

DESEMPENHO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NA REGIÃO SUL DE GOIÁS

ARIELA ALEXANDRE INOCÊNCIO RIZO¹ E CICERO JOSÉ DA SILVA²

¹ *Discente do curso de Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Morrinhos, Rodovia BR153, KM633 Zona Rural, 75650-000, Morrinhos, Goiás, Brasil. E-mail: arielarizo@gmail.com.*

² *Professor doutor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Morrinhos, Rodovia BR153, KM633 Zona Rural 75650-000, Morrinhos, Goiás, Brasil. E-mail: cicero.silva@ifgoiano.edu.br.*

1 RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho dos métodos de estimativa de evapotranspiração de referência na região sul de Goiás. Foram coletados dados meteorológicos de cinco localidades no sul de Goiás, as quais foram: Catalão, Rio verde, Morrinhos, Jataí e Itumbiara. Foram analisadas cinco equações: Turc, Hargreaves e Samani, Priestley & Taylor, Camargo e Makkink, tomando como referência o método padrão de Penman-Monteith-FAO. Todos os dados coletados foram analisados em planilhas no Microsoft Excel®, onde as comparações foram realizadas considerando o período anual e também a sazonalidade do período seco e chuvoso. As comparações de desempenho diário dos métodos de ETo foram realizadas por meio de análise de correlação, por regressão linear e índices estatísticos. O melhor método analisado de acordo com os resultados obtidos na escala anual e no período seco e chuvoso foi o de Turc apresentando desempenho ótimo para todas as localidades. Os piores métodos foram os de Hargreaves e Samani e Camargo, os quais obtiveram desempenhos igualmente péssimos em todos os parâmetros analisados. A partir destes resultados podemos realizar as adequações nos métodos com desempenhos inferiores, podendo torná-los viáveis para uso nas localidades estudadas.

Palavras-chave: água, irrigação, Penman-Montheith, métodos.

RIZO, A. A. I. E DA SILVA, C. J.

PERFORMANCE OF EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATION METHODS OF REFERENCE IN THE SOUTHERN GOIÁS REGION

2 ABSTRACT

This study aimed to evaluate the performance of reference evapotranspiration estimation methods in the southern region of Goiás. Meteorological data were collected from five locations in southern Goiás, in which were Catalão, Rio Verde, Morrinhos, Jataí and Itumbiara. Five equations were analyzed: Turc, Hargreaves and Samani, Priestley & Taylor, Camargo and Makkink using the standard Penman-Monteith-FAO method as a reference. All data collected were analyzed in spreadsheets in Microsoft Excel®, where comparisons were made considering the annual period and the seasonality of the dry and rainy period. Comparisons of daily performance of ETo methods were performed through correlation analysis, linear regression

and statistical indexes. The best method analyzed according to the results obtained in the annual scale and in the dry and rainy periods was that of Turc, presented an excellent performance for all locations. The worst methods were those of Hargreaves and Samani and Camargo, which obtained equally poor performances in all analyzed parameters. From these results, we can make adjustments to the methods with lower performances and can make them viable for use in the study locations.

Keywords: water, irrigation, Penman-Monteith, methods.

3 INTRODUÇÃO

O planejamento de um projeto de irrigação que vise uma ótima produtividade utilizando a água de maneira eficiente, é de suma importância a determinação do consumo hídrico por meio de estimativas da evapotranspiração, proporcionando uma irrigação mais precisa em diferentes fases de desenvolvimento das plantas. A evapotranspiração define o consumo de água pelas plantas e, conseqüentemente, a lâmina de irrigação a ser aplicada (SILVA; FOLEGATTI, 2001; COSTA et al., 2018; OLIVEIRA; SILVA; RAMOS, 2020).

A evapotranspiração de referência (ET_o) é definida como a taxa de evapotranspiração para uma extensa superfície, com cobertura gramada de altura uniforme de 0,12 m de referência aerodinâmica da superfície de 70 s.m⁻¹ e albedo de 23%, em crescimento ativo de 0,08 a 0,12 m e sem déficit de água (ALLEN et al., 1998). O método de Penman-Monteith-FAO é considerado o padrão para a determinação de evapotranspiração de referência (ET_o), devido sua alta precisão e excelentes resultados nas mais distintas condições climáticas, substituindo com precisão os lisímetros de grama na determinação da ET_o. No entanto, a equação é de difícil emprego pela complexidade dos cálculos, exigência de dados meteorológicos, especialmente a nível de campo para os produtores rurais. O método emprega em sua estimativa dados de temperatura (T), umidade relativa do ar

(UR), radiação solar (RS) e velocidade do vento (V) (MEDEIROS, 2002).

No decorrer dos anos, vários métodos da estimativa da ET_o foram desenvolvidos. Isto acontece devido as limitações de elementos meteorológicos ou climáticos necessários nos métodos, a adequação para regiões mais específicas e a busca da simplicidade e facilidade na utilização. Comumente, estudos utilizando artifícios estatísticos para comparar os métodos de estimativas de ET_o, avaliando os que possuem maior aplicabilidade no local de estudo, vêm sendo desenvolvidos (LIMA et al., 2019). Porém, os resultados variam muito entre os estudos, pois cada região apresenta características climáticas diferentes, o que dificulta ao usuário decidir sobre a conveniência de qual método adotar (CRUZ et al., 2017). Fato que corrobora com as informações de Pereira et al. (2009), que recomendam que antes de aplicar um método para determinado local, é necessário verificar o desempenho deste e, quando necessário, fazer calibrações a fim de minimizar erros de estimativa.

Dentre os métodos alternativos mais conhecidos para cálculo de ET_o, em substituição ao método Padrão de Penman-Monteith-FAO (ALLEN et al., 1998), pode-se citar os métodos de Blaney e Criddle – 1950 (ALLEN; PRUITT, 1986), Camargo (1971), adequado por Camargo et al. (1999), Priestley e Taylor (1972), Hargreaves e Samani (1985), Makkink (1957) e Turc (1961), dentre outros. Porém, esses métodos foram desenvolvidos nas mais diversas condições climáticas e de manejo de

culturas, sendo necessária a calibração dos mesmos para aplicação em regiões de climas diferentes dos quais foram desenvolvidos. Inclusive a sazonalidade anual pode influenciar no desempenho destas equações, motivo pelo qual, uma equação pode apresentar bom desempenho no inverno e ruim no verão (MELLO et al., 2017). Segundo Pereira et al. (2009), métodos de estimativa da ETo que empregam o uso da radiação solar, apresentam melhor desempenho que os métodos que utilizam apenas a temperatura do ar.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de equações empíricas simplificadas para estimativa da evapotranspiração de referência na região Sul de Goiás, em relação ao método padrão Penman-Monteith-FAO.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos GO. As estações meteorológicas selecionadas para o presente estudo foram: Morrinhos (-17°44'42" S, -49°06'06" W e Altitude de

751 metros), Catalão (-18°9'17" S, -47°55'39" W e Altitude de 901 metros), Itumbiara (-18°24'35" S, -49°11'31" W e Altitude de 491 metros), Rio Verde (-17°47'7" S, -50°57'53" W e Altitude de 780 metros) e Jataí (-17°55'25" S, -51°43'03" W e Altitude de 670 metros), tendo como critério de seleção uma série de dados de no mínimo 10 anos

Os dados obtidos continham informações de variáveis meteorológicas de precipitação (mm), umidade relativa (%), velocidade do vento ($m s^{-1}$), temperatura máxima e mínima ($^{\circ}C$) e radiação solar global ($MJ m^{-2}$), os quais foram obtidos através do site do centro de previsão de tempo e estudos climáticos (INFOCLIMA, 2019). Em seguida, os dados registrados foram acumulados em dados diários, usando tabelas dinâmicas no Microsoft Excel[®] e as séries meteorológicas foram organizadas individualmente por localidades em planilhas.

Os valores de evapotranspiração de referência (ETo) foram calculados com as seguintes equações:

Método de Penman-Monteith-FAO (ALLEN et al., 1998) (Equações 01 a 07):

$$E_{To} = \frac{0,408 \cdot \Delta (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273,16} \cdot U_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)} \quad (01)$$

$$\Delta = \frac{4098 \cdot \left[0,6108 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot T}{T + 237,3}\right) \right]}{(T + 237,3)^2} \quad (02)$$

$$\gamma = 0,665 \cdot 10^{-3} \cdot P_{atm} \quad (03)$$

$$P_{atm} = 101,3 \cdot \left(\frac{293 - 0,0065 \cdot \text{Altitude}}{293} \right)^{5,26} \quad (04)$$

$$e^{\circ}(T) = 0,6108 \cdot \exp\left(\frac{17,27T}{T + 237,3}\right) \quad (05)$$

$$es = \frac{e^{\circ}(T_{\max}) + e^{\circ}(T_{\min})}{2} \quad (06)$$

$$ea = \frac{UR \cdot es}{100} \quad (07)$$

Em que: Δ é a declividade da curva de pressão de vapor ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); R_n é o saldo de radiação líquida ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), desprezível para intervalos de tempo longos, $\geq 1,0$ dia; γ é a constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); T é a temperatura média diária do ar, a 2,0 m de altura ($^\circ\text{C}$); U_2 é a velocidade do vento a 2,0 m de altura (m s^{-1}); $es -$ é o déficit de pressão de vapor (kPa); \exp é a base do logaritmo natural; e P_{atm} é a pressão atmosférica (kPa), em função da altitude em

metros; $e^{\circ}(T)$ é a pressão de saturação de vapor (kPa) à temperatura do ar ($^\circ\text{C}$); es é a média aritmética das pressões de saturação de vapor nas temperaturas máxima (T_{\max}) e mínima (T_{\min}) do ar; e UR é a umidade relativa média do ar (%).

O método de Camargo (1971) (CM), considerando a temperatura efetiva conforme proposto por Camargo et al. (1999) - (Equação 08):

$$ET_o = 0,01 \cdot \frac{Q_o}{2,45} \cdot (1,08 \cdot T_{\max} - 0,36 \cdot T_{\min}) \cdot ND \quad (08)$$

Em que: Q_o é a radiação solar extraterrestre ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$); T_{\max} é a temperatura máxima diária ($^\circ\text{C}$); T_{\min} é a temperatura mínima diária ($^\circ\text{C}$); ND é o número de dias do período.

O método de Turc (1961) (TC) (Equações 09 e 10):

$$ET_o = a_t \cdot 0,013 \cdot \left(\frac{T_{med}}{T_{med} + 15} \right) \cdot \left(\frac{\left(\frac{R_s}{0,0238846} \right) + 50}{\lambda} \right) \quad (09)$$

$$a_t = 1 + \frac{50 - UR}{70} \quad (10)$$

Em que: ET_o é a evapotranspiração de referência segundo o método de Turc (mm dia^{-1}); T_{med} é a temperatura média do ar, em $^\circ\text{C}$; R_s é a radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$); λ é o calor latente de vaporização ($2,45 \text{ MJ mm}^{-1}$); UR é a umidade relativa do

ar, (%); a_t é o fator da umidade relativa. Se a umidade relativa (UR) do ar for maior ou igual a 50%, $a_t = 1,0$, se não, calcula-se pela equação 14, adimensional:

O método de Hargreaves e Samani (1985) (HS) – (Equação 11):

$$ET_o = \alpha \times Q_o \times (T + 17,8)^\beta \times \sqrt{T_{\max} - T_{\min}} \quad (11)$$

Em que: ET_o é a evapotranspiração de referência (mm d^{-1}); α um parâmetro empírico, sendo utilizado o seu valor original de 0,0023; Q_o é a radiação no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); T é a temperatura média ($^{\circ}\text{C}$); T_{\max} é a temperatura máxima

$^{\circ}\text{C}$; T_{\min} é a temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$); β um parâmetro empírico exponencial, tendo seu valor original 0,5

O método Priestley e Taylor (1972) – (PTy) (Equações 12 a 14):

$$ET_o = \alpha \cdot W \cdot \frac{(R_n - G)}{2,45} \quad (12)$$

$$W = 0,407 + 0,0145 \cdot T \quad (\text{Para } 0^{\circ}\text{C} < T < 16^{\circ}\text{C}) \quad (13)$$

$$W = 0,483 + 0,01 \cdot T \quad (\text{Para } T > 16^{\circ}\text{C}) \quad (14)$$

Em que: α parâmetro ou coeficiente de Priestley-Taylor; R_n é o saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); G é o fluxo de calor do solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); W é o fator de ponderação dependente da temperatura do ar (T , em $^{\circ}\text{C}$); S é a tangente à curva de saturação de

pressão de vapor ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$) e g é a constante psicrométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

O método de Makkink (1957) – (MK) (Equações 15 e 16):

$$ET_o = 0,61 \cdot W \cdot R_s - 0,12 \quad (15)$$

$$W = (0,392 + 3 \cdot 10^{-5} \cdot Z) + 0,01172 \cdot T - 0,0001 \cdot T^2 \quad (16)$$

Em que: R_s é o total diário de radiação solar medida ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); W é o fator de ponderação (adimensional), calculado em função da temperatura média do período (T_m , $^{\circ}\text{C}$) e da altitude do local (m).

Os cálculos dos valores de ET_o de cada método foram determinados através do Software Reference Evapotranspiration Calculator (REF – ET®, v. 4.1, software livre), utilizando os dados meteorológicos necessários para cada método de determinação da ET_o . Os métodos de estimativa de ET_o que não são contemplados no software REF-ET, como o método de Camargo et al. (1999), foram calculados por planilha desenvolvida no Microsoft Excel® para tal fim.

Após os cálculos dos valores de ET_o (mm dia^{-1}) com cada método de estimativa, os mesmos foram organizados em planilha do Microsoft Excel®. A partir de então, foi realizada a análise de comparação dos métodos de determinação de ET_o , tomando os valores de ET_o determinado por Penman-Monteith-FAO, como padrão ou referência para comparação. As comparações foram realizadas levando em consideração o período anual e também a sazonalidade do período de seco (maio a outubro) e chuvoso (novembro a abril). As comparações de desempenho diário dos métodos de ET_o foram realizadas por meio de análise de correlação, utilizando regressão linear e índices estatísticos, como: o índice de concordância de Willmott (WILLMOTT et al., 1985), “d” (Equação 17), o coeficiente de

correlação de Pearson, “r” (Equação 18) e coeficiente de confiança ou desempenho, “c” (CAMARGO; SENTELHAS, 1997) (Equação 19).

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n \left[(P_i - O) + (O_i - O) \right]^2} \quad (17)$$

Em que: d é o índice de concordância ou ajuste; P_i é a evapotranspiração de referência obtida pelo método estados (mm.dia^{-1}); O_i é a evapotranspiração de referência obtida pelo método padrão (Penman-Monteith-FAO) (mm.dia^{-1}); O é a média dos valores de ETo obtido pelo método padrão (Penman-Monteith-FAO) (mm.dia^{-1}); n é o número de observações.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_m)(y_i - y_m)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - X_m)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - y_m)^2}} \quad (18)$$

Em que: r é o coeficiente de correlação de Pearson; X_i é a evapotranspiração de referência obtido pelo método considerado (mm.dia^{-1}); X_m é a média da evapotranspiração de referência obtido pelo método considerado (mm.dia^{-1}); y_i é a evapotranspiração de referência obtida pelo método padrão (Penman-Monteith-

FAO) (mm.dia^{-1}); y_m é a média evapotranspiração de referência obtida pelo método padrão (Penman-Monteith-FAO) (mm.dia^{-1}).

$$c = r \cdot d \quad (19)$$

Em que: c é o coeficiente de confiança ou desempenho; r é o coeficiente de correlação de Pearson; e d é o índice de concordância de Willmott.

Sendo o índice “c” de Camargo e Sentelhas (1997) variável de 0 a 1.0 para o desempenho do método de determinação de ETo. Quando “c” > 0,85, desempenho 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 e; < 0,40, péssimo.

Através destas análises foram definidas as equações de desempenho potencial para períodos anuais e períodos de inverno e verão, quando comparadas ao método padrão de Penman-Monteith-FAO para a região Sul de Goiás.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de ETo variou entre 3,15 a 5,91 mm.d^{-1} apresentando desempenhos entre Péssimo e Ótimo. De forma geral, as equações de Camargo, Makkink e Turc subestimaram os valores de ETo, comparando ao método padrão, enquanto Hargreaves e Samani e Priestley-Taylor superestimam (Tabela 01).

Tabela 1. Análises estatísticas de comparação dos métodos de estimativa de evapotranspiração em relação ao método padrão de Penman Montheith (PM) FAO em cinco municípios da região Sul de Goiás em escala anual.

Municípios	Métodos	r	d	c	Desempenho	ETo (mm.d ⁻¹)
Catalão	PM FAO	-	-	-		4,03
	Hargreaves Priestley & Taylor	0,57	0,58	0,33	Péssimo	5,40
	Camargo	0,87	0,90	0,78	Muito bom	4,52
	Makkink	0,36	0,69	0,25	Péssimo	3,53
	Turc	0,93	0,84	0,79	Muito bom	3,29
	Turc	0,93	0,97	0,92	Ótimo	3,91
Itumbiara	PM FAO	-	-	-		4,12
	Hargreaves Priestley & Taylor	0,52	0,54	0,28	Péssimo	5,81
	Camargo	0,81	0,90	0,73	Bom	4,60
	Makkink	0,41	0,75	0,31	Péssimo	3,75
	Turc	0,89	0,82	0,73	Bom	3,32
	Turc	0,91	0,97	0,88	Ótimo	4,01
Jataí	PM FAO	-	-	-		3,88
	Hargreaves Priestley & Taylor	0,51	0,54	0,28	Péssimo	5,91
	Camargo	0,82	0,89	0,73	Bom	4,38
	Makkink	0,46	0,81	0,37	Péssimo	3,78
	Turc	0,89	0,82	0,74	Bom	3,15
	Turc	0,89	0,97	0,88	Ótimo	3,79
Morrinhos	PM FAO	-	-	-		4,06
	Hargreaves Priestley & Taylor	0,49	0,53	0,26	Péssimo	5,68
	Camargo	0,83	0,89	0,73	Bom	4,56
	Makkink	0,40	0,74	0,29	Péssimo	3,68
	Turc	0,90	0,83	0,75	Bom	3,31
	Turc	0,91	0,97	0,89	Ótimo	3,95
Rio verde	PM FAO	-	-	-		4,03
	Hargreaves Priestley & Taylor	0,48	0,44	0,21	Péssimo	5,75
	Camargo	0,80	0,88	0,70	Bom	4,40
	Makkink	0,36	0,76	0,27	Péssimo	3,71
	Turc	0,88	0,83	0,73	Bom	3,16
	Turc	0,90	0,97	0,87	Ótimo	3,81

** r - Coeficiente de correlação de Pearson; d – Índice de concordância de Willmott; c - Coeficiente de confiança; ETo – Evapotranspiração de referência

O método que demonstrou melhor desempenho em escala anual foi a de Turc, independente do município onde foi testada, tendo seus índices “c” com valor mínimo de

0,87, classificado como ótimo. O nível de concordância “d” foi excelente (d = 0,97), coeficiente de correlação de Pearson, “r” variou de 0,90 a 0,93, além de apresentar

baixo valor de subestimativa de ETo em relação ao método padrão, variado de 0,09 a 0,22 mm d⁻¹ (Tabela 01).

Com desempenhos satisfatórios, os métodos de Makkink e Priestley-Taylor foram classificados como muito bom no município de Catalão e bom para os demais municípios. Ambos os métodos obtiveram índice de correlação “d” considerados forte, variando entre 0,82 a 0,90 (Tabela 1).

Os métodos de estimativas de ETo de Hargreaves e Samani e Camargo mostraram-se ineficientes em escala anual, apresentando desempenho péssimo em todas as localidades testadas, verificando que o índice “c” não ultrapassou 0,37. O método

de Hargreaves superestimou em média 1,68 mm.d⁻¹ (42%) e o método de Camargo subestimou em média 0,334 mm.d⁻¹ (8%) os valores de ETo em comparação ao método padrão de Penman-Monteith-FAO (Tabela 01).

Comparando os métodos de estimativa de ETo na sazonalidade do período de inverno e verão, observou-se uma variação muito grande entre os métodos no período chuvoso, onde a ETo média variou entre 3,31 a 5,56 mm.d⁻¹, e no período seco onde variou foi ainda maior 2,97 a 6,28 mm.d⁻¹ (Tabela 02). O que mostra a variação entre um método e outro a depender da localidade onde testado.

Tabela 2. Análises estatísticas comparando métodos de evapotranspiração no período chuvoso e seco tendo como referência o método padrão de Penman Monteith FAO.

Municípios	M	Período chuvoso					Período seco				
		r	d	c	ETo	Desem.	r	d	c	ETo	Desem.
Catalão	PM	-	-	-	4,04	-	-	-	-	4,01	
	HG	0,74	0,66	0,49	5,19	Mau	0,51	0,51	0,26	5,61	Péssimo
	PTy	0,98	0,88	0,86	4,79	Ótimo	0,87	0,94	0,83	4,26	Muito bom
	CM	0,46	0,73	0,34	3,89	Péssimo	0,52	0,67	0,35	3,16	Péssimo
	Mk	0,99	0,91	0,89	3,43	Ótimo	0,92	0,78	0,71	3,14	Bom
	Turc	0,99	0,99	0,98	4,06	Ótimo	0,91	0,96	0,88	3,76	Ótimo
Itumbiara	PM	-	-	-	4,17	-	-	-	-	4,08	
	HG	0,66	0,60	0,40	5,56	Péssimo	0,53	0,47	0,25	6,06	Péssimo
	PTy	0,97	0,87	0,84	4,95	Muito bom	0,82	0,94	0,76	4,26	Muito bom
	CM	0,48	0,76	0,36	4,13	Mau	0,55	0,75	0,41	3,37	Péssimo
	Mk	0,98	0,89	0,87	3,52	Ótimo	0,87	0,77	0,67	3,13	Bom
	Turc	0,98	0,99	0,97	4,21	Ótimo	0,89	0,95	0,84	3,80	Muito bom
Jataí	PM	-	-	-	3,96	-	-	-	-	3,81	
	HG	0,64	0,54	0,35	5,54	Péssimo	0,51	0,36	0,18	6,28	Péssimo
	PTy	0,97	0,85	0,83	4,72	Muito bom	0,81	0,93	0,75	4,05	Bom
	CM	0,48	0,77	0,37	4,10	Mau	0,56	0,84	0,47	3,47	Péssimo
	Mk	0,98	0,88	0,87	3,34	Ótimo	0,86	0,80	0,69	2,97	Bom
	Turc	0,99	0,99	0,97	3,99	Ótimo	0,88	0,96	0,84	3,59	Muito bom
Morrinhos	PM	-	-	-	4,09	-	-	-	-	4,03	
	HG	0,67	0,61	0,41	5,40	Mau	0,50	0,46	0,23	5,95	Péssimo
	PTy	0,97	0,86	0,84	4,87	Muito bom	0,82	0,93	0,76	4,26	Muito bom
	CM	0,49	0,75	0,37	4,03	Mau	0,53	0,73	0,39	3,34	Péssimo
	Mk	0,98	0,90	0,88	3,48	Ótimo	0,88	0,77	0,67	3,14	Bom
	Turc	0,98	0,99	0,98	4,13	Ótimo	0,89	0,95	0,85	3,78	Muito bom
Rio vede	PM	-	-	-	4,03	-	-	-	-	4,03	
	HG	0,61	0,52	0,32	5,44	Péssimo	0,52	0,40	0,21	6,06	Péssimo
	PTy	0,97	0,84	0,82	4,68	Muito bom	0,79	0,92	0,73	4,12	Bom
	CM	0,42	0,74	0,31	4,03	Mau	0,48	0,77	0,37	3,39	Péssimo
	Mk	0,98	0,89	0,87	3,31	Ótimo	0,84	0,77	0,65	3,02	Mediano
	Turc	0,98	0,99	0,97	3,95	Ótimo	0,87	0,95	0,82	3,67	Muito bom

** M – Métodos; r - Coeficiente de correlação de Pearson; d – Índice de concordância de Willmott; c - Coeficiente de confiança; ETo – Evapotranspiração de referência; Desem. – Desempenho; PTy - Priestley & Taylor; HG – Hargreaves; CM – Camargo; Mk – Makkink; PM - Penman Monteith FAO

De maneira geral, todos os métodos demonstraram melhor desempenho no período chuvoso. Os métodos de Turc e Makkink apresentaram desempenho ótimo para todas as localidades onde foram testados, com coeficiente de confiança ou

desempenho “c” variando entre 0,87 a 0,98 (Tabela 02). Especialmente o método de Makkink apresentou melhor resultado no período chuvoso, se comparado ao período anual. O método de Priestley & Taylor apresentou desempenho satisfatório no

período chuvoso, com índice de confiança variando de bom a muito bom. As equações de Camargo e Hargreaves e Samani demonstraram desempenho insatisfatório no período chuvoso, classificados como mau a péssimo, independentemente do município (Tabela 02).

Analisando o período seco do ano, os métodos testados de forma geral perderam em desempenho em relação ao método padrão de Penman-Monteith-FAO, independentemente do município onde foi testado. No período seco do ano, o método de Turc também se destacou em relação ao método padrão de Penman-Monteith-FAO, quando apresentou desempenho ótimo (Catalão) a muito bom nas demais localidades. A equação de Priestley & Taylor se mostrou estável também no período seco do ano, independentemente da localidade testada, visto que seu índice de confiança variou de muito bom a bom. O método de Makkink no período seco apresentou desempenho bom para todas as localidades onde foi testado, exceto em Rio Verde onde apresentou desempenho mediano. As equações de Camargo e Hargreaves e Samani demonstraram desempenho insatisfatório no período seco, classificados como mau a péssimo, independentemente do município (Tabela 02).

O método de Priestley & Taylor e Turc mostraram-se bem estáveis independentemente da época do ano em que foram testados, com pouca variação dos valores médios de ETo e do coeficiente de confiança “c” quando comparados ao método padrão. Já o método de Hargreaves e Samani superestimou os valores de ETo , independentemente da época do ano e onde foi testado, comparando ao método padrão de Penman-Monteith-FAO.

O fato do modelo de Turc levar em consideração valores de radiação, temperatura e fotoperíodo promove um desempenho bom. Resultados similares foram obtidos em Rio Verde – GO e

Chapadão do Sul – MS com desempenho Ótimo e Muito bom, respectivamente (CRUZ et al., 2017; CUNHA; MAGALHÃES; CASTRO, 2013). Um estudo realizado por Lima et al. (2019) concluiu que em todos os climas do Brasil o método de Turc tende a se manter instável em todos os períodos do ano, sendo considerado o melhor método, concordando com os resultados obtidos no presente estudo.

A variação de desempenho entre o período seco e chuvoso apresentada pelo método de Makkink, certamente ocorreu em função de origem de desenvolvimento na Holanda, onde o clima é instável tendo variações em curtos períodos (MAKKINK, 1957). Fato que corrobora com as informações de Silva et al. (2018), os quais afirmam que para melhor desempenho do método os coeficientes da equação devem ser ajustados de acordo com a localidade. Resultados similares aos deste trabalho foram descritos por Melo e Fernandes (2012) em Uberaba – MG onde o método de Makkink subestima a ETo comparada ao método padrão em qualquer período do ano, porém apresentou o melhor índice de desempenho, classificado como “Bom”.

O desempenho estável apresentado pelo método de Priestley-Taylor neste trabalho é condizente aos observados por Silva et al. (2011) em Uberlândia - MG, obtendo índice de desempenho classificado como “Ótimo”, fato que segundo os autores ocorreu devido a este método assemelhar-se ao método de Penman-Monteith-FAO. Entretanto, os resultados são divergentes dos estudos realizado em Jataí – GO por Cruz et al. (2017), em que o método foi considerado o pior dentre os estudados, tendo seu desempenho classificado como “Sofrível”.

O baixo desempenho do método de Hargreaves e Samani neste trabalho, certamente se deve a sua origem da Califórnia, onde o clima é semiárido com poucas precipitações e clima mais quente que do presente estudo, o que pode ter

influenciado no seu desempenho péssimo (HARGREAVES; SAMANI, 1985). Resultados semelhantes foram obtidos em Jataí por Fernandes et al. (2012) em que o método superestimou os valores de ETo e obteve desempenho não satisfatório. Fato que corrobora com os resultados encontrados por Rigone et al. (2013) em Aquidauana – MS, os autores verificaram que o método de Hargreaves e Samani foi insatisfatório não sendo recomendada para as regiões estudadas, por superestimar os valores de ETo. Oliveira et al. (2007) obtiveram resultados semelhantes em Goiânia, verificando também que o método tende a superestimar os valores de ETo em qualquer época do ano. Porém, resultados obtidos em Uberaba por Alencar et al. (2011) demonstraram que o método aproxima do método padrão no período chuvoso e seco, classificado como o melhor método. Resultados divergentes também foram encontrados nos estudos realizados em Uberaba – MG por Melo e Fernandes (2012), os quais constataram que o método subestima os valores de ETo em relação ao método padrão.

O método de Camargo tem como base de seu desenvolvimento centenas de localidades, porém, apresentou neste estudo desempenho ruim. Resultados que corroboram aos estudos realizados por (OLIVEIRA et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2015; FIETZ; SILVA; URCHER, 2005) em Aquidauana e Dourados – MS e Rio Paranaíba – MG, respectivamente. Nestes estudos, o método subestimou os valores de ETo. Porém, resultados discordantes foram relatados em Jacupiranga – SP, onde foram obtidos desempenho ótimo do método de Camargo em relação ao método padrão (BORGES; MEDIONDO, 2007).

Analisando todos os métodos, considerando os períodos do ano, os resultados obtidos em Aquidauana – MS coincide com os do presente estudo, exceto para o método de Camargo (RIGONE et al., 2013).

Os resultados obtidos nesta pesquisa corroboram com a observação de Pereira, Vila Nova e Sedyiama (1997), os quais afirmam que os métodos empíricos de estimativa de ETo, pela sua simplicidade e facilidade de aplicação, não devem ser descartados, pois muitas vezes são os únicos com potencial de utilização.

6 CONCLUSÕES

O melhor método analisado na escala anual foi o de Turc apresentando desempenho ótimo para todas as localidades. Os piores métodos foram os de Hargreaves e Samani e Camargo, que obtiveram desempenho igualmente péssimo.

No período chuvoso, os métodos que mais se destacaram devido sua eficiência foram os de Makkink e Turc, mantendo o desempenho ótimo em todas as localidades. No período seco apenas o método de Turc demonstrou ótimos resultados. Em ambos os períodos (chuvoso e seco) os piores métodos foram considerados os de Hargreaves e Samani e Camargo.

De maneira geral, o método indicado para ser implantado nas localidades estudadas considerando as condições de período anual, período chuvoso e seco, o método de Turc se destaca dos demais por ser ótimo em qualquer condição.

Os métodos de Priestley e Taylor e Makkink demonstraram resultados medianos, com possível calibração possuem capacidade de se tornarem ótimos métodos para as localidades estudadas.

7 AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal Goiano pelo apoio na implantação, condução do experimento e tramitação do artigo científico.

8 REFERÊNCIAS

- ALENCAR, L. P.; DELGADO, R. C.; ALMEIDA, T. S.; WANDERLEY, H. S. Comparação de diferentes métodos de estimativa diária da evapotranspiração de referência para a região de Uberaba. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 2, p. 337-343, 2011.
- ALLEN, R. G.; PRUIT, W. O. Rational use of the FAO Blaney-Criddle formula. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 112, n. 2, p. 139-155, 1986.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- BORGES, A. C.; MENDIONDO, E. M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na bacia do rio Jacupiranga, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 293-300, 2007.
- CAMARGO, A. P. **Balanço hídrico no Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1971. 24 p. (Boletim, 116).
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- CAMARGO, A. P.; MARIN, F. R.; SENTELHAS, P. C.; PICINI, A. G. Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e superúmidos, com base na amplitude térmica diária. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 251-257, 1999.
- COSTA, J. A.; RODRIGUES, G. P.; SILVA, N. D.; LOPES SOBRINHO, O. S. P.; COSTA, L. D. A. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Alagoas. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v. 25, n. 1, p. 173-179, 2018.
- CRUZ, G. H. T.; SANTOS, L. C.; SILVA, S. C. S. M.; REIS, E. F. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Rio verde - GO. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 11, n. 6, p. 1854-1861, 2017.
- CUNHA, F. F.; MAGALHÃES, F. F.; CASTRO, M. A. de. Métodos para estimativa da evapotranspiração de referência para Chapadão do Sul-MS. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 21, n. 2, p. 159-172, 2013.
- 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 Agrônoma**, Botucatu, v. 43, n. 2, p. 246-255, 2012.
- FIETZ, C. R.; SILVA, F. C.; URCHEI, M. A. Estimativa da evapotranspiração de referência diária para a região de Dourados, MS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 250-255, 2005.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Journal of Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 1, n. 2, p. 96-99, 1985.
- INFOCLIMA. **Dados Meteorológicos**. Disponível em:

<https://www.cnpaf.embrapa.br/infoclima/>
Acesso em: 10 set. 2019.

LIMA, J. G. A.; VIANA, P. C.;
SOBRINHO, J. E.; COUTO, J. P. C.
Comparação de métodos de estimativa de
ETo e análise de sensibilidade para
diferentes climas brasileiros. **Irriga**,
Botucatu, v. 24, n. 3, p. 538-551, 2019.

MAKKINK, G. F. Ekzamenno de la formula
de Penman. **Netherlands Journal of
Agricultural Science**, Wageningen, v. 5, n.
3, p. 290-305, 1957.

MEDEIROS, A. T. **Estimativa da
evapotranspiração de referência a partir
da equação de Penman-Monteith, de
medidas lisimétricas e de equações
empíricas, em Piraipaba, CE**. 2002. Tese
(Doutorado em Irrigação e Drenagem) –
Escola Superior de Agricultura “Luiz de
Queiroz”, Universidade de São Paulo, São
Paulo, 2002.

MELLO, A. J. S.; ROZENO, G. S.; SILVA,
J. A. R.; MELLO, M. L. Avaliação do
desempenho de diferentes métodos de
estimativa da evapotranspiração de
referência diária para a cidades de Ituiutaba,
MG. **Horizonte Científico**, Uberlândia, v.
11, n. 2, p. 1-12, 2017.

MELO, G. L.; FERNANDES, A. L.T.
Evaluation of empirical methods to estimate
reference evapotranspiration in Uberaba,
State of Minas Gerais, Brazil. **Engenharia
Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 5, p. 875-
888, 2012.

OLIVEIRA, E. R.; SILVA, T. C.; RAMOS,
R. F. O. Evapotranspiração de referência
em Januária-MG pelos métodos tanque
classe “A” e Hargreaves-Samani.
Colloquium Agrariae, Presidente
Prudente, v. 16, n. 1, p. 48-54, 2020.

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**, Fortaleza, v. 5, n. 3, p. 224-234,
2013.

OLIVEIRA, L. F. C.; CARVALHO, D. F.;
ROMÃO, P. A.; CORTÊS, F. C. Estudo
comparativo de modelos de estimativa da
evapotranspiração de referência para
algumas localidades no Estado de Goiás e
Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária
Tropical**, Goiânia, v. 31, n. 2, p. 122-126,
nov. 2007.

OLIVEIRA, V. M. R.; DANTAS, G. F.;
PALARETTI, L. F.; DARLI, A. B.;
SANTOS, M. G.; FISCHER FILHO, J. A.
Estimativa de evapotranspiração de
referência na região de Rio Paranaíba-
MG. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 4, p. 790-
798, 2015.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.;
SEDYIAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**.
Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PEREIRA, D. R.; YANAGE, S. N. M.;
MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; SILVA, L.
A. Desempenho de métodos de estimativa
da evapotranspiração de referência para a
região da Serra da Mantiqueira, MG,
Ciência Rural, Santa Maria, v. 39, n. 9, p.
2488-2493, dez. 2009.

PRIESTLEY, C. H. B.; TAYLOR, R. J. On
the assessment of surface heat flux on
evaporation using large scale parameters.
Monthly Weather Review, Washington,
DC, v. 100, n. 2, p. 81-92, 1972.

RIGONE, E. R.; OLIVEIRA, G. Q.;
BISCARO, G. A.; QUEIROZ, M. V. B. M.;
SILVA LOPES, A. Desempenho sazonal da
evapotranspiração de referência em

Aquidauana, MS. **Revista Engenharia na Agricultura Reveng**, Viçosa, MG, v. 21, n. 6, p. 547-562, 2013.

SILVA, J. R.; HELDWEIN, A. B.; HINNAH, F. D.; BRAND, S. I.; PUHL, A. J.; LEONARDI, M. Ajuste das equações de estimativa da evapotranspiração de referência para Bento Gonçalves e Lagoa Vermelha - RS. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 12, n. 7, p. 3096-3107, 2018.

SILVA, L. D. B.; FOLEGATTI, M. V. Determinação da evapotranspiração do capim Tanzânia, utilizando um sistema automático de razão de Bowen e um lisímetro de pesagem. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12.; REUNIÃO LATINOAMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 3., 2001, Fortaleza. **Anais [...]**. Jaboticabal, Eng. Agric., 2001. p. 705-712.

SILVA, V. J.; CARVALHO, H. P.; SILVA, C. R.; CAMARGO, R.; TEODORO R. E. F. Desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária em Uberlândia, MG. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 1, p. 95-101, 2011.

TURC, L. Estimation des besoins en eau d'irrigation, evapotranspiration potentielle, formule climatique simplifiée et mise. **Journal Annual Agronomic**, Paris, v. 12, n. 1, p. 13-49, 1961.

WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, J. J.; FEDDEMA, K.; KLINK, D. R. Statistics for the evaluation and of comparison models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. 5, p. 8995-9005, 1985.