

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

Ana Alice Cardoso Carneiro¹; **Everton Alencar Patrício**²; **Ana Célia Maia Meireles**³; **Carlos Wagner Oliveira**⁴; **José Bandeira Brasil**⁵

¹Bolsista. Ícaro Moreira de Sousa 00126, Bairro Muriti. Universidade Federal do Cariri; ²Bolsista. Ícaro Moreira de Sousa 00126, Bairro Muriti. Universidade Federal do Cariri; ³docente. Ícaro Moreira de Sousa 00126, Bairro Muriti. Universidade Federal do Cariri; ⁴docente. Ícaro Moreira de Sousa 00126, Bairro Muriti. Universidade Federal do Cariri; ⁵Bolsista. 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_o), 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_o. Assim, o objetivo deste trabalho foi estimar, por diferentes métodos empíricos, a ET_o 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_o. Os dados utilizados para estimar a ET_o 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_o, (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_o 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_o), 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 km² (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; Δ - declividade da curva de pressão de vapor no ponto de Tm, $kPa\ ^\circ C^{-1}$; γ - 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 (mm d^{-1}), R_s é a radiação solar global (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