



DESEMPENHO DE DIFERENTES MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DIÁRIA EM TAUÁ-CE

Naiara Sâmia de Caldas Izidio¹, Fabio Ferreira da Silva², Adriana Alves Batista¹, Janielle Lima Fernandes³, Joaquim Branco de Oliveira⁴

¹Mestrandas do Programa de Pós-graduação em Irrigação e Drenagem- PPID. e-mail: naiaraizidio@hotmail.com

²Graduando em Tecnologia em Irrigação e Drenagem- IFCE- Campus Iguatu. e-mail: fabioigt.ifce@hotmail.com

³Mestranda do Programa de Pós-graduação em solos e Qualidade de Ecossistemas- PPSQE .e-mail: Janiigt@hotmail.com

⁴ Doutorando em Fitotecnia, Prof. MSc. do IFCE - Campus Iguatu.

Resumo: A evapotranspiração de referência é um dos principais componentes do balanço hídrico, sendo de grande importância para a quantificação da água a ser aplicada na irrigação. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho dos métodos empíricos da ETo de Camargo, Hargreaves-Samani, Klarrufa comparando-os com o método de Penman-Monteith FAO-56, na cidade de Tauá no estado do Ceará. Os dados climatológicos diários de temperatura máxima e mínima do ar, velocidade do vento, umidade relativa do ar e insolação, a partir dos quais foram calculadas as médias mensais, compreendendo uma série de dados de 14 anos (1964 a 1978) e foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), pertencentes a estações climatológica localizada no município de Tauá. Os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência avaliados foram: Hargreaves 1985 (HARG); Camargo 1971 (CAM); Kharrufa 1985 (KHA) e a Equação de Penman-Monteith (FAO 56), sendo considerado como método padrão, para avaliação dos demais métodos. A equação Hargreaves 1985 (HARG) obteve índice de desempenho classificado como mediano, enquanto que os métodos de Camargo 1971 (CAM) e Kharrufa 1985 (KHA) comportaram-se com baixo índice de desempenho estando classificado como péssimo. Os resultados obtidos em escala diária mostraram que o método Hargreaves, Camargo e Kharrufa obtiveram coeficiente de determinação (r^2) com valor de 0,5647; 0,2257 e 0,2066 respectivamente. Com base nas condições climáticas da região de Tauá, o método de Hargreaves-Samani apresentou um bom desempenho com relação aos demais métodos estudados podendo ser utilizado para estimar a ETo com boa precisão.

Palavras-chave: equações empíricas, hargreaves, penman monteith

1. INTRODUÇÃO

A evapotranspiração de referência (ETo) é um dos principais componentes do balanço hídrico, sendo de grande importância para a quantificação da água a ser aplicada na irrigação.

Na agricultura, informações quantitativas da evapotranspiração são aplicadas na avaliação da severidade, distribuição e frequência dos déficits hídricos, na elaboração de projetos e no manejo de sistemas de irrigação e drenagem (HENRIQUE; DANTAS, 2007).

Segundo Vescove e Turco (2005), para determinar o quanto de água está sendo perdido por evaporação e transpiração, é necessária a utilização de métodos que permitam estimar estas perdas que serão repostas via água de irrigação, caso as chuvas não sejam suficientes.

Vários autores consideram modelos para estimar a ETo, usando dados meteorológicos. Destacando-se dentre eles o modelo de Penman-Monteith, por apresentar o melhor desempenho quando aplicado em diversos tipos de clima, sendo por isso recomendado pela FAO como padrão para a estimativa da ETo e calibração de modelos empíricos (ALLEN et al., 1998).

Assim, Camargo e Camargo (2000) destacaram que o modelo de Penman-Monteith- FAO, prediz com eficácia a ETo em diversas condições de umidade atmosférica necessitando, entretanto, de vários elementos meteorológicos que nem sempre se encontram disponíveis em algumas regiões.

A escolha do uso de métodos para a estimativa da ETo depende de uma série de fatores, o primeiro fator é a disponibilidade de dados meteorológicos no local e o segundo fator é a escala de tempo requerida (PEREIRA et al., 2002).



Diante do exposto o presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho dos métodos empíricos de ETo de Camargo, Hargreaves-Samani, Klarrufa comparando-os com o método de Penman-Monteith FAO-56, na cidade de Tauá no estado do Ceará.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados climatológicos diários de temperatura máxima e mínima do ar, velocidade do vento, umidade relativa do ar e insolação, a partir dos quais foram calculadas as médias mensais, compreendendo uma série de dados de 14 anos (1964 a 1978) e foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), pertencentes a estações climatológica localizada no município de Tauá, com coordenadas geográficas: 6° 00' 11" S, 40° 17' 34" W e altitude de 402,58 m, com uma série temporal de 14 anos (1964 a 1978). De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo BSw'h', clima quente e semi-árido, com temperatura superior a 18°C no mês mais frio e precipitação pluviométrica média anual de 550 a 650 mm (Brasil, 1973).

Os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência avaliados foram: Hargreaves 1985 (HARG); Camargo 1971(CAM); Kharrufa1985 (KHA) e a Equação de Penman-Monteith (FAO 56), sendo considerado como método padrão, para avaliação dos demais métodos.

Para a análise comparativa entre o método padrão e os avaliados a fim de se determinar quais deles são melhores para estimar a ET_o sob condições do clima semi-árido do município Tauá-CE, foram utilizados os seguintes índices estatísticos de comparação sugeridos por Camargo & Sentelhas (1997): índice de precisão "r", a exatidão da estimativa da ET_o em relação ao modelo padrão escolhido foi obtida através do índice de Willmott "d" e na correlação entre os dados e a exatidão calcula-se o desempenho dos métodos para estimar a ET_o através do coeficientes de desempenho "c" que é o produto de r e d (c = r.d) (CAMARGO & SENTELHAS, 1997). Os valores de ET_o foram submetidos a equações de regressão linear.

O coeficiente de correlação foi calculado usando-se a seguinte forma:

$$r = \frac{\sum(Y_e - \bar{Y})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(Y_e - \bar{Y})^2 \sum(Y - \bar{Y})^2}} \quad \text{Eq. (1)}$$

em que:

Y_e - Valor estimado do método avaliado; Y - Valor estimado do método Penman-Monteith-FAO56; \bar{Y} - Média dos valores do método padrão.

A seguir é apresentada a equação do índice de concordância de Willmott:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum(Y_e - \bar{Y})^2}{\sum(|Y_e - Y| + |Y - \bar{Y}|)^2} \right] \quad \text{Eq. (2)}$$

O índice de concordância "d", varia de 0 a 1, em que o valor 1 significa uma concordância perfeita entre dados observados e estimados, enquanto que o valor 0, significa não haver concordância entre os valores analisados. Camargo & Sentelhas (1997) apresentaram valores do coeficiente de confiança ou desempenho "c" para os resultados obtidos na análise estatística (tabela 1).



Tabela 1- Valores dos coeficientes de desempenho conforme Camargo & Sentelhas (1997)

Valor de “c”	Desempenho
>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	Mau
≤ 0,40	Péssimo

A partir desta análise, foi determinado o erro padrão de estimativa do método (EPE) através da relação dos valores médios expressa em porcentagem (%).

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum(Y_e - Y)^2}{n}} \quad \text{Eq. (3)}$$

em que:

\bar{Y}_e - Média do método avaliado; Y - Média do método padrão.

Equação Penman-Monteith FAO 56 (PM FAO56)

O método de Penman-Monteith parametrizado pela FAO 56 para o cálculo da evapotranspiração é expresso pela equação (1):

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta R_n - G + \gamma \left(\frac{900}{273 + T_m} \right) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma + 0,34 u_2} \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde: ET_o - Evapotranspiração de Referência, mm dia⁻¹; R_n - Radiação líquida total do gramado, MJ m⁻² dia⁻¹; G - Densidade do fluxo de calor no solo, MJ m⁻² dia⁻¹; T_m - Temperatura média diária do ar a 2 m de altura, °C; u_2 - Velocidade do vento média diária a 2 m de altura, m s⁻¹; e_s - Pressão de saturação de vapor médio diário, kPa; e_a - Pressão atual de vapor médio diário, kPa; $e_s - e_a$ - Déficit de saturação de vapor médio diário, kPa; Δ - Declividade da curva de pressão de vapor no ponto de T_m , kPa °C⁻¹; γ - Coeficiente psicrométrico, kPa °C⁻¹.

Hargreaves 1985 (HARG)

Segundo Jensen *et al.* (1990), essa modificação na equação de Hargreaves 1975 foi proposta pelo próprio autor da equação em parceria com Samani resultando na seguinte expressão:

$$ET_o = 0,0023 \cdot R_a \cdot (T_x - T_n)^{0,5} \cdot (T_m + 17,8) \quad \text{Eq. (5)}$$

$$R_a = \frac{24 \cdot 60}{\pi} \cdot 0,0820 \cdot d_r \cdot (\omega_s \cdot \sin\varphi \cdot \sin\delta + \cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_s) \quad \text{Eq. (6)}$$



$$d_r = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{365} \cdot J\right) \quad \text{Eq. (7)}$$

$$\omega_s = \left(\frac{\pi}{2}\right) - \arctan \cdot \left[\frac{-\tan(\varphi) \cdot \tan(\delta)}{\left[1 - [\tan(\varphi)]^2 \cdot [\tan(\delta)]^2\right]^{0,5}} \right] \quad \text{Eq. (8)}$$

A declinação solar (δ) é calculada por:

$$\delta = 0,409 \cdot \sin \left[\left(\frac{2\pi}{365} \cdot J \right) - 1,39 \right] \quad \text{Eq. (9)}$$

em que: ET_o - evapotranspiração em $\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$; J - dia Juliano; ω_s - ângulo horário do por do sol em radianos; φ - latitude local em radianos; δ - declinação do Sol em radianos; R_a - radiação no topo da atmosfera, em $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$; T_m - temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$); T_x - temperatura máxima do ar ($^{\circ}\text{C}$); T_n - temperatura mínima do ar ($^{\circ}\text{C}$); d_r - distância relativa Terra-Sol.

O referido método também é recomendado pela FAO (ALLEN *et al.*, 1998) quando há somente disponibilidade de dados de temperatura do ar no local de estudo.

Equação Camargo 1971 (CAM)

A equação é descrita da seguinte forma.

$$ET_o = 0,01 \cdot R_a \cdot T_m \cdot k \quad \text{Eq. (10)}$$

em que: R_a - radiação solar extraterrestre incidente no topo da atmosfera no dia 15 de cada mês, $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$; T_m - temperatura média diária do ar, em $^{\circ}\text{C}$; k - fator de ajuste de Camargo.

O coeficiente de Camargo é definido da seguinte forma: 1,00 para temperatura média do ar (T_m) até $23,5^{\circ}\text{C}$; 1,05 para T_m de $23,6$ a $24,5^{\circ}\text{C}$; 1,10 para T_m de $24,6$ a $25,5^{\circ}\text{C}$; 1,15 para T_m de $25,6$ a $26,5^{\circ}\text{C}$; 1,20 para T_m de $26,6$ a $27,5^{\circ}\text{C}$ e 1,30 para T_m superior a $27,5^{\circ}\text{C}$.

Equação Kharrufa 1985 (KHA)

A equação foi desenvolvida por Kharrufa a partir da relação entre ET_o e a porcentagem de insolação máxima diária, conforme a relação:

$$ET_o = 0,34 \cdot p \cdot T_m^{1,3} \quad \text{Eq. (11)}$$

em que: ET_o - evapotranspiração, em $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$; P - porcentagem de insolação máxima diária, em relação ao horário de insolação teórico do anual; T_m - temperatura média diária do ar, em $^{\circ}\text{C}$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O método de desempenho dos métodos estimados encontra-se na tabela 2. De acordo com a referida tabela a equação Hargreaves 1985 (HARG) obteve índice de desempenho de 0,617 estando classificado como mediano, enquanto que os métodos de Camargo 1971 (CAM) e Kharrufa 1985 (KHA) comportaram-se com baixo índice de desempenho estando classificado como péssimo.



Tabela 2- Desempenho dos métodos de estimativa da ETo diária, segundo índice de desempenho “c”, para o município de Tauá-CE

Metodos	EPE	r	d	c	Desmpenho
Hargreaves 1985(HARG)	0,728	0,752	0,822	0,617	Mediano
Camargo 1971(CAM)	1,044	0,475	0,728	0,346	Pessimo
Kharrufa 1985(KHA)	1,949	0,455	0,534	0,243	Pessimo

1: erro padrão de estimativa ; 2: coeficiente de correlação de Pearson; 3: índice de concordância de Wilmott; 4: índice de desempenho.

Resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira et al. (2010) trabalhando a comparação de métodos de estimativa de ETo no município de Juazeiro-BA, de acordo com o seu estudo o método Hargreaves-Samani apresentou o melhor desempenho, com “c” = 0,67.

Em trabalho realizado por Reis et al. (2007) o índice de desempenho foi classificado como Péssimo, Mal e Mediano para o método Hargreaves-Samani na região Norte, Sul e Serrana do Estado de Espírito Santo.

A figura 1 apresenta os gráficos e os modelos resultantes da regressão linear considerando os métodos de estimativa utilizados na análise tendo o método de Penman-Monteith padronizado pela FAO (ETo-PM). Observa-se que os resultados obtidos em escala diária mostraram que o método Hargreaves (Figura 1A), Camargo (Figura 1B) e Kharrufa (Figura 1C) obtiveram coeficiente de determinação (r^2) com valor de 0,5647; 0,2257 e 0,2066 respectivamente.

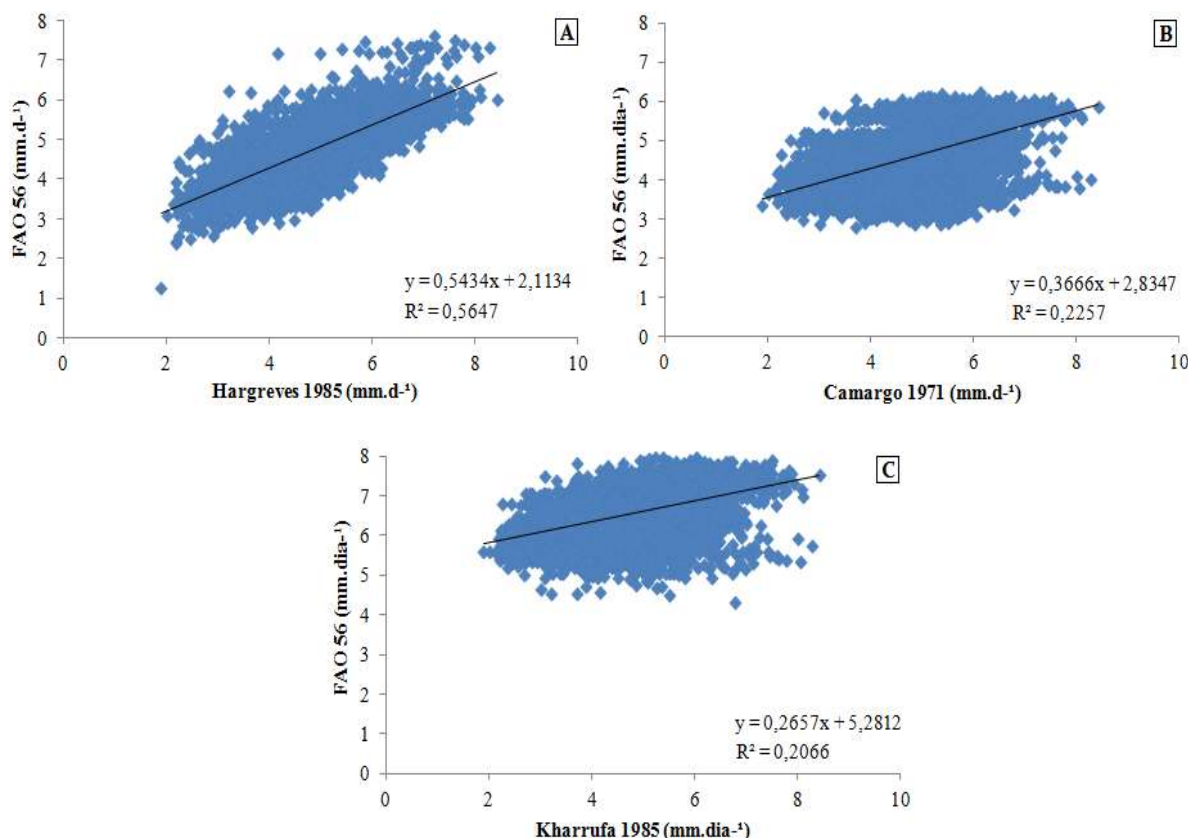




Figura 1- Comparação entre os valores diários da ETo estimados pelo método de Penman-Monteith (ETo-PM) e os obtidos pelos métodos de Hargreaves (A), Camargo (B) e Karrufha (C) para o município de Tauá, CE.

Dessa forma, entre os métodos avaliados, apenas o método Hargreaves-Samani pode ser utilizado na estimativa diária da Eto, devido a sua boa correlação com o método padrão de Penman-Monteith padronizado pela FAO (ETo-PM), isso quando comparado com os métodos de Camargo e Kharrufa. Oliveira et al, (2011) avaliando desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, em Aquidauana-MS obtiveram resultados semelhantes aos encontrados no presente estudo, onde o método de Hargreaves apresentou o melhor coeficiente de determinação.

6. CONCLUSÕES

Com base nas condições climáticas da região de Tauá, o método de Hargreaves-Samani apresentou um bom desempenho com relação aos demais métodos estudados podendo ser utilizado para estimar a ETo com boa precisão.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements**. Rome: FAO, 1998. 301 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento Exploratório Reconhecimento de Solos do Ceará**, 1. Recife, 1973. (MA, Boletim Técnico, 28, Série Pedologia, 16).

CAMARGO, A. P. **Balanco hídrico no Estado de São Paulo**. Boletim Tecnico n. 116, 1971, IAC. 24p.

CAMARGO, A. P. SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, p.89-97, 1997.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, v. 59, n. 2, p. 125-137, 2000.

HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering Agriculture**, v.1, n.2, p.96-99, 1985.

HENRIQUE, F. A. N.; DANTAS, R. T. Estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande, Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 6, p. 594-599, 2007.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1990. 332p.

KHARRUFA, N. S. Simplified equation for evapotranspiration in arid regions. **Beiträge zur Hydrologie**, v. 5, n. 1, p. 39-47, 1985.

OLIVEIRA, G. Q.; LOPES, A. S.; JUNG, L. H.; NAGEL, P. L.; BERTOLI, D. M. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência baseadas na temperatura do ar, em Aquidauana-MS. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.5, nº. 3, p.224-234, 2011.



OLIVEIRA, G. M.; LEITÃO, 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**, v. 4, p. 104-109, 2010.

PEREIRA, A. R. ANGELOCCI, L.R. SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuaria, 2002. 478p.

VESCOVE, H. V.; TURCO, J. E. P. Comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara – SP. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 713-721, 2005.

REIS, E.F. BRAGANCA, R. GARCIA, G.O. PEZZOPANE, J.E.M. TAGLIAFERRE, C. **Estudo comparativo da evapotranspiração de referência para três localidades do Espírito Santo no período seco**. Idesia (Chile), vol. 25, n.3. p. 75 – 84, 2007.