



DESEMPENHO DE EQUAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS PARA AS ESTAÇÕES SECA E CHUVOSA PARA A CIDADE DE BALSAS/MA

Jhonata Santos Santana¹, Elton Ferreira Lima², Mydilany Carneiro Fernandes³, Bryann Lynconn Araujo Silva Fonseca⁴

1. Engenheiro Agrônomo, Universidade Estadual do Maranhão -UEMA. agro.starf@gmail.com
2. Mestrando em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Santa Maria-UFSM, Santa Maria, RS.
3. Mestrando em Agricultura e Ambiente na Universidade Estadual do Maranhão-UEMA, Balsas, MA.
4. Graduando em Engenharia Agrônômica na Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão -UEMASUL. Imperatriz, MA.

Recebido em: 06/04/2019 – Aprovado em: 10/06/2019 – Publicado em: 30/06/2019
DOI: 10.18677/EnciBio_2019A46

RESUMO

O estudo foi realizado com o propósito de obter a evapotranspiração de referência (ET₀) para a cidade de Balsas/MA, por meio das equações agrometeorológicas propostas por Benevides-Lopez, Camargo, Hargreaves-Samani, Jensen-Haise, Ivanov, Linacre, Makkink, Priestley-Taylor, Radiação Global e Turc, e comparar os resultados encontrados com o valor estimado através do modelo proposto por Penman-Monteith, considerado padrão pela FAO, com o intuito de obter um método que apresente uma performance satisfatória na estação seca e chuvosa e necessite de menor quantidade de variáveis meteorológicas quando comparado a equação padrão da FAO, que possa ser útil no auxílio de técnicos e produtores rurais no manejo da quantidade de água aplicada nas culturas da região. Os resultados mostraram que as equações de Turc e Makkink, no geral apresentaram os melhores desempenhos entre as equações alternativas utilizadas, sendo classificados como “Bom” e “Mediano” na estação seca e “Muito Bom” e “Bom” na estação chuvosa, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: evapotranspiração, método, performance

PERFORMANCE OF AGROMETEOROLOGICAL EQUATIONS FOR THE DRY AND RAINY SEASONS TO THE CITY OF BALSAS / MA

ABSTRACT

The study was conducted with the purpose of obtaining the reference evapotranspiration (ET₀) for the city of Balsas / MA, using the agrometeorological equations proposed by Benevides-Lopez, Camargo, Hargreaves-Samani, Jensen-Haise, Ivanov, Linacre, Makkink, Priestley-Taylor, Global Radiation and Turc, and to compare the results found with the estimated value through the model proposed by Penman-Monteith, considered standard by FAO, with the aim of obtaining a satisfactory performance in the dry and rainy season and requires fewer meteorological variables when compared to the standard FAO equation, which can be useful in assisting technicians and rural producers in the management of the amount of water applied in the region's crops. The results showed that the Turc and

Makkink equations presented the best performances among the alternative equations used, being classified as "Good" and "Medium" in the dry season and "Very Good" and "Good" in the rainy season respectively.

KEYWORDS: evapotranspiration, method, performance

INTRODUÇÃO

O conhecimento da quantidade de água necessária para o desenvolvimento das culturas é um dos principais parâmetros para o correto planejamento e gestão adequada de qualquer sistema de irrigação (SILVA et al., 2015). Nesse aspecto a evapotranspiração de referência - ETo é a variável de fundamental importância no gerenciamento do uso da água nas atividades agrícolas, uma vez que é utilizada tanto por as organizações que gerenciam sistemas de distribuição de água para uso irrigação, a fim de avaliar a eficiência e melhorar a sua capacidades, quanto por agricultores que querem saber mais sobre necessidades específicas de água dos cultivos (SILVA et al., 2012, FERRAZ et al., 2014).

A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação: FAO considera a Evapotranspiração diária pelo método FAO Penman-Monteith a mais adequada e precisa para obter a ETo, pois, este modelo retrata a influência dos componentes do balanço de energia e aerodinâmicos, representando assim de maneira eficiente a ocorrência da evapotranspiração, além de levar em consideração praticamente todos os parâmetros meteorológicos coletadas em estações meteorológicas de superfície (OLIVEIRA et al., 2014; PEREIRA et al., 2015).

Embora seja considerado o mais eficiente para calcular a ETo, a equação padrão da FAO depende de muitas variáveis meteorológicas para seu cálculo, que nem sempre estão disponíveis nos locais de avaliação (PAZ; THEBALDI, 2018). Devido às restrições de uso da equação padrão, em função da quantidade de variáveis meteorológicas, outros métodos têm sido utilizados no cálculo das necessidades hídricas dos cultivos, métodos mais simples, que exigem uma quantidade menor quantidade de variáveis meteorológicas, alguns deles apresentam resultados satisfatórios e têm boa aplicabilidade (OLIVEIRA et al., 2014; DA PAZ; THEBALDI, 2018).

No entanto, antes de escolher um método de estimativa de ETo para uma determinada região, é necessário verificar o desempenho deste, vários estudos vêm sendo realizados por pesquisadores que compararam os mais diferentes métodos presentes na literatura, com a intenção de encontrar métodos representativos para condições locais específicas (KISI, 2014).

Sabendo que as atividades agrícolas consomem grandes quantidades de água, e vários esforços tem sido realizados afim de alcançar uso racional e eficiente dos recurso hídricos este trabalho tem como objetivo mostrar a correlação e o desempenho entre a equação padrão da FAO e as equações agrometeorológicas alternativas de Radiação Global, Camargo, Hargreaves-Samani, Jensen-Haise, Ivanov, Linacre, Makkink, Priestley-Taylor, Benevides Lopes e Turc, com a finalidade de identificar o método que apresente a melhor performance no cálculo da ETo para a estação seca e chuvosa que possa servir como alternativa em técnicas de manejo de irrigação pelos agricultores na cidade de Balsas/MA.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados meteorológicos para a realização do estudo foram obtidos digitalmente do INMET - Instituto Nacional de Meteorologia provenientes da estação automática de Balsas/MA. A cidade de Balsas está localizada na região sul

maranhense, nas coordenadas Lat. 07° 31' 57" S e Long. 46° 02' 08" W, datum WGS 84, a 237 m de altitude. O clima é classificado por Köpen como do tipo AW (tropical chuvoso). A série histórica avaliada abrangeu o período de 2001 a 2018.

A definição das estações seca e chuvosa foi obtida segundo as informações do trabalho realizado por Passos et al. (2017) que constataram que a estação seca na cidade de Balsas/MA ocorre nos meses de abril a novembro e o chuvoso nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. As metodologias utilizadas na presente pesquisa estão apresentadas no Quadro 1.

QUADRO 1- Equações agrometeorológicas utilizadas nas estimativas da ETo para a cidade de Balsas-MA.

Metodologia	Equação Empírica
PENMAN-MONTEITH-FAO56	$E_{To} = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \left(\frac{900 \cdot U_2}{T + 273} \right) \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)}$
BENEVIDES-LOPEZ	$E_{To} = 1,21 \cdot 10 \left(\frac{7,45 \cdot T}{234,7 \cdot T} \right) \cdot (1 - 0,01UR_m) + 0,21 \cdot T - 2,30$
HARGREAVES E SAMANI	$E_{To} = 0,408 \cdot 0,0023 \cdot (T + 17,8) \cdot (T_{max} - T_{min})^{0,5} \cdot R_{a_{mm,dia^{-1}}}$
MAKKINK	$E_{To} = 0,61 \cdot R_{S_{mm,dia^{-1}}} \cdot \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) - 0,12$
CAMARGO	$E_{To} = 0,012 \cdot R_{a_{mm,dia^{-1}}} \cdot T$
PRIESTLEY E TAYLOR	$E_{To} = 0,5143 \cdot \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot (R_n - G)$
TURC	$E_{To} = a_t \cdot 0,013 \cdot \left(\frac{T}{T + 15} \right) \cdot \left(\frac{R_s}{\lambda} \right)$
BUDYKO	$E_{To} = 0,2 T$
JENSEN E HAISE	$E_{To} = R_{S_{mm,dia^{-1}}} (0,025 \cdot T + 0,078)$
IVANOV	$E_{To} = 0,006 \cdot (25 + T)^2 \cdot \left(1 - \frac{UR_m}{100} \right)$
LINACRE	$E_{To} = \frac{500 \left(\frac{T + 0,006 \cdot h}{100 - \varphi} \right) + 15 (T - T_{po})}{(80 - T)}$
RADIAÇÃO-FAO24	$E_{To} = -0,3 + b \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot R_{S_{mm,dia^{-1}}} \right)$

Δ = declividade da curva de pressão (kPa °C⁻¹); R_n = saldo de radiação (MJ m⁻² dia⁻¹); G = fluxo de calor (MJ m⁻² dia⁻¹); γ = constante psicrométrica (MJ kg⁻¹); T = temperatura média (°C); U_2 = velocidade média do vento (m s⁻¹); e_s = pressão de saturação de vapor (kPa); e_a = pressão de vapor (kPa); E_{Tp} = evapotranspiração potencial (mm); T_{max} = temperatura máxima (°C); T_{min} = temperatura mínima (°C); $R_{a_{mm,dia^{-1}}}$ = Radiação extraterrestre (mm.dia⁻¹); $R_{S_{mm,dia^{-1}}}$ = radiação global (mm.dia⁻¹); λ = calor latente de vaporização (MJ.mm⁻¹); a_t = fator da umidade relativa (%); UR_m = umidade relativa média (%). h = altitude do local (m); φ = latitude em módulo (graus); T_{po} = temperatura do ponto de orvalho (°C).

Por meio do programa computacional Excel 2010® foram calculadas a ETo para os métodos alternativos equação padrão da FAO. Em seguida foram calculados os parâmetros estatísticos de comparação, utilizou-se o índice "c" de desempenho, que serve como critério para classificação de desempenho das equações, reunindo os índices de precisão "r" determinados pela análise de regressão e de exatidão "d", proposto por Willmott (1981), sendo expresso pelas equações 2, 3 e 1 respectivamente

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - O_i| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (1)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - O) \cdot (P_i - P)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - O)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - P)^2}} \quad (2)$$

$$c = r \cdot d \quad (3)$$

Onde:

P_i – valor da ETo estimado;

O_i – valor da ETo padrão;

O – média dos valores observados.

O valor de "c", que resulta do produto entre os índices de precisão (r) e de exatidão (d), foi utilizado para classificar a performance de cada um dos métodos empíricos ETo comparativamente a ETo obtida da equação padrão da FAO, nas escalas diárias e para a estação seca e chuvosa..

A classificação quanto ao desempenho ocorreu com base na metodologia proposta por Camargo e Sentelhas (1997), da seguinte forma: ótimo, quando c apresenta valores maiores do que 0,90; muito bom, para valores entre 0,81 e 0,90; bom, para valores entre 0,71 e 0,80; mediano, para valores entre 0,51 e 0,70; sofrível, para valores entre 0,41 e 0,50; mau, para valores entre 0,31 e 0,40; e péssimo para valores de "c" inferiores a 0,30.

Para confirmar a precisão dos modelos empíricos testados, os dados foram analisados por comparação entre a ETo da equação padrão da FAO e as ETo estimadas pelas diferentes equações, por meio da regressão linear analisando o coeficiente "r²", para avaliar o ajuste da regressão linear, em relação aos valores observados. O método ideal deve ter os valores r² = 1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 1 e 2 estão as análises de subestimativas e superestimativas da evapotranspiração (ETo), na estação seca e chuvosa, apresentadas pelas diferentes equações testadas por comparação com a equação padrão da FAO, estes valores foram expressos pela razão entre as médias da ETo acumulada obtida pelas diferentes equações testadas e a ETo acumulada, estimada pelo modelo padrão, no período avaliado.

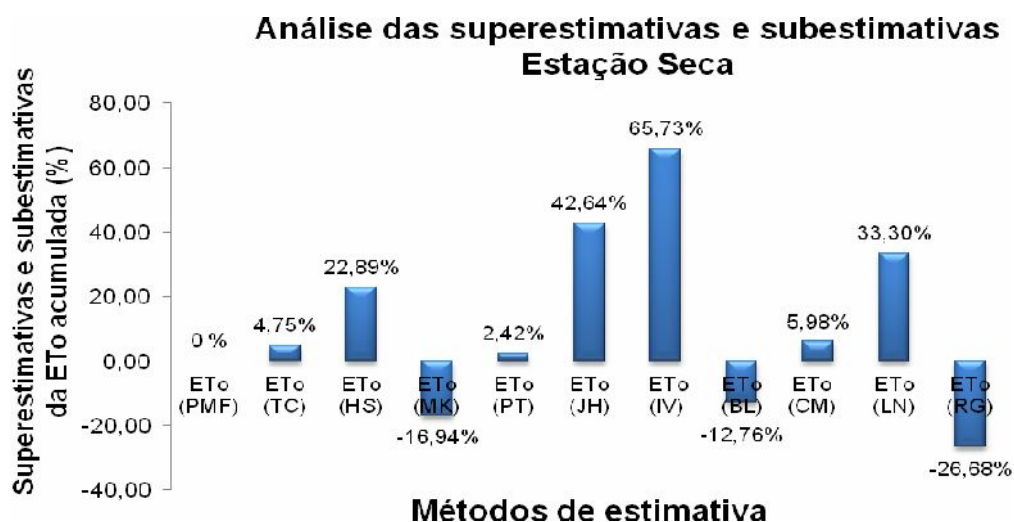


FIGURA 1- Porcentagens de estimativas apresentadas pelas diferentes equações na estação seca, em função da equação padrão da FAO.

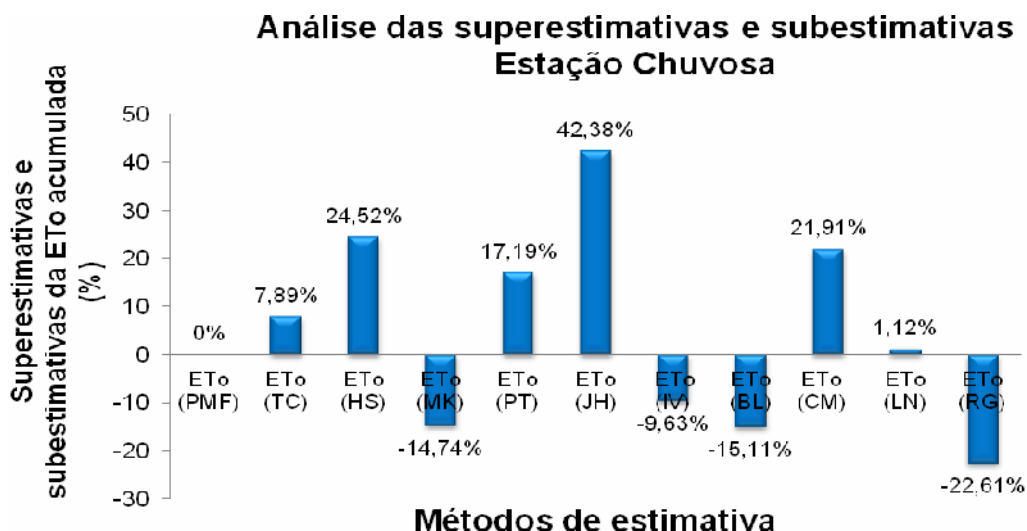


FIGURA 2- Porcentagens de estimativas apresentadas pelas diferentes equações na estação chuvosa, em função da equação padrão da FAO.

O modelo agrometeorológico proposto por Jensen-Haise apresentou a propensão de superestimar a equação padrão da FAO em ambas as estações avaliadas, sendo 42,64 % na estação seca e 42,38% na chuvosa. Resultados semelhantes foram reportados por Passos et al. (2017) na cidade de Chapadina/MA, em que HS tendeu a superestimar a ETo padrão. Em Mossoró, RN, Bezerra et al. (2014) reportaram que Jensen e Haise superestima a ETo padrão especialmente no período úmido (UR > 70%).

A metodologia de Jensen-Haise é adequada para regiões áridas e semi-áridas e diante disso, esperava-se a superestimativa para a cidade avaliada. Verifica-se que Ivanov superestima a ETo na estação seca em 65,73% e subestima na estação chuvosa 9,63%. Resultados similares foram verificados na literatura, Cunha et al. (2013) em Chapadão do Sul-MS, Santos (2017) em Petrolina-PE. Linacre nos dois períodos avaliados apresentou a propensão de superestimar ETo sendo que a maior diferença foi de 33,30% na estação seca.

Para Juazeiro, BA, Cabral Júnior et al. (2017) observaram que Linacre superestima a ETo padrão em 11,17%. Linacre foi originalmente testado para as características climáticas da Austrália, sendo baseado na simplificação da equação padrão da FAO, utilizando informações de temperaturas (máxima, mínima e ponto do orvalho) em função da latitude e altitude (BEZERRA et al., 2014).

Percebe-se na análise das Figuras 1 e 2 que o modelo original de Hargreaves e Samani, ultrapassou a estimativa da ETo verificada com equação padrão da FAO, nos dois períodos avaliados, sendo 22,89 % na estação seca e 24,52% na estação chuvosa. Silva et al. (2015) Analisando a ETo estado do ceará, verificaram que nas cidades de Guaramiranga, Barbalha e Sobral ocorreram as maiores superestimativas da ETo por HS quando comparado a equação padrão da FAO, expressas pela razão entre as médias, quais foram da ordem de 17,76; 12,16 e 10,58%, respectivamente..

Hargreaves e Samani propuseram o modelo através de dados no lisímetro de Davis (Califórnia, EUA), região de clima semiárido. Logo se verifica que é indicada para climas áridos e semiáridos e superestime a equação padrão da FAO, especialmente em períodos úmidos, o que tem sido verificado em vários estudos como os de (MELO; FERNANDES, 2012; BOGAWSKI; BEDNORZ, 2014; BRIXNER et al., 2014; ALENCAR et al., 2015).

Dentre todas os modelos alternativos analisados o de Turc, apresentou a ETo acumulada mais próxima equação padrão da FAO, apesar de superestimar os valores em relação à EToPM em 4,75% na estação seca e 7,89% na estação chuvosa. Cunha et al. (2013) na avaliação da performance da equação, para o estado do Mato Grosso do Sul, verificaram 10,93% de superestimativa em relação a equação padrão.

Notou-se, também superestimativas da equação proposta por Camargo em ambos os períodos avaliados sendo 5,98% na estação seca e 21,91% na estação chuvosa. Os modelos empíricos da Radiação Global, Benevides-Lopez, e Makkink apresentam a tendência em fornecer estimativas de ETo inferiores àquelas obtidas pela equação padrão, tanto na estação seca quanto na estação chuvosa, portanto apresentam tendência de superestimar as medidas de ETo para a cidade avaliada.

Os coeficientes de determinação (R^2) obtidos da relação entre valores diários equação padrão da FAO (EToPM) e métodos alternativos, na escala diária, tiveram valores entre 0,51 e 0,71 para a estação seca e 0,95 a 0,62 para a estação chuvosa (Figuras 3 a 12). O R^2 da regressão mede a proporção da variabilidade em Y que é explicada por X; é uma função direta da correlação entre as variáveis de modo que quanto mais próximos de 1 mais forte a relação entre as duas variáveis analisadas.

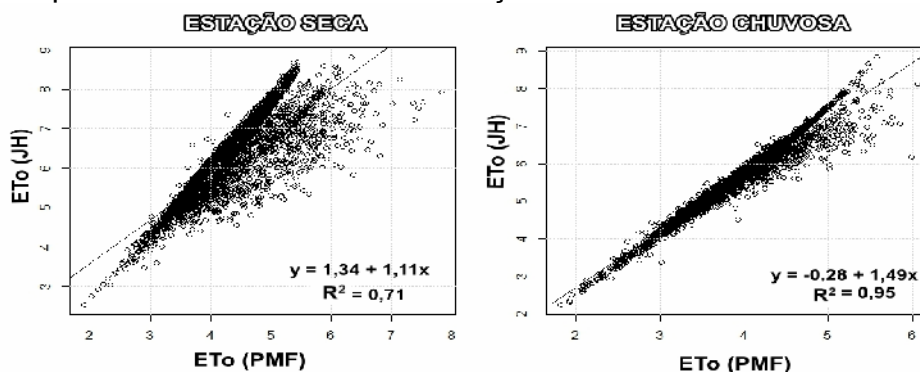


FIGURA 3- Correlação da ETo entre a equação padrão recomendada pela FAO EToPM (mm) e a de Jensen-Haise (mm), para a estação seca e chuvosa.

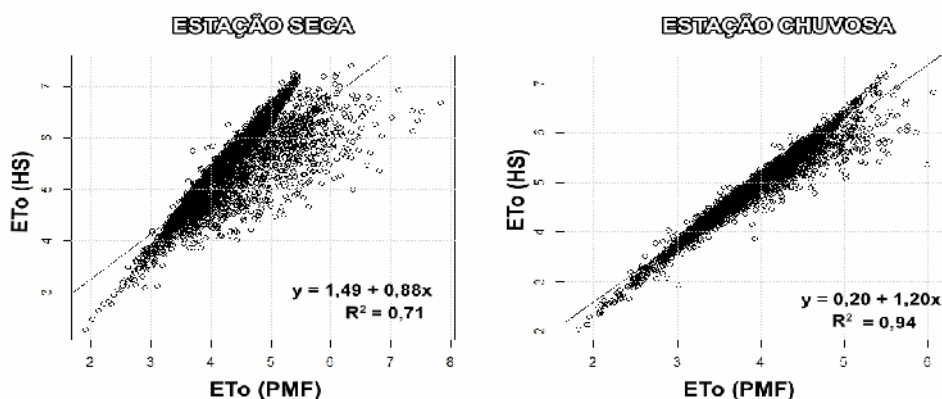


FIGURA 4-Correlação da ETo entre a equação padrão recomendada pela FAO EToPM (mm) e a de Hargreaves-Samani (mm), para a estação seca e chuvosa.

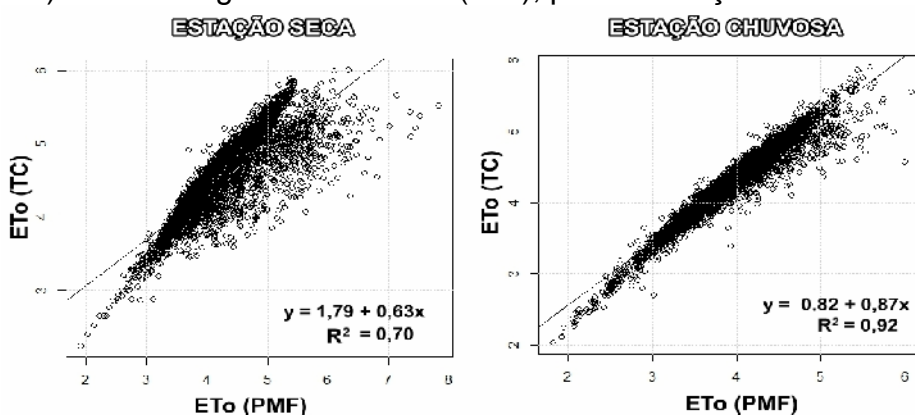


FIGURA 5- Correlação da ETo entre a equação padrão recomendada pela FAO EToPM (mm) e a de Turc (mm), para a estação seca e chuvosa.

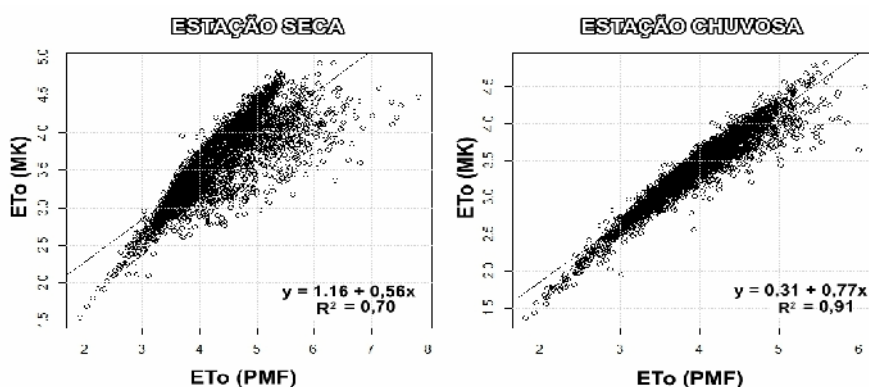


FIGURA 6- Correlação da ETo entre a equação padrão recomendada pela FAO EToPM (mm) e a de Makkink (mm), para a estação seca e chuvosa.

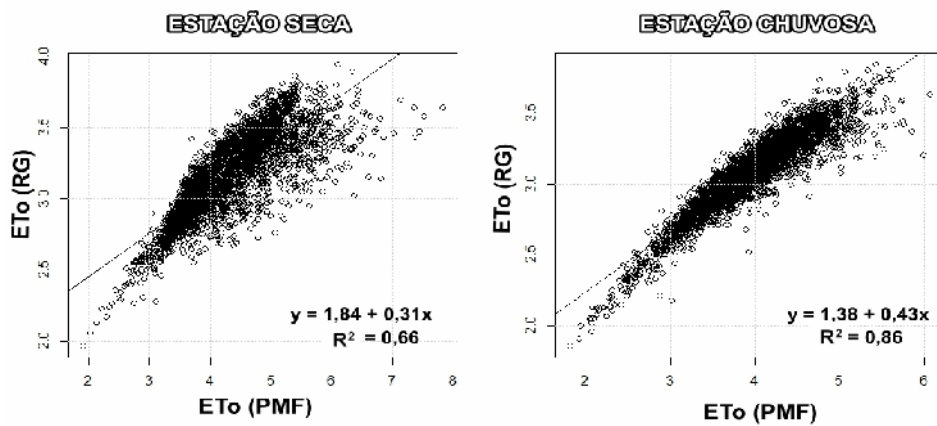


FIGURA 7- Correlação da ETo entre a equação padrão recomendada pela FAO EToPM (mm) e a de Radiação Global (mm), para a estação seca e chuvosa.

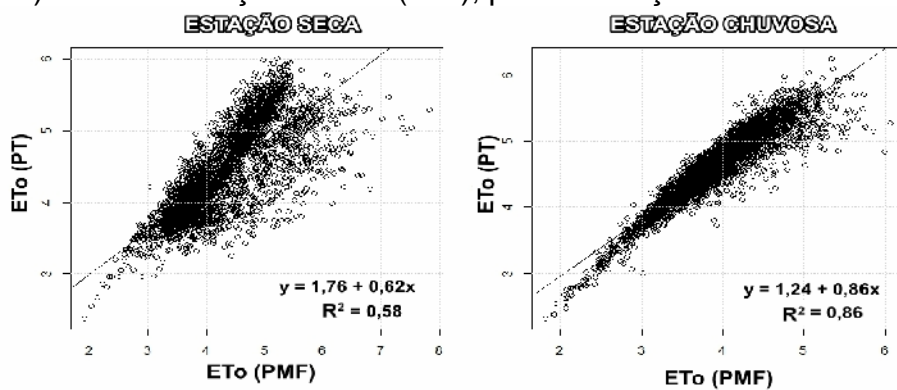


FIGURA 8- Correlação da ETo entre a equação padrão recomendada pela FAO EToPM (mm) e a de Priestley-Taylor (mm), para a estação seca e chuvosa.

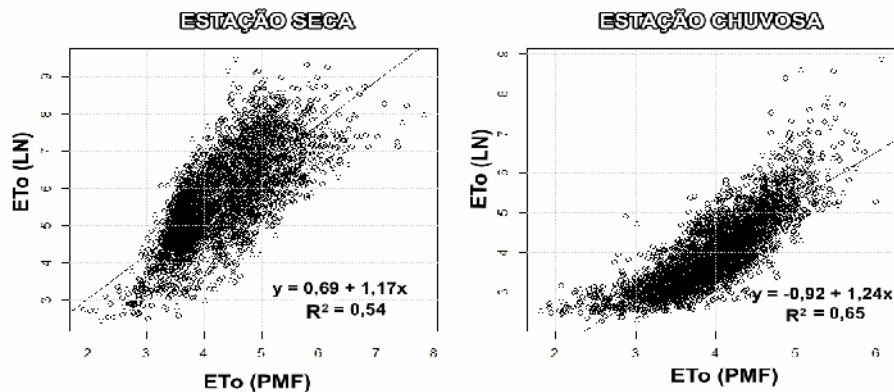


FIGURA 9- Correlação da ETo entre a equação padrão recomendada pela FAO EToPM (mm) e a de Linacre (mm), para a estação seca e chuvosa.

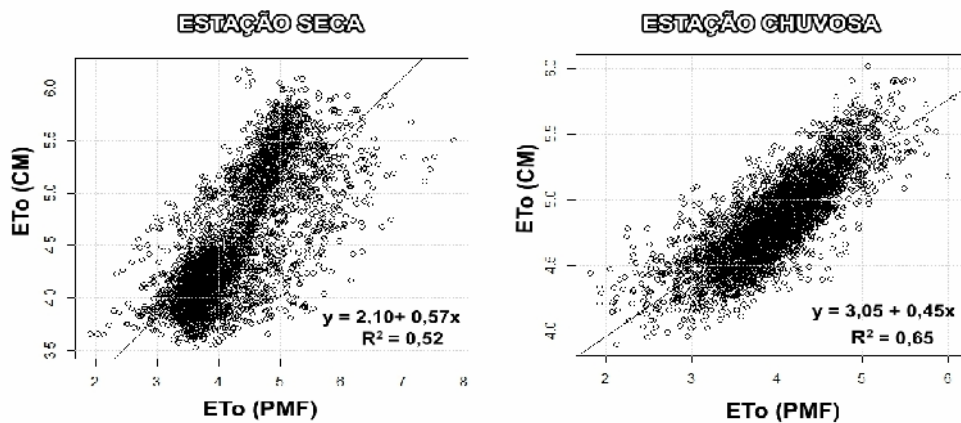


FIGURA 10- Correlação da ETo entre a equação padrão recomendada pela FAO EToPM (mm) e a de Camargo (mm), para a estação seca e chuvosa.

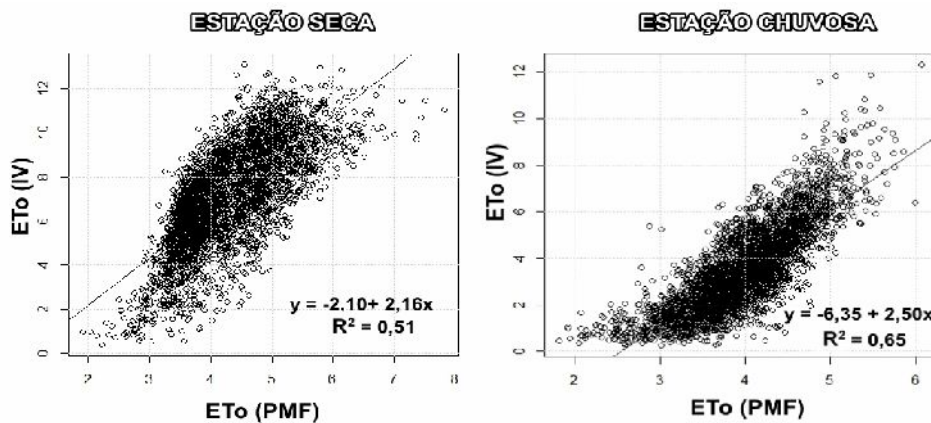


FIGURA 11- Correlação da ETo entre a equação padrão recomendada pela FAO EToPM (mm) e a de Ivanov (mm), para a estação seca e chuvosa.

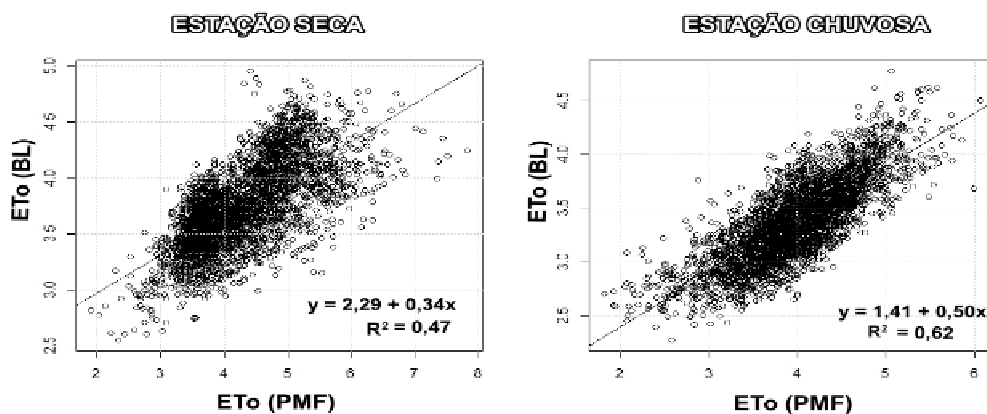


FIGURA 12- Correlação da ETo entre a equação padrão recomendada pela FAO EToPM (mm) e a de Benevides-Lopez (mm), para a estação seca e chuvosa.

De uma maneira geral, nota-se nas Figuras, que equações agrometeorológicas desenvolvidas com base em radiação solar e temperatura do ar, no geral apresentaram os melhores ajustes dos coeficientes de determinação (R^2) que foram as equações de JH, com R^2 igual a 0,71 na estação seca e 0,95 na

estação chuvosa, de HS com 0,71 para a estação seca e 0,95 na estação chuvosa e o TC apresentando 0,70 para a estação seca e 0,92 na estação chuvosa.

Já as equações alternativas que mostraram menor confiabilidade de correlação com a equação padrão recomendada pela FAO foram: Camargo com 0,52 para a estação seca e 0,65 na estação chuvosa, Ivanov com 0,51 para a estação seca e 0,65 na estação chuvosa e Benevides – López (ETo BL) com R^2 igual a 0,47 na estação seca e 0,65 na chuvosa. Santana et al. (2018) afirmam que os ajustes insatisfatórios obtidos com essas equações agrometeorológicas são atribuídas à simplicidade das equações que resultam em menor precisão dos métodos, já que a maioria deles apresentam uma quantidade reduzida de variáveis para o cálculo da ETo.

TABELA 1- Coeficiente de Pearson (r), índice de Willmott (d) e indicador de desempenho “c” das diferentes equações avaliadas, na estação seca e chuvosa.

EQUAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS	%	“d”	“r”	“c”	DESEMPENHO
ESTAÇÃO SECA					
Penman-Monteith-FAO	100	1	1	1	Ótimo
Turc	104,75	0,87	0,84	0,73	Bom
Priestley-Taylor	102,42	0,85	0,76	0,65	Mediano
Makkink	83,06	0,70	0,83	0,58	Mediano
Camargo	105,98	0,80	0,72	0,58	Mediano
Hargreaves e Samani	122,89	0,68	0,84	0,57	Mediano
Benevides-Lopez	87,24	0,64	0,69	0,44	Sofrível
Jensen-Haise	142,64	0,51	0,84	0,43	Sofrível
Radiação Global	73,32	0,53	0,82	0,43	Sofrível
Linacre	133,30	0,56	0,73	0,41	Sofrível
Ivanov	165,73	0,37	0,71	0,27	Péssimo
ESTAÇÃO CHUVOSA					
Penman-Monteith-FAO	100	1	1	1	Ótimo
Turc	107,89	0,91	0,96	0,87	Muito Bom
Makkink	85,25	0,77	0,96	0,73	Bom
Linacre	101,12	0,85	0,81	0,69	Mediano
Priestley-Taylor	117,19	0,73	0,93	0,68	Mediano
Hargreaves e Samani	124,52	0,66	0,97	0,64	Mediano
Radiação Global	77,39	0,56	0,93	0,52	Mediano
Benevides-Lopez	84,89	0,66	0,79	0,52	Mediano
Ivanov	90,37	0,63	0,81	0,51	Mediano
Jensen-Haise	142,39	0,48	0,97	0,47	Sofrível
Camargo	121,91	0,56	0,80	0,45	Sofrível

Turc apresentou desempenho de 0,73, na estação seca sendo considerado “Bom” e de 0,87 sendo considerado Muito Bom na estação chuvosa. Em seguida, tem-se o método Makkink, que apresentou um resultado "Bom" na estação chuvosa e “Mediano” na seca. Diante desses resultados, verificou-se que o método Turc, apresentou melhora de performance, com a mudança das estações, saindo de uma classificação de Sofrível, na estação seca, para Muito bom na estação chuvosa.

A equação Turc teve desempenho semelhante nas pesquisas de Cruz et al. (2017) para a cidade de Rio Verde, Goiás e Santos et al. (2017) do mesmo modo

encontraram resultados satisfatórios para a cidade de Feira de Santana, BA. Bezerra et al. (2014) e Araújo et al. (2018) também verificaram performances satisfatórias aplicando o método alternativo de Makkink para a cidade Mossoró/RN e Apodi/RN, respectivamente.

Santana et al. (2018) comparando entre equações empíricas para estimativa da ETo observaram que equações agrometeorológicas embasadas na radiação, como as de Makkink e Turc, oferecem ajustes bastante satisfatórios em comparação aqueles modelos baseados unicamente em temperatura do ar.

Resultado semelhante foi encontrado por Medeiros (1998) que comparou o desempenho de 12 equações empíricas para estimativa da ETo em esses dois modelos apresentaram os melhores resultados. Assim, os resultados satisfatórios obtidos com as equações empíricas que utilizam radiação solar e temperatura pode ser um indicativo da adaptabilidade desses métodos para a cidade estudada.

As equações agrometeorológicas de Priestley-Taylor e Hargreaves & Samani, foram classificadas como “Mediano” tanto na estação seca quanto na estação chuvosa. Resultado semelhante ao encontrado nesse estudo foi obtido por Mendoza et al. (2016), analisando a ETo para São Luís, MA, onde Hargreaves- Samani mostrou o índice de confiança $c = 0,64$, permitindo, assim, classificar o desempenho por este método como “mediano”.

Diferente dos resultados encontrados neste trabalho as equações empíricas de Priestley-Taylor e Hargreaves - Samani, foram classificadas, respectivamente, como "Bom" e "Mau" para a cidade maranhense de Chapadinha (PASSOS et al., 2017). Essa divergência entre a pesquisa de Passos et al. (2017) e os encontrados nesse estudo baseia-se na forma em que foram realizadas as observações, já que no experimento de Passos et al. (2017), os dados climáticos decorreram de valores médios diários obtidos na escala anual, sem distinção entre períodos secos e chuvosos, utilizados para avaliar a performance dos modelos empíricos.

Já Benevides-Lopez, Radiação Global e Linacre, foram classificados como “Sofrível” na estação seca e “Mediano” na estação chuvosa respectivamente. O modelo empírico Camargo apresentou performance “Mediana” na estação seca e “Sofrível” na chuvosa e a enquanto Ivanov mostrou desempenho “Péssimo” na estação seca e “Mediano” na estação chuvosa.

Igualmente, aos resultados encontrados nesse estudo, a pesquisa realizada por Mendoza et al. (2016) mostraram que a equação empírica de Camargo teve o pior desempenho, para a cidade de São Luís/MA em que os valores obtidos não apresentaram bom ajuste quando comparada a equação padrão recomendada pela FAO, ocorrendo dispersão dos dados, com valores $c = 0,38$, permitindo assim ser classificado, como “Péssimo”.

O Desempenho insatisfatório do método de Camargo também foi observado no estudo de Passos et al. (2017) que também obteve a classificação “Péssimo” na estimativa da ETo, na escala diária, para o município de Chapadinha, Maranhão. Os resultados insatisfatórios obtidos pelo modelo empírico de Camargo podem estar relacionados ao fato de que este, foi originalmente concebido para obter a ETo para períodos acima de 10 dias, apresentando redução da precisão em função do detalhamento das estimativas médias diárias (PALARETTI et al., 2014).

Conceição (2003) ressalta que equações embasadas exclusivamente na temperatura, limitam a representatividade das condições climáticas para efeito de cálculo da ETo. Isso porque, conforme as condições de umidade e ventos, a demanda hídrica da atmosfera será diferente para os mesmos valores de

temperatura. Essas observações são válidas, principalmente, para Benevides Lopez, Ivanov, Linacre, Jensen-Haise e Camargo.

CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que as equações de Turc e Makkink, no geral apresentaram os melhores desempenhos entre as equações alternativas utilizadas, sendo classificados como “Bom” e “Mediano” na estação seca e “Muito Bom” e “Bom” na estação chuvosa, respectivamente.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, L.P.; SEDIYAMA, G.C.; MANTOVANI, E.C. Estimation of reference evapotranspiration (eto) under fao standards with missing climatic data in Minas Gerais, Brazil **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.1, p.39-50, jan./fev. 2015. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n1p39-50/2015> >.doi:10.15 90/1809-4430-Eng.Agríc. v35n1p39-50/2015.

ARAÚJO, L. M., BEZERRA, F. T. C., BORGES, P. F., PEREIRA, A. R., MOSCOSO, J. S. C., ARAÚJO, L. S. Evapotranspiração de referência para o município de Apodi, RN. **Gaia Scientia**, v. 12, n. 3, 2018. Disponível em: < <http://www.periodicos.ufpb.br/index.php/gaia/article/view/34947/21871> >

BEZERRA, J. M., MOURA, G. B. A, FRANÇA, Ê. F., LOPES, P. M. O. DA SILVA, B. B. Estimativa da evapotranspiração de referência diária para Mossoró (RN, Brasil). **Revista Caatinga**, v. 27, n. 3, p. 211-220, 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/3089> >.

BOGAWSKI, P.; BEDNORZ, E. Comparison and Validation of Selected Evapotranspiration Models for Conditions in Poland (Central Europe). **Water Resource Management**, v.28, n.14, p.5021–5038, nov. 2014. Disponível em: < <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs11269-014-0787-8.pdf> >.doi.: 10.1007/s11269-014-0787-8.

BRIXNER, G. F., SCHÖFFEL, E., TONIETTO, J. Determinação da evapotranspiração por diferentes métodos e sua aplicação no índice de seca na campanha gaúcha, Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**. vol.36 no.4 Jaboticabal dez. 2014. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-381/13> >.doi:10.1590/0100-2945-381/13

CABRAL JÚNIOR, J. B., SANTOS, C. M., DE ALMEIDA, H. A. Comparação mensal, sazonal e anual de métodos de estimativas da evapotranspiração de referência para Juazeiro-BA e Petrolina-PE. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 3, n. 2, p. 23-42, 2017. Disponível em: < <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/12448/9043> >

CAMARGO, A. P; SENTELHAS, P. C. Evaluation of the performance of different methods of estimating potential evapotranspiration in the State of São Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

Disponível em: <[http://www.leb.esalq.usp.br/agmfacil/artigos/artigos_sentelhas_1997/1997_RB_Agro_5\(1\)_89-97_ETPM%E9todosSP.pdf](http://www.leb.esalq.usp.br/agmfacil/artigos/artigos_sentelhas_1997/1997_RB_Agro_5(1)_89-97_ETPM%E9todosSP.pdf)>

CONCEIÇÃO, M. A. F. Estimating reference evapotranspiration based on air temperature for the low Rio Grande valley conditions, SP, Brazil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 229-236, 2003.

Disponível em: < <http://www.sbagro.org.br/bibliotecavirtual/arquivos/1378.pdf> >.

CUNHA, F. F.; MAGALHÃES, F. F.; CASTRO, M. A. Methods for estimating reference evapotranspiration for Chapadão do Sul - MS. **Revista Engenharia na agricultura- REVENG**, Viçosa - MG, V.21 N.2, Março / Abril. 2013. Disponível em: < <https://periodicos.ufv.br/ojs/index.php/reveng/article/viewFile/313/235>>

CRUZ, G. H. T., SANTOS, L.C., SILVA, S. M.C., & REIS, E. F. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Rio Verde-GO. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 11, n. 6, 2017.

Disponível em: < <http://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/636> >.doi.: 10.7127/RBAI.V11N600636.

DA PAZ, L. R.; THEBALDI, M. S. Estimate of daily reference evapotranspiration at Formiga, MG, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 12, n. 1, p. 7-17, 2018. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2018v12n1p7-17> >.doi: 10.18011/bioeng2018v12n1p7-17.

FERRAZ, R. C.; Estimativa da evapotranspiração de referência utilizando redes neurais artificiais para o Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Tecnológica**. v.23, p.25-31, 2014. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.4025/revtecnol.v23i1.20908> >.doi: 10.4025/revtecnol.v23i1.20908.g14567.

KISI, O. Comparison of different empirical methods for estimating daily reference evapotranspiration in Mediterranean climate. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.140, n.1, p.1-7, 2014. Disponível em: < [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000664](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000664)>. doi: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000664.

MELO, G. de; FERNANDES, A. L. T. Evaluation of empirical methods to estimate reference evapotranspiration in Uberaba, State of Minas Gerais, Brazil. **Revista da Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.32, n.5, p.875-888, 2012.

Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162012000500007> >.doi:10.1590/S0100-69162012000500007.

MEDEIROS, S. L. P. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região mesoclimática de Santa Maria-RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, n.1, p.105-109, 1998. Disponível em: < <http://coral.ufsm.br/rba/t10510961.html>>.

MENDOZA, C. J., MENEZES, R. H., DIAS, A. S. Estimativa da evapotranspiração de referência por diferentes métodos para o município de São Luis--MA. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 10, n. 3, 2016.

Disponível em: < (<http://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/379>) >.doi:10.7127/RBAI.V10N300379.

OLIVEIRA, E. C., CARVALHO, J. D. A., ALMEIDA, E. F., REZENDE, F. C., SANTOS, B. D., MIMURA, S. N. Evapotranspiração da roseira cultivada em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 314-321, 2014. Disponível em: < <http://www.agriambi.com.br/revista/v18n03/v18n03a11.pdf>>.

PALARETTI, L. F., MANTOVANI, E. C., & SEDIYAMA, G. C. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) em regiões citrícolas paulistas. **Engenharia Agrícola**, p. 38-47, 2014.

Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162014000100005>> doi: 10.1590/S0100-69162014000100005.

PASSOS, M. L.V.; RAPOSO, A. B.; MENDES, T. J. Evapotranspiration of reference for different methods for the municipality of Chapadinha-MA. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Campina Grande-PB, v. 13, n. 2 (2017).

Disponível em: <<https://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/article/view/4745/3404>>.doi:10.5935/PAeT.V10.N1.06.

PASSOS, M. L. V., ZAMBRZYCKI, G. C., & PEREIRA, R. S. Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Balsas-Ma. **Scientia agraria**, v. 18, n. 1, p. 83-89, 2017.

Disponível em: < <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6012804> >.doi:

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. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2014.07.031>>. doi: 10.1016/j.agwat.2014.07.031

SANTANA, J. S.; LIMA, E. F.; SILVA, W. A.; FERNANDES, M.C, RIBEIRO, M. I. D. Equações de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) para a região de Balsas-MA. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.15 n.27; p. 2018. Disponível em:

<<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2018a/agrar/equacoes%20da%20estimativa.pdf>>.doi10.18677/EnciBio_2018A43.

SANTOS, R. D. S, SOUZA, M. H. C, BISPO, R. C., VENTURA, K. M., BASSOI, L. H. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Petrolina, PE. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, IRRIGA & INOVAGRI, p. 31-39, 2017. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2017v1n1p31-39>>.doi: 10.15809/irriga.2017v1n1p31-39.

SANTOS, R. A., GONÇALVES NETO, L. P., SANTOS, R. L. Avaliação e ajuste de métodos alternativos de estimativa da evapotranspiração de referência a partir da

equação de Penman-Monteith-FAO56, em Feira de Santana-Ba. **Revista Anais Seminário de Iniciação Científica**, n. 21, 2017. Disponível em: <<http://periodicos.uefs.br/ojs/index.php/semic/article/view/2252/1709>>.

SILVA, M. G., OLIVEIRA, I. D. S., CARMO, F. F., LÊDO, E. R. F., SILVA FILHO. Reference evapotranspiration estimated by Hargreaves-Samani in the State Of Ceará, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 9, n. 2, p. 132-141, 2015. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2015v9n2p132-141> >.doi:10.18011/bioeng2015v9n2p132-141.

WILLMOTT, C.J. **On the validation of models. Physical Geography 2**: p.184–194, 1981. Disponível em: < <https://doi.org/10.1080/02723646.1981.10642213> >. doi: 10.1080/02723646.1981.10642213.