



## EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA SAZONAL SIMPLIFICADA PARA O OESTE BAIANO (BA) E REGIÃO DE PIRACICABA (SP), BRASIL

*Simplified seasonal reference evapotranspiration for West of  
Bahia state (BA) and Piracicaba region (SP), Brazil*

*Evapotranspiración de referencia estacional simplificada para  
el oeste de Bahía (BA) y la región de Piracicaba (SP), Brasil*

**Gustavo Haddad Souza Vieira**  

Instituto Federal do Espírito Santo, campus Santa Teresa  
ghsvieira@gmail.com

**Rudson Tonoli Felisberto**  

Instituto Federal do Espírito Santo, campus Santa Teresa  
rudsontonoli@gmail.com

**Rodrigo Junior Nandorf**  

Instituto Federal do Espírito Santo, campus Santa Teresa  
rodrigojrnandorf@gmail.com

**Paola Alfonsa Vieira Lo Monaco**  

Instituto Federal do Espírito Santo, campus Santa Teresa  
paolalomonaco2004@yahoo.com.br

**Alberto Chambela Neto**  

Instituto Federal do Espírito Santo, campus Santa Teresa  
chambela@gmail.com

**André Dalla Bernardina Garcia**  

Instituto Federal do Espírito Santo, campus Santa Teresa  
andredallabg@outlook.com

**Resumo:** O método Penman-Monteith é utilizado mundialmente para a estimativa da evapotranspiração de referência, sem que se tenha necessidade de calibrações locais, devido ao seu embasamento físico. No

entanto, o método exige a utilização de uma estação meteorológica completa, devido à quantidade de variáveis necessárias, tornando, assim, a estimativa onerosa e inviabilizando seu uso em pequenos e médios empreendimentos. Objetivou-se com este estudo comparar a estimativa da evapotranspiração de referência pelo método Penman-Monteith com dados faltantes e Hargreaves-Samani com o método Penman-Monteith completo, em escalas anual e sazonal, para os municípios de Luís Eduardo Magalhães-BA e Piracicaba-SP. A comparação se baseou nos parâmetros da regressão linear, coeficiente de determinação, índice de concordância de Willmott, coeficiente de correlação, coeficiente de confiança e raiz quadrada do erro médio. A melhor alternativa ao método padrão, em Luís Eduardo Magalhães, foi o método com dados faltantes de radiação solar e umidade relativa, apresentando valores de  $R^2$  acima de 0,75 em todas as escalas de observação, enquanto para Piracicaba, todos os métodos utilizados apresentaram um desempenho classificado como bom, muito bom ou excelente. Para os dois municípios, nota-se que a escala anual é suficiente para estimar a evapotranspiração de referência, descartando a necessidade de análise sazonal.

**Palavras-chave:** Estação meteorológica simplificada. Penman-Monteith. Hargreaves-Samani. Dados faltantes. Estimativa de baixo custo.

**Abstract:** The Penman-Monteith method is used worldwide to estimate reference evapotranspiration, without the need for local calibrations, due to its physical basis. However, the method requires the use of a complete meteorological station, due to the number of variables required, thus making the estimate costly and making its use unfeasible in small and medium farms. The objective of this study was to compare the estimate of reference evapotranspiration by the Penman-Monteith method with missing data and Hargreaves-Samani with the complete Penman-Monteith method, in annual and seasonal scales, for the municipalities of Luís Eduardo Magalhães-BA and Piracicaba-SP, Brazil. The comparison was based on linear regression parameters, coefficient of determination, Willmott concordance index, correlation coefficient, confidence coefficient and root mean squared error. The best alternative to the standard method, in Luís Eduardo Magalhães, was the method with missing data on solar radiation and relative humidity, presenting  $R^2$  values above 0.75 in all observation scales, while for Piracicaba, all methods used presented performance rated as good, very good, or excellent. For both municipalities, it is noted that the annual scale is sufficient to estimate the reference evapotranspiration, discarding the need for seasonal analysis.

**Keywords:** Simplified weather station. Penman-Monteith. Hargreaves-Samani. Missing data. low cost estimate.

**Resumen:** El método de Penman-Monteith se utiliza a nivel mundial para estimar la evapotranspiración de referencia, sin necesidad de calibraciones locales, debido a su base física. Sin embargo, el método requiere el uso de una estación meteorológica completa, debido a la cantidad de variables requeridas, lo que encarece la estimación y hace inviable su uso en pequeñas y medianas empresas. El objetivo de este estudio fue comparar la estimación de la evapotranspiración de referencia por el método Penman-Monteith con datos faltantes y Hargreaves-Samani con el método Penman-Monteith completo, en escalas anuales y estacionales, para los municipios de Luís Eduardo Magalhães-BA y Piracicaba-SP. La comparación se basó en parámetros de regresión lineal, coeficiente de determinación, índice de concordancia de Willmott, coeficiente de correlación, coeficiente de confianza y raíz cuadrada del error medio. La mejor alternativa al método estándar, en Luís Eduardo Magalhães, fue el método con datos faltantes de radiación solar y humedad relativa, presentando valores de  $R^2$  superiores a 0,75 en todas las escalas de observación, mientras que para Piracicaba, todos los métodos utilizados presentaron desempeño calificado como bueno, muy bueno o excelente. Para ambos municipios, se observa que la escala anual es suficiente para estimar la evapotranspiración de referencia, descartando la necesidad de un análisis estacional.

**Palabras clave:** Estación meteorológica simplificada. Penman-Monteith. Hargreaves-Samani. Datos faltantes. Estimación de bajo costo.

Submetido em: 20/06/2023

Aceito para publicação em: 03/12/2023

Publicado em: 07/12/2023

## 1. INTRODUÇÃO

A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) é uma das variáveis hidrológicas mais importantes para o planejamento de recursos hídricos regionais (SARNIGHAUSEN et al., 2021). Entre os métodos empregados para estimativa da  $ET_0$ , destaca-se o método Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), recomendado como método padrão pela FAO, considerado vantajoso pela sua capacidade de ser utilizado em diversas regiões e em diferentes escalas de tempo (BARROS et al., 2019).

O método Penman-Monteith (PM-FAO56) pode ser usado mundialmente sem necessidade de calibrações locais por causa de sua base física. Entretanto, este modelo exige uma estação meteorológica completa (com dados de temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar) para que a  $ET_0$  seja estimada, necessitando de um grande número de equipamentos, tornando a aquisição onerosa e inviabilizando seu uso por uma parte dos produtores rurais, em especial os pequenos e médios (BARROS et al., 2017).

De acordo com Silva et al. (2018), uma alternativa para que a estimativa da  $ET_0$  se torne viável, é o emprego de métodos mais simples, ou seja, que necessitam de menor número de variáveis meteorológicas. Como possibilidade de métodos alternativos à equação PM-FAO56 original, evidencia-se a própria equação PM-FAO56 com dados faltantes estimados, conforme proposto por Allen et al. (1998) e a equação de Hargreaves-Samani (Hargreaves; Samani, 1985), pela sua grande facilidade, devido à aquisição somente de dados de temperatura do ar (VENÂNCIO et al., 2019).

Outros estudos foram desenvolvidos, comparando-se o método padrão (PM-FAO56) com a estimativa pelo mesmo método, porém com dados faltantes (ALENCAR et al., 2015; SILTA et al., 2016a; Silva et al., 2022; GIOVANELLA ET AL., 2019; VICENTE et al., 2018). No entanto, estes estudos ocorreram na base anual, não considerando as diferenças climáticas das estações do ano.

A agricultura irrigada do Brasil apresenta regiões que são referência na produção de culturas anuais, onde o manejo da irrigação deve proporcionar uso sustentável dos recursos hídricos. A região Oeste da Bahia possui 116 mil hectares irrigados, com predominância de pivôs centrais no cultivo de algodão, apresentando potencial hídrico para o aumento de área

irrigada, principalmente para o município de Luís Eduardo Magalhães, comprovado pela existência de rios perenes e do aquífero Urucuia (AIBA, 2013).

Além da região oeste baiana, o estado paulista é destaque pelo cultivo de culturas anuais, especialmente de cana-de-açúcar, onde lavouras apresentam déficit hídrico durante o ano conforme verificado por Coelho et al. (2019), necessitando, assim, de irrigação e, principalmente, de manejo eficiente.

Considerando a importância do manejo dos recursos hídricos, o presente trabalho teve como objetivo comparar as estimativas de evapotranspiração de referência pelos métodos de Penman-Monteith, com dados faltantes, e Hargreaves-Samani, com o método de Penman-Monteith-FAO56 completo, em escalas anual e sazonal, para os municípios de Luiz Eduardo Magalhães - BA e Piracicaba – SP.

## 2. METODOLOGIA

A estimativa da  $ET_0$  foi realizada utilizando dados meteorológicos extraídos do Posto Meteorológico da ESALQ/USP, em Piracicaba-SP e de uma estação meteorológica automática pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em Luís Eduardo Magalhães-BA. Para ambas as localidades as variáveis meteorológicas utilizadas foram: temperatura máxima ( $^{\circ}\text{C}$ ) e mínima ( $^{\circ}\text{C}$ ) do ar, umidade relativa do ar (%), velocidade média do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ) e radiação solar global ( $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ).

O posto da ESALQ pertence ao Departamento de Engenharia de Biosistemas, se localiza sob as coordenadas  $22^{\circ} 42' 30'' \text{ S}$  e  $47^{\circ} 38' 00'' \text{ W}$  (Piracicaba - SP) a uma altitude de 546 metros acima do nível do mar. O posto contém uma estação meteorológica convencional e uma automática, que realiza observações meteorológicas a cada 15 minutos, sendo que para o estudo em questão, os dados foram extraídos da estação automática já convertidos para escala diária.

O clima de Piracicaba, conforme a classificação de Köppen é do tipo Cwa: tropical de altitude, com chuvas de verão e seca no inverno (REIS et al., 2017), com temperatura média de  $20,8^{\circ}\text{C}$  e precipitação média anual de 1.255 mm.

A estação do INMET no município baiano se localiza sob as coordenadas  $12^{\circ} 09' 00'' \text{ S}$  e  $45^{\circ} 48' 00'' \text{ O}$  (Luís Eduardo Magalhães – BA) a uma altitude de 761 metros acima do nível

do mar, sendo constituída de uma estação automática que fornece os dados em escala diária. O clima de Luís Eduardo Magalhães, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, quente e seco com chuvas de inverno (ALVARES et al., 2013). A temperatura média anual é de 24,2 °C com precipitação média anual de 1.511 mm (EMBRAPA, 2010).

Foram utilizados dados meteorológicos diários do período de janeiro de 2010 a dezembro de 2014. Conforme Garcia et al. (2017), não se utilizou dados com inconsistência de leitura ou registros incompletos, o que resultou numa amostra de 1.826 médias diárias viáveis para o município de Piracicaba – SP e 1.790 para o município de Luís Eduardo Magalhães – BA.

Após a triagem das variáveis meteorológicas, a evapotranspiração de referência foi estimada em duas escalas de observação, uma anual e outra sazonal, compreendendo às estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) utilizando-se os modelos descritos a seguir.

## 2.1. Penman-Monteith FAO56 dados meteorológicos completos (PM-FAO56)

Estimou-se a  $ET_0$  pelo modelo de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), considerado padrão, conforme a Equação 1.

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (1)$$

Em que:  $R_n$  – Radiação solar líquida, em  $\text{MJ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ;  $G$  – Densidade do fluxo de calor no solo, em  $\text{MJ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ;  $T$  – Temperatura média diária do ar, em °C;  $\gamma$  – Constante psicrométrica, em  $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;  $\Delta$  – Tangente à curva de pressão de saturação de vapor em função da temperatura do ar, em  $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;  $U_2$  – Velocidade média diária do vento a 2 metros de altura, em  $\text{m s}^{-1}$ ;  $e_a$  – Pressão de vapor de saturação, média diária, em kPa;  $e_s$  – Pressão de vapor de saturação, média diária, à temperatura do ponto de orvalho, em kPa.

## 2.2. Penman-Monteith FAO56 com dados faltantes de radiação solar e umidade relativa do ar (PM-URRa) e com leituras de velocidade do vento medidas

Segundo Allen et al. (1998), na ausência, ou quando os dados de umidade relativa são duvidosos, a pressão real de vapor pode ser obtida igualando-se a temperatura mínima à temperatura do ponto de orvalho e aplicando-se a Equação 2. Os autores consideram que, ao nascer do sol, quando ocorre a temperatura mínima diária, o ar está saturado com vapor d'água e a umidade próxima de 100%.

$$e_a = e^o(T_{min}) = 0,611 \exp \left[ \frac{17,27 T_{min}}{T_{min} + 237,3} \right] \quad (2)$$

Em que:  $e_a$  – Pressão de vapor de saturação, em kPa;  $e^o$  – Pressão de saturação de vapor para a temperatura;  $T_{min}$  – Temperatura mínima do ar, em °C.

Na ausência dos dados de radiação solar, os mesmos foram estimados seguindo recomendações do Boletim FAO56 através da Equação 3, proposta por Hargreaves e Samani (1985), que estima a radiação solar global por meio da diferença das temperaturas máximas e mínimas do ar. Segundo Allen et al. (1998), isso é possível pois as diferenças de temperatura máxima e mínima se relacionam com o grau de cobertura por nuvens do local. Sob condições de céu claro as temperaturas máximas tendem a ser maiores e, em dias nublados, menores, devido ao fato de que uma parte da radiação extraterrestre não chega à superfície da terra, por ser absorvida e/ou refletida pelas nuvens.

$$R_S = k_{RS} \sqrt{(T_{max} - T_{min})} R_a \quad (3)$$

Em que:  $R_a$  – Radiação extraterrestre, em MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>;  $T_{max}$  – temperatura máxima do ar, em °C;  $T_{min}$  – temperatura mínima do ar, em °C;  $k_{RS}$  – coeficiente de ajuste adimensional que varia de 0,16 para regiões de “interior” e 0,19 para regiões “litorâneas”, portanto, no presente estudo o valor utilizado em ambas as localidades foi de 0,16.

A radiação extraterrestre ( $R_a$ ) foi estimada segundo método apresentado no Boletim FAO 56 (Allen et al., 1998), por meio da Equação 4.

$$Ra = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \text{sen}(\varphi) \text{sen}(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \text{sen}(\omega_s)] \quad (4)$$

Em que:  $G_{sc}$  = Constante solar =  $0,08020 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$ ;  $d_r$  = distância relativa inversa Terra-Sol [Eq. 5];  $\omega_s$  = ângulo na hora do pôr-do-sol, em rad [Eq. 6];  $\varphi$  = latitude, em rad [Eq. 7];  $\delta$  = declinação solar, em rad [Eq. 8].

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (5)$$

Em que:  $J$  = número do dia no ano [Eq. 9].

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\varphi) \tan(\delta)] \quad (6)$$

Em que:  $\varphi$  = latitude (rad) [Eq. 7];  $\delta$  = declinação solar (rad) [Eq. 8]

$$\varphi(\text{rad}) = \frac{\pi}{180} \text{decimal} \quad (7)$$

Em que: Decimal = valor da latitude convertido para decimal; Obs.: A latitude, expressa em radianos, é positiva para o hemisfério Norte e negativa para o hemisfério Sul.

$$\delta = 0,409 \text{sen}\left(\frac{2\pi}{365} J - 1,39\right) \quad (8)$$

Em que:  $J$  = número do dia no ano

$$J = \text{Se}(M < 3; J_{prev}; J_{prev} + 2) \quad (9)$$

Em que:  $J_{prev}$  = número do dia no ano, sem correção [Eq. 10];  $M$  = Mês;  $\text{Se}$  = função condicional da planilha eletrônica.

$$J_{prev} = \text{INT}\left(275 \frac{M}{9} - 30 + D\right) - 2 \quad (10)$$

Em que: INT = inteiro;  $M$  = Mês;  $D$  = Dia.

### 2.3. Penman-Monteith FAO56 com dados faltantes de radiação, umidade relativa e velocidade do vento. Nestes casos, fixando-se a velocidade do vento em valores de $1 \text{ m s}^{-1}$ (PM-1), $2 \text{ m s}^{-1}$ (PM-2) e $3 \text{ m s}^{-1}$ (PM-3)

Os valores de radiação e umidade relativa foram estimados conforme as Equações 2 a 10 e as velocidades do vento adotadas foram fixadas em  $1 \text{ m s}^{-1}$ ,  $2 \text{ m s}^{-1}$  e  $3 \text{ m s}^{-1}$ , respectivamente, para PM-1, PM-2 e PM-3.

### 2.4. Hargreaves-Samani (H-S)

Na ausência de dados meteorológicos suficientes, o método proposto por Hargreaves e Samani (1985) (Equação 11) é uma alternativa para a estimativa da evapotranspiração de referência, por necessitar somente de dados de temperaturas máxima e mínima do ar, da temperatura média do ar e da radiação no topo da atmosfera, calculada a partir das Equações 3 a 10.

$$ET_0 = 0,0023 R_a \sqrt{T_{max} - T_{min}}(T + 17,8) \quad (11)$$

Em que:  $R_a$  – Radiação extraterrestre, em  $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  [Eq. 4];  $T_{max}$  – Temperatura máxima do ar, em  $^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{min}$  – Temperatura mínima do ar, em  $^{\circ}\text{C}$ ;  $T$  – Temperatura média do ar, em  $^{\circ}\text{C}$ .

Dentre os modelos utilizados, PM-FAO56 foi definido como padrão e utilizado como referência para as comparações dos demais modelos. A comparação dos modelos analisados se deu por meio da análise dos parâmetros  $\beta_0$  e  $\beta_1$  da regressão linear, e dos indicadores coeficiente de determinação ( $R^2$ ), índice de concordância de Willmott (d) (WILLMOTT et al., 1985), coeficientes de correlação (r) e de confiança (c) (CAMARGO; SENTELHAS, 1997), e raiz quadrada do erro médio (RMSE), conforme as equações 12 a 15, respectivamente. O coeficiente de correlação (r) também pode ser obtido a partir da raiz quadrada do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_1^n (P_i - O_i)^2}{\sum_1^n (|P_i - O| + |O_i - O|)} \right] \quad (12)$$

$$r = \frac{\sum_1^n (P_i - P)(O_i - O)}{\sqrt{[\sum_1^n (P_i - P)^2][\sum_1^n (O_i - O)^2]}} \quad (13)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_1^n (O_i - P_i)^2}{n - 1}} \quad (14)$$

$$c = r d \quad (15)$$

Em que: d – Índice de concordância de Willmott; c – Coeficiente de confiança; r – Coeficiente de correlação; RMSE – Raiz quadrada do erro médio, em mm dia<sup>-1</sup>; O<sub>i</sub> – Evapotranspiração estimada pelo método padrão Penman-Monteith FAO56, em mm dia<sup>-1</sup>; O – média dos valores observados, em mm dia<sup>-1</sup>; P<sub>i</sub> – Evapotranspiração estimada pelo método a ser comparado, em mm dia<sup>-1</sup>; P – Média dos valores observados, em mm dia<sup>-1</sup>; n – número de observações.

Para classificar o desempenho do método se utilizou a Tabela 1, segundo Camargo e Sentelhas (1997).

**Tabela 1** - Critérios para interpretação do índice de desempenho

Índice de "c"	Classificação
>0,85	Excelente
0,76 – 0,85	Muito Bom
0,66 – 0,75	Bom
0,61 – 0,65	Intermediário
0,51 – 0,60	Tolerável
0,41 – 0,50	Ruim
≤0,4	Muito Ruim

**Fonte:** Camargo e Sentelhas (1997)

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 apresentam-se os valores de  $ET_0$  estimados pelo método Padrão e os valores estimados com dados faltantes de umidade relativa do ar e de radiação solar, nas diferentes velocidades de vento fixadas e pelo método H-S, bem como os indicadores da regressão linear de comparação das diferentes metodologias utilizadas em relação ao padrão Penman-Monteith FAO56.

**Tabela 2** - Evapotranspiração média diária do período ( $ET_0$ ), percentagem em relação ao método-padrão (PM), Raiz quadrada do erro médio (RMSE), coeficiente de determinação para a regressão ajustada ( $r^2$ ) e parâmetros de ajuste da equação de regressão ( $\beta_0$  e  $\beta_1$ ), para as cidades em estudo.

Método	$ET_0$ (mm dia <sup>-1</sup> )	%	RMSE (mm dia <sup>-1</sup> )	$R^2$	$\beta_0$	$\beta_1$
Luís Eduardo Magalhães – BA						
PM	4,9	100	-	-	-	-
URRa	5,0	103	0,7	0,80	0,6602	1,7973
PM-1	4,2	87	1,3	0,39	0,3071	2,7385
PM-2	4,8	99	1,0	0,48	0,3807	2,9449
PM-3	5,3	109	1,1	0,51	0,4452	3,1180
H-S	5,0	102	1,1	0,43	0,3901	3,0771
Piracicaba – SP						
PM	3,7	100	-	-	-	-
URRa	3,9	106	0,7	0,83	0,7847	1,0301
PM-1	3,9	106	0,7	0,84	0,7286	1,2298
PM-2	4,5	122	1,0	0,85	0,7772	1,6294
PM-3	5,0	135	1,4	0,83	0,8228	1,9559
H-S	4,6	125	1,1	0,85	0,8737	1,4100

PM = Penman-Monteith FAO56 original; URRa = Penman-Monteith FAO56 com dados faltantes de radiação solar e umidade relativa do ar (PM-URRa) e com leituras de velocidade do vento medidas; PM-1 = Penman-Monteith FAO56 com dados faltantes de radiação, umidade relativa e velocidade do vento, fixando-se a velocidade do vento em 1 m s<sup>-1</sup>; PM-2 = Penman-Monteith FAO56 com dados faltantes de radiação, umidade relativa e velocidade do vento, fixando-se a velocidade do vento em 2 m s<sup>-1</sup>; PM-3 = Penman-Monteith FAO56 com dados faltantes de radiação, umidade relativa e velocidade do vento, fixando-se a velocidade do vento em 3 m s<sup>-1</sup>; H-S = Hargreaves-Samani.

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2023).

Ao observar a Tabela 2 pode-se verificar que, para a região de Luiz Eduardo Magalhães, no Oeste baiano, a maioria das equações estimaram, em média, com erro menor ou igual a

3% em relação ao padrão de Penman-Monteith. Somente as metodologias de PM-1 e PM-3 que apresentaram diferenças maiores, 13 e 9%, respectivamente.

Um dado importante de ser observado é que, com o aumento da velocidade do vento de  $2 \text{ m s}^{-1}$  para  $3 \text{ m s}^{-1}$ , houve superestimativa da  $ET_0$ , enquanto ao reduzir a velocidade fixada para  $1 \text{ m s}^{-1}$ , a tendência foi de subestimar os valores de evapotranspiração. Esse resultado indica que a velocidade do vento para a região do oeste baiano, no período avaliado, está em média entre 2,0 a  $2,1 \text{ m s}^{-1}$ .

Este resultado está em acordo com o descrito por Alencar et al. (2015), que indica que quando os dados de vento na região não estão disponíveis, um valor de  $2 \text{ m s}^{-1}$  pode ser utilizado como uma estimativa provisória, pois este valor é uma média de mais de 2.000 estações meteorológicas ao redor do mundo.

Para a região de Piracicaba, interior paulista, as diferenças entre os métodos com dados ausentes e o padrão foram maiores, sendo a menor diferença de 6%, para os métodos de URRa e PM-1, enquanto os métodos de PM-2, PM-3 e H-S superestimaram a  $ET_0$  entre 22% a 35% , em relação ao padrão PM-FAO56.

A equação de H-S, apesar de apresentar boa estimativa na região de Luiz Eduardo Magalhães, teve uma superestimativa de 25% na região paulista, em média. De acordo com Ferreira et al. (2016), a equação proposta por Hargreaves e Samani (1985) proporciona bons resultados se comparada com a metodologia proposta por Penman-Monteith, quando utilizado em condições de clima árido e subúmido, pois foi para estas situações que o método foi desenvolvido.

No entanto, em regiões úmidas, como é o caso do interior paulista, a equação proposta por H-S tende a superestimar a  $ET_0$ , quando em comparação com o padrão PM-56 (COSTA, MANTOVANI e SEDIYAMA, 2015).

Na Tabela 3 tem-se os resultados de concordância (d), correlação (r) e desempenho (c), dos métodos utilizados em comparação ao padrão. A partir destes resultados é possível verificar quais equações têm melhor desempenho para as regiões em estudo.

**Tabela 3** - Índice de concordância (d), coeficiente correlação (r), índice de desempenho (c) e a classificação baseada no índice de desempenho

Método	d	r	c	Classificação "c"
Luís Eduardo Magalhães				
URRa	0,92	0,89	0,82	Muito Bom
PM-1	0,65	0,63	0,41	Ruim
PM-2	0,75	0,69	0,52	Tolerável
PM-3	0,77	0,71	0,55	Tolerável
H-S	0,79	0,65	0,49	Ruim
Piracicaba				
URRa	0,94	0,91	0,86	Excelente
PM-1	0,94	0,92	0,86	Excelente
PM-2	0,88	0,92	0,81	Muito Bom
PM-3	0,80	0,91	0,73	Bom
H-S	0,87	0,92	0,80	Muito Bom

PM = Penman-Monteith FAO56 original; URRa = Penman-Monteith FAO56 com dados faltantes de radiação solar e umidade relativa do ar (PM-URRa) e com leituras de velocidade do vento medidas; PM-1 = Penman-Monteith FAO56 com dados faltantes de radiação, umidade relativa e velocidade do vento, fixando-se a velocidade do vento em  $1 \text{ m s}^{-1}$ ; PM-2 = Penman-Monteith FAO56 com dados faltantes de radiação, umidade relativa e velocidade do vento, fixando-se a velocidade do vento em  $2 \text{ m s}^{-1}$ ; PM-3 = Penman-Monteith FAO56 com dados faltantes de radiação, umidade relativa e velocidade do vento, fixando-se a velocidade do vento em  $3 \text{ m s}^{-1}$ ; H-S = Hargreaves-Samani.

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2023).

Pela análise da Tabela 3 nota-se que, apesar dos bons resultados, em média, da estimativa da  $ET_0$ , apresentados na Tabela 2, quando avaliados os índices (d), (r) e (c), para a região de Luiz Eduardo Magalhães, apenas o método de URRa apresenta bons índices, enquanto os outros modelos são considerados toleráveis ou ruins.

Esse resultado indica que o componente aerodinâmico da evapotranspiração de referência para a região do oeste baiano tem grande importância, uma vez que os métodos que fixam ou não levam em consideração a variação do fator velocidade do vento tem desempenho muito abaixo do padrão.

Silva et al. (2016a), em estudo realizado na região do Piauí, observaram que em regiões em que há grandes variações ou a velocidade do vento é muito alta, não se pode desprezar ou fixar esta variável, pois quanto mais se distancia o valor de velocidade do vento do valor médio registrado, há uma piora no desempenho do método em geral.

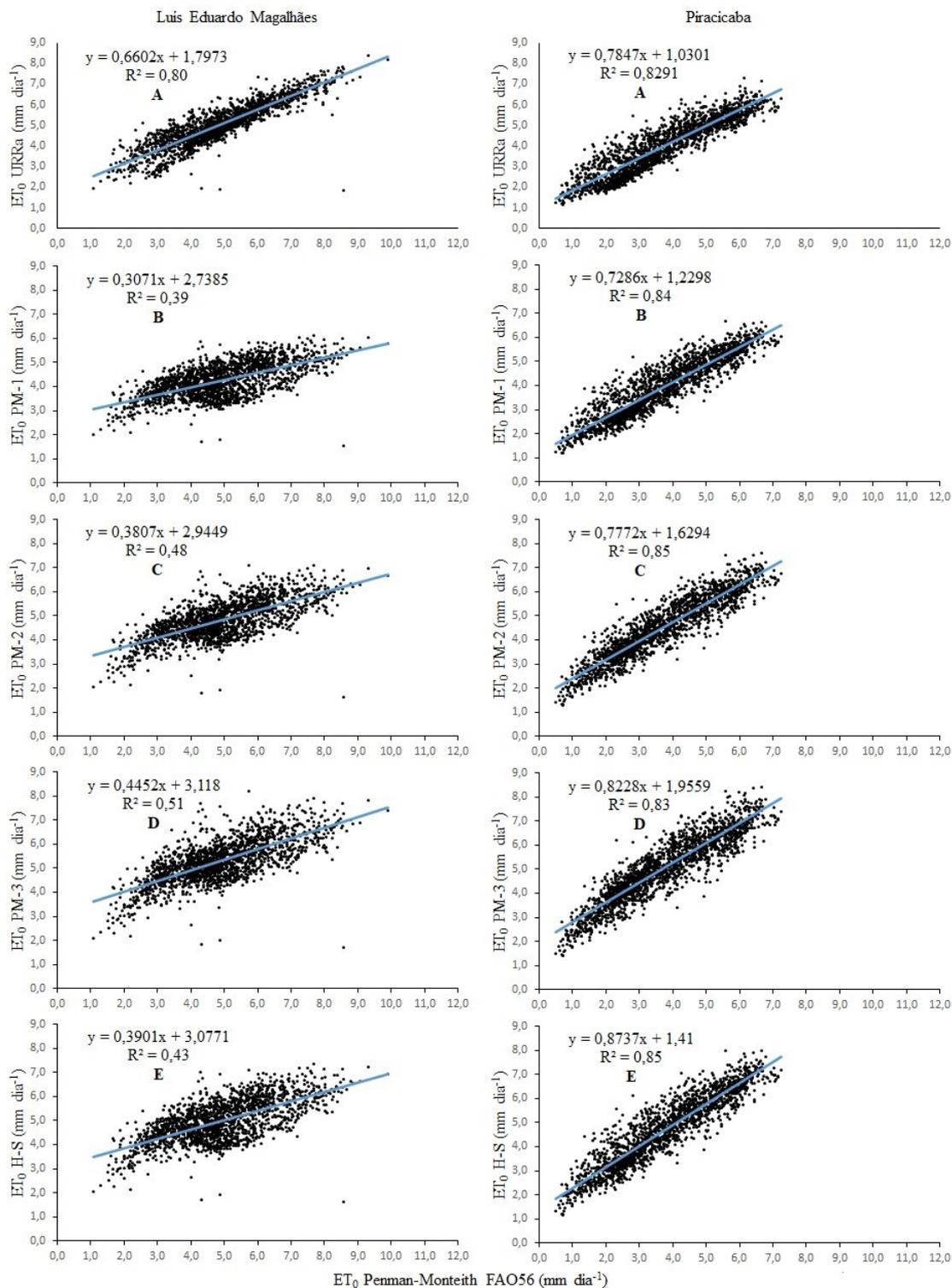
Em contraponto aos resultados obtidos na região do oeste baiano, para a região de

Piracicaba, todos os métodos utilizados apresentaram desempenho classificado como bom, muito bom ou excelente, indicando que o componente aerodinâmico não tem grande relevância para a região. Assim, se pode fixar os seus valores.

De acordo com Moraes et al. (2015), isso ocorre quando a região em estudo possui valores médios de velocidade do vento muito baixos ou com pouca variação entre os valores. Este fato pode ser comprovado ao observar a Tabela 2, na qual PM-1, ou seja, valores fixados em  $1 \text{ m s}^{-1}$  apresentaram  $ET_0$  mais próxima ao padrão PM, superestimando levemente em 6%, enquanto os valores fixados em 2 e  $3 \text{ m s}^{-1}$  superestimaram a  $ET_0$  em 22 e 25%, respectivamente.

Na Figura 1 são apresentados os resultados discutidos anteriormente, demonstrando a dispersão dos dados obtidos e as respectivas conformidades dos modelos com o padrão PM.

**Figura 1** - Regressões lineares pelos métodos URRa (A), PM-1 (B), PM-2 (C), PM-3 (D) e H-S (E) para Luís Eduardo Magalhães e Piracicaba.



PM = Penman-Monteith FAO56 original; URRa = Penman-Monteith FAO56 com dados faltantes de radiação solar e umidade relativa do ar (PM-URRa) e com leituras de velocidade do vento medidas; PM-1 = Penman-Monteith FAO56 com dados faltantes de radiação, umidade relativa e velocidade do vento, fixando-se a velocidade do vento em 1 m s<sup>-1</sup>; PM-2 = Penman-Monteith FAO56 com dados faltantes de radiação, umidade relativa e velocidade do vento, fixando-se a velocidade do vento em 2 m s<sup>-1</sup>; PM-3 = Penman-Monteith FAO56 com dados faltantes de radiação, umidade relativa e velocidade do vento, fixando-se a velocidade do vento em 3 m s<sup>-1</sup>; H-S = Hargreaves-Samani.

Verifica-se que, para a região de Luiz Eduardo Magalhães, no oeste baiano, como já observado na Tabela 3, apenas o método de URRa apresenta um bom agrupamento dos dados, de modo que estes estejam mais próximos da reta 1:1, enquanto os demais métodos apresentam um padrão de dispersão elevado, com o valor de  $R^2$  muito baixo, entre 0,39 e 0,51, o que faz com que estes sejam menos indicados para uso, quando há ausência de dados.

Silva et al. (2016b), em estudo realizado na região de Sergipe, observaram baixos valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), sendo estes valores reduzidos ainda mais, à medida que se aumentou a velocidade do vento, oposto ao que ao que ocorre neste estudo, uma vez que, com velocidades do vento maiores, o valor de  $R^2$  também aumentou.

Também, quando observada a Figura 1, nota-se a baixa dispersão dos dados para a região de Piracicaba, interior paulista. O valor de  $R^2$  para os métodos avaliados está entre 0,83 a 0,85, ou seja, bem correlacionado com o padrão de PM-FAO56, o que faz com que qualquer um dos métodos possa ser indicado quando há ausência de dados para esta região.

Os resultados do coeficiente de determinação e os parâmetros de ajuste da equação de regressão para os dois municípios analisados, em escala sazonal, estão apresentados na Tabela 4. No município de Luís Eduardo Magalhães, nota-se que o método URRa apresentou os maiores valores de  $R^2$  e os menores valores de  $b$ , o que permite afirmar que a evapotranspiração de referência estimada com a equação de PM-FAO56 com dados faltantes de radiação e umidade relativa apresenta-se como o mais satisfatório para o oeste baiano.

**Tabela 4** - Raiz quadrada do erro médio (RMSE), mm d<sup>-1</sup>, coeficiente de determinação para a regressão ajustada (R<sup>2</sup>) e parâmetros de ajuste da equação de regressão ( $\beta_0$  e  $\beta_1$ ), para as cidades em estudo.

Estação do ano	Método	RMSE (mm dia <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	$\beta_0$	$\beta_1$
Luís Eduardo Magalhães					
Verão	URRa	0,8	0,75	0,5681	2,3969
	PM-1	0,9	0,66	0,3794	2,7459
	PM-2	0,9	0,66	0,4607	2,8139
	PM-3	1,1	0,66	0,5320	2,8686
	H-S	1,0	0,66	0,4809	3,0195
Outono	URRa	0,4	0,79	0,7807	1,0772
	PM-1	0,9	0,29	0,2572	2,6517
	PM-2	0,7	0,36	0,3318	2,9070
	PM-3	0,9	0,38	0,3967	3,1239
	H-S	0,7	0,32	0,3314	3,0009
Inverno	URRa	0,4	0,91	0,8046	0,8581
	PM-1	1,8	0,26	0,2437	2,7535
	PM-2	1,3	0,20	0,2371	3,5333
	PM-3	1,2	0,15	0,2333	4,1910
	H-S	1,2	0,24	0,2819	3,3281
Primavera	URRa	0,9	0,80	0,5996	2,2868
	PM-1	1,4	0,60	0,3328	2,9525
	PM-2	1,2	0,62	0,4211	2,9662
	PM-3	1,2	0,63	0,4989	2,9994
	H-S	1,2	0,61	0,4277	3,2194
Piracicaba					
Verão	URRa	0,8	0,79	0,5270	2,3578
	PM-1	0,8	0,79	0,5280	2,3578
	PM-2	0,9	0,81	0,6320	2,3670
	PM-3	1,3	0,82	0,7239	2,3681
	H-S	1,2	0,79	0,6670	2,5520
Outono	URRa	0,5	0,77	0,7188	0,8924
	PM-1	0,5	0,80	0,6892	1,1102
	PM-2	0,9	0,79	0,7773	1,4452
	PM-3	1,4	0,75	0,8573	1,7156
	H-S	0,9	0,81	0,8371	1,2647
Inverno	URRa	0,5	0,83	0,8333	0,7009
	PM-1	0,5	0,86	0,7449	0,9734
	PM-2	1,0	0,84	0,8830	1,2751
	PM-3	1,6	0,80	1,0047	1,5154
	H-S	0,9	0,86	0,9134	1,1082
Primavera	URRa	0,8	0,80	0,5667	2,4143
	PM-1	0,8	0,74	0,5315	2,3836
	PM-2	1,1	0,74	0,6418	2,4110
	PM-3	1,4	0,73	0,7385	2,4281
	H-S	1,3	0,74	0,6705	2,5975

PM = Penman-Monteith FAO56 original; URRa = Penman-Monteith FAO56 com dados faltantes de radiação solar e umidade relativa do ar (PM-URRa) e com leituras de velocidade do vento medidas; PM-1 = Penman-Monteith FAO56 com dados faltantes de radiação, umidade relativa e velocidade do vento, fixando-se a velocidade do vento em 1 m s<sup>-1</sup>; PM-2 = Penman-Monteith FAO56 com dados faltantes de radiação, umidade relativa e velocidade do vento, fixando-se a velocidade do vento em 2 m s<sup>-1</sup>; PM-3 = Penman-Monteith FAO56 com dados faltantes de radiação, umidade relativa e velocidade do vento, fixando-se a velocidade do vento em 3 m s<sup>-1</sup>; H-S = Hargreaves-Samani.

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2023).

Na Tabela 5 são apresentados o índice de desempenho (c), o índice de concordância (d), o coeficiente de correlação (r) e a classificação baseada no índice de desempenho para o

oeste baiano e o interior paulista.

**Tabela 5** - Índice de concordância (d), coeficiente correlação (r), índice de desempenho (c) e a classificação baseada no índice de desempenho

Estação do ano	Método	d	r	c	Classificação de "c"
Luís Eduardo Magalhães					
Verão	URRa	0,85	0,86	0,73	Bom
	PM-1	0,77	0,81	0,63	Intermediário
	PM-2	0,80	0,81	0,65	Intermediário
	PM-3	0,77	0,82	0,63	Intermediário
	H-S	0,76	0,81	0,62	Intermediário
Outono	URRa	0,93	0,89	0,83	Muito Bom
	PM-1	0,61	0,54	0,33	Muito Ruim
	PM-2	0,71	0,60	0,42	Ruim
	PM-3	0,68	0,61	0,42	Ruim
	H-S	0,70	0,57	0,40	Muito Ruim
Inverno	URRa	0,96	0,96	0,92	Excelente
	PM-1	0,52	0,51	0,26	Muito Ruim
	PM-2	0,57	0,44	0,25	Muito Ruim
	PM-3	0,58	0,39	0,23	Muito Ruim
	H-S	0,60	0,49	0,29	Muito Ruim
Primavera	URRa	0,90	0,89	0,81	Muito Bom
	PM-1	0,71	0,78	0,55	Tolerável
	PM-2	0,80	0,79	0,63	Intermediário
	PM-3	0,82	0,79	0,65	Intermediário
	H-S	0,79	0,78	0,62	Intermediário
Piracicaba					
Verão	URRa	0,87	0,89	0,77	Muito Bom
	PM-1	0,87	0,89	0,77	Muito Bom
	PM-2	0,85	0,90	0,76	Muito Bom
	PM-3	0,79	0,90	0,72	Bom
	H-S	0,79	0,89	0,70	Bom
Outono	URRa	0,92	0,88	0,81	Muito Bom
	PM-1	0,91	0,89	0,81	Muito Bom
	PM-2	0,77	0,89	0,69	Intermediário
	PM-3	0,65	0,86	0,56	Tolerável
	H-S	0,79	0,90	0,71	Bom
Inverno	URRa	0,94	0,91	0,86	Excelente
	PM-1	0,94	0,93	0,87	Excelente
	PM-2	0,81	0,91	0,74	Bom
	PM-3	0,67	0,90	0,60	Tolerável
	H-S	0,83	0,93	0,77	Muito Bom
Primavera	URRa	0,87	0,89	0,77	Muito Bom
	PM-1	0,86	0,86	0,74	Bom
	PM-2	0,83	0,86	0,71	Bom
	PM-3	0,76	0,86	0,65	Intermediário
	H-S	0,77	0,86	0,67	Intermediário

PM = Penman-Monteith FAO56 original; URRa = Penman-Monteith FAO56 com dados faltantes de radiação solar e umidade relativa do ar (PM-URRa) e com leituras de velocidade do vento medidas; PM-1 = Penman-Monteith FAO56 com dados faltantes de radiação, umidade relativa e velocidade do vento, fixando-se a velocidade do vento em 1 m s<sup>-1</sup>; PM-2 = Penman-Monteith FAO56 com dados faltantes de radiação, umidade relativa e velocidade do vento, fixando-se a velocidade do vento em 2 m s<sup>-1</sup>; PM-3 = Penman-Monteith FAO56 com dados faltantes de radiação, umidade relativa e velocidade do vento, fixando-se a velocidade do vento em 3 m s<sup>-1</sup>; H-S = Hargreaves-Samani.

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2023).

Assim como se observou também na Tabela 4, os resultados estimados com o método

URRa são os mais satisfatórios e inferem que esta equação pode ser empregada para a estimativa da evapotranspiração tanto na escala anual como na sazonal. Ressalta-se que todos os outros métodos, segundo a classificação de “c”, apresentaram resultados “Intermediário” ou “Tolerável” para as estações verão e primavera e resultados “ruim” ou “muito ruim” para o Outono ou o Inverno.

Desta forma, caso o método H-S, mais simplificado em relação aos demais, seja a única possibilidade para estimativa de  $ET_0$  para o oeste baiano, os resultados para estações mais amenas do ano podem superestimar valores, enquanto resultados encontrados entre setembro e março podem ser considerados toleráveis. Gurski et al. (2018), ao analisarem métodos alternativos de evapotranspiração de referência para tipos climáticos brasileiros, concluíram que o método H-S se apresenta com forte associação linear para o clima subtropical com o método padrão PM-FAO56, sendo empregado em outros climas somente pela sua facilidade e baixo custo.

Para o município de Piracicaba nota-se que a ausência dos dados de velocidade do vento, em todas as estações do ano, exceto na estação do outono com a velocidade do vento fixada em  $3 \text{ m s}^{-1}$ , apresentaram bom desempenho, com valores de “c” superiores a 0,56 (Tabela 5). Resultados similares foram observados por Venâncio et al. (2019), onde o método Penman-Monteith, com dados ausentes de velocidade do vento se mostrou como a melhor opção para estimativa de  $ET_0$  na região norte do Espírito Santo, com tal método apresentando desempenho ótimo em todas as escalas de tempo e estações analisadas.

Com relação ao RMSE, para a escala sazonal, no município de Piracicaba, é observado que, para o método com ausência de velocidade do vento, os maiores valores são observados nas estações de primavera e verão (Tabela 4). Isso ocorre porque nessas estações a velocidade do vento é mais influente sobre a  $ET_0$ , enquanto no outono e no inverno a radiação exerce maior influência (VENÂNCIO et al. 2019).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos conclui-se que, para a região do Oeste baiano, quando há ausência de dados, o método mais indicado para estimar a evapotranspiração de referência é o Penman-Monteith FAO56 com dados faltantes de radiação solar e umidade relativa do ar

e o uso de dados da velocidade do vento medidos (URRa), enquanto os demais métodos não são indicados. Para a região de Piracicaba, interior paulista, todos os métodos testados neste trabalho podem ser utilizados para estimar a evapotranspiração de referência, sendo os mais indicados o Penman-Monteith FAO56 que utilizam apenas dados da velocidade do vento e com estes valores fixados em  $1 \text{ m s}^{-1}$ . Tanto para Luís Eduardo Magalhães como para Piracicaba, nota-se que a escala anual é suficiente para estimar a evapotranspiração de referência, descartando-se a necessidade de análise sazonal nestes dois municípios. Os resultados apresentados limitam sua aplicação a regiões de características climáticas semelhantes àquelas aqui analisadas. Em estudos futuros recomenda-se a avaliação destes métodos em regiões de clima diferente dos avaliados e, ainda, a comparação do uso de valores de ETo estimada com dados diários com dados médios semanais ou mensais.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES – TO 423/2021) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq – Processo 307945/2021-9) pelo financiamento dessa pesquisa e ao Programa Institucional de Difusão Científica – PRODIF do Ifes pelo apoio financeiro na publicação do artigo.

## REFERÊNCIAS

- A.I.B.A. Irrigar para crescer. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 13., 2013, Luís Eduardo Magalhães. **Anais...** Luís Eduardo Magalhães: CONIRD, 2013.
- ALENCAR, L. P.; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C. Estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub> padrão FAO), para Minas Gerais, na ausência de alguns dados climáticos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n. 1, p.39 - 50, 2015.
- ALLEN, R. G. PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Irrigation and Drainage Paper 56. p. 300, 1998.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- BARROS, A. C.; SILVA, C. S. O.; NETTO, A. O. A. Ajuste dos parâmetros da equação Hargreaves-Samani em escala diária para o perímetro irrigado Jacaré-Curitiba, Canindé-SE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.11, n. 8, p. 2152-2161, 2017.

BARROS, A. C.; SILVA, F. F.; ARAUJO, P. H. V.; MEDEIROS, P. R. F.; NETO, J. A. L. Estimativa diária de evapotranspiração de referência por Hargreaves-Samani e ajuste de parâmetros para Alagoas. **Irriga**, Botucatu, v. 24, n. 3, p. 527-537, 2019.

CAMARGO, A. P. de; 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, p.89-97, 1997.

CUNHA, F. F. D.; VENANCIO, L. P.; CAMPOS, F. B.; SEDIYAMA, G. C. Reference evapotranspiration estimates by means of Hargreaves-Samani and Penman-Monteith FAO methods with missing data in the northwestern Mato Grosso do Sul. **Bioscience Journal**, Uberlândia, p. 1166-1176, 2017.

EMBRAPA. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 288**. Castro, K. B., Martins, E. S., Gomes, M. P., Reatto, A., Lopes, C. A., Passo, D. P., Lima, L. A. S., Cardoso, W. S., Junior, O. A. C., Gomes, R. A. T. Caracterização geomorfológica do município de Luís Eduardo Magalhães, Oeste Baiano, escala 1:100.000 / Dados eletrônicos. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2010. 33p.; il. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN 2176-509X; 288) Planaltina, DF 2010.

COELHO, A. P.; DALRI, A. B.; FISCHER FILHO, J. A.; FARIA, R. T.; SILVA, L. S.; GOMES, R. P. Calibração e avaliação do modelo DSSAT / Canegro para cultivo de cana-de-açúcar sob manejos de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 24, n. 1, p. 52-58, 2019.

COSTA, M. S., MANTOVANI, E. C., SEDIYAMA, G. C. Comportamento dos diferentes métodos de determinação da evapotranspiração de referência nas cinco Regiões Brasileiras. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 9, n. 5, p. 310-319, 2015.

FERREIRA, F. E. P.; PEREIRA, S. B.; MARTINEZ, M. A.; SOARES, A. R.; da CUNHA, F. F. USO DO SOFTWARE INTECPERÍMETRO® NO MANEJO DA IRRIGAÇÃO DO FEIJOEIRO. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 24, n. 3, p. 257-266, 2016.

GARCIA, A. D. B.; MENDONÇA, J. C.; ALMEIDA, C. M. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) no município de Santa Teresa, ES. **Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 4, p. 701-714, 2017.

GIOVANELLA, T. H.; OLIVEIRA, F. C. D.; MARCHI, V. A. D. A.; TLUSZCZ, J. Desempenho de métodos de preenchimento de falhas em dados de evapotranspiração de referência para região oeste do paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Fortaleza, v. 36, p. 415-422, 2021.

GURSKI, B. C.; JERSZURKI, D.; SOUZA, J. L. M. Alternative Methods of Reference Evapotranspiration for Brazilian Climate Types. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 33, n. 3, p. 567-578, 2018.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 01, n. 02, p. 96-99, 1985.

MORAIS, J. E. F. DE, DA SILVA, T. G. F., DE SOUZA, L. S. B., DE MOURA, M. S. B., DINIZ, W. D. S., DE SOUZA, C. A. A. Avaliação do método de Penman-Monteith FAO 56 com dados faltosos e de métodos alternativos na estimativa da evapotranspiração de referência no Submédio Vale do São Francisco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8, n. 6, p. 1644 – 1660, 2015.

REIS, C. J.; BEIJO, L. A.; AVELAR, F. G. Temperatura mínima esperada para Piracicaba-SP via distribuições de valores extremos. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 11, n. 4, p. 1639-1650, 2017.

SARNIGHAUSEN, V. C. R.; GOMES, F. G.; DAL PAI, A.; RODRIGUES, S. A. Estimativa da evapotranspiração de referência para Botucatu-SP por meio de modelos de regressão. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 28, 2021.

SÉRIE DE DADOS CLIMATOLÓGICOS DO CAMPUS LUIZ DE QUEIROZ DE PIRACICABA, SP. Departamento de Engenharia de Biosistemas. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. LEB – ESALQ – USP.

SILVA, C. O., de ANDRADE JUNIOR, A. S., de SOUSA, V. F., RIBEIRO, V. Q., SENTELHA, P. C. Estimativa da evapotranspiração de referência com dados climáticos limitados no estado do Piauí. **Revista Espacios**, Caracas, v. 37, n. 23, p. 12 – 27, 2016a.

SILVA, J. R.; HELDWEIN, A. B.; HINNAH, F. D.; BRAND, S. I.; PUHL, A. J.; LEONARDI, M. Ajuste de equações de estimativa de 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, M. G.; BATISTA, L. D. S., GOMES FILHO, R. R.; de CARVALHO, C. M. Estimativa da evapotranspiração de referência por Penman-Monteith FAO 56 usando dados meteorológicos limitados em Aracaju, Sergipe. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 10, n. 4, p. 830-840, 2016b.

SILVA, M. B. P. de; SOUZA, V. C. de; CREMASCO, C. P.; CALÇA, M. V. C.; SANTOS, C. M. dos; CREMASCO, C. P.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; RODRIGUES, S. A.; ESCOBEDO, J. F. Estimativa da evapotranspiração de referência do Planalto Paulista por meio de regressões múltiplas com dados ausentes estimados via análise de componentes principais. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 11, n. 8, p. e43211831120-e43211831120, 2022.

VENÂNCIO, L. P.; CUNHA, F. F.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; EUGENIO, F. C.; ALEMAN, C. C. Penman-Monteith com dados faltantes e Hargreaves-Samani para estimativa da ETO no estado do Espírito Santo, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, n. 3, p. 153-159, 2019.

VICENTE, M. R.; LEITE, C. V.; dos SANTOS, R. M.; LUCAS, P. O.; DIAS, S. H. B.; SANTOS, J. A. Evapotranspiração de referência utilizando o método FAO Penman-Monteith com dados faltantes. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 11, n. 3, 2018.

WILLMOT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C. M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Malden, v.90, p.8995-9005, 1985.