

## ANÁLISE DE MODELOS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA ( $ET_0$ ) PARA MEDICILÂNDIA-PA.

Geovani da Silva Santana<sup>1</sup>, Cícero Manoel dos Santos<sup>2</sup>, Sara Rodrigues Batista<sup>3</sup>, Victoria Libertad de Assis Paes<sup>4</sup>, Suene Vanessa Reis de Almeida<sup>5</sup>, Wesley Sidney Raiol Amaral Lírio<sup>6</sup>

**RESUMO:** A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) é de grande importância para aplicações agroflorestais. Na ausência de medidas, modelos têm sido utilizados para estimar. O objetivo deste estudo foi avaliar quatro modelos (Priestley & Taylor, Turc, Mahringer e Valiantzas) de estimativas da Evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) para Medicilândia no estado do Pará e comparar com o modelo padrão PM-56. Foram utilizados dados meteorológicos diários do período de fevereiro 2009 a dezembro de 2017. Como resultado, os modelos de Priestley & Taylor e Turc apresentaram o melhor desempenho. Os métodos de Mahringer e Valiantzas apresentaram índices estatísticos inadequados principalmente o de Mahringer.

**PALAVRAS-CHAVE:** Evapotranspiração de referência, PM-56, Balanço Hídrico.

## ANALYSE OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION MODELS ( $ET_0$ ) FOR MEDICILÂNDIA-PA.

**ABSTRACT:** The reference evapotranspiration ( $ET_0$ ) is of great importance for agroforestry applications. In the absence of measures, models have been used to estimate. The objective of this study was to evaluate four models (Priestley & Taylor, Turc, Mahringer and Valiantzas) of reference Evapotranspiration ( $ET_0$ ) estimates for Medicilândia in the state of Pará and compare it with the PM-56 standard model. Daily meteorological data were used from February 2009 to December 2017. As a result, the Priestley & Taylor and Turc models presented the best performance. The Mahringer and Valiantzas methods presented inappropriate statistical indexes, mainly the one of Mahringer.

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Altamira, PA.

<sup>2</sup> Prof.Doutor, Dept de Engenharia Agrônômica, UFPA, Altamira, PA.

<sup>3</sup> Estudante de Engenharia Agrônômica, UFPA, Altamira, PA.

<sup>4</sup> Estudante de Engenharia Agrônômica, UFPA, Altamira, PA.

<sup>5</sup> Mestranda, Dept de Engenharia Agrícola, INPA, Manaus, AM.

<sup>6</sup> Estudante de Engenharia Agrônômica, UFPA, Altamira, PA.

**KEYWORDS:** Reference Evapotranspiration, PM-56, Hydric Balance

## INTRODUÇÃO

A evapotranspiração (ET) é uma das componentes mais importantes do ciclo da água na contínua relação entre solo-planta-atmosfera. O estudo da evapotranspiração vem sendo cada vez mais importante devido à maior exigência de informações sobre as necessidades hídricas das culturas para o planejamento regional e preliminar de projetos (Moura et al, 2013). Doorenbos & Pruitt (1997) define a  $ET_0$  como à taxa de evapotranspiração a partir de uma cultura de referência hipotética com uma suposta altura de cultivo de 8-15 cm de altura, uma resistência de superfície fixa de 70 s/m e um albedo de 0,23, onde a superfície de referência se assemelhava a uma cobertura de grama verde de altura uniforme, crescendo ativamente, protegendo completamente o solo e sem falta de água.

A  $ET_0$  é um processo bastante complexo que depende da interação de vários processos atmosféricos, podendo ser determinada diretamente através de uso de lisímetros ou um balanço hídrico em uma área de cultivo controlado (Gavilán et al, 2007) que é considerado um método exato e direto. Entretanto, esse método possui um alto custo e demanda muito tempo (López-Urrea et al, 2006) ou indiretamente através de modelos físicos, empíricos e semi-empíricos que promovem resultados satisfatórios, diminuindo o tempo e os custos comparados com os métodos diretos. Durante todos esses anos, muitos métodos foram desenvolvidos e aprimorados para estimativa da  $ET_0$ . Isto ocorre em razão de três importantes fatores como: adequação do método às condições climáticas da região, simplicidade de uso e restrições de elementos meteorológicos ou climáticos que sustentam estes métodos.

O modelo de PM-56 é o mais indicado para estimar o  $ET_0$ , no entanto, exige uma quantidade significativa de dados climáticos, que podem não estar disponíveis ou não ser confiáveis em determinados locais. Portanto, são necessários métodos alternativos que dependem de variáveis climáticas de entrada mais facilmente disponíveis.

Devido à grande importância que a  $ET_0$  assume nas diferentes áreas ambientais, e pelo fato de ser pouco conhecido no Estado do Pará, este trabalho teve por objetivo estimar a Evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) na região de Medicilândia do estado do Pará utilizando modelos empíricos e comparando com o modelo padrão Penman- Monteith. Medicilândia é um município com predominância do cultivo do cacau, sendo uma região grande produtora. A

estimativa e a disponibilidade de  $ET_0$  serão de grande importância para tomada de decisões a partir da escolha adequada do modelo.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para estimar valores da evapotranspiração de referência utilizando modelos empíricos utilizou-se um conjunto de dados meteorológicos fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) coletados em uma estação automática. O período das medidas é de fevereiro de 2008 a dezembro de 2017 e correspondente a cidade de Medicilândia (03°30'S, 52°57'W e altitude 251,0 m). De acordo com a classificação climática de Köppen e Geiger o clima de Medicilândia é do tipo Aw. Medicilândia tem uma temperatura média de 25,6 °C e 1501 mm de pluviosidade média anual. Os dados utilizados passaram por um rigoroso critério de filtragem para eliminação de valores impuros e inconsistentes. Os valores de  $ET_0$  obtidos pelo método de Penman-Monteith-FAO56 por Allen et al., (1998) serão considerados como padrão e de referência para comparação com os modelos de estimativas. Sendo descrito pela seguinte equação:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + (\gamma \frac{900}{T+273})u_2(e_s - e)}{\Delta + [\gamma(1+0,34u_2)]} \quad (1)$$

Onde:  $ET_0$  é a evapotranspiração de referência ( $\text{mm d}^{-1}$ ),  $R_n$  é o saldo de radiação à superfície da cultura ( $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ),  $G$  é a densidade do fluxo de calor do solo ( $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ),  $T$  é a temperatura do ar a 2 m de altura (°C),  $u_2$  é a velocidade de vento a 2 m de altura ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $e_s$  a pressão de vapor de saturação (kPa),  $e$  é a pressão parcial de vapor (kPa),  $\Delta$  a declividade da curva de pressão de vapor de saturação ( $\text{kPa}^\circ\text{C}^{-1}$ ) e  $\gamma$  é o coeficiente psicrométrico ( $\text{kPa}^\circ\text{C}^{-1}$ ).

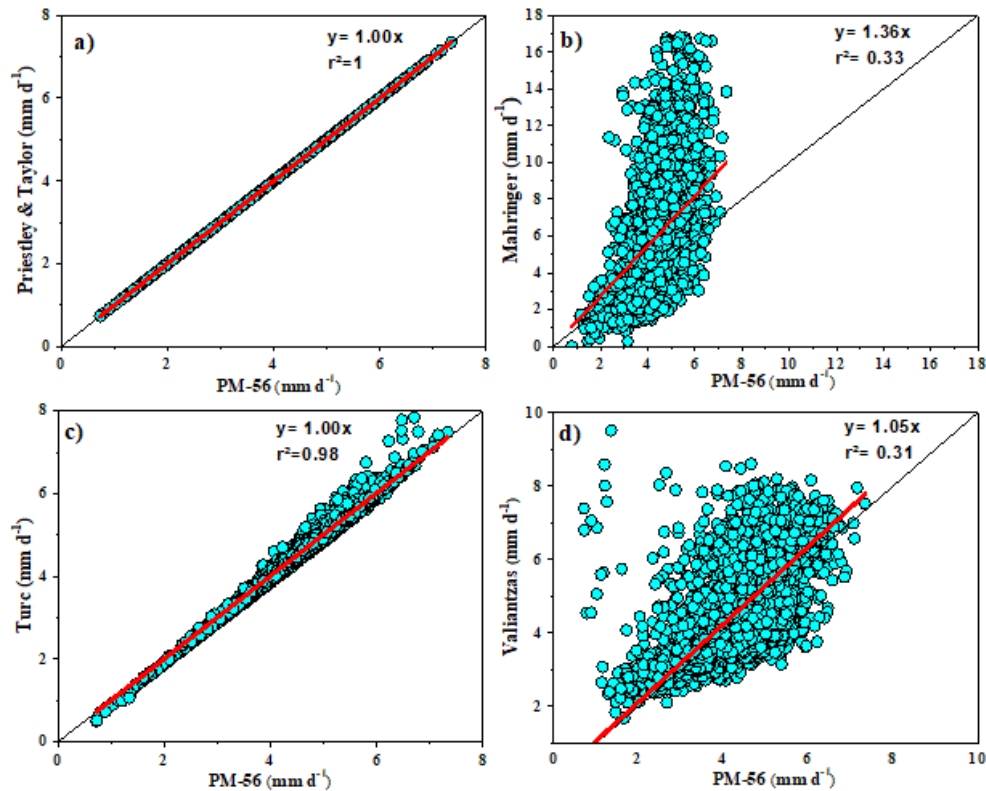
Muitos outros modelos foram desenvolvidos para estimar a evapotranspiração devido à complexibilidade ou ausência de dados nos quais o modelo padrão PM-56 necessita para calcular a evapotranspiração, que são métodos simplificados ou equações empíricas. Os modelos de Priestley & Taylor (1972), Turc (1961), Mahringer (1970) e Valiantzas, (2012) foram utilizadas e os coeficientes foram ajustados para se adequar as condições climáticas da região. Na escolha dos modelos foram levadas em consideração as variáveis de entrada – Modelo de Priestley & Taylor (Radiação solar), modelo de Turc (radiação solar e temperatura do ar), modelo de Mahringer (velocidade do vento e temperatura do ar) e modelo de Valiantzas (umidade relativa do ar e temperatura do ar). Para comparação dos resultados dos

modelos empíricos com PM-56, foram utilizados os índices estatísticos de validação: Relative Mean Bias Error (rMBE, %), Relative Root Mean Square Error (rRMSE, %), Mean Absolute Percentage Error (MAPE) e “d” de Willmott.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 (a – d) mostra a dispersão entre os valores do modelo padrão de PM-56 com relação às estimativas com os demais modelos. Os modelos de Priestley & Taylor (Fig. 1a) e de Turc (Fig. 1 c) apresentam melhores concordâncias com a linha ideal (1:1) de comparação, com valores de  $r^2$  próximo de 1. As maiores dispersões são observadas para os modelos de Mahringer. (Fig. 1b) e Valiantzas (Fig. 1d) com coeficiente de determinação  $r^2$  igual a 0.33 e 0.31 respectivamente. Resultados diferentes foram encontrados por Tomar (2015) que utilizaram diversos modelos para estimativa da  $ET_0$  em Uttarakhand na Índia, no qual o modelo de Mahringer obteve boa performance com  $r^2$  igual a 0.88. O valor de  $r^2$  entre os modelos de Mahringer e Valiantzas demonstram uma divergência significativa com relação à exatidão. No entanto isso pode ser atrelado ao fato de que para o modelo de Mahringer, os valores de  $U^2$  muitas das vezes não estavam disponíveis ou apresentavam valores fora do padrão que pode ser devido ao mau funcionamento dos aparelhos nas estações, já no caso de Valiantzas é possível que haja a necessidade de se ajustar os valores dos coeficientes para um melhor desempenho na região.

Valores discrepantes são inevitáveis na base de dados, mesmo depois do rigoroso critério de filtragem. A capacidade de estimativa de um modelo não pode ser julgada com base apenas nos valores de  $r^2$  (Jamil & Akhtar, 2017). Assim, o desempenho de um modelo deve ser avaliado, também, em termos dos índices estatísticos de validação.

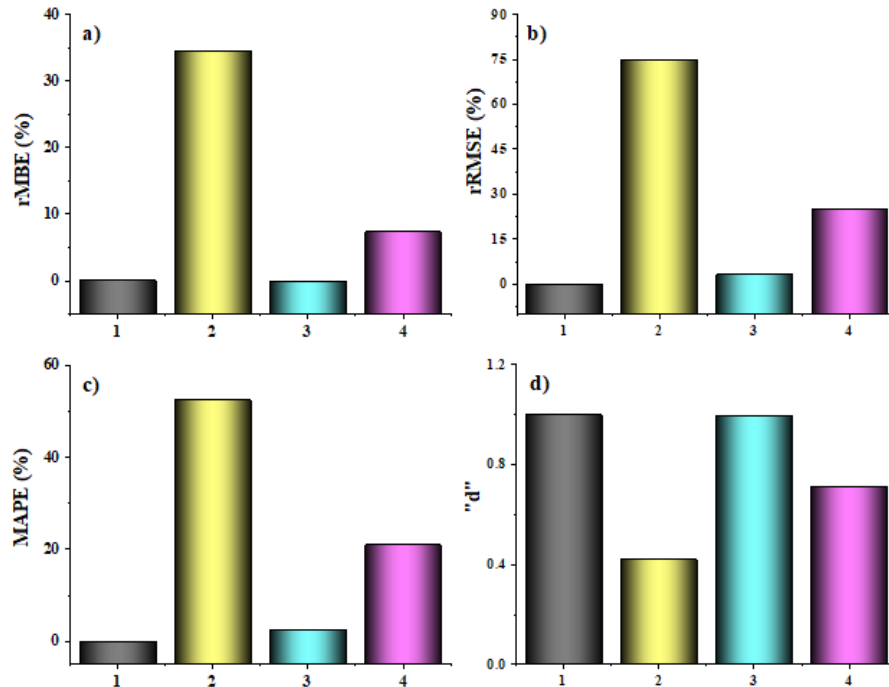


**Figura 1.** Dispersão entre as estimativas de  $ET_0$  com PM-56 em relação aos modelos: a) Priestley & Taylor, b) Mahringer, c) Turc e d) Valiantzas, para Medicilândia no período de 2009 – 2017.

A Figura 2 (a – d) mostra os índices estatísticos rMBE, rRMSE e MAPE dados em porcentagem juntamente com o índice de concordância “d” dos modelos, avaliados para Medicilândia. Todos os modelos superestimaram as medidas (rMBE > 0) (Fig. 2a), o rRMSE teve valor máximo próximo de 75% (Fig. 2b), MAPE apresentou modelo com erro próximo de 60% (Fig. 2c) e “d” de Willmott apresenta menor valor próximo a 0,45 (Fig. 2d)

Dentre os modelos utilizados, o que obteve o melhor desempenho para estimar a  $ET_0$  em Medicilândia foi o de Priestley & Taylor obtendo ótimos resultados de rMBE (Fig. 2a), rRMSE (Fig. 2b) e MAPE chegando próximo a 0% (Fig. 2c), e excelente valor de “d” de Willmott igual a 1 (Fig. 2d). Sanches et al (2015) utilizaram diversos modelos, dentre eles o de Priestley & Taylor, comparando com o método PM-56. Os autores concluíram que o método obteve ótimos resultados, obtendo valor superior a 0,9 de “d” de Willmott corroborando com este trabalho. Para Medeiros (2002), a equação de Priestley & Taylor apresentou um bom desempenho para a região de Paraipaba no estado do Ceará. Sendo assim podendo ser um modelo alternativo e eficaz para se calcular a evapotranspiração de referência em Medicilândia. O segundo melhor desempenho é observado para o modelo de Turc,

obtendo valores de rMBE -0.05% (Fig. 2a), RMSE 3.17% (Fig. 2b), MAPE de 2.47% (Fig. 2c) e “d” de Willmott igual a 0.99 (Fig. 2d).



**Figura 2.** Desempenho estatístico dos modelos de  $ET_0$  com PM-56 em relação aos modelos: 1) modelo Priestley & Taylor, 2) modelo Mahringer, 3) modelo Turc e 4) modelo Valiantzas.

No entanto, observa-se que o modelo de Valiantzas não apresenta valores satisfatórios, com desempenho estatístico inferior, podendo citar o valores de rRMSE de 25.14% (Fig. 2b) e MAPE chegando a 20.94% de erro (Fig. 2c), não sendo recomendado sua utilização por conta da alta percentagem de erro caso seja possível a utilização dos modelos de Priestley & Taylor e modelo Turc. O modelo com os piores resultados foi o de Mahringer com índices de rMBE, rRMSE iguais a 34.49% e 75.02%, respectivamente, e MAPE com 52.36% de erro (Fig. 2c) em estimar a  $ET_0$ , também apresentou baixo valor de “d” de Willmott com 0.41 (Fig. 2d). Akataş et al., (2016) testou vários modelos de estimativa da evapotranspiração na cidade de Kirklareli na Turquia, o modelo de Mahringer não obteve bons resultados dentre os modelos utilizados corroborando com este trabalho.

## CONCLUSÕES

Os modelos de Turc e Priestley & Taylor apresentaram o melhor desempenho em estimar a evapotranspiração de referência, sendo indicados para a região de Medicilândia

quando houver limitações de dados climatológicos em que a equação de Penman-Monteith não consiga ser usada. Os métodos de obtenção da evapotranspiração que utilizam o saldo de radiação solar são os que mostram os valores mais próximos daqueles obtidos pelo método de PM-56.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao INMET pela disponibilidade de dados, ao CNPq pela concessão da bolsa de iniciação científica PIBIC/INTERIOR ao primeiro autor.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKATAŞ, N. et al. Comparison of Measured and Calculated Evapotranspiration Over Maize in Kirklareli. **Research Journal of Agricultural Sciences**, v. 9, n. January 2016, 2016.

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements. Irrigation and drainage**. 24. ed. Rome: FAO IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER, 1997.

GAVILÁN, P. et al. Measuring versus estimating net radiation and soil heat flux: impact on Penman–Monteith reference ET estimates in semiarid regions. **Agric. Water Manage**, v. 89, p. 275–286, 2007.

JAMIL, B.; AKHTAR, N. Comparative analysis of diffuse solar radiation models based on sky-clearness index and sunshine period for humid-subtropical climatic region of India: A case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 78, p. 329–355, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.073>>.

LÓPEZ-URREA, R. et al. Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semiarid climate. **Agricultural Water Management**, v. 85, n. 1–2, p. 15–26, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.03.014>>.

MAHRINGER, W. Verdunstungsstudien am neusiedler See. **Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B**, v. 18, n. 1, p. 1–20, 1970.

MEDEIROS, A. T. **Estimativa da Evapotranspiração de Referência a Partir da Equação de Penman-Monteith, De Medidas Lisimétricas e de Equações Empíricas em Paraipaba, CE**. 2002. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2002. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Paulo\\_Sentelhas/publication/34252337\\_Estimativa\\_da\\_evapotranspiracao\\_de\\_referencia\\_a\\_partir\\_da\\_equacao\\_de\\_Penman-Monteith\\_de\\_medidas\\_lisimetricas\\_e\\_de\\_equacoes\\_empiricas\\_em\\_Paraipaba\\_CE/links/544126810cf2e6f0c0f600dc.p](https://www.researchgate.net/profile/Paulo_Sentelhas/publication/34252337_Estimativa_da_evapotranspiracao_de_referencia_a_partir_da_equacao_de_Penman-Monteith_de_medidas_lisimetricas_e_de_equacoes_empiricas_em_Paraipaba_CE/links/544126810cf2e6f0c0f600dc.p)>. Acesso em: 10 jan. 2019.

MOURA, A. R. C. et al. EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA BASEADA EM MÉTODOS EMPÍRICOS EM BACIA EXPERIMENTAL NO ESTADO DE PERNAMBUCO. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 2, p. 181–191, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v28n2/v28n2a07.pdf>>.

PRIESTLEY, C. H. B.; TAYLOR, R. J. On the assessment of surface heat flux and Evaporation using large scale parameters. *Monthly Weather Review*. **Monthly weather review**, v. 100, n. 2, p. 81–92, 1972. Disponível em: <[https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1972\)100%3C0081:OTAOSH%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1972)100%3C0081:OTAOSH%3E2.3.CO;2)>.

SANCHES, F. M. et al. Estimativa da evapotranspiração de referência na região norte do Brasil. **Revista De Ciências Agroambientais**, v. 13, n. 2, p. 19–31, 2015.

TOMAR, A. S. PERFORMANCE EVALUATION OF MASS TRANSFER-BASED REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION EQUATIONS WITH FAO56 PM MODEL AS INDEX AT TARAIREGION OF UTTARAKHAND, INDIA. **International Journal of Agricultural and Veterinary Medicine**, v. 3, n. 4, 2015. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.740.2233&rep=rep1&type=pdf>>.

TURC, L. Estimation of irrigation water requirements: potential evapotranspiration: a simple climatic formula evolved up to date. **Ann. Agron**, v. 12, n. 1, p. 13–49, 1961.

VALIANTZAS, J. D. Simple ET 0 forms of Penman's equation without wind and/or humidity data. II: Comparisons with reduced set-FAO and other methodologies. **Journal of irrigation and drainage engineering**, v. 139, n. 1, p. 9–19, 2012.