



ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA POR DIFERENTES EQUAÇÕES PARA O SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO

P. H. M. de S. Carvalho¹, W. R. S. Costa², J. da S. e Silva³, S. O. P. de Queiroz⁴

RESUMO: O presente trabalho teve como objetivo a comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência no vale do Submédio São Francisco, tomando como padrão o método de Penman-Montheit. Os dados meteorológicos para o cálculo da ETo foram coletados da estação meteorológica da Universidade do Estado da Bahia – UNEB Campus DCTS III e analisados para o período de 2010 a 2015, em escala mensal, sendo determinados por meio das equações empíricas de Hargreaves & Samani e Blaney-Criddle e, posteriormente, comparadas ao método padrão. Aos dados foi aplicada a análise de regressão, sendo considerados os parâmetros da equação de regressão “a” e “b”, coeficiente de determinação (r^2), de correlação (r), concordância (d) e índice de desempenho (c). Comparando-se os métodos empíricos com o método padrão da FAO, ambos subestimaram os valores de ETo. Porém, nas condições edafoclimáticas do Submédio São Francisco, o método de Hargreaves & Samani pode ser uma alternativa diante da falta de dados para a estimativa de ETo.

PALAVRAS-CHAVE: Penman-Montheith FAO, agrometeorologia, manejo da irrigação.

EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATION OF REFERENCE FOR DIFFERENT EQUATIONS FOR THE SÃO FRANCISCO SUBMEDIATE

ABSTRACT: The present work had as objective and comparison of three methods of estimation of the reference evapotranspiration without valley of the Submédio São Francisco, taking as standard the Penman-Montheit method. The meteorological data for the calculation of ET and the fuels of the meteorological station of the State University of Bahia - UNEB Campus DCTS III and analyzed for the period from 2010 to 2015, on a monthly scale, are determined by means of the empirical equations of Hargreaves and Samani And Blaney-Criddle and, later, compared to the standard method. The coefficient of determination (r^2), correlation

¹Acadêmico de Engenharia Agrônoma, UNEB – Juazeiro - Bahia. Email: pedrocarvalho2008@hotmail.com

²Acadêmico de Engenharia Agrônoma, UNEB – Juazeiro - Bahia. Email: ralfw20@gmail.com

³Acadêmico de Engenharia Agrônoma, UNEB – Juazeiro - Bahia. Email: jamersonsilva28@gmail.com

⁴Doutor, Pesquisador e Professor titular da Universidade do Estado da Bahia – UNEB – Juazeiro – Bahia. Email: sopqueiroz@gmail.com

(r), agreement (d) and performance index (c), coefficient of determination (r^2), correlation (r). Comparing empirical methods with the FAO standard method, both underestimated the ETo values. However, under the soil and climatic conditions of the São Francisco Subdivision, the Hargreaves and Samani method may be an alternative to the lack of data for an ETo estimate.

KEYWORDS: Penman-Monteith FAO, agrometeorology, irrigation management.

INTRODUÇÃO

O crescente consumo de água é um problema complexo em todo o mundo, sendo de significativa importância atingir a maior eficiência possível para um manejo adequado, especialmente na agricultura (BUSKE et al., 2014; LUCENA et al., 2016). Para Soares et al. (2010) a água é um dos fatores de produção que mais restringe à produtividade das plantas cultivadas, principalmente em regiões com precipitações pluviárias imprevisíveis. Nesse aspecto, ressalta o manejo consciente da água na agricultura irrigada, o qual pode estar sujeito a diversos fatores, como a quantificação correta do conteúdo de água perdido por evapotranspiração dos cultivos (ET_c) (OLIVEIRA et al., 2010).

A região do submédio São Francisco apresenta características climáticas e infraestrutura para irrigação que favorecem, com pleno suprimento de água e tecnologia de irrigação adequada a produção. As condições climáticas permitem colocar produtos em janelas do mercado internacional, em condições competitivas, além de permitir a obtenção de um maior número de safras. Nesse contexto, a irrigação e, especialmente, seu manejo, podem maximizar os ganhos do produtor, favorecendo a produção na entressafra, reduzindo assim, o consumo de energia e água e elevando a qualidade da produção.

A estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) é a principal ferramenta para determinação da necessidade hídrica das culturas (VICENTE et al., 2014), podendo ser determinada de modo direto ou indireto, este último possibilitando resultados satisfatórios, reduzindo custo e tempo, quando confrontados aos métodos diretos (ALVES SOBRINHO et al., 2011).

Um método eficiente de estimativa de evapotranspiração de referência e parametrizado pela FAO é o de Penman-Monteith, sendo mais eficaz por ser um método combinado, utilizando um conjunto de dados climáticos, o que está referenciado por (Doorenbos & Pruitt., 1977).

Allen et al. (1998) propõem o uso do método Hargreaves & Samani (HG) quando não é possível ter dados climáticos suficiente para o cálculo de Penman-Monteith (PM), sendo

empregado apenas a variabilidade da temperatura. Outro método que pode ser usado, diante da falta de dados pormenorizados, é o de Blaney – Criddle (BC). Assim, o presente trabalho teve como objetivo a comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência no vale do Submédio São Francisco, tomando como padrão o método de Penman-Monteith.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo baseou-se em dados coletados pela estação meteorológica automática do Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais – DTCS, da Universidade do Estado da Bahia – UNEB, no município de Juazeiro, BA, cujas coordenadas geográficas são 9°25'10" latitude sul e 40°29'16" longitude oeste e altitude de 367 m. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é classificado como BSwH, árido com precipitação anual total média compreendida entre 380 e 760 mm e temperatura média anual do ar maior que 18 °C.

Os dados meteorológicos, utilizados no presente estudo, tiveram base diária, abrangendo o período entre os anos de 2010 a 2015, baseando-se nas seguintes variáveis climáticas: Temperatura Máxima do ar (°C), Temperatura Mínima do ar (°C), Umidade Relativa do ar (%), Velocidade do Vento a 10 metros de altura (m/s) e Radiação Solar Global (MJ m⁻² dia⁻¹).

As equações para o cálculo da ETo pelos métodos são apresentadas abaixo:

Método de Penman-Monteith

O método de PM é recomendado pela FAO para estimativa de evapotranspiração de referência (ETo).

$$ETo = \frac{0,408 * \Delta * (Rn - G) + \gamma * \frac{900}{Tmed + 273,16} * U_2 * (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma * (1 + 0,34 * U_2)}$$

Sendo que ETo é a Evapotranspiração de Referência obtida pelo método de Penman-Monteith (mm dia⁻¹), Rn é o saldo de radiação (MJ m⁻² dia⁻¹), G é a densidade do fluxo de calor no solo, que em nosso caso, consideramos sempre sendo como G=0, Δ é a declinação da curva de saturação do vapor de água (kPa °C), U₂ é a velocidade do vento (média diária) a 2 metros acima da superfície do solo (m/s), T_{med} é a temperatura média do ar (°C), e_s é a pressão de saturação do vapor (kPa), e_a é a pressão atual do vapor (kPa) e γ é o fator psicrométrico (MJ kg⁻¹).

Método de Hargreaves & Samani

O cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves & Samani é menos complexo do que aquele obtido pelo método de Penman-Monteith FAO. Considera apenas temperatura média, máxima e mínima, obtendo a evapotranspiração de referência estimada em mm dia⁻¹.

$$ET_o = 0,0023(T_{med}+17,8)*(T_{max}-T_{min})^{0,5}*Ra$$

Sendo que ET_o é a Evapotranspiração de Referência obtida pelo método de Hargreaves & Samani (mm dia⁻¹), T_{med} é a temperatura média do ar (°C), T_{max} é a temperatura máxima do ar (°C), T_{min} é a temperatura mínima do ar (°C) e Ra é a radiação solar no topo da atmosfera (mm dia⁻¹).

Método Blaney – Criddle

Relaciona valores da evapotranspiração mensal com o produto da temperatura média mensal pela percentagem mensal das horas anuais de luz solar. Após ajustes climáticos locais, propostos pela FAO, o cálculo da ET_o é realizado através da seguinte expressão:

$$ET_o = c * [(0,457*T + 8,13) * \frac{P}{100}]$$

Sendo:

ET_o – evapotranspiração de referência, mm mês⁻¹;

c – coeficiente regional de ajuste da equação;

T – temperatura média mensal, C;

P – percentagem mensal das horas anuais de luz solar.

Os valores de “P” variam em função da latitude e o valor de “c” é obtido a partir das condições regionais de brilho solar, velocidade do vento e mínima umidade relativa, diurnas. Aplicaram-se os parâmetros da equação de regressão “a” e “b”, coeficiente de determinação (r^2), de correlação de Pearson (r), concordância (d) de Willmott (1982) e índice de desempenho (c), como apresentado por Camargo e Sentelhas (1997), sendo calculado pelas seguintes equações:

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n [(|P_i - \bar{O}|) + (O_i - \bar{O})]^2} \quad (1)$$

Em que:

P_i : valor estimado;

O_i : valor observado;

\bar{O} : média dos valores observados.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2][\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2]}} \quad (2)$$

Em que:

x_1 e y_2 : valores medidos das variáveis x e y ;

\bar{x} e \bar{y} : médias dos valores medidos de x e y .

$$c = r \times d \quad (3)$$

Os valores do índice “ c ” variam de 0,0 para nenhuma concordância até 1,0, quando a concordância é perfeita entre os dados, qualificando os resultados de acordo com a Tabela 1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os métodos avaliados em relação à Penman-Monteith-FAO (PM) mostraram uma boa correlação. Os valores de r , d e c , considerando cada método alternativo aplicado, estão relacionados na tabela 2.

O índice de confiança “ c ” entre o método padrão FAO e Hargreaves & Samani (1985) foi de 0,99, considerado ótimo de acordo com Camargo & Sentelhas (1997). Comparado ao encontrado por Medeiros (2002), o coeficiente de confiança “ c ” foi de 0,45 para o município de Paraipaba, Ceará. A baixa relação de desempenho pode ser causada pela pouca variação de temperatura na região litorânea do Ceará. Os resultados obtidos com o método de Blaney – Criddle (1975) foi considerado ótimo, apresentando um índice de confiança de 0,99.

A estimativa da evapotranspiração obtido pelos métodos HG e BC é ainda mais fácil, quando comparada ao método Penman-Monteith, pois necessita apenas dos dados de temperatura do ar, tornando-os simples e práticos.

A figura 1 e 2 explanam a comparação dos valores mensais da evapotranspiração de referência (ET_o) obtidas pelo método de Penman-Monteith, quando comparadas aos métodos empíricos de Hargreaves & Samani e Blaney – Criddle. Pode-se observar que o método de HG e BC subestimam os valores de ET_o, quando comparados ao método padrão.

Observa-se que o método que mais aproximou ao adotado como padrão foi o método de HG, gerando um coeficiente de determinação (R^2) de 0,66, indicando uma correlação regular, porém, diante de áreas restritas a cobertura meteorológica, pode se tornar uma alternativa.

Segundo Carvalho et al. (2011) quando ocorre a falta de dados climáticos, fica impossibilitada a aplicação do método adotado como padrão pela FAO 56 (Penman-Monteith) e, com isso, podem ser adotados métodos com melhor ajuste às condições climáticas da região.

CONCLUSÕES

Comparando os métodos de Hargreaves & Samani e Blaney-Criddle com o método padrão da FAO, ambos subestimaram os valores de ETo. Porém, nas condições edafoclimáticas do Submédio São Francisco, o método de Hargreaves & Samani pode ser uma alternativa diante da falta de dados para a estimativa de ETo.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Pan evaporation method. In: Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements. Roma: FAO, p. 78-85, 1998. (Irrigation and Drainage, 56).
- ALVES SOBRINHO, T.; RODRIGUES, D.B.B.; OLIVEIRA, P.T.S.; REBUCCI, L.C.S.; PRETUSSATTI, C.A. Estimativa da evapotranspiração de referência através de redes neurais artificiais. Revista Brasileira de Meteorologia, v.26, n.2, p.197-203, 2011.
- BUSKE, T. C. et al. Determinação da umidade do solo por diferentes fontes de aquecimento. Irriga, Botucatu, v. 19, n. 2, p. 315-324, abril-junho, 2014.
- CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, P. C. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011.
- COELHO, R.D.; SCHMIDT W., JACOMAZZI, M.A., ANTUNES, M.A.H. 2004. Distribuição espacial de pivôs centrais no Brasil: I - região sudeste. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 8, n. 2-3, p. 7.
- DROOGERS, P.; ALLEN, R. G. 2002. Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. Journal Irrigation Drain. Eng., 16(1), 33-45.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Necessidades hídricas das culturas. Trad. De H. Ghey, J.E.C. Metri e F.A.V. Damasceno. Campina Grande: UFPB, 202p (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 24).
- FERNANDES, D.S.; HEINEMANN, A.B.; PAZ, R.L.F.; AMORIM, A. O. Calibração regional e local da equação de Hargreaves para estimativa da evapotranspiração de referência. Revista Ciência Agronômica, v. 43, n. 2, p. 246-255, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902012000200006>

HARGREAVES, G. H. 1989. Accuracy of estimated reference crop evapotranspiration. *Journal Irrigation Drain. Eng.*, 115(6), 1000–1007.

HARGREAVES, G. H.; ALLEN, R. G. 2003. History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. *Journal Irrigation Drain. Eng.*, 129(1), 53–63.

LUCENA, F. A. P. et al. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência no município de Bom Jesus, Pi. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* v.10, nº.3, p. 663 - 675, 2016. <http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v10n300404>

MEDEIROS, ALMIRO TAVARES. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas em Paraipaba, Ce. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. – Piracicaba, 2002.

OLIVEIRA, G.M.; LEITÃO, M.M.V.B.R.; BISPO, R.C.; SANTOS, I.M.S.; ALMEIDA, A.C. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência na região Norte da Bahia. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, Fortaleza*, v.4, n.2, p.104–109, 2010.

SOARES, F. C. et al. Resposta da produtividade de híbridos de milho cultivado em diferentes estratégias de irrigação. *Irriga, Botucatu*, v. 15, n. 1, p. 36-50, jan./mar. 2010.

VICENTE, M. R. et al. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o vale do Jequitinhonha. *Gl. Sci Technol, Rio Verde*, v. 07, n. 02, p.106 – 118, maio/ago. 2014. <http://dx.doi.org/10.14688/1984-3801/gst.v7, n2, p.106-118>

Tabela 1- Classificação do desempenho segundo o índice de confiança "c"

Valor de "c"	Desempenho
$\geq 0,85$	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mal
$\leq 0,40$	Péssimo

Tabela 2- Relação dos coeficientes analisados

MÉTODOS	R ²	r	d	c	Desempenho
HG	0,66	1	0,999835	0,999835	Ótimo
BC	0,30	1	0,999846	0,999846	Ótimo

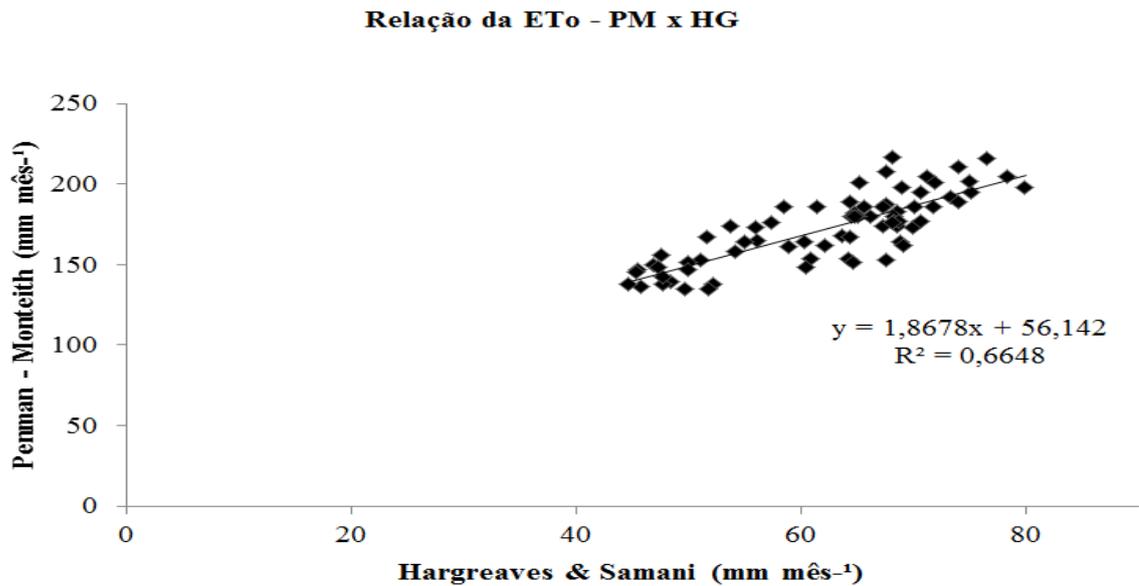


Figura 1 - Regressão linear da ETo - Hargreaves em função da ETo – Penman-Monteith.

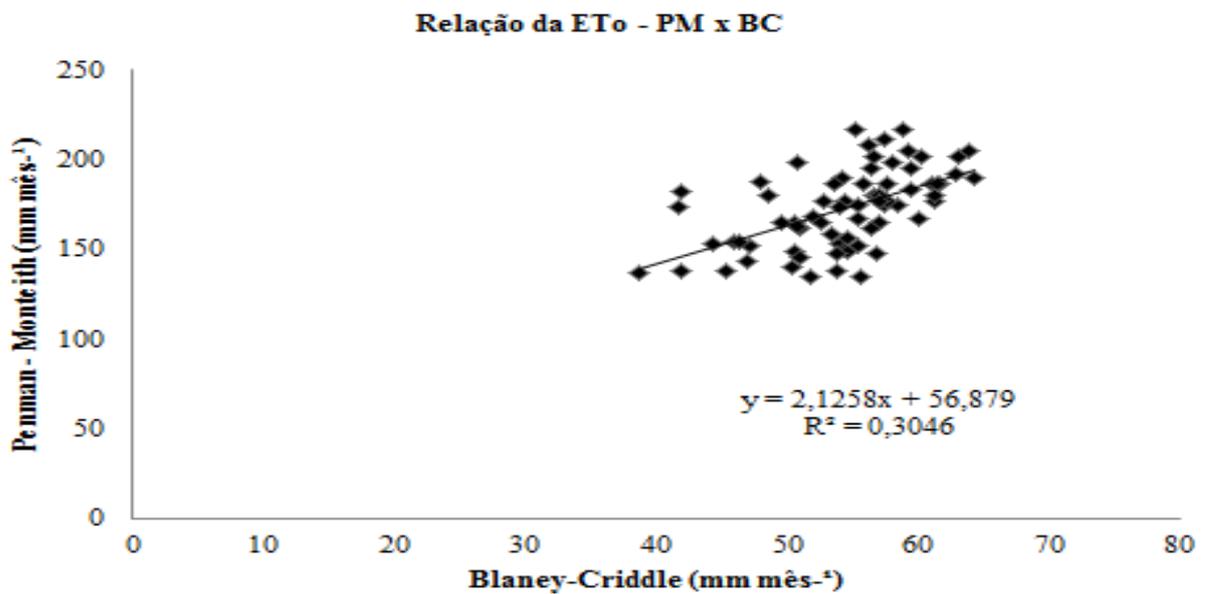


Figura 2 - Regressão linear da ETo – Blaney - Criddle em função da ETo – Penman-Monteith.