

## **MÉTODOS EMPÍRICOS BASEADOS NA TEMPERATURA DO AR PARA A ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA EM MARECHAL CÂNDIDO RONDON, PR**

**THARSOS HISTER GIOVANELLA<sup>1</sup>, FABRÍCIO CORREIA OLIVEIRA<sup>2</sup>, GILVAN MOISÉS BERTOLLO<sup>2</sup> VINÍCIUS AMADEU STUANI PEREIRA<sup>3</sup>, ALISON DE MEIRA RAMOS<sup>4</sup>, PABLO HENRIQUE FINKEN<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Graduando em Agronomia, UTFPR, Santa Helena - PR, Fone: (045) 99987-8108, tharsoshg@gmail.com

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof. Dr., Curso de Agronomia, UTFPR, Santa Helena - PR

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Cartógrafo, Prof. Dr., Curso de Agronomia, UTFPR, Santa Helena - PR

<sup>4</sup> Graduando em Agronomia, UTFPR, Santa Helena - PR

Apresentado no  
XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2020  
23 a 25 de novembro de 2020 – Congresso On-line

**RESUMO:** As equações para estimativa de evapotranspiração visam simplificar a determinação da evapotranspiração, porém a disponibilidade de dados é um fator limitante para a utilização do Penman-Monteith. Dessa forma, diversas equações empíricas que utilizam menos dados de entrada podem ser aplicadas para fazer esta determinação. A avaliação de desempenho de equações empíricas para a estimativa de evapotranspiração deve ser realizada para qualificar a viabilidade da aplicação dos modelos às condições meteorológicas locais, através da comparação com o método padrão. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho de diferentes métodos físico-matemáticos, baseados na temperatura do ar, para a estimativa da evapotranspiração de referência na cidade de Marechal Cândido Rondon, Paraná. Os modelos que apresentaram melhores desempenhos para estimativa da evapotranspiração de referência em Marechal Cândido Rondon foram os de Penman-Monteith incompleto, Hargreaves-Samani e Jensen-Haise.

**PALAVRAS-CHAVE:** atmosfera, perda de água, gestão dos recursos hídricos.

## **EMPIRICAL METHODS BASED ON AIR TEMPERATURE FOR THE ESTIMATION OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION IN MARECHAL CÂNDIDO RONDON, PR**

**ABSTRACT:** The evapotranspiration estimation equations aim to simplify the evapotranspiration determination, however the availability of data is a limiting factor for the use of the Penman-Monteith. In this way, several empirical equations that use less input data can be applied to make this determination. The performance evaluation of empirical equations to estimate evapotranspiration should be performed to qualify the feasibility of applying the models to local weather conditions, through comparison with the standard method. This research aimed to evaluate the performance of different physical-mathematical methods, based on air temperature, to estimate the reference evapotranspiration in the city of Marechal Cândido Rondon, Paraná. The models with the best performance for estimating reference

evapotranspiration in Marechal Cândido Rondon were those of incomplete Penman-Monteith, Hargreaves-Samani and Jensen-Haise.

**KEYWORDS:** atmosphere, water loss, water resources management.

**INTRODUÇÃO:** A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) é um dos principais elementos meteorológicos para se realizar estudos climáticos, hidrológicos e agrícolas que envolvam os recursos hídricos. Sua aplicação é de extrema necessidade no planejamento agrícola, principalmente na gestão de recursos hídricos destinados a irrigação (CUNHA; MAGALHÃES; CASTRO, 2013) (PILAU et al., 2012). Estudos que envolvem os recursos hídricos devem ser frequentes e contínuos na região oeste do Paraná, uma vez que a região é banhada pelo lago de Itaipu, local onde a Itaipu Binacional atua fortemente em projetos que visam o desenvolvimento sustentável. Entretanto, considerando 15 municípios lindeiros, apenas dois apresentam estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), uma em Marechal Cândido Rondon e outra em Foz do Iguaçu, inviabilizando a ampla utilização do método padrão Penman-Monteith para determinação da ET<sub>o</sub>. Dessa forma, o FAO56 pode ser substituído por equações empíricas que obtém resultados semelhantes (VALIPOUR, 2015). Porém, a aplicação destes métodos depende de uma validação para serem usados fora da sua região de desenvolvimento (ČADRO, 2019). Os municípios lindeiros apresentam clima muito semelhante, com pouca variação de altitude, o que torna a generalização dos resultados obtidos em uma das estações para toda a região. Deste modo, o objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho de 11 métodos empíricos baseados na temperatura do ar para determinação da evapotranspiração de referência em Marechal Cândido Rondon, Paraná.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Para realização desta pesquisa foram utilizados dados meteorológicos proveniente da rede de estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foi utilizado dados da estação localizada em Marechal Cândido Rondon, Paraná. A estação situa-se entre as coordenadas 24°31'59,89" S e 54°01'9,29" W, apresentando 392 metros de altitude. Foram utilizados dados meteorológicos horários de temperatura do ar (°C), velocidade do vento a 2 m de altura (m s<sup>-1</sup>), radiação solar global (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) e umidade relativa (%) para um período de três anos (1° de janeiro de 2016 a 31 de dezembro de 2018). Foram estimadas as ET<sub>o</sub> em escala diária utilizando 12 modelos baseados na temperatura do ar. Os modelos foram: Camargo; Oudin; McCloud; Hargreaves-Samani; Jesen-Haise; Baier-Robertson; Penman-Monteith com dados incompletos; Hamon; Turc; McGuinness-Bordne; Thornthwaite; e, Thornthwaite modificado (CUNHA; MAGALHÃES; CASTRO, 2013). Em seguida, foi estimada a ET<sub>o</sub> pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), este foi utilizado como padrão para comparação com os demais. A análise do desempenho dos demais métodos em relação ao de Penman-Monteith foi realizada por meio de regressão linear. Para avaliação foi tomado como referência os valores do coeficiente de determinação, r<sup>2</sup>, índice de concordância de Willmott, d (eq. 1), índice de desempenho, c (eq. 2) e da raiz quadrada do erro médio, RMSE (eq. 3).

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{\sum_{n=1}^n \left[ (|Y_i - \bar{Y}|) + (|X_i - \bar{X}|) \right]^2} \quad (1)$$

$$c = r \cdot d \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{n}} \quad (3)$$

em que,

$Y_i$  - evapotranspiração de referência estimada pelo método padrão,  $\text{mm d}^{-1}$ ;  $X_i$  - evapotranspiração de referência obtida pelo método avaliado,  $\text{mm d}^{-1}$ ;  $\bar{X}$  - evapotranspiração de referência média obtida pelo método avaliado,  $\text{mm d}^{-1}$ ;  $r$  - coeficiente de correlação de Pearson;  $e$ ,  $n$  - número de observações.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Entre os 11 métodos avaliados, os métodos de Jensen-Haise, Hargreaves-Samani e Penman-Monteith incompleto apresentaram melhores desempenhos, sendo classificados como “Muito bom”. Além disso, apresentaram os maiores coeficientes de determinação ( $r^2$ ) e os menores valores de RMSE. O método de Thornthwaite foi o método com menor desempenho, sendo classificado como “Sofrível” (TABELA 1). Os métodos de Jensen-Haise e Hargreaves-Samani foram desenvolvidos utilizando a mesma abordagem, ou seja, utilizando lisímetros e correlação de temperatura do ar e radiação solar global, podendo ser considerado um método baseado em radiação solar (HARGREAVES; SAMANI, 1985; JENSEN; HAISE, 1963). Os métodos baseados em radiação, em geral, apresentam melhor desempenho quando comparado com os baseados somente em valores de temperatura do ar, principalmente para determinação em escala diária (PILAU et al., 2012).

A equação de Penman-Monteith com dados incompletos apresenta alta correlação com o método padrão, por serem a mesma equação, a primeira com dados estimados de radiação e com velocidade do vento sendo utilizada com um valor fixo. Desta forma, o principal fator que influencia a estimativa do Penman-Monteith incompleto é a equação de radiação solar global de Hargreaves-Samani. Os métodos McCloud, Turc, Hamon, McGuinness-Bordne subestimaram a evapotranspiração, além de terem péssimos valores de coeficiente de determinação. Thornthwaite modificado e Baier-Robertson demonstraram potencial, com valores de  $c$  e  $r^2$  bons, podendo ser aplicados quando uma calibração prévia for feita, já que estes métodos possuem um RMSE maior que Penman-Monteith incompleto, Jensen-Haise e Hargreaves-Samani.

TABELA 1. Estimativa do coeficiente de determinação ( $r^2$ ), raiz quadrada do erro médio, (RMSE), índice de concordância de Willmott ( $d$ ) e índice de desempenho, ( $c$ ) obtidos das correlações entre o método de Penman-Monteith e os demais métodos avaliados

Método	$r^2$	RMSE	$d$	$c$	Desempenho
Camargo	0,3376	3,18	0,9995	0,747	Bom
McCloud	0,2121	2,52	0,9996	0,667	Bom
Hargreaves-Samani	0,5045	1,82	0,9997	0,802	Muito bom
Jesen-Haise	0,489	1,64	0,9998	0,795	Muito bom
Baier-Robertson	0,4723	2,16	0,9996	0,778	Muito bom
Penman-Monteith dados incompletos	0,556	1,57	0,9998	0,826	Muito bom
Hamon	0,2488	3,41	0,9995	0,680	Bom
Turc	0,341	3,39	0,9995	0,763	Muito bom
McGuinness-Bordne	0,341	1,75	0,9997	0,754	Muito bom
Thornthwaite	0,1773	3,39	0,9995	0,578	Sofrível
Thornthwaite modificado	0,3739	2,54	0,9996	0,743	Bom

**CONCLUSÕES:** Os modelos empíricos que apresentaram melhores desempenhos para estimativa da evapotranspiração de referência em Marechal Cândido Rondon foram os de Penman-Monteith incompleto, Hargreaves-Samani e Jensen-Haise. Os métodos McCloud, Turc, Hamon, McGuinness-Bordne não apresentaram baixos desempenhos, não sendo recomendado para estimativas de evapotranspiração de referência em Marechal Cândido Rondon.

**AGRADECIMENTOS:** À Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e à Fundação Araucária pelo apoio financeiro.

#### **REFERÊNCIAS:**

- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration : guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998.
- ČADRO, S.; CHERNI-ČADRO, S.; MARKOVIĆ, M.; ŽUROVEC, J. A reference evapotranspiration map for Bosnia and Herzegovina. *International Soil and Water Conservation Research*, v. 7, n. 1, p. 89–101, 2019.
- CUNHA, F. F.; MAGALHÃES, F. F.; CASTRO, M. A. Método para estimativa da evapotranspiração de referência para Chapadão do Sul - MS. **Engenharia na Agricultura**, v. 21, n. 2, p. 159–172, 2013.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 1, n. 2, p. 96–99, 1985.
- JENSEN, M.; HAISE, H. Estimating Evapotranspiration from Solar Radiation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE**, v. 89, n. 14, p. 15–41, 1963.
- PILAU, Felipe Gustavo et al. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência nas localidades de Frederico Westphalen e Palmeira das Missões, RS. **Ciência Rural**, v. 42, n. 2, p. 283–290, 2012.
- VALIPOUR, M. Temperature analysis of reference evapotranspiration models. *Meteorological Applications*, v. 22, n. 3, p. 385–394, 2015.