

## COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NA CIDADE DO RECIFE-PE

Evellyn da Silva Gomes<sup>1</sup>, Célia Silva dos Santos<sup>2</sup>, Abelardo Antônio de Assunção  
Montenegro<sup>3</sup>, Talita Xavier Gouveia<sup>4</sup>, Frederico Abraão Costa Lins<sup>5</sup>,  
Kátia Elisabete Silva Ribeiro<sup>6</sup>

**RESUMO:** Considerada elemento climático de demanda hídrica, a evapotranspiração é de fundamental importância para aplicações meteorológicas, climatológicas e hidrológicas. A determinação da evapotranspiração pode ser realizada por distintos métodos, porém a dificuldade na obtenção de dados meteorológicos de entrada, tornando essencial a associação de métodos comparativos. Objetivou-se avaliar o desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) em comparação com o método padrão FAO-PenmanMonteith para cidade de Recife. Os métodos que obtiveram maior correlação foram Penman, Jensen-Haise e Priestley & Taylor, com coeficiente de determinação maior que 0,90 e classificados com muito bom e bom desempenho. Os métodos de Hargreaves-Samani e Camargo não obtiveram resultados satisfatórios para uso em Recife-PE.

**PALAVRAS-CHAVE:** Penman-Montheith, irrigação, balanço hídrico.

## COMPARISON OF THE REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATION METHODS IN THE CITY OF RECIFE-PE

**ABSTRACT:** Considered a climatic element of water demand, evapotranspiration is of fundamental importance for meteorological, climatological and hydrological applications. The determination of evapotranspiration can be performed by different methods, but the difficulty in obtaining input meteorological data, makes the association of comparative methods essential. The objective of this study was to evaluate the performance of different reference

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, Departamento de Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife-PE, Brasil; Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos. Fone (81) 994382070. E-mail: g.s.evellyn@gmail.com

<sup>2</sup> Doutora do Departamento de Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife-PE.

<sup>3</sup> Doutor em Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife-PE.

<sup>4</sup> Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, Departamento de Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife-PE.

<sup>5</sup> Doutorando em do Departamento de Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife-PE.

<sup>6</sup> Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, Departamento de Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife-PE.

evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) estimation methods in comparison with the FAO-Penman Monteith standard method for Recife. The methods with the highest correlation were Penman, Jensen-Haise and Priestley & Taylor, with determination coefficient greater than 0.90 and classified as very good and good performance. Hargreaves-Samani and Camargo methods did not obtain satisfactory results for use in Recife-PE.

**KEYWORDS:** Penman-Monteith, irrigation, hydric balance.

## INTRODUÇÃO

A evapotranspiração é a estimativa da quantidade equivalente de água que evapora do solo e que transpira das plantas, que é controlada pela disponibilidade de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas (Santos et al., 2017).

Segundo Biscaro et al. (2017), a determinação da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) é essencial no auxílio de pesquisadores e profissionais na execução de projetos agrícolas e ambientais, no estudo de modelagem, caracterização de risco climático e, principalmente, no planejamento e manejo de irrigação visando a maximização e sustentabilidade de uma região.

O método de Penman-Monteith parametrizado pela FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) recomendado para a estimativa da evapotranspiração, por apresentar o melhor desempenho quando aplicado em diversos tipos de clima. Contudo é o que necessita de uma quantidade maior de elementos meteorológicos que muitas vezes não estão disponíveis, ocasionando assim, a busca de métodos de estimativa mais simples (Ferronato et al., 2016).

Alguns estudos têm sido realizados visando comparar diversos métodos com o estabelecido pela FAO e gerar dados experimentais em regiões específicas, dentre eles: Oliveira et al. (2015) avaliaram o desempenho de diferentes métodos na escala anual, na região de Rio-Paranaíba-MG, e observaram que o método de Jensen & Haise obteve o melhor desempenho dentre os analisados. Da Silva et al. (2014) compararam métodos de estimativa da ET<sub>o</sub> com o método de FAO-Penman-Monteith, acumulada a cada 10 dias, no Arquipélago de Fernando de Noronha, e verificaram que os métodos de Hargreaves e Priestley & Taylor apresentaram melhor desempenho para as condições climáticas estudadas.

Com isso o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de diferentes métodos de estimativa da ET<sub>o</sub> em comparação com o método de FAO-PM para região metropolitana do Recife- PE.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os dados meteorológicos obtidos no intervalo 60 minutos, durante o período de 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2017, foram coletados da estação meteorológica automática (Campbell Scientific modelo CR1000) localizada na cidade do Recife, nas coordenadas geográficas de 8° 01' 06" S e 34° 56' 49" W. Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima é tropical mansônico (Am), com temperatura média anual de 25,8°C, pluviosidade média anual de aproximadamente 1.804 mm e umidade relativa do ar média anual de 79,8% (Climate, 2018).

Foram avaliados os seguintes métodos de estimativa da ETo: Penman (PN) (FAO, 2007), Hargreaves & Samani (HS) (1985), Camargo (Cam) (1971), Priestley & Taylor (PT) (1972) e Jensen & Haise (JH) (1963) e comparados com o método padrão da FAO Penman-Monteith (P-M) (Allen et al. 1998).

### Método de Penman-Monteith (P-M)

$$ET0 = \frac{0,408 \Delta (Rn-G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0,34 u_2)} \quad (1)$$

Em que,

$\Delta$  – Gradiente da curva pressão vapor vs temperatura (kPa °C<sup>-1</sup>)

$R_n$  – Radiação solar líquida disponível (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)

$G$  – Fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)

$\gamma$  – Constante psicrométrica (kPa.°C<sup>-1</sup>)

$u_2$  – Velocidade do vento a 2 m (m s<sup>-1</sup>).

$e_s$  – Pressão de saturação do vapor d'água atmosférico (kPa).

$e_a$  – Pressão atual do vapor de água atmosférico (kPa).

$T_a$  – Temperatura média diária do ar (°C).

### Método de Penman (PN)

$$ET0 = \frac{g}{d+g} (Rn - G) + \frac{g}{d+g} 2,7 (1 + 0,864 \times U2) \times (e_a - e_d) \quad (2)$$

Em que,

$d$  - Declividade da curva de pressão de vapor de saturação (kPa/°C).

$g$  - Coeficiente psicrométrico modificado, função das resistências aerodinâmica e do dossel (kPa.°C<sup>-1</sup>).

$R_n$  - Saldo de radiação à superfície da cultura (MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>).

G - Fluxo de calor no solo ( $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ).

U2- Velocidade do vento a uma altura de 2 m ( $\text{m.s}^{-1}$ ).

#### **Método de Hargreaves-Samani (HS)**

$$ET0 = 0,023 \times Ra \times (Tmax - Tmin)^{0,5} \times (Tmed + 17,8) \quad (3)$$

Em que,

Tmax - Temperatura do ar máxima diária ( $^{\circ}\text{C}$ )

Tmin - Temperatura do ar mínima diária ( $^{\circ}\text{C}$ )

Ra - Radiação solar extraterrestre ( $\text{mm. d}^{-1}$ )

#### **Método de Camargo (Cam)**

$$ET0 = 0,01 \times K \times T \times Ra \quad (4)$$

Em que,

T- Temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Ra- Radiação solar extraterrestre ( $\text{mm.dia}^{-1}$ ).

K- Fator de ajuste de Camargo.

#### **Método de Jensen-Haise (JH)**

$$ET0 = Rs \times (0,0252 \times Tmed + 0,078) \quad (5)$$

Em que,

T- Temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Rs - É a radiação solar global convertida ( $\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ )

#### **Método de Priestley & Taylor (PT)**

$$ET0 = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (Rn - G) \quad (6)$$

Em que,

$\alpha$  - Constante de Priestley & Taylor

$\Delta$  - Derivada da equação de Clausius Clapeyron

Rn - Fluxo líquido de radiação

G - Fluxo de energia para o solo

Avaliou-se a precisão dos métodos de estimativa de ETo com base no coeficiente de correlação (r), no índice de concordância (d) (Willmott, 1982), no coeficiente de confiança ou desempenho (c) (Camargo & Sentelhas, 1997), coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e estimativa do erro padrão (EPE).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta as médias mensais da ETo determinadas através dos métodos avaliados descritos.

**Tabela 1.** Variação dos valores médios mensais da ETo determinada pelo método de Penman-Monteith (PM-FAO) e pelos métodos\* comparados, em mm dia<sup>-1</sup>.

Mês	ET <sub>0</sub> PM (mm.dia <sup>-1</sup> )	ET <sub>0</sub> PN (mm.dia <sup>-1</sup> )	ET <sub>0</sub> HS (mm.dia <sup>-1</sup> )	ET <sub>0</sub> Cam (mm.dia <sup>-1</sup> )	ET <sub>0</sub> JH (mm.dia <sup>-1</sup> )	ET <sub>0</sub> PT (mm.dia <sup>-1</sup> )
Janeiro	3,17	3,71	5,03	5,74	4,01	3,44
Fevereiro	3,33	3,89	5,27	5,78	4,38	3,74
Março	2,97	3,5	5,33	5,6	3,91	3,39
Abril	2,66	3,17	4,65	5,52	3,61	3,09
Mai	2,08	2,56	4,23	5,31	2,73	2,44
Junho	1,95	2,41	4,04	5,02	2,45	2,26
Julho	2,06	2,46	3,91	4,97	2,42	2,26
Agosto	2,25	2,70	4,20	5,01	2,80	2,59
Setembro	2,66	3,10	4,42	5,11	3,10	2,83
Outubro	3,04	3,54	4,72	5,33	3,76	3,29
Novembro	3,12	3,64	5,36	5,39	3,96	3,43
Dezembro	3,19	3,72	5,43	5,55	3,99	3,44
ET <sub>0</sub> Média	2,8175	3,33233	4,68313	5,36277	3,68312	3,18784

\*P-M FAO:Penman-Monteith-FAO; PN:Penman; HS: Hargreaves-Samani; Cam: Camargo; JH: Jensen-Haise e PT: Priestley & Taylor

As avaliações em relação ao desempenho classificaram como “muito bom” para o método de Jensen-Haise, para Priestley-Taylor como “bom”, e para Penman “muito bom”. Com relação aos métodos de Hargreaves-Samani e Camargo, foram classificados como “mau” e “péssimo” respectivamente (Tabela 2).

**Tabela 2.** Indicadores estatísticos da comparação entre os diferentes métodos em função do método adotado como padrão (Penman-Monteith, FAO).

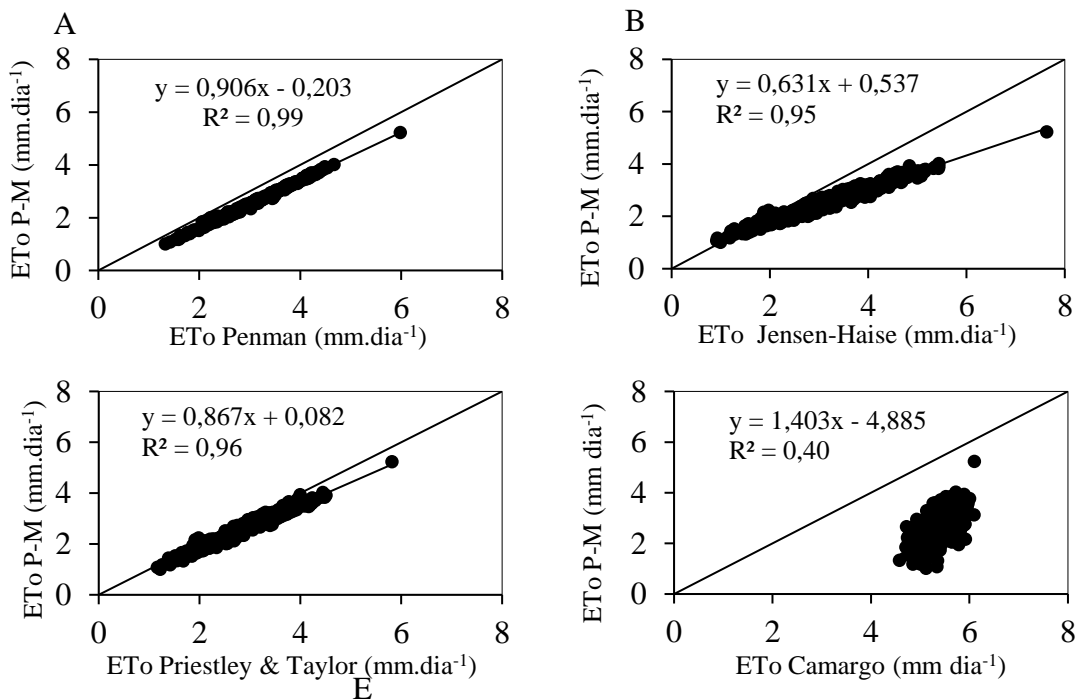
Métodos	EPE (mm.dia <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	r	d	c	Desempenho
Jensen-Haise (JH)	0,599	0,959	0,859	0,912	0,783	Muito bom
Priestley-Taylor (PT)	0,766	0,965	0,858	0,826	0,708	Bom
Penman (PN)	0,602	0,995	0,88	0,826	0,776	Muito bom
Hargreaves-Samani (HS)	1,39	0,545	0,781	0,608	0,475	Mau
Camargo (Cam)	2,169	0,405	0,541	0,415	0,224	Péssimo

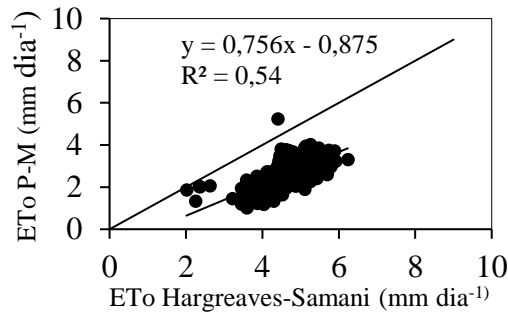
EPE-estimativa do erro padrão, R<sup>2</sup>-coeficiente de determinação, r-coeficiente de correlação, d-índice de concordância e c-coeficiente de confiança.

Observou-se na Figura 1A e 1B que os métodos de PN e JH apresentaram coeficiente de correlação igual a 0,99 e 0,95, respectivamente em relação ao método padrão, e desempenho muito bom conforme o índice de confiança (Tabela 1). Resultados semelhantes foram encontrados por Ferronato, et al. (2016) durante períodos chuvosos e secos no município de Santo Antônio do Leverger-MT, ao encontraram um desempenho muito bom para o método de JH e um ótimo desempenho para o método de PN em ambos os períodos.

Nota-se na Figura 1C, que o método de Priestley-Taylor apresentou correlação alta de 0,0965 em relação à FAO-Penman-Monteith, apresentando um bom desempenho. Esse resultado corrobora com o encontrado por Biscaro et al. (2016) em estudo de comparação de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração na região do Alto Pantanal, em que encontraram um desempenho muito bom independente do período avaliado, e um coeficiente de correlação igual a 0,80.

Pode-se observar nas Figuras 2D e 2E que os métodos de Camargo e Hargreaves-Samani apresentaram coeficiente de correlação igual a 0,40 e 0,54, e desempenho péssimo e mau respectivamente. Oliveira et al. (2015) avaliando a evapotranspiração de referência na região de Paranaíba-MG, encontraram mal e sofrível desempenho, e coeficiente de correlação de 0,4 e 0,58 para os métodos de Cam e H-S.





**Figura 1.** Regressão linear entre valores mensais da evapotranspiração de referência (ETo), em mm dia<sup>-1</sup>, estimados segundo os métodos Penman (A), Jensen-Haise (B), Priestley-Taylor (C), Camargo (D) e Hargreaves-Samani (E) em comparação ao método padrão da FAO Penman-Monteith (P-M).

## CONCLUSÕES

Os métodos de estimativa de Penman, Jensen-Heise e Priestley-Taylor atendem satisfatoriamente à estimativa da ETo da região.

A classificação quanto ao coeficiente de correlação (r), para tais métodos foi muito bom e bom, com índice de desempenho maior que 0,9 em todos.

Os métodos de Hargreaves-Samani e Camargo não obtiveram resultados satisfatórios para uso na região metropolitana do Recife-PE.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. (1998). **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998, 297p. FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56.

CAMARGO, A.P. **Balanco hídrico no Estado de São Paulo**. 3. ed. Campinas: IAC (Boletim 116), 1971. 24p

CAMARGO, A.P & SENTELHAS, P.C. (1997). Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 89-97.

Climate-data.org. Clima: Recife. Disponível em: < <http://pt.climate-data.org/location/5069/> >  
Acesso em: 05 de julho de 2019.

DA SILVA, J.R.L.; MONTENEGRO, A.A.A.; DOS SANTOS, T.E.M.; DOS SANTOS, E.S.  
(2014). Desempenho de diferentes Métodos de Estimativa da Evapotranspiração de Referência para Fernando de Noronha. **Irriga**, 19(3), 390.

FAO. (2007). Agriculture and water scarcity: a programmatic approach to water use efficiency and agricultural productivity. Twentieth Session, **Committee on Agriculture**; Rome, COAG/2007/7.

FERRONATO, A.; CHIG, L.A.; GOULART, D.B.; JUNIO, J.H.; PEREIRA, L.C.; BBIUDES, M.S. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Santo Antônio do Leverger-MT. **Revista de Ciências Agroambientais**, Alta Floresta, v. 14, n. 1, p.110-118, 19 maio 2016.

HARGREAVES, G.H. (1974). Estimation of potential and crop evapotranspiration. **Transactions of the ASAE**, v.17, n.174, p.701-704.

JENSEN, M.E. & HAISE, H.R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, Reston, v. 89, n. IR4, p. 15-41, 1963.

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

JUNG, L.H.; BISCARO, G.A.; OLIVEIRA, G. Q. de.; ALVES, M. A.; GIACON, G. M. Estimativa da evapotranspiração de referência em uma região do Alto Pantanal. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 28, n. 2, p.168-177, jun. 2016.

OLIVEIRA, V. M. R. de.; DANTAS, G. de F.; PALARETTI, L. F.; DALRI, A. B.; SANTOS M. G. dos.; FISCHER FILHO J. A. ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NA REGIÃO DE RIO PARANAÍBA-MG. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 4, p.790-798, dez. 2015.

SANTOS, R. A. dos.; SANTOS, E. P. dos.; SALES, R. A. de.; SANTOS, R.L. ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA O MUNICÍPIO



DE FEIRA DE SANTANA (BA). **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 11, n. 4, p.1617-1626, abr. 2017.

WILLMOTT, C.J. Some comments on the evaluation of model performance. **American Meteorological Society**, Boston, v. 63, n. 11, p. 1309-1313, 1982.