

# **ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA EM ESTAÇÃO AUTOMÁTICA NO MUNICÍPIO DO CRATO-CE**

**Ana Alice Cardoso Carneiro**<sup>1</sup>; **Everton Alencar Patrício**<sup>2</sup>; **Ana Célia Maia Meireles**<sup>3</sup>; **Carlos Wagner Oliveira**<sup>4</sup>; **José Bandeira Brasil**<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Bolsista. Ícaro Moreira de Sousa 00126, Bairro Muriti. Universidade Federal do Cariri; <sup>2</sup>Bolsista. Ícaro Moreira de Sousa 00126, Bairro Muriti. Universidade Federal do Cariri; <sup>3</sup>docente. Ícaro Moreira de Sousa 00126, Bairro Muriti. Universidade Federal do Cariri; <sup>4</sup>docente. Ícaro Moreira de Sousa 00126, Bairro Muriti. Universidade Federal do Cariri; <sup>5</sup>Bolsista. Ícaro Moreira de Sousa 00126, Bairro Muriti. Universidade Federal do Cariri

## **RESUMO**

O método de Penman-Monteith (PM) é considerado o padrão para estimar a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), porém, dada a dificuldade de se obter um número grande de variáveis meteorológicas que são utilizadas neste método, diversos outros métodos têm sido utilizados para estimar a ET<sub>o</sub>. Assim, o objetivo deste trabalho foi estimar, por diferentes métodos empíricos, a ET<sub>o</sub> a partir dos dados da estação automática, no município do Crato-Ceará, e compará-los com o método padrão de PM para estimativa da ET<sub>o</sub>. Os dados utilizados para estimar a ET<sub>o</sub> foram obtidos da estação automática do Centro de Ciências Agrárias e da Biodiversidade, Campus da Universidade Federal do Cariri durante os anos de 2021 e 2022. Os resultados indicam que o método padrão para estimativa da ET<sub>o</sub>, (PM) foi o que registrou os menores valores em ambos os anos de estudo, tanto na escala anual quanto mensal. Além disso, os métodos empíricos de Thornthwaite (TH) e Camargo (CM) não apresentaram diferença em relação ao método padrão de PM, ao nível de significância de 5% na escala mensal. Por outro lado, os métodos de Hargreaves-Samani (HS), Jensen-Haise (JH) e Makkink (MK) foram estatisticamente diferentes em comparação ao método padrão de PM, ao nível de significância de 5% na escala mensal. Esses resultados confirmam que a ET<sub>o</sub> deve ser calculada para o local específico de cada estudo, pois um método pode ser considerado aplicável para um local, mas ruim para outro, como visto neste estudo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Variáveis meteorológicas; Penman-Monteith; Métodos empíricos;;

## **INTRODUÇÃO**

Em áreas áridas e semiáridas como o Nordeste do Brasil, com grande variabilidade espacial e temporal na precipitação, uma estimativa adequada da evapotranspiração é de extrema importância para o planejamento dos recursos hídricos e da agricultura irrigada.

A agricultura irrigada é uma das atividades com maior produtividade, comparada à agricultura de sequeiro, porém é considerada a atividade que mais demanda grande quantidade de água. A maior parte dessa água é consumida no processo de evapotranspiração, sendo extraída do solo, por meio da perda de água para a atmosfera. Nesse sentido, a determinação da evapotranspiração em áreas rurais se faz necessária. Por outro lado, nesses locais a disponibilidade de equipamentos que medem variáveis climáticas específicas é limitada. Mesmo em locais onde existam estações meteorológicas próximas com maior número de equipamentos de medição do clima, é comum a falta de um longo período de observações, por defeitos em sensores ou por motivos diversos.

O correto conhecimento da evapotranspiração das culturas assume fundamental importância no planejamento agrícola, visto que as atividades agrícolas demandam grandes quantidades de água e, como sua escassez é cada vez mais preocupante, esforços têm sido empregados no desenvolvimento de pesquisas que permitam estimar a evapotranspiração, mesmo com condições climáticas limitadas em todo o planeta.

Existem vários métodos utilizados para estimar a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), incluindo métodos diretos, indiretos ou empíricos. Dentre as estimativas de evapotranspiração por variáveis

climáticas, a equação de Penman-Monteith modificada pela FAO no manual 56 (ALLEN et al., 1998) é considerada a padrão na estimativa desta variável; no entanto, esta equação requer várias variáveis meteorológicas no formato horário ou diário. Na ausência de qualquer uma das variáveis climáticas necessárias, o manual da FAO oferece alternativas de cálculo, a ponto de, quando se dispõe apenas de dados tabulados de radiação e temperaturas, a solução proposta equivale à equação de Hargreaves-Samani (1985).

Métodos como Thornthwaite (1948), Camargo (1971) e Hargreaves-Samani (1985) utilizam apenas a temperatura do ar, sendo considerados métodos mais simples, com menor exigência de dados (BORGES JÚNIOR et al., 2012). O método de Thornthwaite é um clássico no assunto e foi o responsável por introduzir o conceito de evapotranspiração potencial. Existem também métodos que usam simultaneamente medições de temperatura e radiação solar. Neste grupo destacam-se Jensen-Haise (1963) e Makking (1957).

## **OBJETIVOS**

O objetivo deste trabalho foi estimar, por diferentes métodos empíricos, a evapotranspiração de referência a partir dos dados da estação automática, no município do Crato-Ceará, e compará-los com o método padrão para estimativa da ETo, Penman-Monteith FAO 56.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### *Local de estudo*

A área de estudo localiza-se no Centro de Ciências Agrárias e da Biodiversidade (CCAB), Campus da Universidade Federal do Cariri (UFCA) no município do Crato, inserido na sub-bacia da bacia hidrográfica do Salgado, na região do Cariri, Ceará, Nordeste do Brasil (Figura 1) e possui clima tropical - Aw. As coordenadas geográficas do ponto central da área são: 7°14' S e 39°22' W, com altitude de 425 m acima do nível do mar. O município do Crato está inserido na região metropolitana do cariri, sendo composta por 9 municípios, com área aproximadamente de 5.460,0 km<sup>2</sup> (SAMPAIO et al., 2019).

O local de estudo possui características climáticas úmidas, com temperaturas médias ao longo do ano variando entre 24 °C e 27 °C e com estações chuvosa e seca bem definidas (Figura 2). De acordo com a série histórica da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME (1974 a 2022), a região de estudo possui uma precipitação média anual de 1.116,3 mm, em que 84.4% do total precipitado concentra-se na estação chuvosa (dezembro a abril), como visto na figura 2. O semestre considerado seco ocorre de junho a novembro, com apenas 9% do total anual de chuvas, evidenciando a alta variabilidade temporal de ocorrência da precipitação, comum no estado do Ceará (GUERREIRO et al., 2013).

O município do Crato, localiza-se na base da Chapada do Araripe no extremo-sul do estado do Ceará e na Microrregião do Cariri. Por estar localizado na base da Chapada do Araripe, suas temperaturas são relativamente baixas no inverno, embora elevadas no verão, ao contrário de outras áreas do Nordeste.

### *Coleta dos dados*

Os dados sobre as variáveis meteorológicas foram obtidos na estação automática do CCAB/UFCA (EMCCAB), modelo do tipo HOBO RX3000. Os dados e informações podem ser acessados pelo site <https://sites.ufca.edu.br/agrotempo/>. O site Agrotempo (Agrometeorologia para Agricultores do Cariri) é fruto de um projeto de extensão universitária do curso de Agronomia da Universidade Federal do Cariri, Campus Crato.

Durante os anos de 2021 e 2022 foram coletados dados referentes a temperatura do ar (média, mínima e máxima - °C); radiação solar ( $w m^{-2}$ ); velocidade do vento ( $m s^{-1}$ ) e precipitação (mm) e umidade do ar (%).

Os dados desta estação foram utilizados para o cálculo da evapotranspiração de referência através de diferentes métodos indiretos, tomando-se como estimativa padrão o método de Penman-Monteith FAO-56 (ALLEN et al., 1998).

Os métodos foram avaliados na escala de tempo diária e depois padronizados para escala mensal, sendo eles: a) Método combinado: Penman-Monteith FAO-56 (padrão); b) Métodos

baseados na temperatura do ar: Thornthwaite, Camargo, Hargreaves-Samani; c) Métodos baseados na radiação solar: Makkink e Jensen-Haise.

#### *Método de Penman-Monteith FAO 56 (PM)*

A FAO recomenda-se que os métodos empíricos devem ser calibrados e/ou validados através da equação de Penman-Monteith como referência (ALLEN et al., 1998). A equação 1 tornou-se padrão aceito para calcular a ETo (PEREIRA et al., 2015).

em que: ETo - evapotranspiração de referência,  $mm dia^{-1}$ ; Rn - radiação líquida total do gramado,  $MJ m^{-2} dia^{-1}$ ; G - densidade do fluxo de calor no solo,  $MJ m^{-2} dia^{-1}$ ; Tm - temperatura média diária do ar, °C;  $u_2$  - velocidade do vento média diária a 2 m de altura,  $m s^{-1}$ ;  $e_s$  - pressão de saturação de vapor, kPa;  $e_a$  - pressão parcial de vapor, kPa;  $\Delta$  - declividade da curva de pressão de vapor no ponto de Tm,  $kPa^{\circ}C^{-1}$ ;  $\gamma$  - coeficiente psicrométrico,  $kPa^{\circ}C^{-1}$ .

#### *Método de Thornthwaite - TH (1948)*

O método de Thornthwaite (1948) foi uma das primeiras fórmulas desenvolvida para se estimar a evapotranspiração e é obtido pelas combinações das equações 2, 3, 4 e 5.

em que, ETo é a evapotranspiração de referência ( $mm mês^{-1}$ ), Ti é a temperatura do ar média mensal (°C) e I é o índice térmico imposto pelo regime climático local, calculado por.

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

Hargreaves e Samani (1985) utilizam os valores de Temperatura máxima, mínima e média do ar e da Radiação extraterrestre para estimativa da ETo (Equação 6):

em que: Tmáx é a temperatura máxima do ar, °C; Tmin é a temperatura mínima do ar, °C; T é a temperatura média do ar, °C (para o período); RT é a radiação solar extraterrestre ( $mm d^{-1}$ ).

#### *Método de Camargo - CM*

O método de Camargo utiliza dados de radiação solar no topo da atmosfera e um fator K, que é um ajuste que varia em função da temperatura média anual, como visto na equação 7.

em que, ETo é a evapotranspiração de referência ( $mm d^{-1}$ ) estimada pelo método de Camargo (1971); RT é a radiação solar extraterrestre ( $mm d^{-1}$ ); ND é o número de dias do período analisado; T é a temperatura do ar média (°C) e kf é um fator de ajuste que varia com a temperatura do ar média anual do local (kf = 0,01 para T < 23 °C; kf = 0,0105, para T = 24 °C; kf = 0,011, para T = 25 °C; kf = 0,0115, para T = 26 °C; e kf = 0,012, para T > 26°C).

#### *Método de Jensen-Haise - JH*

Jensen e Haise (1963) utilizam os valores de temperatura média do ar e da radiação solar global para estimativa da ETo (Equação 8).

onde ETo é a evapotranspiração de referência ( $\text{mm d}^{-1}$ ),  $R_s$  é a radiação solar global ( $\text{mm d}^{-1}$ ) e T é a temperatura do ar média ( $^{\circ}\text{C}$ ).

#### *Método de Makkink - MK*

Makking (1957) utiliza os valores de Temperatura média do ar, radiação solar extraterrestre e um fator de ponderação - W para estimativa da ETo (Equações 9 e 10).

O fator W varia em função da temperatura do bulbo úmido, mas na falta deste dado pode-se utilizar a temperatura do ar média (PEREIRA et al., 1997).

#### *Análises estatísticas*

Análises estatísticas descritivas e gráficos boxplots foram usados para avaliar a distribuição dos diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência.

A normalidade dos dados foi analisada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Como não houve aderência do teste de Kolmogorov-Smirnov, adotou-se o teste não paramétrico de Wilcoxon com nível de confiança de 95% para verificar as diferenças entre os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência.

As análises estatísticas foram realizadas usando o Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) versão 16.0, MINITAB versão 18 e as figuras no Microsoft Excel.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Durante os anos de 2021 e 2022 a evapotranspiração de referência (ETo) foi calculada por diferentes metodologias para a estação automática do município do Crato-CE (Tabela 1). O método padrão para estimativa da ETo, Penman-Monteith FAO 56 (PM) foi o que registrou os menores valores em ambos os anos de estudo, tanto na escala anual (Tabela 1) quanto mensal (Figura 3).

De acordo com a análise estatística, os métodos empíricos de Thornthwaite (TH) e Camargo (CM) não apresentaram diferença em comparação ao método padrão de PM, ao nível de 5% pelo teste de Wilcoxon, como visto na tabela 1 em ambos os anos. Na figura 3a e 3b para o ano de 2021 e figura 3c e 3d para o ano de 2022 fica evidente como os métodos de TH e CM são similares ao de PM, pois as linhas seguem o mesmo comportamento ao longo dos meses e pela mediana apresentada nos boxplots, em ambos os anos de estudo.

Para o município de São José dos Ausentes, no Rio Grande do Sul, Ongaratto e Bortolin (2021) concluíram que os métodos que apresentaram os piores desempenhos foram o de Thornthwaite e Camargo, sendo classificados com desempenho "sofrível" na escala mensal e como "péssimo" e "mau", respectivamente, na escala diária. Esses resultados confirmam que a ETo deve ser calculada para o local específico do estudo, pois um método pode ser considerado aplicável para um local, mas ruim para outro, como visto em nosso estudo.

De acordo com a análise estatística, os métodos empíricos de Thornthwaite (TH) e Camargo (CM) não apresentaram diferença em comparação ao método padrão de PM, ao nível de 5% pelo teste de Wilcoxon, como visto na tabela 1 em ambos os anos. Na figura 3a e 3b para o ano de 2021 e figura 3c e 3d para o ano de 2022 fica evidente como os métodos de TH e CM são similares ao de PM, pois

as linhas seguem o mesmo comportamento ao longo dos meses e pela mediana apresentada nos boxplots, em ambos os anos de estudo.

Para o município de São José dos Ausentes, no Rio Grande do Sul, Ongaratto e Bortolin (2021) concluíram que os métodos que apresentaram os piores desempenhos foram o de Thorntwaite e Camargo, sendo classificados com desempenho "sofrível" na escala mensal e como "péssimo" e "mau", respectivamente, na escala diária. Esses resultados confirmam que a ETo deve ser calculada para o local específico do estudo, pois um método pode ser considerado aplicável para um local, mas ruim para outro, como visto em nosso estudo.

Por outro lado, os métodos de Hargreaves-Samani (HS), Jensen-Haise (JH) e Makkink (MK) foram estatisticamente diferentes em comparação ao método padrão de PM, ao nível de 5% pelo teste de Wilcoxon, como visto na tabela 1 em ambos os anos. Os métodos de JH e MK apresentaram os maiores valores de ETo na escala mensal, como visto pela variação das linhas (Figura 3a e 3c) e pela amplitude do boxplot (Figura 3b e 3d) para os anos de 2021 e 2022 respectivamente.

Corroborando com os resultados obtidos neste trabalho, o método de HS superestima os valores de ETo quando comparados ao método de PM em estudos realizados no Nordeste do Brasil (ARRAES et al., 2016; CARVALHO et al., 2018).

Para as condições do semiárido Nordestino, Junior et al. (2011) observaram que o método de Makkink (1957) subestimaram a ETo. Em relação a Makkink (1957) esse comportamento se deve, provavelmente, ao fato de os coeficientes utilizados da equação original serem desenvolvidos nas condições climáticas de Wageningen, na Holanda.

Para o estado do Ceará, Carvalho et al. (2018) verificaram que o método MK foi menos sensível aos dados meteorológicos para a cidade de Campos Sales (menor variação) e ainda foi o que apresentou respostas com menor significância, sempre subestimando os resultados obtido pelo método PM, não obtendo estimativas próximas a do método padrão em nenhuma época do ano.

De modo geral, a figura 3 ilustra o comportamento mensal dos métodos de ETo comparados ao padrão (ETo PM), em que se pode observar um comportamento sazonal entre os métodos avaliados e o padrão-FAO. De todos os métodos analisados, verificou-se, ainda, que o método de ETo TH foi o que melhor se ajustou aos dados de ETo PM para os dois anos de estudo (Tabela 1; Figura 3).

Baseado na figura 3a e 3c, para os anos de 2021 e 2022, os meses que apresentaram a maior ETo estimada pelo método de Penman-Monteith foram os meses de julho a novembro, meses nos quais são registradas temperaturas mais elevadas em decorrência do maior índice de radiação solar, contribuindo para o acréscimo de uma demanda evaporativa do ar. Resultados semelhantes foram encontrados por Carvalho et al. (2018) para a cidade de Campos Sales, região semiárida do Ceará.

## **CONCLUSÃO**

Para a estação automática do município do Crato-Ceará o método padrão para estimativa da evapotranspiração de referência - ETo, Penman-Monteith - PM foi o que registrou os menores valores em ambos os anos de estudo. Dentre os métodos empíricos avaliados, o método de Thornthwaite e Camargo não apresentaram diferença em comparação ao método padrão de PM, apresentando comportamento similar durante o período de estudo. Já os métodos de Hargreaves-Samani, Jensen-Haise e Makkink foram estatisticamente diferentes em comparação ao método padrão de PM, ao nível de 5% de significância, apresentaram os maiores valores de ETo na escala mensal.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Centro de Ciências Agrárias e da Biodiversidade (CCAB) da Universidade Federal do Cariri (UFCA) pela logística para realização do trabalho, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pelo seu apoio financeiro aos bolsistas participantes desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- 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.
- ARRAES, F. D. D., JUNIOR, J. C. L., DE OLIVEIRA, J. B., DE MACÊDO, K. G., DE SOUSA COURAS, Y., & DE OLIVEIRA, W. C. Parametrização da equação de Hargreaves-Samani para o estado do Pernambuco-Brasil. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 10, n. 1, p. 410-419, 2016.
- BORGES JÚNIOR, J. C., ANJOS, R. J., SILVA, T. J., LIMA, J. R., & ANDRADE, C. L. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 16, p. 380-390, 2012.
- CAMARGO, A.P. de. **Balço hídrico no Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 24p. Boletim 116, 1971.
- CARVALHO, T. R. A., BRASIL, J. B., JUNIOR, J. C. L., & MACÊDO, K. G. Evapotranspiração de referência para campos Sales-CE métodos combinados e empíricos. **Revista Geonorte**, v. 9, n. 32, p. 123-136, 2018.
- GUERREIRO, M. J. S., ANDRADE, E. M., ABREU, I., E LAJINHA, T. Long-term variation of precipitation indices in Ceará State, Northeast Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 33, n. 14, p. 2929-2939, 2013.
- HARGREAVES, G. H., SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Transaction of ASAE**, v.1, n.2, p.96-99, 1985.
- JENSEN, M.E.; HAISE, H.R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. **Journal of Irrigation Drainage Division, ASCE**, New York, v.89, n.1, p.15-41, 1963.
- JUNIOR, E. G. C., OLIVEIRA, A. D., DE ALMEIDA, B. M., & SOBRINHO, J. E. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para as condições do semiárido Nordeste. **Semina Ciências Agrárias**, v. 32, n. 4, p. 1699-1708, 2011.
- MAKKINK, G, F. Ekzamento de la formulo de Penman. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 5, p. 290-305, 1957.
- ONGARATTO, J. M., & BORTOLIN, T. A Comparação entre métodos de estimativa de evapotranspiração de referência no município de São José dos Ausentes (RS), Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 26, p. 979-987, 2021.
- PEREIRA, L. S.; ALLEN R. G.; SMITH M.; RAES D. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. **Agricultural Water Management**, v. 147, p. 4-20, 2015.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

SAMPAIO, M. R. L.; BARBOZA, E. N.; CRISOSTOMO, N. C.; BEZERRA NETO, F. das C.; SILVA, D. H. da; FELIZARDO, R. de O.; PINTO, N. A. Estudo comportamental da precipitação pluviométrica no município de Crato-Ceará, no período entre 1974-2009. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 27-33, 2019.  
<https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RBGA/article/view/7729>.

THORNTHWAITE, C.W. Na approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, 38: 55-94, 1948