

## MÉTODOS EMPÍRICOS PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA ( $ET_0$ ) NA BACIA DO RIO TAPACURÁ – PE

*Bruno e Silva Ursulino<sup>1\*</sup>; Suzana Maria Gico Lima Montenegro<sup>2</sup>; Ana Claudia Villar e Luna Gusmão<sup>3</sup>; Nadielan da Silva Lima<sup>4</sup>; Bernardo Barbosa da Silva<sup>5</sup> & Leidjane Maria Maciel de Oliveira<sup>6</sup>*

**Resumo** – A estimativa da evapotranspiração é de extrema importância para determinação do balanço hídrico, especialmente em áreas agrícolas irrigadas, com impacto direto no manejo de irrigação das culturas. Dentre os métodos utilizados para estimar a  $ET_0$ , destaca-se o método de Penman-Monteith-FAO 56. Diante disso, o presente trabalho objetivou analisar o desempenho dos métodos de determinação de  $ET_0$  de Penman-Monteith, Hargreaves & Samani e Priestley & Taylor, utilizando dados de uma estação agrometeorológica na bacia do rio Tapacurá. Os métodos de Priestley & Taylor e Hargreaves & Samani apresentaram, respectivamente, índice de determinação ( $R^2$ ) de 0,94 e 0,56 e, foram classificados pelo desempenho proposto por Camargo & Sentelhas como ótimo e muito bom. De acordo com o resultado dos índices estatísticos, o método de Priestley-Taylor foi o que apresentou melhor desempenho para estimativa diária de  $ET_0$ , quando comparado ao método de Penman-Monteith.

**Palavras-Chave** – Penman-Monteith, Hargreaves & Samani, Priestley & Taylor.

## EVALUATION OF EMPIRICAL METHODS TO ESTIMATE REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION ( $ET_0$ ) IN TAPACURÁ RIVER BASIN – PE

**Abstract** – The estimate of the evapotranspiration is very important for the determination of the water balance, especially in agricultural areas under irrigation, with direct impact on the crop irrigation management. Among the methods used to estimate the  $ET_0$  highlights the Penman-Monteith-FAO 56 method. Therefore, the present work aimed to analyze the performance of the  $ET_0$  determination methods of Penman-Monteith, Hargreaves & Samani and Priestley & Taylor, using data from an agrometeorological station in the Tapacurá river basin. The Priestley & Taylor and Hargreaves & Samani methods presented, respectively, a determination index ( $R^2$ ) of 0.94 and 0.56 and were classified by the performance proposed by Camargo and Sentelhas as great and very good. According to the results of the statistical, the Priestley-Taylor method presented the best performance for daily  $ET_0$  estimation when compared to the Penman-Monteith method.

**Keywords** – Penman-Monteith, Hargreaves & Samani, Priestley & Taylor.

<sup>1</sup> Aluno de mestrado da pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), e-mail: brunosenga@gmail.com.

<sup>2</sup> Professora do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), e-mail: suzanam@ufpe.br.

<sup>3</sup> Bolsista de Pós-Doutorado da CAPES/FACEPE em Engenharia Civil na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), e-mail: villareluna@yahoo.com.br.

<sup>4</sup> Doutor em Eng. Agrícola, Departamento de Engenharia Civil (UFPE), e-mail: nadielanlima@hotmail.com.

<sup>5</sup> Professor do Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), e-mail: bbdasilva.ufpe@gmail.com.

<sup>6</sup> Professora do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), e-mail: leidjaneoliveira@hotmail.com

\* Autor correspondente.

## INTRODUÇÃO

Dentre os estudos das variáveis hidrológicas, pode-se destacar a evapotranspiração (ET) que, segundo Oliveira *et al.* (2014), é considerada uma indicadora da perda de água da superfície terrestre pela interface solo, planta e atmosfera, e cujo conhecimento é crucial para a gestão hídrica eficaz de bacias hidrográficas. Os métodos para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), ou seja métodos indiretos, são baseados em uma ou mais variáveis atmosféricas, tais como temperatura do ar, radiação solar e umidade relativa (SOUSA *et al.*, 2010).

A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) contempla o método de Penman-Monteith como padrão de estimativa da ET<sub>o</sub>, que considera uma superfície de referência hipotética com uma altura de 0,12 m, resistência da cultura de 70 s m<sup>-1</sup> e albedo igual a 0,23, que muito se assemelha a uma superfície de grama verde (ALLEN *et al.*, 1998).

Alguns métodos vêm sendo desenvolvidos para a determinação da ET<sub>o</sub> de forma mais simples e que dependam de menos variáveis meteorológicas, dentre elas pode-se citar a metodologia proposta por Hargreaves & Samani e Priestley & Taylor, sendo mais simples e necessitando um menor número de variáveis meteorológicas de entrada. Chagas *et al.* (2013) utilizando o método padrão de estimativa da ET<sub>o</sub> pela FAO, o compararam com outros cinco métodos (Penman 63, FAO Penman corrigido, FAO-Radiação, FAO-Blaney-Criddle e Hargreaves-Samani) para a região do município de rio Real – BA utilizando série de dados para um período de quatro anos completos, em que concluíram que, para a área de estudo, quatro métodos apresentaram bons resultados.

Outros métodos vêm sendo desenvolvidos para a determinação da ET<sub>o</sub> de forma mais simples e que dependam de menos variáveis meteorológicas, dentre elas pode-se citar a metodologia proposta por Hargreaves & Samani e Priestley & Taylor, sendo mais simples e necessitando um menor número de variáveis meteorológicas de entrada. Chagas *et al.* (2013), utilizando o método padrão de estimativa da ET<sub>o</sub> pela FAO, o compararam com outros cinco métodos (Penman 56, FAO Penman corrigido, FAO-Radiação, FAO-Blaney-Criddle e Hargreaves-Samani) para a região do município de rio Real – BA utilizando série de dados para um período de quatro anos completos (jan/2004 a dez/2007), em que concluíram que, para a área de estudo, quatro métodos apresentaram bons resultados. Com o objetivo de analisar as variações dos métodos de determinação de ET<sub>o</sub> nas diferentes condições climáticas brasileiras, Costa *et al.* (2015) verificaram que a aplicação da equação de Hargreaves & Samani pode ser uma técnica viável quando não se tem todas as variáveis necessárias para o cálculo de ET<sub>o</sub> por meio da equação de Penman-Monteith.

Diante do exposto, o presente trabalho tem por objetivo analisar a diferença dos métodos de determinação de ET<sub>o</sub> através da equação de Penman-Monteith, Hargreaves & Samani e Priestley & Taylor, na bacia do rio Tapacurá (Pernambuco). A bacia possui uma importância estratégica para o Estado de Pernambuco devido a Barragem de Tapacurá, construída na década de 1970, com as finalidades de abastecimento da população da Região Metropolitana do Recife (RMR) e o controle de enchentes no Rio Capibaribe, evitando assim inundações na cidade do Recife.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo foi a bacia do rio Tapacurá, sub-bacia do rio Capibaribe, Pernambuco, situada entre os paralelos 7° 58' 30" e 8° 13' 00" de latitude sul e os meridianos de 35° 5' 00" e 35° 30' 00" de longitude oeste e, abrangendo uma área de transição entre a Zona da Mata e o Agreste (Figura 1). A bacia do rio Tapacurá abrange seis municípios (Vitória de Santo Antão, Pombos, São Lourenço da Mata, Gravatá, Moreno e Chã Grande).

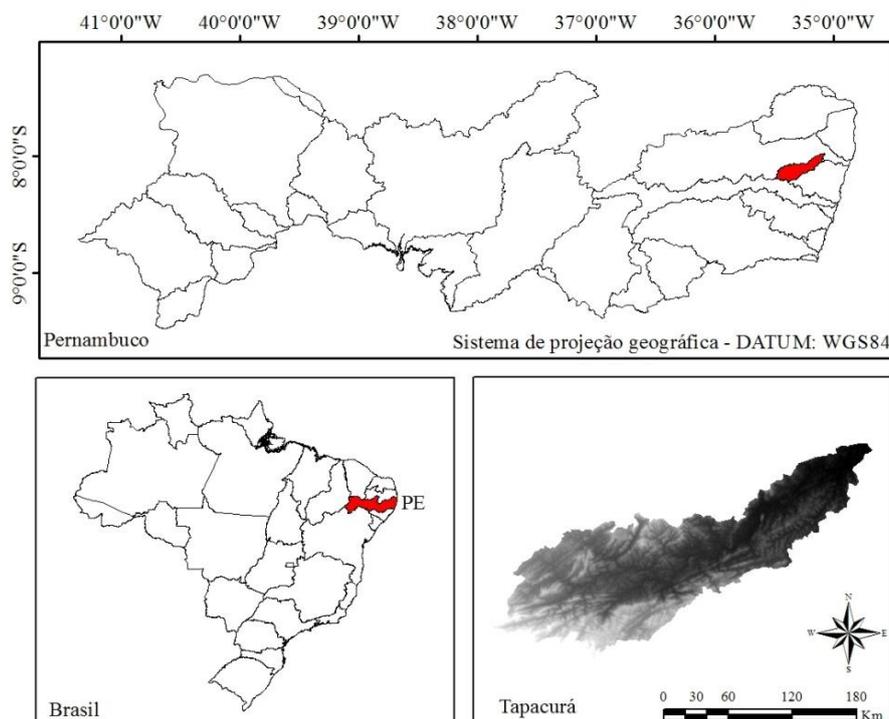


Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Tapacurá, PE, Brasil.

Nesta bacia localiza-se a Barragem de Tapacurá, que tem capacidade máxima de 94,2 milhões de m<sup>3</sup> contribuindo com aproximadamente 40% do volume distribuído na RMR. O Sistema Tapacurá atende às cidades de Camaragibe, Jaboatão dos Guararapes, Recife e São Lourenço da Mata (SRH-PE, 2010; COMPESA, 2016). O clima da região é do tipo As', quente e úmido do tipo tropical, na classificação climática de Köppen. A temperatura mensal média oscila entre 23 e 27°C, enquanto a umidade relativa do ar, durante os meses de março a julho, é superior a 70%. A bacia se estende de Oeste, no começo da região agreste, com precipitação anual de 800 mm, até a zona da mata, a Leste, com valores de precipitação anual até 1.650 mm (Silva *et al.*, 2010).

Os dados para determinação da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) foram obtidos da Plataforma de Coleta de Dados (PCD) da Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC, dos anos de 2014 a 2016.

Com o propósito de trabalhar com dados mais representativos, foi realizada uma análise de consistência da série histórica, eliminando as informações consideradas discrepantes ou inconsistentes. Posteriormente, foi estimada a ET<sub>o</sub> através do método de Penman-Monteith – (FAO 56) (Equação 1), considerado como padrão nesta pesquisa, e comparada através de regressão linear aos métodos de Hargreaves & Samani (Equação 2) e Priestley & Taylor (Equação 3), em mm.dia<sup>-1</sup>.

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

em que:  $\Delta$  é a declividade da curva de pressão de vapor na saturação versus temperatura do ar (kPa °C<sup>-1</sup>);  $R_n$  é o saldo de radiação (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>);  $G$  é o fluxo total de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);  $\gamma$  é o coeficiente psicrométrico (kPa °C<sup>-1</sup>);  $U_2$  é a velocidade do vento a 2 m de altura (m s<sup>-1</sup>);  $e_s$  é a pressão de vapor na saturação (kPa);  $e_a$  é a pressão de vapor atual (kPa) e  $T_{méd}$  é a temperatura média do ar tomada a 2 m de altura (°C).

$$ET_o = 0,0023 * Ra_{(dia)} * (T_{max} - T_{min})^{0,5} * (T_{med} + 17,8) \quad (2)$$

em que:  $T_{máx}$  e  $T_{mín}$  são temperaturas máxima e mínima ( $^{\circ}C$ ) e  $R_a$  é a radiação solar no topo da atmosfera ( $mm\ dia^{-1}$ ).

$$ET_o = 1,26 * \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} * (R_n + G) \quad (3)$$

A análise comparativa entre o método padrão e os avaliados foi feita através de regressão linear e utilizando os seguintes índices estatísticos: coeficiente de determinação ( $R^2$ ); erro-padrão de estimativa (EPE); índice de exatidão (d); correlação de Pearson (r); coeficiente de confiança (c) e desempenho proposto por Camargo & Sentelhas (1997).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 observam-se os gráficos resultantes da regressão linear, com interseção na origem (0,0), entre o método padrão da FAO e os métodos avaliados. Percebe-se na Figura 2A baixo coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,562$ ), com o método de Hargreaves & Samani superestimando o método padrão, FAO. Moura *et al.* (2013) utilizaram o mesmo método, com dados proveniente de uma PCD localizada na bacia do riacho Gameleira, distante aproximadamente 4 km da PCD utilizada neste trabalho, encontraram o valor de  $R^2$  (0,753). Segundo Cuenca e Nicholson (1982), o método Hargreaves & Samani não é produto de uma análise teórica e, portanto, representa puramente empirismo.

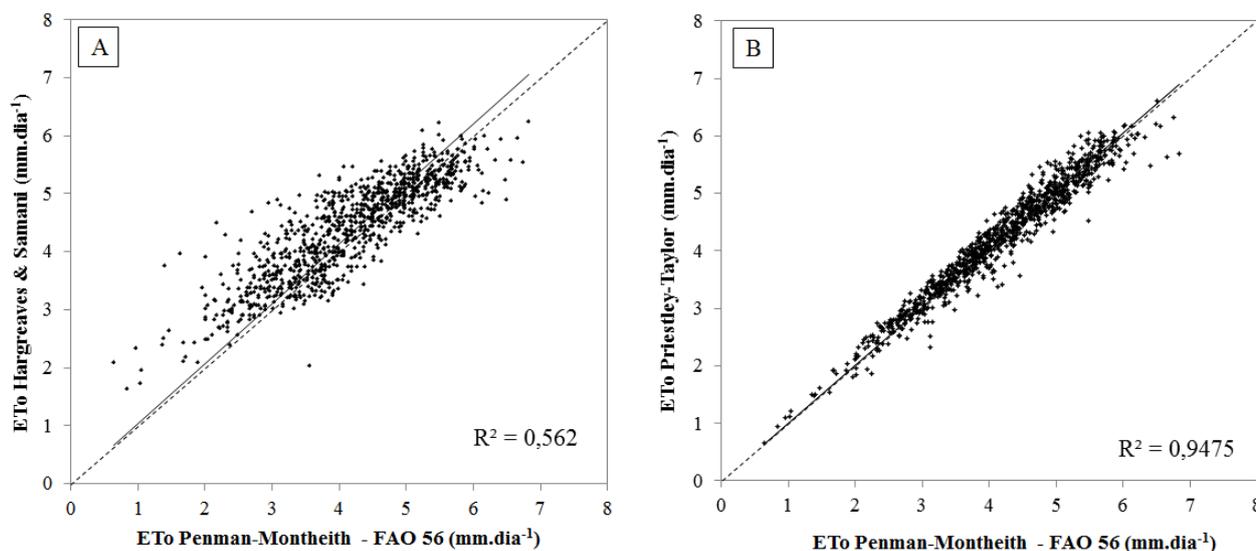


Figura 2 - Regressão linear entre os valores de evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), em  $mm.dia^{-1}$ , estimados pelo método de Penman-Monteith padrão FAO e pelos métodos de Hargreaves & Samani (A) e Priestley-Taylor (B).

Na comparação entre os resultados do método de Priestley & Taylor, determinado com base em dados de radiação, com o método padrão (Figura 2B), observa-se uma concordância consistente entre ambos, que se confirma pela pequena dispersão dos pontos ao longo da linha 1:1 e pelo valor de  $R^2$  (0,947). Em um estudo desenvolvido em Garanhuns-PE, comparando os métodos Priestley & Taylor e FAO Penman-Monteith, Junior *et al.* (2012) encontraram valores de  $R^2$  iguais a 0,84 e 0,93 para os semestres primavera-verão e outono-inverno, respectivamente. Silva *et al.* (2005) encontraram valores de  $R^2$  iguais a 0,91 e 0,42 em dois meses do ano de 2002, em Petrolina-PE.

Analisando os índices estatísticos apresentados na Tabela 1, observa-se que dentre os dois métodos avaliados, o que apresentou melhor desempenho em relação ao padrão foi o método de Priestley & Taylor. O mesmo apresentou baixo valor do EPE, 0,2357, e elevado “c” (0,97), classificando-o como desempenho “ótimo”, possibilitando a utilização do método, na ausência de dados de velocidade do vento, para a estimativa da ETo na bacia do rio Tapacurá-PE.

Tabela 2. Erro padrão de estimativa (EPE), índice de exatidão (d), correlação de Pearson (r), coeficiente de confiança (c) e desempenho proposto por Camargo & Sentelhas, para os dados de ETo.

Método da Estimativa	EPE	d	r	c	Desempenho
Hargreaves-Samani	0,6070	0,8969	0,8614	0,77	Muito Bom
Priestley-Taylor	0,2357	0,9992	0,9755	0,97	Ótimo

Os resultados do método empírico baseado em temperatura, Hargreaves & Samani, apresentaram os menores valores na análise estatística, com EPE igual a 0,6070. Segundo Cunha *et al.* (2016) o método é conhecido por superestimar a ETo em relação a Penman-Monteith. Embora os valores estatísticos obtidos pelo método de Hargreaves & Samani apresentem-se inferiores aos resultados encontrados pelo método de Priestley & Taylor (Tabela 1), os índices d, r e c foram considerados satisfatórios, com coeficiente de confiança de 0,77, classificado com “muito bom”. Moura *et al.* (2013), aplicando o método de Hargreaves & Samani na bacia do riacho Gameleira-PE, obtiveram EPE igual a 0,521, índice de exatidão de 0,911 e coeficiente de confiança “muito bom” (0,79), resultados próximos ao referido neste trabalho.

## CONCLUSÕES

De acordo com a análise de regressão e os índices estatísticos adotados, o método de Priestley & Taylor apresentou o melhor desempenho para estimativa diária de ETo, quando comparado ao método de Penman-Monteith, evidenciando resultados satisfatórios e confiáveis para a evapotranspiração de referência na bacia do rio Tapacurá - Pernambuco.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa PQ e o financiamento de projetos de pesquisa (Processo 448236/2014-1), Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), pelo financiamento do projeto REHIDRO 1830, à FACEPE/CAPES por bolsa PNPd e à Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) pelo fornecimento de dados.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. (1998). Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and Drainage paper 56. Rome, p. 297.
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. (1997). Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 5, n. 1, pp.89-97.

CHAGAS, R. M.; FACCIOLI, G. G.; AGUIAR NETTO, A. O.; SOUSA, I. F.; VASCO, A. N.; SILVA, M. G. (2013). Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) no município de Rio Real-BA. *Irriga*, v. 18, n. 2, pp. 351-363.

COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento. Disponível em: <http://servicos.compesa.com.br/wp-content/uploads/2016/01/tapacura.pdf>. Acesso em 19 nov. 2016.

COSTA, M. S.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C. (2015). Comportamento dos diferentes métodos de determinação da evapotranspiração de referência nas cinco regiões brasileiras. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 9, n. 5, pp. 310-319.

CUENCA, R. H.; NICHOLSON, M. T. (1982). Application of Penman equation wind function. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 108, pp. 13-23.

CUNHA, F. F.; CASTRO, M. A.; CORREIA, C. C. S. A. (2016). Calibração de equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência em Cassilândia-MS. In *Anais do XLV Congresso de Engenharia Agrícola*, Florianópolis.

JÚNIOR, J. C. F. B.; ANJOS, R. J.; SILVA, T. J. A.; LIMA, J. R. S.; ANDRADE, C. L. T. V. (2012). Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 4, pp. 380-390.

MOURA, A. R.; COSTA, MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; AZEVEDO, J. R. G.; SILVA, B. B.; OLIVEIRA, L. M. M. (2013). Evapotranspiração de referência baseada em métodos empíricos em bacia experimental no estado de Pernambuco – Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v. 28, n. 2, pp.181-191.

OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, B. B.; ANTONINO, A. C. D.; Moura, A. E. S. S. (2014). Evapotranspiração real em bacia hidrográfica do Nordeste brasileiro por meio do SEBAL e produtos MODIS. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 10, pp.1039–1046.

SILVA, V. P. R.; BELO FILHO, A. F.; SILVA, B. B.; CAMPOS, J. H. B. C. (2005). Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, pp. 547-53.

SILVA, R. M.; SILVA, L. P.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SANTOS, C. A. G. (2010). Análise da variabilidade espaço-temporal e identificação do padrão da precipitação na bacia do rio Tapacurá, Pernambuco. *Sociedade & Natureza*, 22, pp. 357-372.

SRH-PE – Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco. (2015). Plano hidroambiental da bacia hidrográfica do rio Capibaribe: Tomo I - diagnóstico hidroambiental. Recife: Projotec/SRH-PE. 389p.

SYPERREK, V. L. G.; KLOSOWSKI, E. S.; GRECO, M.; FURLANETTO, C. (2008). Avaliação de desempenho de métodos para estimativas de evapotranspiração de referência para a região de Palotina, Estado do Paraná. *Revista Acta Scienci Agronomic*, v. 30, n. 1, pp. 603-609.