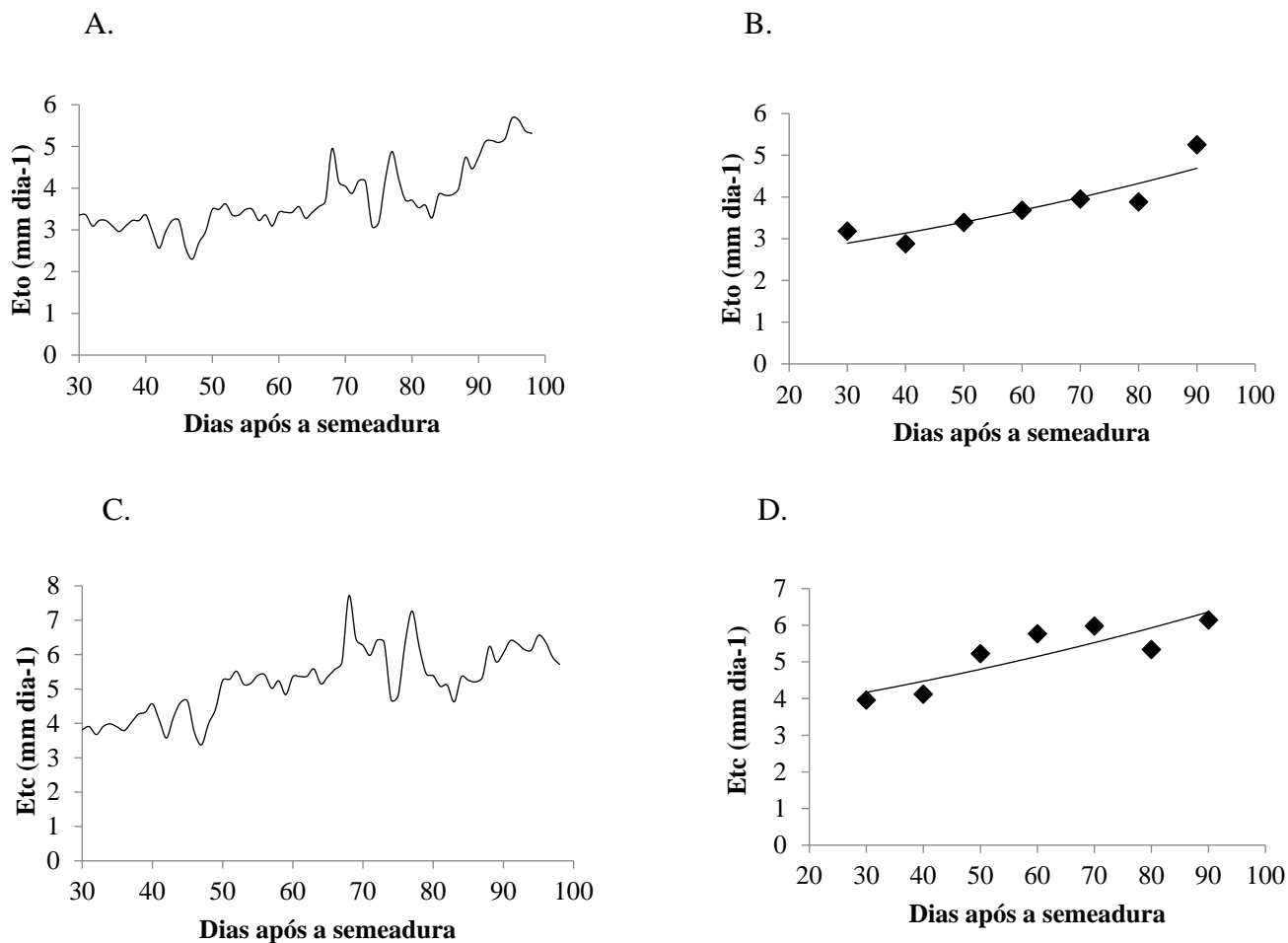
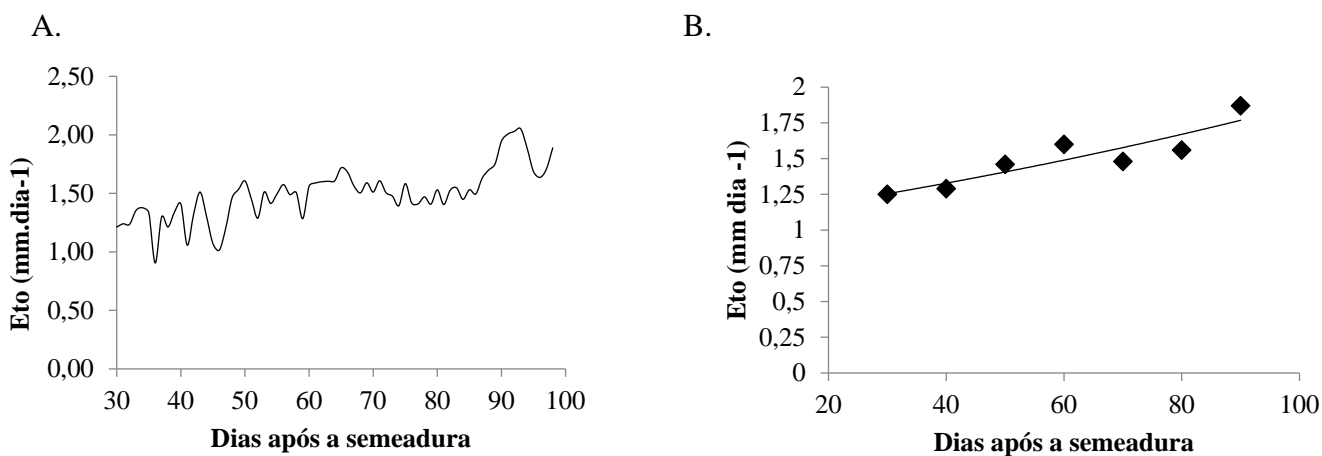


Figura 2. Valores de ETo estimados pelo método de Blaney- Criddle e ETc: diários (A, C) e médias decenciais (B, D).

Os valores de ETo estimados pelo modelo de Hargreaves-Samani, foram de forma geral, inferiores aos demais modelos estudados, sendo que a média observada foi de 1,50 mm (Figura

3A). A maior ETo ocorreu aos 93 DAS e foi equivalente ao valor de 2,05 mm. Já a menor ETo observada foi de 0,90 mm e ocorreu aos 36 DAS.



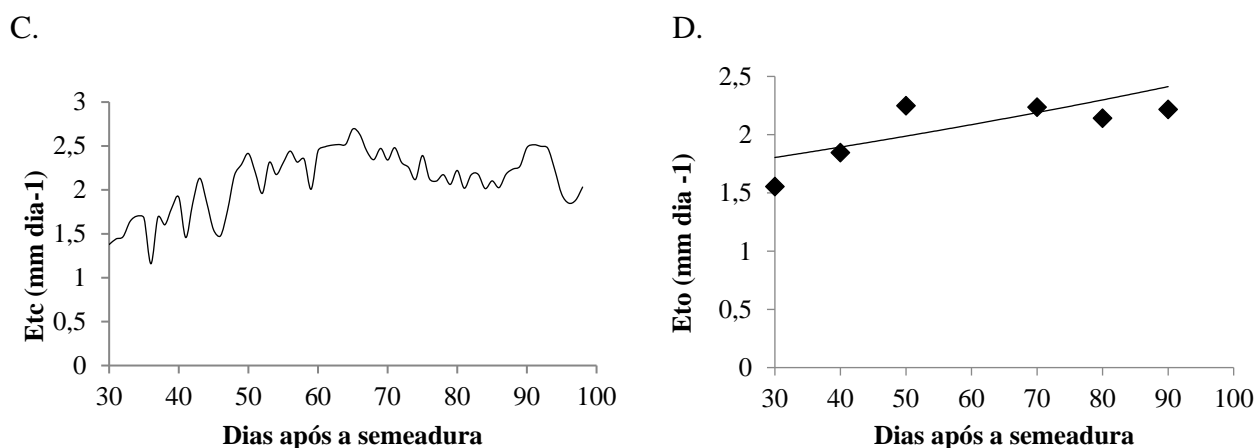


Figura 3. Valores de ETo estimados pelo método de Hargreaves-Samani e ETC: diários (A, C) e médias decenciais (B, D).

Comparando os três modelos (Figura 4), nota-se que os modelos de Blaney-Cridle e Hargreaves-Samani subestimaram os valores do modelo de Penman-Monteith. O mesmo foi observado no estudo comparativo entre os

métodos no trabalho de Souza (1998) realizado em sete municípios do Estado do Ceará. Sua conclusão, no que diz respeito aos métodos de Hargreaves e Penman-Monteith, foi também que o primeiro subestima a evapotranspiração.

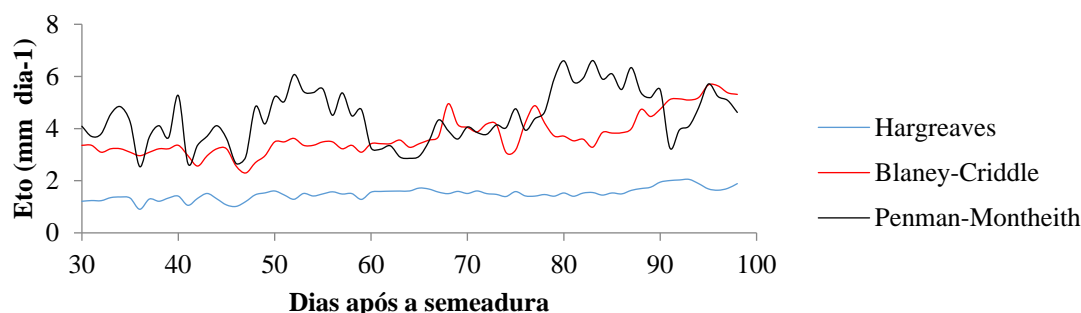


Figura 4. Comparação entre os métodos de estimativa de evapotranspiração de referência.

Os valores de ETC acumulada através dos métodos de obtenção de ETo de Penman-Monteith; Blaney-Cridle e Hargreaves-Samani foram: 431,87; 359,47 e 145,26 mm, respectivamente. Também apresentando médias de ETC acumulada: 6,26; 5,21 e 2,11, nessa mesma distribuição. Houve distanciamento dos valores totais de Hargreaves-Samani quando comparado aos outros dois métodos.

Experimentos realizados por Ferreira et al. (1973), nas condições de Viçosa (MG), apresentaram maiores produções de grãos quando foram aplicadas lâminas totais de água

de 531 mm durante o ciclo da cultura. Já para Doorenbos e Kassam (1979), a necessidade de água da cultura do trigo é de 450 a 600 mm, dependendo do clima e duração do ciclo.

Na Tabela 2, é possível observar os valores médios observados em cada uma das fases do ciclo da cultura do trigo. Os maiores valores de Kc são observados nos estádios de estabelecimento e floração para Blaney-Cridle e Penman-Monteith. O mesmo foi observado em trabalhos na cultura do trigo por Guerra et al. (2003), com 1,57 e 1,57 e Doorenbos e Kassam (1994) com valores 1,05 e 0,65 para esses estágios.

Tabela 2. Valores de Kc médio de cada um dos métodos em fases da cultura do trigo na região de Uberaba, MG comparando-se com outros trabalhos.

Dias após a semeadura	Kc				
	Blaney-Criddle	Hargreaves	Penman-Monteith	Guerra et al. 2003	Doorenbos e Kassam, 1994
Estabelecimento	1.75	4.11	1.33	0.70	0.7
Floração	1.23	2.83	0.92	1.57	1.05
Espigamento	0.93	2.24	0.86	1.57	0.65
Maturação/Colheita	0.71	1.87	0.62	0.60	0.2

Os valores observados pelo método de Hargreaves-Samani encontram-se superestimados em relação aos outros dois métodos, principalmente quando se relaciona ao método de Penman-Monteith favorecendo ao fato de que essa equação pode não ser adequada para a região de Uberaba, MG.

CONCLUSÕES

1. Para estimativa de evapotranspiração de referência é adequada as equações de Penman-Monteith e Blaney-Criddle para a cultura do trigo nas condições em que foram submetidos esse trabalho;

2. Os valores de coeficiente da cultura obtidos pelo método de Hargreaves-Samani superestimaram os valores dos métodos de Penman-Monteith e Blaney-Criddle, advindo de valores de evapotranspiração de referência observados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, S. M.; SILVA, F. F. da. Irrigação na agricultura: o caso do trigo. **Revista Cesumar - Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**, v. 12, n. 2, p. 239-249, 2007.

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. Estimativa da umidade na capacidade de campo em solos sob cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 15, n. 2, p. 111-116, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000200001>.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Trigo**. Verão eletrônica. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/trigo>>. Acesso em: 09 de setembro de 2018.

CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; NETO, P. C. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011. <http://dx.doi.org/0.5216/pat.v41i3.12760>.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Lavras, p. 359, 1999.

Climate - Data.org. Clima: Uberaba. Disponível em: <<http://pt.climate-data.org/location/2878/>>. Acesso em: 1 de setembro de 2018.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. Yield response to water. Rome: FAO, (**Irrigation and Drainage Paper**, 33); p. 193; 1979.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1984.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. M. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: FAO, (**Estudos FAO, Irrigação e Drenagem** 33), 1994.

- FERREIRA, P. A.; CARDOSO, A. A.; FERNANDES, B.; PARENTES, A. C. Efeito de diferentes níveis de tensão de umidade no solo sobre a produção do trigo. **Revista Ceres**, v. 20, p. 129-135, 1973.
- FIGUERÊDO, V. B.; de MEDEIROS, J. F.; ZOCOLER; J. L.; SOBRINHO, J. E. Evapotranspiração da cultura da melancia irrigada com água de diferentes salinidades. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 2, p. 231-240, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162009000200006>.
- GONÇALVES, F. M.; FEITOSA, H. de OLIVEIRA; de CARVALHO, C. M.; GOMES, R. R.; VALMIR, M. Comparação de métodos da estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Sobral- CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 3, n. 2, p. 71-77, 2009. <http://dx.doi.org/10.7127/RBAI.V3N200016>.
- GUERRA, A. F.; RODRIGUES, G. C.; ROCHA, O. C.; EVANGELISTA, W. **Necessidade hídrica no cultivo de feijão, trigo, milho e arroz sob irrigação no bioma do cerrado**, Embrapa Cerrados, 1 ed., p. 15, 2003.
- LIBARDI, V. C. M.; COSTA, M. B. Consumo d'água da cultura do trigo (*Triticum aestivum*, L.). **Revista da Faculdade de Zootecnia Veterinária e Agronomia de Uruguaiana**, v. 4, n. 1, p. 17-22, 1997.
- OLIVEIRA, G. M.; LEITÃO, M. V. B. R.; BISPO, R. C.; SANTOS, I. M. S.; LIMA, C. B. de A.; de CARVALHO, A. R. P. Coeficiente de cultura e produtividade da cebola submetida a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 17, n. 9, p. 969-974, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000900009>.
- PREVEDELLO, C. L.; MAGGIOTTO, S. R.; LOYOLA, J. M. T.; DIAS, N. L.; BEPLER NETO, G. Balanço de água por aquisição automática de dados em cultura de trigo (*Triticum aestivum* L.). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 1, p. 1-8, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000100001>.
- SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; ANDRADE, M. J. B.; BRAGA, J. C.; GERVÁCIO, G. G. Coeficiente de cultura e análise do rendimento do feijoeiro sob regime de irrigação, **Irriga**, v. 13, n. 1, p. 92-112, 2008. <https://doi.org/10.15809/irriga.2008v13n1p92-112>.
- SOUSA, I. F. de; SILVA, V. P. R. da; SABINO, F. G.; NETTO, A. de O.; SILVA, B. K. N.; Azevedo, P. V. Evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 633-644, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000600010>.
- SOUZA, F. Avaliação dos Estudos Hidroclimatológicos do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Ceará: I – Evapotranspiração. Encontro das Águas, IICA, **Resumos...** Fortaleza, Ceará. 1998.