



ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA POR DIFERENTES MÉTODOS PARA O MUNICÍPIO DE ARAPIRACA- AL

L. F. F Costa¹, J. C da Silva², C. B da Silva³, S. B. T. dos Santos⁴, D. P. dos Santos⁵, M. A. L dos Santos⁶

RESUMO: Considerando a escassez hídrica presente no nordeste brasileiro, faz-se necessário o uso da água de forma racional, com a utilização de práticas adequadas de irrigação. Assim, a evapotranspiração é uma importante variável do ciclo hidrológico, sendo essencial sua estimativa para o manejo de irrigação. Objetivou-se avaliar o desempenho dos métodos de Hargreaves-Samani, Radiação Solar e Blaney-Criddle, em comparação com o método de Penman-Monteith, na estimação da evapotranspiração de referência para o município de Arapiraca-AL. Foram utilizadas variáveis climáticas referentes ao período de março a junho de 2016, da estação meteorológica automática do INMET, na cidade de Arapiraca- AL. Para a análise comparativa entre os resultados de cada método com o padrão, utilizou-se a regressão linear simples, o coeficiente de correlação de Pearson (r), o índice de concordância Willmott (d), e o índice de confiança de Camargo & Sentelhas (c). Os valores de ETo obtidos pelos métodos de Radiação Solar(R-S) e Blaney-Criddle (B-C) apresentaram os melhores desempenhos para os métodos estatísticos estudados, e na falta das variáveis necessárias para determinação da ETo pelo método padrão, podem preferencialmente fazendo-se as devidas correções pelas equações obtidas, serem usados para determinação da ETo. Não sendo possível a correção com as equações, o método de B-C é o mais indicado para a região.

PALAVRAS-CHAVE: Fatores climáticos, água, Penman-Monteith.

EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATION OF DIFFERENT METHODS FOR THE ARAPIRACA- MUNICIPALITY

¹ Acadêmico de Agronomia, UFAL, Arapiraca – Alagoas. E-mail: luis.costa@arapiraca.ufal.br,

² Mestranda em Agricultura e Ambiente, UFAL, Arapiraca – Alagoas. E-mail: julianna_cds@hotmail.com

³ Mestranda em Agricultura e Ambiente, UFAL, Arapiraca – Alagoas. E-mail: cinara_cbs@hotmail.com

⁴ Acadêmico de Agronomia, UFAL, Arapiraca – Alagoas. E-mail: barbosa_samuel@hotmail.com

⁵ Doutoranda em Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife – Pernambuco. E-mail: daniellapsantos@hotmail.com

⁶ Doutor em Irrigação e drenagem ESALQ/USP, Professor Associado da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Arapiraca – Alagoas. E-mail: mal.santo@hotmail.com

ABSTRACT: Considering the water scarcity present in northeastern Brazil, it is necessary to use water in a rational way, with the use of adequate irrigation practices. Thus, evapotranspiration is an important variable in the hydrological cycle, and its estimation for irrigation management is essential. The objective of this study was to evaluate the performance of the Hargreaves-Samani, Solar Radiation and Blaney-Criddle methods, in comparison with the Penman-Monteith method, in the estimation of reference evapotranspiration for the municipality of Arapiraca-AL. Climatic variables were used for the period from March to June 2016, from the INMET automatic meteorological station, in the city of Arapiraca-AL. For the comparative analysis of the results of each method with the standard, the simple linear regression, the Pearson correlation coefficient (r), the Willmott concordance index (d), and the Camargo & Sentelhas confidence index (w). The values of E_{To} obtained by the Solar Radiation (RS) and Blaney-Criddle (BC) methods showed the best performances for the statistical methods studied, and in the absence of the necessary variables for determination of E_{To} by the standard method, Due to equations obtained, are used to determine E_{To} . Since it is not possible to correct the equations, the B-C method is the most suitable for the region.

KEYWORDS: Climate factors, Water, Penman-Monteith.

INTRODUÇÃO

Existem diversos métodos para determinação da evapotranspiração, sejam eles diretos ou indiretos. Dentre os métodos diretos destaca-se a utilização dos lisímetros e do balanço hídrico no solo. No caso dos métodos indiretos, destaca-se o modelo de Penman-Monteith, recomendado pela FAO (Food and Agriculture Organization) no boletim de Irrigação e Drenagem nº 56 (FAO-56), como padrão para determinação da evapotranspiração de referência (Allen et al., 1998).

A taxa evapotranspirométrica é normalmente expressa em lâmina por unidade de tempo, sabendo que a lâmina é a razão de volume por área, a evapotranspiração representa o volume de água perdido em determinada área durante certo tempo (CARVALHO; OLIVEIRA, 2012).

De acordo com Allen et al. (2006) a evapotranspiração de referência é definida como a taxa de evapotranspiração de uma superfície de referência, coberta por uma cultura hipotética com altura de 0,12 m, resistência aerodinâmica de superfície de 70 s m^{-1} e albedo de 0,23, com altura uniforme, sem restrições de água, crescendo ativamente e sombreando completamente o solo.

A evapotranspiração de referência (ET_o) ou evapotranspiração potencial (ET_p) é um parâmetro agrometeorológico indispensável para o planejamento e manejo de irrigação, e também é considerada elemento do balanço hídrico, daí sua aplicação em estudos meteorológicos, climatológicos e hidrológicos (CARVALHO et al., 2011).

Ao longo dos anos, de acordo com Carvalho et al. (2011), muitos métodos foram desenvolvidos para a estimativa da evapotranspiração de referência. Três importantes razões concorreram para isto: adequação do método às condições climáticas da região, simplicidade de uso e limitação de elementos meteorológicos ou climatológicos que alimentam estes métodos, pois existem métodos mais complexos, utilizando mais variáveis em detrimento a outros mais simples. Devido à diversidade de métodos existentes, em razão da grande variabilidade dos parâmetros que influenciam o fenômeno e, também considerando o empirismo de muitos deles é comum haver pesquisas para avaliar o método que tem maior aplicabilidade ao local de estudo (CHAVES, 2015).

Os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência podem ser baseados em: radiação, evaporação, temperatura, umidade, de múltiplas correlações e combinados (PEREIRA et al., 1997). Assim, dependendo dos princípios envolvidos no desenvolvimento do método de estimativa da ET_o, tais podem ser agrupados em categorias: empíricos, aerodinâmicos, baseados no balanço de energia, combinados e correlação de turbilhões (CHAVES, 2015).

Objetivou-se avaliar o desempenho dos métodos de Hargreaves-Samani, Radiação Solar e Blaney-Criddle, em comparação com o método de Penman-Monteith, na estimação da evapotranspiração de referência para o município de Arapiraca-AL.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas variáveis climáticas referentes ao período de março a junho de 2016, da estação meteorológica automática do INMET, na cidade de Arapiraca- AL. Os dados meteorológicos foram utilizados na análise comparativa dos modelos matemáticos de estimativa de evapotranspiração de referência (ET_o) por meio dos métodos: Penman-Monteith, Hargreaves-Samani, Radiação Solar e Blaney-Criddle, cujos dados foram obtidos da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) da cidade de Arapiraca, localizada a aproximadamente 8 km da área experimental. Esses dados foram inseridos em planilhas eletrônica do excel para obtenção da ET_o.

Método de Penman-Monteith (FAO):

A estimativa da evapotranspiração diária pelo método padrão FAO Penman-Monteith, foi estimada pela Equação 1 (ALLEN et al., 1998)

$$ET_o = \frac{\delta}{\delta + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)} \frac{(R_n - G)}{\lambda} + \frac{\gamma}{\delta + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)} \frac{900}{T + 273,15} U_2 \quad (1)$$

Método de Hargreaves-Samani:

O método de Hargreaves-Samani, para estimativa da (ET_o) diária, em mm d⁻¹, foi apresentada por (PEREIRA et al., 1997)

$$ET_o = 0,0023 R_n (T + 17,8) \sqrt{T_{\max} - T_{\min}} \quad (2)$$

Método de Blaney-Criddle modificada por Frevert et al., (1983):

Para estimativa por este método utilizou-se a versão mais conhecida que é a apresentada por Doorenbos; Pruitt (1977) modificada por Frevert et al., (1983). Segue as Equações 3, 4 e 5

$$ET_o = a + b \cdot p \cdot (0,46 T_{\text{méd}} + 8,13) \quad (3)$$

$$a = 0,0043 UR_{\text{mín}} - \frac{n}{N} - 1,41 \quad (4)$$

$$b = 0,82 - 0,0041 UR_{\text{mín}} + 1,07 \left(\frac{n}{N}\right) + 0,0656 U_2 - 0,00597 UR_{\text{mín}} \left(\frac{n}{N}\right) - 0,000597 UR_{\text{mín}} U_2 \quad (5)$$

Método da Radiação (FAO 24):

Para estimativa da ET_o por este método, Doorenbos; Pruitt (1975) utiliza a seguinte equação:

$$ET_o = a + b (WR_s) \quad (6)$$

Comparação entre os métodos de estimativa da ET_o:

Os valores de ET_o determinados pelo modelo de Penman-Monteith foram comparados com os obtidos pelos demais modelos, utilizando análise de correlação e regressão linear para obtenção dos coeficientes da equação (Y = a + bx) e do coeficiente de determinação (R²). Para a exatidão dos métodos empíricos, foi realizada a análise para a determinação do coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d) de Willmott et al. (1985) e o índice de desempenho (c).

r = coeficiente de correlação; R^2 = coeficiente de determinação.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum(P_i - O_i)^2}{\sum(|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (7)$$

Onde: d = coeficiente de concordância; P_i = evapotranspiração estimada pelo método testado (mm); O_i = evapotranspiração estimada pelo método padrão (mm); O = média dos valores observados pelo método padrão (mm).

$$c = d \times r \quad (8)$$

Em que: c = índice de desempenho; d = coeficiente de concordância e r = coeficiente de correlação.

Na Tabela 1 constam os critérios adotados para interpretação dos métodos de estimativa da ETo utilizando o índice de desempenho “c”.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se baixos valores de coeficiente de determinação ($r^2 = 0,30$) e baixo coeficiente de correlação ($r = 0,55$) para o método de Hargreaves-Samani (H-S), indicando que o método não é preciso para estimar a ETo (Tabela 3). Nota-se altos valores de coeficiente de determinação ($r^2 = 0,92$ e $0,91$) e altos coeficientes de correlação ($r = 0,96$ e $0,95$) para os métodos de Radiação Solar (R-S) e Blaney-Criddle (B-C), mostrando a precisão das estimativas da ETo pelos métodos (Tabela 3). Corroborando com os resultados de Chagas et al. (2013) no município de Rio Real, Bahia, em que concluíram que o método de Hargreaves-Samani obteve avaliação inferior para todos os critérios de comparação com relação aos demais métodos de estimativa de ETo.

H-S = Hargreaves-Samani; R-S = Radiação Solar; B-C = Blaney-Criddle; r^2 = Coeficiente de determinação; r = Coeficiente de correlação; d = Coeficiente de concordância; c = índice de desempenho.

Os métodos que apresentaram melhores desempenhos para os demais parâmetros estatísticos analisados foram Radiação solar (R-S) ($d=0,95$; $c=0,91$) e Blaney-Criddle (B-C) ($d=0,95$; $c= 0,90$), apresentando desempenho classificado como ótimo. Para o método de Blaney-Criddle, tanto Almeida et al. (2010), em Fortaleza-CE quanto Cavalcanti Junior et al. (2010) em Mossoró-RN obtiveram desempenho “Ótimo” e R^2 igual a $0,92$ e $0,96$, respectivamente. O método de Blaney-Criddle foi desenvolvido para condições áridas, daí se justifica os bons resultados quando utilizou-se esse método.

Moura et al. (2013) em Vitória de Santo Antão – PE e Mendonça e Dantas (2010), em estudo realizado em Capim-PB, encontraram que o método de radiação Solar apresentou melhor correlação em relação à Penman-Monteith FAO.

O método de H-S, apresentou um desempenho sofrível ($d=0,95$; $c=0,52$) de acordo com as estimativas dos valores de ET_o obtidos nesse. Este resultado pode ser explicado devido a ocorrência de 202 mm de chuva, durante o período do experimento, condição favorável para influenciar nos parâmetros de ajustamento do método de H-S, uma vez que este é recomendado para regiões áridas. Lucena et al. (2016) no município de Bom Jesus, PI comparando a ET_o no período chuvoso e seco para esse método também encontrou um desempenho sofrível ($c=0,5747$; $d=0,99$) para o método de H-S no período de chuvas, enquanto que no período seco o método de Hargreaves-Samani, apresentou-se com desempenho caracterizado como bom, com índices ($c=0,7202$; $d=0,99$).

O coeficiente angular da equação da figura 18a apresenta valores menor que 1, indicando que os valores contidos no eixo Y (ET_o H-S) são inferiores aos encontrados no eixo X (ET_o P-M), evidenciando a subestimação dos valores pelo método de Hargreaves-Samani, em relação ao método padrão. Santos et al. (2016) encontraram que o método de Hargreaves-Samani subestima a ET_o no Agreste Alagoano. Lima Junior et al. (2016) no Ceará também encontraram que o método de Hargreaves-Samani subestima a ET_o em relação ao método padrão.

O coeficiente angular da equação (ET_o R-S) apresenta valores maiores que 1, indicando que os valores encontrados no eixo Y (ET_o R-S) são superiores aos encontrados no eixo X (ET_o P-M), evidenciando uma superestimação dos valores de ET_o pelo método de Radiação Solar. Souza et al. (2010) no estado de Sergipe, estimando a ET_o para diferentes métodos em relação ao padrão, encontrou melhores desempenhos para o método de R-S em relação aos demais.

O coeficiente angular da equação (ET_o B-C) também apresenta valores maiores que 1, dessa forma os valores encontrados no eixo Y (ET_o B-C) são superiores aos encontrados no eixo X (ET_o P-M), indicando uma superestimava dos valores de ET_o pelo método de Blaney-Criddle(B-C) em relação ao método padrão (P-M). Moura et al. (2013), em Vitória de Santo Antão – PE, também encontrou uma superestimava do método de Blaney-Criddle em relação ao método padrão.

CONCLUSÃO

Não sendo possível a correção com as equações, o método de B-C é o mais indicado para a região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PRUIT, W. O.; WRIGHT, J. L.; HOWELL, T. A.; VENTURA, F.; SNYDER, R.; ITENFISU, D.; STEDUTO, P.; BERENGENA, J.; YRISARRY, J. B.; SMITH, M.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; PERRIER, A.; ALVES, I.; WALTER, I.; ELLIOTT, R. A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ETo by the FAO56 PenmanMonteith method. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 81, p. 1-22, 2006.

ALLEN, R.G., PEREIRA, L. S., RAES, D., SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines of computing crop water requirements. FAO. **Irrigation and Drainage Paper**, 56, Roma, p.300, 1998.

ALMEIDA, B. M.; ARAÚJO, E.M.; CAVALCANTE JÚNIOR, E.G.; OLIVEIRA, J.B.; ARAÚJO, E.M.; NOGUEIRA, B.R.C. Comparação de métodos de estimativa da ETo na escala mensal em Fortaleza-CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza-CE, v.4, n.2, p.93-98, 2010.

CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; NETO, P. C. Evapotranspiração de Referência: Uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Agropecuária tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011.

CAVALCANTI JUNIOR, E.G.; ALMEIDA, B.M.; OLIVEIRA, A.D.; ESPINOLA SOBRINHO, J.; ARAÚJO, E.M.; VIEIRA, R.Y. Estimativa da evapotranspiração de referência para a cidade de Mossoró-RN. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza-CE, v.4, n.2, p.87-92, 2010.

CHAGAS, R.M.; FACCIOLI, G.G.; AGUIAR NETTO, A.O.; SOUSA, I.F.; VASCO, A.N.; SILVA, M.G. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) no município de rio Real-BA. **Irriga, Botucatu**, v. 18, n. 1, p. 351-363, 2013.

CHAVES, Lucas Hordones. **Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Jaboticabal- SP**. 2015.

LIMA JUNIOR, J. C.; ARRAES, F. D. D.; OLIVEIRA, J. B.; NASCIMENTO, F. A. L.; MACÊDO, K.G. Parametrização da equação de Hargreaves e Samani para estimativa da evapotranspiração de referência no Estado do Ceará, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 3, p. 447-454, 2016.

LUCENA, F.A.P.; SILVA, E.M.; RIBEIRO, A.A.; SIMEÃO, M.; LUCENA, J.P.A.P. 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.

MENDONÇA, E. A.; DANTAS, R. T. Estimativa da evapotranspiração de referência no município de Capim, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.14, n.2, p.196-202, 2010.

MOURA, A. R. C.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; AZEVEDO, J. R. G de.; SILVA, B. B da.; OLIVEIRA, L. M. M de. Evapotranspiração de referência baseada em métodos empíricos em bacia experimental no estado de Pernambuco – Brasil. **Revista Brasileira de meteorologia**, v. 28, n. 2, p. 181-191, 2013.

PEREIRA, A. R.; MANIERO, M. A.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ. p. 17-47, 1997.

SANTOS, C.S.; SANTOS, D.P.; OLIVEIRA, W.J.; SILVA, P.F.; SANTOS, M.A.L.; FONTENELE, A.J.P.B. Evapotranspiração de referência e coeficiente de cultivo da pimenteira no Agreste Alagoano. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.10, nº. 5, p. 883 - 892, 2016.

Tabela 1. Valores de “c” para critérios de interpretação do desempenho da estimativa da ETo (Camargo e Sentelhas, 1997).

Valores de "c"	Desempenho
>0,85	Ótimo
0,76-0,85	Muito bom
0,66-0,75	Bom
0,61-0,65	Mediano
0,51-0,60	Sofrível
0,41-0,50	Mau
<0,40	Péssimo

Tabela 2. Estimativa do coeficiente de determinação (r^2), coeficiente de correlação (r); coeficiente de concordância (d) e índice de desempenho (c), para os métodos de Hargreaves-Samani (H-S), Radiação Solar (R-S) e Blaney-Criddle (B-C) no período de março a julho de 2016 para a região Agreste do Estado de Alagoas.

Métodos	Parâmetros estatísticos				Desempenho
	r^2	r	d	c	
H-S	0,3	0,55	0,95	0,52	Sofrível
R-S	0,92	0,96	0,95	0,91	Ótimo
B-C	0,91	0,95	0,95	0,90	Ótimo

Figura 1. Correlação entre os valores diários da evapotranspiração de referência ($\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$) estimados pelos métodos Penman-Monteith (PM) (FAO-56) em relação aos métodos de Hargreaves-Samani (H-S), Radiação Solar (R-S) e Blaney-Cridle (B-C).

