

ESTIMATIVA DA ETo PELOS MÉTODOS PENMAN-MONTEITH FAO 56 E THORNTHWAITE MODIFICADO APLICADO EM CONDIÇÕES DE PRECIPITAÇÕES DISTINTAS

Kadidja Meyre Bessa Simão¹, Jair José Rabelo de Freitas², Liherberton Ferreira dos Santos³, Ana Luzia Medeiros Luz Espínola⁴, José Espínola Sobrinho⁵, Roberto Vieira Pordeus⁶

RESUMO: A estimativa precisa da evapotranspiração (ET) é fundamental para melhorar as práticas de gerenciamento de água. O objetivo do trabalho foi estimar a evapotranspiração de referência pelo método padrão Penman-Monteith FAO 56 e Thornthwaite modificado em dois anos consecutivos para Mossoró- RN. Os dados de ETo resultantes da aplicação dos métodos apresentados foram submetidos à análise estatística. Para avaliar a precisão dos modelos, utilizou-se o coeficiente de determinação (R^2) da regressão linear entre ETo 's e correlação. Houve uma subestimação de 1,95% do método padrão apenas para o mês de novembro, sendo em todos outros ocorrendo uma superestimação para o ano de 2011. Comportamento semelhante até o mês de agosto de 2012, porém diferente do ano anterior, ocorreu uma menor superestimação. O método avaliado não atendeu satisfatoriamente a estimativa da ETo diária e mensal para Mossoró-RN, apresentando valores muito acima da ETo padrão.

PALAVRAS-CHAVE: Evapotranspiração, precisão, temperatura efetiva.

ETO ESTIMATION BY THE PENMAN-MONTEITH FAO 56 AND MODIFIED THORNTHWAITE METHODS APPLIED UNDER DIFFERENT PRECIPITATION CONDITIONS

ABSTRACT: Precise estimation of evapotranspiration (ET) is critical to improving water management practices. The objective of this work was to estimate the reference

¹ Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal Rural do Semi-Árido-UFERSA, CEP 59625-900, Mossoró, RN. Fone (84)99661-7062. e-mail: kadidjameyre84@gmail.com

² Doutorando em Agronomia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido-UFERSA, Mossoró, RN.

³ Doutorando em Agronomia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido-UFERSA, Mossoró, RN.

⁴ Arquiteta, Universidade Federal Rural do Semi-Árido-UFERSA, Mossoró-RN.

⁵ Prof. Doutor, Departamento de Engenharias e Ciências Ambientais, UFERSA, Mossoró, RN.

⁶ Prof. Doutor, Departamento de Engenharias e Ciências Ambientais, UFERSA, Mossoró, RN.

evapotranspiration by the Penman-Monteith standard method FAO 56 and modified Thornthwaite in two consecutive years for Mossoró-RN. The ETo data resulting from the application of the presented methods were submitted to statistical analysis. To evaluate the accuracy of the models, the coefficient of determination (R^2) of the linear regression between ETo's and correlation was used. There was an underestimation of 1.95% of the standard method only for the month of November, and in all other cases an overestimation occurred for the year of 2011. Similar behavior up to August 2012, but different from the previous year, there was a lower overestimation. The evaluated method did not satisfactorily meet the daily and monthly ETo estimates for Mossoró-RN, presenting values well above the standard ETo.

KEYWORDS: Evapotranspiration, precision, effective temperature.

INTRODUÇÃO

O Cálculo preciso da evapotranspiração (ET) é fundamental para melhorar o gerenciamento dos recursos hídricos nas atividades agrícolas, agroindustrial e agropecuário, principalmente nas regiões do Semi-Árido nordestino, onde a taxa de evapotranspiração é bem superior de que a taxa de precipitação ocorrido ao longo do ano.

Diversas metodologias têm sido empregadas para determinação da evapotranspiração, além da forma direta por meio de lisímetros e do balanço hídrico do solo, pode ser de forma indireta, a partir de fórmulas teóricas ou empíricas que utilizam dados do solo e dados meteorológicos (JUNIOR et al., 2013).

O método de Penman-Monteith FAO 56, leva em consideração aspectos termodinâmico e aerodinâmico da cultura, é considerado como modelo padrão para quantificar a demanda atmosférica de evapotranspiração (ALLEN et al., 1998, Borges & Menciondo, 2007, Gomes Filho et al., 2017). Para estimar a ETo FAO 56 existe uma quantidade de variáveis atmosféricas superiores aos dos outros métodos, que muitas vezes não estão disponíveis sendo, portanto utilizado relação dos valores estimados por outros métodos (SULEIMAN et al., 2007). O método a ser comparado com o padrão é o de Thornthwaite modificado onde Camargo et al. (1999) ajustaram a equação original de (1948) com o uso da temperatura efetiva (Tef), em função da temperatura do ar média e da amplitude diária de temperatura do ar, o que melhorou o desempenho para várias regiões. Com isto, o objetivo do trabalho foi estimar a evapotranspiração de referência pelo método padrão Penman-Monteith FAO 56 e Thornthwaite modificado em dois anos consecutivos para Mossoró- RN.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados nos estudos foram oriundos da estação convencional pertencente à Universidade Federal Rural do Semiárido, de Mossoró-RN, cujas coordenadas geográficas são as seguintes: latitude 5° 12' 48'' S, longitude 37° 18' 44'' W. Grw. e altitude de 37 m. Segundo Carmo Filho et al. (1991), a região dispõe de um clima semiárido muito quente com apenas duas estações climáticas bem definidas, sendo uma seca, que se prolonga quase sempre por sete a oito meses, e outra chuvosa que muito raramente ultrapassa cinco meses. Utilizou-se dados diários de temperaturas máxima e mínima, umidade relativa, velocidade do vento, e insolação, radiação, compreendidos entre janeiro de 2011 a dezembro de 2012. Os cálculos da ETo foram realizados por meio de planilha eletrônica do Excel® 2010.

O modelo de Penman-Monteith FAO-56 (Allen et al., 1998), obtido através de diversas parametrizações, é dada por:

$$ETo(PM - 56) = \frac{f0,408\Delta (Rn - G) + y \frac{900}{T + 273} u2(es - ea)}{\Delta + y(1 + 0,34u2)} \quad (1)$$

Em que, ETO(PM-56) é a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith FAO-56 (mm d⁻¹); Rn é o saldo radiação a superfície (MJ m² d⁻¹); G é o fluxo de calor no solo (MJ m² d⁻¹); T é a temperatura do ar média (°C); u₂ é a velocidade do vento a 2,0 m de altura (m s⁻¹); es é a pressão de vapor de saturação (kPa); ea é a pressão real de vapor (kPa); Δ é a tangente à curva da pressão de saturação do vapor d'água (kPa °C⁻¹) e γ é o coeficiente psicrométrico (0,0666 kPa °C⁻¹), que foram obtidos segundo os procedimentos propostos no Boletim N° 56 da FAO (Allen et al., 1998).

A equação de Thornthwaite modificado é dada por:

$$EToTef = 16 \left(10^{\frac{(0,36 tmax - Tmin)}{I}} \right) \cdot \frac{N}{12} \cdot \frac{1}{30} \quad (2)$$

$$EToTef = - 415,85 + 32,24Ti - 0,43Ti^2, T > 26 °C \quad (3)$$

Em que, ETo(Tef) 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.

As Equações 2 e 3 fornecem a evapotranspiração para a condição padrão de meses com 30 dias e dias com 12 horas de brilho solar. Para obter a evapotranspiração diária, multiplica-

se o valor obtido através das Equações 2 ou 3 pelo seguinte fator de correção (Pereira et al., 1997):

$$C = \frac{N}{12} \frac{1}{30} \quad (4)$$

Em que, N é o fotoperíodo (h) de determinado dia.

Os dados de ETo resultantes da aplicação dos métodos apresentados foram submetidos à análise estatística. Para avaliar a precisão dos modelos, utilizou-se o coeficiente de determinação (R²) da regressão linear entre ETo's e correlação.

Os valores de coeficiente de correlação encontrados foram classificados de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Classificação dos valores do índice de correlação de Pearson (r).

Índice de correlação (r)	Classificação
0,0 a 0,1	Muito baixa
0,1 a 0,3	Classificação Baixa
0,3 a 0,5	Moderada
0,5 a 0,7	Alta
0,7 a 0,9	Muito alta
0,9 a 1,0	Quase perfeita

Fonte: Cunha et al. (2013)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A representação da variação da ETo média mensal dos métodos avaliados está disposta na Figura 1, que mostra um comportamento semelhante na curva dos dados até o mês de agosto de 2011, sendo que até esta data houve uma superestimação do método padrão, já nos meses de outubro a dezembro meses de alta demanda evapotranspirométrica observa-se que praticamente não houve superestimação do método padrão. Cavalcante Junior et al. (2010), obteve resultados semelhantes onde observou que os métodos Kpen 1972 e TCA tenderam a superestimar o método padrão para os meses de maior demanda.

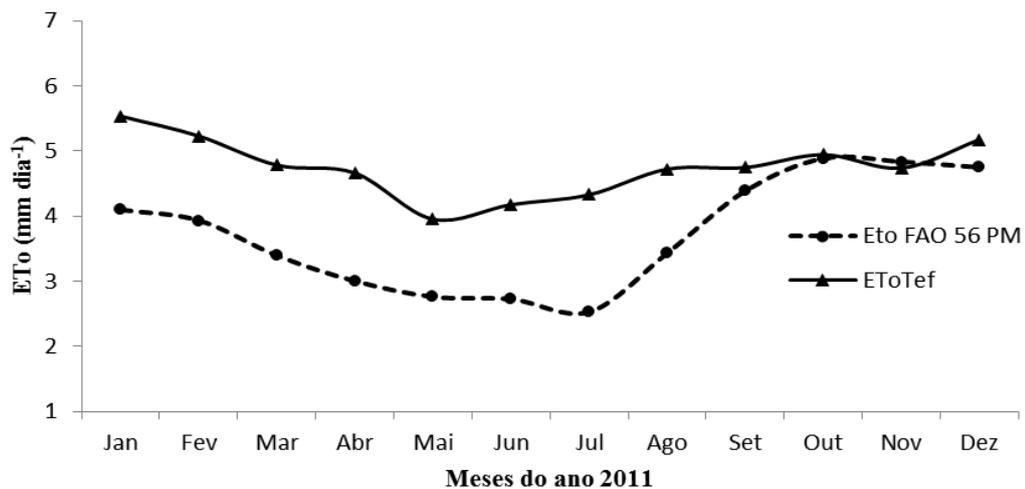


Figura 1. Valores médios mensais da ET₀ estimada pelo método de PM-FAO e os obtidos pelo método Thornthwaite modificado, entre os meses de janeiro e dezembro de 2011, ano chuvoso, Mossoró-RN.

Houve uma subestimação de 1,95% do método padrão apenas para o mês de novembro, sendo em todos outros ocorrendo uma superestimação para o ano de 2011, Moura et al. (2013) em estudo semelhante em Pernambuco obteve resultados totalmente contrários, onde houve uma subestimação do método padrão para todos os meses do ano, isso pode ter sido devido a calibração da equação, visto que os autores utilizaram $k = 0,72$.

A Figura 2 representa a precipitação pluviométrica do ano de 2011, tendo valores acima do normal esperado para regime de chuvas da região, sendo o total de 964,42 mm, o que contribuiu de forma efetiva para os baixos valores de evapotranspiração no período março a julho, podendo-se perceber nitidamente na Figura 1.

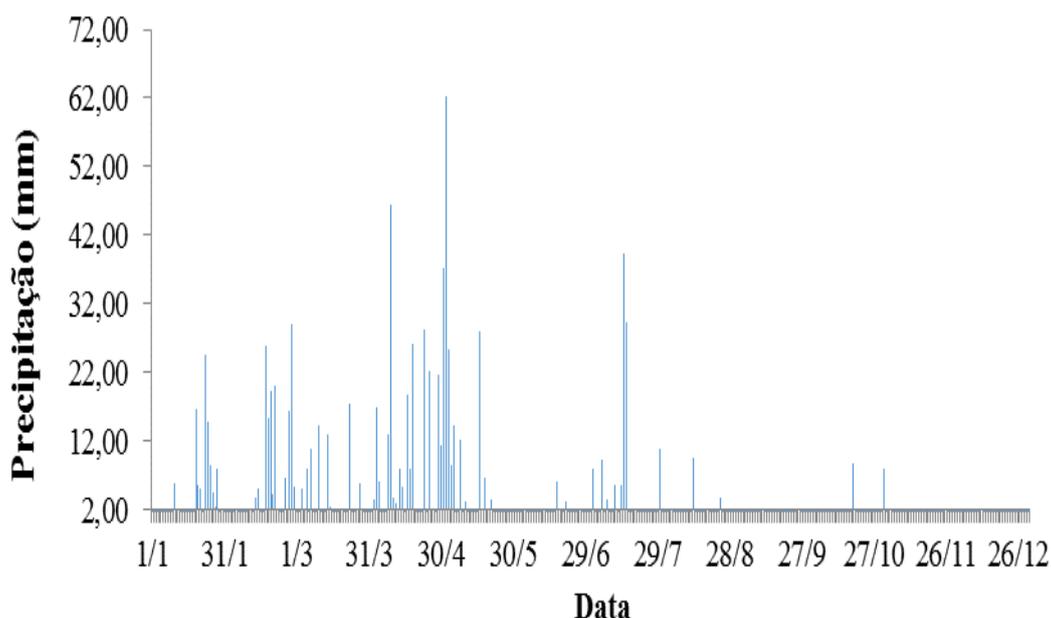


Figura 2. Precipitação pluviométrica no ano de 2011.

A Figura 3 representa a variação da ETo média mensal para o ano de 2012, que mostra um comportamento semelhante na curva até o mês de agosto de 2012, porém diferente do ano anterior, ocorreu uma menor superestimação ou seja, menor foi a diferença entre as evapotranspirações diárias, havendo uma subestimação no período de agosto ao final de outubro de 9,8 , 4,04 e 3,3 % consequentemente o que corrobora com Moura et al. (2013).

Essa diferença acentuada nas evapotranspirações pode ser devido a equação dos métodos, visto que a EToTef é determinada em mm.mês^{-1} , e ao transforma-los para dados diários ocorre um erro acentuado, ao considerar que todos os dias do mês terem ETo constantes o que não ocorre com o método da FAO, que se dá em mm.dia^{-1} .

Pereira e Pruitt (2004), embora tenham analisado a equação de Thornthwaite modificada na escala diária, concluíram que com a utilização da temperatura efetiva, foi similar ao desempenho encontrado através da equação de Penman-Monteith FAO-56.

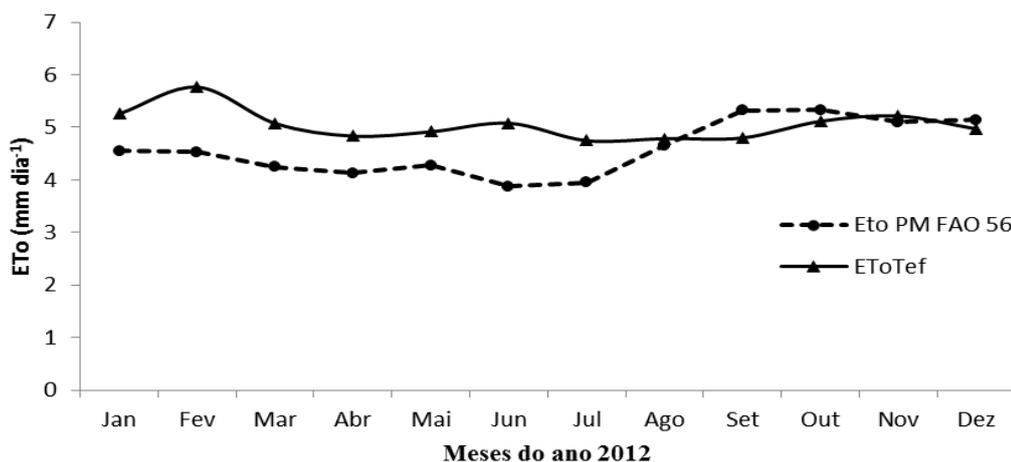


Figura 3. Valores médios mensais da ETo estimada pelo método de PM-FAO 56 e os obtidos pelo método Thornthwaite modificado, entre os meses de janeiro e dezembro de 2011, ano chuvoso, Mossoró-RN.

Na Figura 4 representa-se a precipitação pluviométrica do ano de 2012, tendo valores abaixo da média esperada para regime de chuvas da região, classificando-se como ano seco, sendo o total de apenas 199,4 mm, o que comprova os valores mais elevados de ETo do que em 2011.

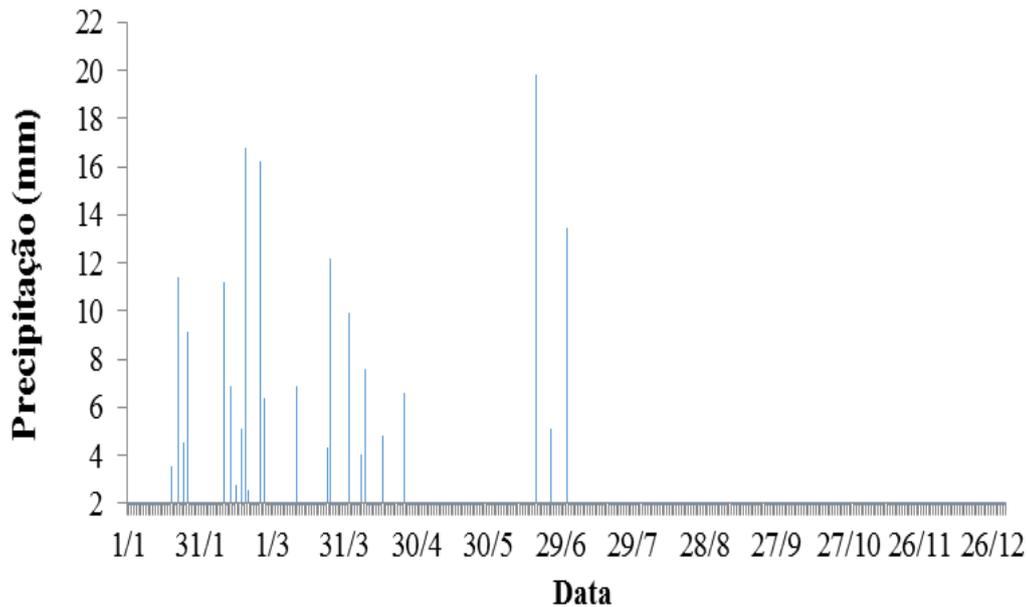


Figura 4. Precipitação pluviométrica no ano de 2012.

Os índices de correlação encontrados entre os métodos se encontram na Tabela 2, mostrando que houve uma melhor correção para o ano chuvoso de 2011 nas duas escalas estudadas, sendo classificados de acordo com a Tabela 1 como uma correlação alta, evidenciando que a precisão do método de EToTef é maior em escala mensal. Para o ano de 2012 os métodos tiveram uma correlação muito baixa.

Tabela 2. Coeficiente de correlação (r) nas escalas diárias e mensais para Mossoró-RN.

Escala de tempo	2011	2012
	r	
Diário	0.5498	-0.0371
Mensal	0.6851	0.0884

A figura 5, mostra graficamente as correlações entre os métodos avaliados e as equações de regressão sugeridas para o ajuste dos métodos nas escalas diárias e mensais para os dois anos estudados.

Na figura 5A e 5B é possível observar que a ETo obtida com as metodologias proposta superestimaram o método padrão na maior parte do ano. Tendo, portanto mesmo comportamento em escala mensal figura 5C e 5D, apresentando subestimação apenas em novembro de 2011 e no período de agosto a outubro de 2012.

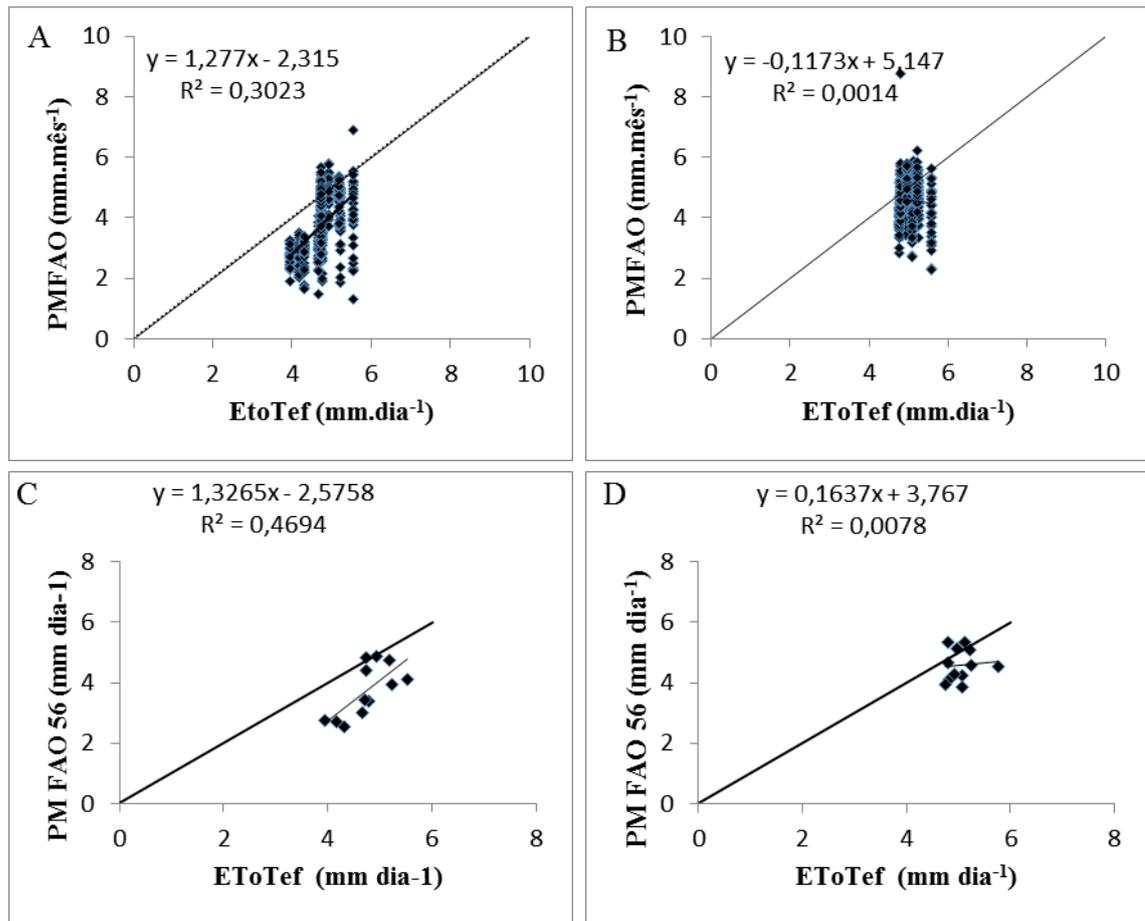


Figura 5. Análise de regressão entre os valores de ETo em escala diária (A) ano 2011 e (B) 2012; e em escala média mensal (C) ano 2011 e (D) 2012 estimada por PM FAO 56 e pelo método Thornthwaite modificado (EToTef), sendo (A) ano 2011 e (B) 2012.

Em estudo semelhante no Ceará, Medeiros (2002), obteve desempenho semelhante ao comparar os métodos propostos neste estudo, sendo o EToTef classificado com desempenho mediano em relação a precisão. Ainda de acordo com autor esses erros podem decorrer pelo fato de Thornthwaite modificado não apresentar componente aerodinâmico que considere o poder evaporante do ar.

CONCLUSÕES

O método avaliado não atendeu satisfatoriamente a estimativa da ETo diária e mensal para Mossoró-RN, apresentando valores muito acima da ETo padrão para maioria dos meses do ano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, Richard G.; PEREIRA, Luis S.; RAES, Dirk; SMITH, Martin. Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 310 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

BORGES AC, MENDIONDO EM. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 2007 Mai/Jun;11(3):293-300.

CARMO FILHO, F. do; ESPÍNOLA SOBRINHO, José; MAIA NETO, J. M. Dados meteorológicos de Mossoró (janeiro de 1988 a dezembro de 1990). Mossoró: ESAM, 1991. v. 4, 470 p.

CAMARGO, A.P. et al. Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e superúmidos, com base na amplitude térmica diária. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 7, n. 2, p.251-257, 1999.

GOMES FILHO, R. R., SOUZA, L. G., SANTOS, I. L. N., SANTOS, K. V., OLIVEIRA, D. T. B., & SILVA, D. T.. Estimativa da evapotranspiração de referência do Estado de Sergipe. Scientia Plena, v. 13, n. 10, 2017.

JUNIOR, E. G. C., DE ALMEIDA, B. M., DE OLIVEIRA, A. D., SOBRINHO, J. E., DE ARAÚJO, E. M., & VIEIRA, R. Y. M. Estimativa da evapotranspiração de referência para a cidade de Mossoró-RN. REVISTA BRASILEIRA DE AGRICULTURA IRRIGADA-RBAI, v. 4, n. 2, 2013.

MEDEIROS, A. T. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas. Paraipaba, Ce, v. 103, 2002.

PEREIRA, A.R., PRUITT, W.O. Adaptation of the Thornthwaite scheme for estimating daily reference evapotranspiration. Agricultural Water Management, Amsterdam, Netherlands, v. 66, n. 2, p. 251-257, 2004.

Kadidja Meyre Bessa Simão et al.

SULEIMAN, AYMAM A.; HOOGENBOOM, GERRIT. Comparison of Priestley-Taylor and FAO-56 Penman-Monteith for daily reference evapotranspiration estimation in Georgia. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 133, n. 2, p. 175-182, 2007.