

AVALIAÇÃO DO MÉTODO DE TURC PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DE UM ANO SECO E UM ANO CHUVOSO COMPARADO COM MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH FAO 56

Kadidja Meyre Bessa Simão¹, Cleyton dos Santos Fernandes², Rudah Marques Maniçoba³,
Ana Luzia Medeiros Luz Espínola⁴, José Espínola Sobrinho⁵, Roberto Vieira Pordeus⁶

RESUMO: Cálculos precisos da evapotranspiração de referência são de fundamental importância para o planejamento agrícola de uma região, em especial na região semiárida. Devido ao método de Penman-Monteith, considerado como o método padrão e necessitar de grande número de elementos meteorológicos, que nem sempre estão disponíveis em algumas regiões, tem se estudado a aplicação de métodos mais simples, que usam menor número de variáveis meteorológicas. Assim, neste trabalho objetivou-se avaliar o desempenho do método de Turc em comparação ao método de Penman-Monteith FAO 56 para estimar a evapotranspiração de referência para as condições do semiárido nordestino durante um período de dois anos distintos: um ano chuvoso e o outro ano não chuvoso - 2011 e 2012, respectivamente. Nas estimativas, foram utilizados dados da estação automática da Universidade Federal do Semi-Árido. Os resultados mostraram que a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Turc superestima em pequeno valor a estimativa pelo método padrão, nos meses chuvosos e o subestima o modelo padrão nos meses do ano que não ocorre precipitação.

PALAVRAS-CHAVE: Métodos empíricos; métodos e estimativa; ETo de referência.

EVALUATION OF THE TURC METHOD FOR EVAPOTRANSPIRATION REFERENCE ESTIMATION OF ONE DRY YEAR AND A RAINY YEAR COMPARED WITH PENMAN-MONTEITH FAO METHOD 56

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.

ABSTRACT: Precise estimates of reference evapotranspiration are of fundamental importance for the agricultural planning of a region. Due to the standard method it needs a large number of meteorological elements, which are not always available in some regions, the application of simpler methods that use a smaller number of meteorological variables has been studied. The objective of this work was to evaluate the performance of the Jensen-Haise method in comparison to the Penman-Monteith method FAO 56 to estimate the reference evapotranspiration for the northeastern semiarid conditions during a period of two distinct years: a rainy and the other dry - 2011 and 2012, respectively. In the estimates, data were used from the automatic station of the Federal University of the Semi-Arid. The results showed that the reference evapotranspiration estimated by the Jensen-Haise method overestimates that estimated by the standard method in all months of the year, regardless of annual precipitation.

KEYWORDS: Evapotranspiration, precision, effective temperature.

INTRODUÇÃO

Para um bom manejo de irrigação, a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) é de suma importância, sua quantificação auxilia pesquisadores e profissionais na execução de projetos agrícolas e ambientais que visam maximizar o uso da água promovendo assim a sustentabilidade nas regiões que possuem restrições hídricas.

O Boletim nº 56 de Allen et al. (1998) da Food and Agricultural Organization (FAO) define a ET_o como sendo a evapotranspiração de uma cultura hipotética, com altura fixa de 0,12 m, albedo igual a 0,23 e resistência da cultura ao transporte de vapor d'água igual a 70 s.m-1. A cultura hipotética está relacionada a uma superfície gramada, de altura uniforme, em crescimento ativo, cobrindo totalmente a superfície do solo e sem restrição hídrica.

Devido às dificuldades da medição direta da evapotranspiração, bem como sua importância na gestão dos recursos hídricos, a escolha de um método que a estime com precisão e com base em variáveis climatológicas disponíveis no local de estudo é imprescindível, pois tanto as variáveis climatológicas quanto a precisão dos modelos são fatores limitantes para seus usos (JÚNIOR, et al. 2012). Existem diversos métodos na literatura para se estimar a evapotranspiração de referência utilizando-se parâmetros climatológicos. Dentre eles, pode-se citar Penman-Monteith FAO-56, Camargo, Hargreaves-Samani, Jensen-Haise, Makkink, Priestley-Taylor, Radiação Solar, Turc e muitos outros. Esses métodos foram desenvolvidos nas mais diversas condições climáticas e de manejo de culturas.

A equação de Penman-Monteith FAO-56 (PM-FAO) é aceita como método padrão para estimativas da evapotranspiração de referência (TALAFE, 2014). O fator limitante do modelo PM-FAO é a exigência de grande quantidade de dados meteorológicos como, temperatura, umidade do ar, pressão atmosférica, saldo de radiação e velocidade do vento, os quais nem sempre estão disponíveis, devido alguns postos meteorológicos medir apenas a temperatura do ar e precipitação, o que impõe o uso de modelos mais simples que requerem menos dados de entrada (BORGES JÚNIOR et al., 2012; CUNHA et al., 2013; MOELETSI et al., 2013; TALAFE, 2014).

Portanto, avaliar outros métodos mais simples em relação ao padrão Penman-Monteith FAO, que necessitem de menor quantidade de dados consiste em estudo relevante, possibilitando a utilização desses métodos em regiões climaticamente semelhantes às quais foram originalmente desenvolvidos.

Diante do exposto esse trabalho teve por objetivo estimar a evapotranspiração de referência diária (ET_o) para a cidade de Mossoró-RN através do método de TURC e comparar seu desempenho em relação ao método padrão Penman-Monteith FAO-56.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado utilizando dados meteorológicos obtidos na estação meteorológica localizada na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em dois anos, de 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2011 (chuvoso) e 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2012 (seco) na cidade de Mossoró-RN, com latitude 5,082 ° Sul, longitude 37,37° Oeste e altitude de 36 m. Segundo Medina & Maia Neto (1989) o clima local é do tipo BSw'h', conforme classificação de Koppen, correspondendo a um clima quente, semi-árido, com estação chuvosa limitada aos meses de fevereiro a maio.

Os dados coletados, em períodos diários, foram: temperatura do ar a 1,5 m de altura (°C), pressão atmosférica (kpa), umidade relativa do ar (%), velocidade do vento a 2 m de altura (ms⁻¹), radiação solar global (MJ m⁻²dia⁻¹) e precipitação (mm). Os métodos utilizados para a estimativa da ET_o foram: Penman-Monteith FAO-56 e Turc.

Método de Penman-Monteith (PM)

Método tomado como padrão e recomendado pela FAO para estimativas da evapotranspiração de referência. A equação 1 representa o modelo padrão conforme recomendado por Allen et al. (1998):

$$EToPM = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \left(\frac{900u_2}{T_{med} + 273} \right) (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

Em que, EToPM = Evapotranspiração de referência pelo método Penman-Monteith (mm dia⁻¹); Δ = declinação da curva de saturação do vapor da água (kPa °C); R_n = saldo de radiação (MJ m⁻² dia⁻¹); G = fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹); γ = constante psicrométrica (kPa °C); U_2 = velocidade média do vento a 2 m acima da superfície do solo (m.s⁻¹); T_{med} = temperatura média do ar (°C); e_s = pressão de saturação de vapor, kPa; e_a = pressão atual de vapor (kPa);

Método de Turc

Em 1961, Turc estimou a ETo através de uma equação que foi desenvolvida para o oeste europeu. O método de Turc utiliza somente a radiação solar e a temperatura em sua equação dada por (Jensen et al., 1990):

$$ETo = 0,013 \left[\frac{T}{T + 15} \right] (Rs + 50) \quad (2)$$

Em que, T = temperatura média do ar (°C); Rs = radiação solar (mm d⁻¹);

Na sequência foram calculados a evapotranspiração pelos métodos de Penman-Monteith FAO-56 e Turc. Após a obtenção dos dados da ETo para ambos os métodos, estes foram comparados. A avaliação dos resultados das estimativas da ETo, foi realizada utilizando-se análise de regressão e considerando o modelo linear ($y = ax + b$), na qual a variável dependente foi o método de Penman-Monteith FAO 56 e a estimativa da ETo pelo método de Turc foi a variável independente.

A comparação dos resultados foi através do erro padrão da estimativa (EPE), calculada pela Equação 3. No qual quanto menor for o valor de EPE, melhor é o método para estimativa da ETo.

$$EPE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (3)$$

Em que, EPE = erro-padrão da estimativa (mm d⁻¹); Y_i = evapotranspiração de referência estimada pelo método-padrão (mm d⁻¹); X_i = evapotranspiração de referência obtida pelo método testado (mm d⁻¹); e n = número de observações.

O padrão PM-FAO 56, por meio de índices estatísticos: como, concordância de valor da ETo estimado pelo método de Turc foi confrontado com o valor estimado pelo método Willmott “d” (Equação 4) (variando de 0, nenhuma concordância, a 1, concordância perfeita) (WILLMOTT et al., 1985); o coeficiente de correlação de Pearson “r” (Equação 5) e pelo coeficiente de desempenho “c” (Equação 6).

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^n [(|Y_i - \bar{x}|) + (|X_i - \bar{x}|)]^2} \quad (4)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (|X_i - \bar{x}|) (|Y_i - \bar{y}|)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{y})^2}} \quad (5)$$

$$C = r \cdot d \quad (6)$$

Em que: Y_i = evapotranspiração de referência estimada pelo método-padrão (mm.d^{-1}); X_i = evapotranspiração de referência obtida pelo método testado (mm.d^{-1}); \bar{X} = média dos valores de evapotranspiração de referência obtidos pelo método testado (mm.d^{-1}); n = número de observações; \bar{Y} = média dos valores de evapotranspiração de referência obtidos pelo método-padrão (mm.d^{-1}).

As Tabela 2 e 3 exibem a classificação e a interpretação do índice de desempenho e do coeficiente de correlação segundo seus autores.

Tabela 1. Classificação do índice de desempenho (c) proposto por Camargo e Sentelhas (1997).

Valor de c	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 – 0,85	Muito Bom
0,66 – 0,75	Bom
0,61 – 0,65	Mediano
0,51 – 0,60	Sofrível
0,41 – 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

Tabela 2. Classificação do coeficiente de correlação (r) proposto por Hopkins (2007).

Valor de r	Classificação
0,0 - 0,1	Muito baixa
0,1 – 0,3	Baixa
0,3 – 0,5	Moderada
0,5 – 0,7	Alta
0,7 – 0,9	Muito alta
0,9 – 1,0	Quase Perfeita

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ano chuvoso (2011). As variações das médias mensais da temperatura máxima do ar ($^{\circ}\text{C}$), temperatura mínima do ar ($^{\circ}\text{C}$), temperatura média ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa média do ar (%) pressão atmosférica (kPa), velocidade do vento a 2m de altura (m/s) radiação solar global ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) e precipitação (mm) para o ano de 2011, em Mossoró, RN.

Os valores médios da temperatura média do ar variaram de 28,05 a 25,51 $^{\circ}\text{C}$, a menor média de temperatura foi observada no mês de julho 25,51 $^{\circ}\text{C}$, e a maior média nos meses de novembro e dezembro 28,05 $^{\circ}\text{C}$. Os valores médios de umidade relativa variaram entre 54% no mês de setembro a 81,89% no mês de abril. A precipitação pluviométrica total para o ano de 2011 foi de 964,42 mm.

A Figura 1 apresenta a distribuição mensal da ETo para o método de Penman-Monteith FAO 56 e o método de Turc para o ano chuvoso, 2011. É possível verificar uma variação considerável no decorrer do ano. Nota-se que o método de Turc subestima os valores da ETo para os meses que apresentam as maiores médias de temperatura e umidade relativa reduzida, isto é, de agosto a dezembro, quando comprado ao de Penman-Monteith FAO 56, nos demais meses os valores de ETo encontram-se próximos nos dois metodos. Para ambos os métodos as estimativas da ETo foram maiores no período de menor precipitação.

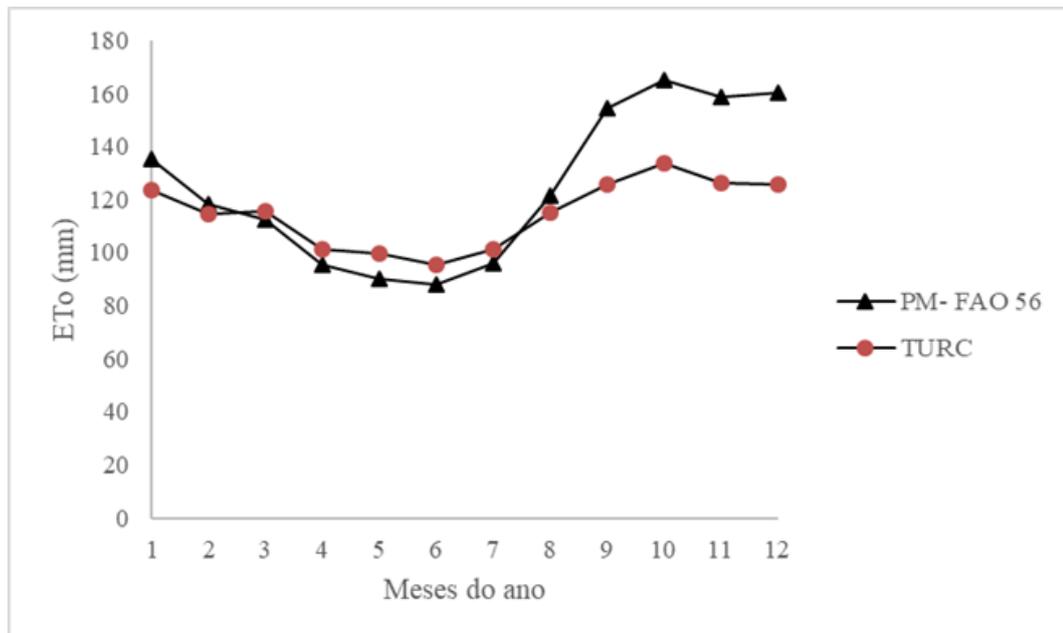


Figura 1. Variação da ETo mensal estimada pelos métodos de Penman-Monteith FAO 56 e Turc, em Mossoró-RN.

O método de Turc apresentou um valor de 0,68 para o EPE anual, sendo consideravelmente baixo quando comparado a o valor obtido por Rigoni (2012) no qual

determinou a evapotranspiração de referência na região do alto pantanal-MS, em diferentes estações do ano, obtendo pelo método de Turc valor próximo de 3,0 para o EPE.

O coeficiente de correlação de Pearson “r” indica o grau de correlação entre o modelo de estimativa de ETo pelo método de Turc, em relação ao método de Penman-Monteith-FAO 56, nas condições climáticas locais. De acordo com os resultados mensais, o método de Turc apresentou valores variando de 0,65 a 0,99, o método apresentou média anual de 0,87 indicando que o método apresenta correlação positiva quando comparado com as estimativas do método padrão. Provavelmente esse resultado esteja ligado ao fato de que método utiliza variáveis como a temperatura do ar e radiação global principalmente, por ser responsável pelo maior peso no processo evapotranspirativo assemelhando-se assim ao método padrão.

O método de Turc apresentou bom ajuste para o coeficiente de confiança (c) para as condições locais, sendo classificado como “muito bom”, obtendo o valor anual de 0,76.

Jesus (2014) trabalhando com avaliação da evapotranspiração na microrregião do Seridó-RN, encontrou resultado semelhante, no qual o método de Turc também foi classificado como muito bom para as condições locais da cidade de Currais novos, obtendo valor de 0,81.

A Figura 2 apresenta a regressão linear entre os valores diários da ETo estimada pelo método de Turc comparada com os valores obtidos pelo método de Penman-Monteith FAO 56, para o ano de 2011, em Mossoró-RN. O método de Turc não apresentou um bom ajuste com relação a ETo FAO, como se vê no coeficiente de determinação $r^2 = 0,76$.

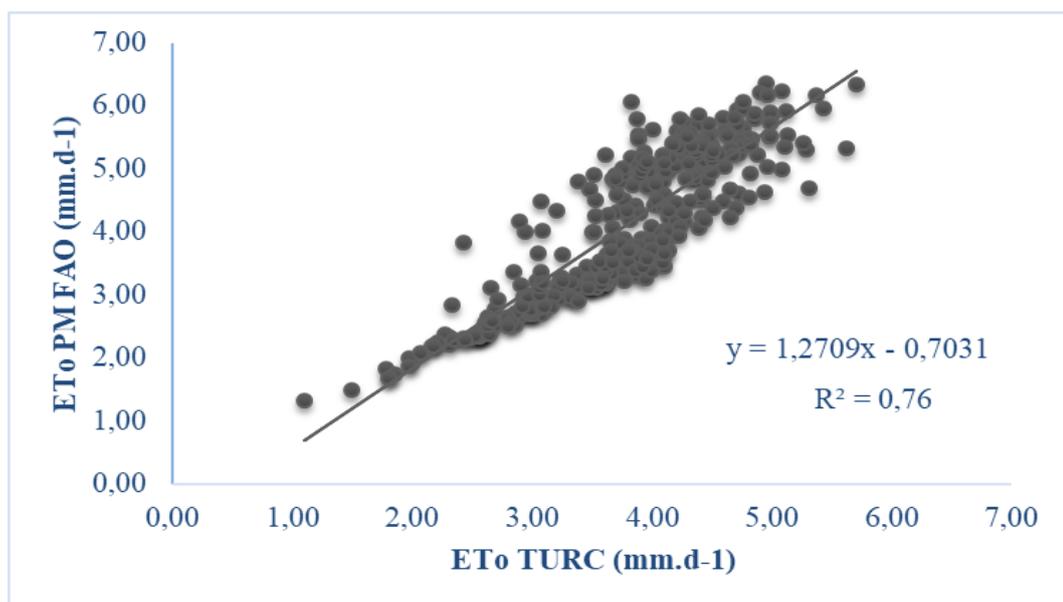


Figura 2. Regressão linear entre os valores diários da ETo estimada pelo método de Turc comparada com os valores obtidos pelo método de Penman-Monteith FAO 56, para o ano de 2011, em Mossoró-RN.

Ano seco (2012), A maior e menor temperatura observada entre os meses foi 35,05°C e 21,52°C ambos referentes ao mês de agosto. Considerando o saldo de os maiores valores são observados no período que vai de agosto a dezembro, que são os meses que apresentam menores valores de precipitação, o total de chuva acumulada durante o ano é de 199,41 mm. Considerando que o método de Turc necessita apenas de dados de temperatura e radiação como parâmetro de entrada, anos mais secos e com temperaturas mais elevadas tendem a aumentar os valores da ETo.

Na figura 3 observa-se a distribuição mensal dos valores de ETo para os métodos de PM-FAO e Turc. A ETo, no transcorrer do ano seco apresentou similaridade na tendência das linhas para ambos os métodos, as estimativas de ETo apresentaram-se mais constantes quando comparadas ao período chuvoso, isso se dá basicamente pela pouca variação anual nas variáveis climáticas. Verificou-se também que o método de Turc apresentou estimativas de ETo inferiores ao do método de PM-FAO para todos os meses do ano, com essa diferença sendo mais acentuada nos meses no segundo semestre do ano.

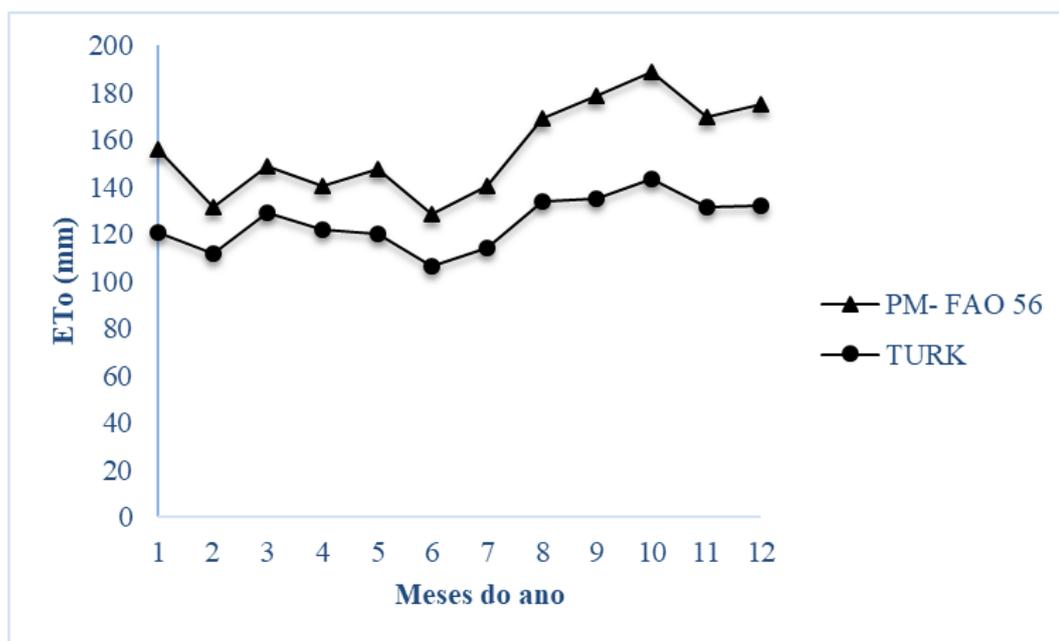


Figura 3. Distribuição mensal da ETo estimada através dos métodos indiretos (Turc e PM-FAO) durante um ano seco, em Mossoró- RN.

Os resultados dos indicadores estatísticos de análise de desempenho do método de estimativa da ETo para o período seco, no município de Mossoró-RN, estão apresentados na Tabela 6. De acordo com a análise mensal do método é possível verificar uma queda nos índices estatísticos para condições locais mais secas com baixa precipitação. O erro padrão da estimativa anual aumentou quando comparado com o ano de 2011 (chuvoso). Apesar de subestimar as estimativas de ETo para todos os meses do ano, o método de Turc apresentou

valores mensais do coeficiente de correlação de Pearson “r” alto e positivo, denotando uma boa correlação entre os dois métodos, apenas para o mês de agosto obteve resultado de pouca correlação, nas condições climáticas locais.

Em relação a avaliação de desempenho, o método não apresentou um valor satisfatório para período seco, obtendo um valor de 0,51, sendo classificado como sofrível.

Lopes et al. (2016) na determinação da evapotranspiração de referência para o semiárido paraibano observou valores superiores aos desse estudo para os índices estatísticos d, r e c: 0,93, 0,89 e 0,83 respectivamente, pelo método de Turc para o ano de 2012, no qual é indicado pelos autores para estimar a ET₀ na cidade de Patos.

CONCLUSÕES

O método de Turc apresentou alta correlação com o método padrão para as condições de Mossoró-RN, quando avaliado pelas estimativas anuais.

O método causou subestimativas na evapotranspiração de referência em ambos os anos, tanto para o chuvoso (segundo semestres principalmente) quanto no seco (todos o ano).

O desempenho do método para estimativa da ET₀ apresentou desempenho muito bom, além alta correlação e baixo erro da estimativa para o ano chuvoso.

É interessante a realização de mais estudos com esse e outros métodos, com a possibilidade de serem avaliados em períodos maiores, a fim de buscar o que mais se adeque as condições do local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BORGES JÚNIOR, João Carlos Ferreira; ANJOS, Raimundo Jaildo dos; SILVA, Tonny José Araújo da; LIMA, José Romualdo de Sousa; ANDRADE, Camilo de Lelis Teixeira. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE.

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.16, n.4, p.380-390, 2012.

CUNHA, Fernando França da; MAGALHÃES, Fernando Fagner; CASTRO, Marcos Aurélio. Métodos para estimativa da evapotranspiração de referência para Chapadão do Sul – MS. **Engenharia na Agricultura**. Viçosa, v. 21, n. 2, p. 159 – 172, 2013.

HOPKINS, Willian G. Correlation Coefficient. Disponível em:<<http://www.sportsci.org/resourse/stats/correl.html>. acesso: 12.mar.2007.

JENSEN, Marvin Eli, Burman, Richard. D., ALLEN, Richard G. **Evapotranspiration and irrigation water requeriments**. New York. ASCE, 1990. 332p.

JESUS, Edmir dos Santos. Avaliação da evapotranspiração na microrregião do Seridó: uma contribuição metodológica. 2014. 99f. Tese (Doutorado em Ciências Climáticas) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

FANAYA JÚNIOR, Eder Duarte; LOPES, Adriano da Silva; OLIVEIRA, Gabriel Queiroz de; JUNG, Leandro Henrique. Métodos empíricos para estimativa da evapotranspiração de referência para Aquidauna, MS. **Irriga, Botucatu**. v. 17, n. 4, p. 418 – 437, 2012.

LOPES, Denis Miranda; ARAÚJO, Daniele Batista; SOUZA, Felipe Marinho Coutinho de; BORGES, Péricles de Farias. DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA O SEMIÁRIDO PARAIBANO. Campina Grande-PB, 2016, p.12.

MEDINA, Benjamim Fernandes; MAIA NETO, Jorge Moreira. Estudo da precipitação pluviométrica no Estado do Rio Grande do Norte. Coleção Mossoroense, 66p, 1989.

MOELETSI, Mokhele Edmond; WALKER, Sue; HAMANDAWANA, Hamisai. Comparison of the Hargreaves an Samani equation and the Thornthwaite equatin for estimating decadal evapotranspiration in the Free State Province, South Africa. **Physics and Chemistry of the Earth**. v. 66, p. 4 – 15, 2013.

RIGONI, Everton Rossi. (2012). Determinação da evapotranspiração de referência na região do alto pantanal de Mato Grosso do Sul, em diferentes estações do ano. Mato Grosso do Sul: Universidade Federal da Grande Dourados. Mato Grosso do Sul, 2012. 42p. (Dissertação de Mestrado).

SENTELHAS, Paulo Cesar. Agrometeorologia aplicada à irrigação. In: MIRANDA, Jarbas Honório de; PIRES, Regina Célia de Matos. Irrigação. Piracicaba: Funep, 2001. p. 63-120.

TALAEI, Parisa Hosseinzadeh. Performance evaluation of modified versions of Hargreaves equation across a wide range of Iranian climates. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 126, n. 1-2, 2014.

WILLMOT, Cort J.; ACKLESON, Steven G; DAVIS, Robert E.; FEDDEMA, Johannes J.; KLINK, Katherine M.; LEGATES, David R.; O'DONNELL, James; ROWE, Clinton M. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, Ottawa, v.90, n.5, p.8995- 9005, 1985.