

MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ETO) PARA A REGIÃO DE MOSSORÓ-RN

Wesley de Oliveira Santos

Graduando em Agronomia, Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, UFRSA, Mossoró-RN. e-mail: wesleyoliver2@hotmail.com

Ben Dêvide de Oliveira Batista

Graduando em Agronomia, Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, UFRSA, Mossoró-RN. e-mail: ben.deivide@gmail.com.

Janilson pinheiro de Assis

Prof. D. Sc. Departamento de Ciências Vegetais, Universidade Federal Rural do Semi-árido, km 47 da Br 110, Bairro Presidente Costa e Silva, Cep. 59500-900, Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil. e-mail: janilson@ufersa.edu.br.

Walter Martins Rodrigues

Prof. D. Sc. Departamento de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal Rural do Semi-árido, km 47 da Br 110, Bairro Presidente Costa e Silva, Cep. 59500-900, Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil. e-mail: walterm@ufersa.edu.br

José Espínola Sobrinho

Prof. D. Sc. Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, Universidade Federal Rural do Semi-árido, km 47 da Br 110, Bairro Presidente Costa e Silva, Cep. 59500-900, Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil. e-mail: jespínola@ufersa.edu.br.

Resumo - O trabalho teve por objetivo analisar uma série histórica de 38 anos (1970 a 2007) dos dados da estação meteorológica Jerônimo Rosado da UFRSA (Universidade Federal Rural do Semi-Árido), em Mossoró/RN. A evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada usando 10 métodos empíricos: Penman-Monteith-FAO, Linacre, Benavidez & Lopez, Jensen-Haise, Hargreaves & Samani, Tanque Classe A, Thornthwaite, Thornthwaite-Camargo, Camargo e Garcia Lopez. Os métodos Jensen-Haise, Hargreaves & Samani e Thornthwaite-Camargo foram comparados com o método de Penman-Monteith-FAO, em intervalos pentadial (5 dias), decendial (10 dias) e mensal (30 dias). O método de Hargreaves & Samani apresentou melhor desempenho para a região de Mossoró/RN.

Palavras-chave: Água. Variáveis climáticas. Irrigação.

METHODS OF ESTIMATE REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION (ETO) FOR BY THE REGION OF MOSSORÓ-RN

Abstract - The study aimed to analyze a historical series of 38 years (1970-2007) of data from the meteorological station of the Jerônimo Rosado UFRSA's (Federal University Rural of Semi-Arid) in Mossoró, RN. The reference evapotranspiration (ET_o) was estimated using ten empirical methods: Penman-Monteith-FAO, Linacre, Benavidez & Lopez, Jensen-Haise, Hargreaves & Samani, tank class A, Thornthwaite, Thornthwaite-Camargo, Camargo and Garcia Lopez. The Jensen-Haise, Hargreaves & Samani and Thornthwaite-Camargo were compared with the Penman-Monteith-FAO five-periods (5 days), ten-periods (10 days) and monthly (30 days). The method of Hargreaves & Samani showed best performance for the region of Mossoró/RN.

Key-words: Water. Climate variables. Irrigation.

INTRODUÇÃO

A água pode retornar à atmosfera através de dois processos naturais: por intermédio de evaporação e transpiração. De acordo com Turco et al. (2005), a evapotranspiração pode ser definida como um processo combinado de transferência de água do solo para a atmosfera, incluindo o processo de transpiração por meio dos tecidos vegetais.

O estudo das distribuições de variáveis climáticas, como um meio de compreender os fenômenos meteorológicos, determinando seus padrões de ocorrência e permitindo uma previsibilidade do comportamento climático de uma região é uma ferramenta para o planejamento e gestão de inúmeras atividades agropecuárias e humanas.

A ETo (Evapotranspiração potencial ou de referência) no boletim da FAO-24, trata-se da evapotranspiração que ocorre sobre uma cultura hipotética com altura de 0,12 m de resistência aerodinâmica da superfície de 70 s.m^{-1} e albedo de 23% (0,23), em crescimento ativo e mantido a uma altura uniforme de 0,08 a 0,12 m. A evapotranspiração de referência (ETo) é utilizada nos balanços hídricos agrícolas e na modelagem dos processos climatológicos e hidrológicos, com finalidade de obter estimativa da necessidade de irrigação, na previsão de safras, avaliação da disponibilidade de recursos hídricos e caracterização climática (SANTOS, 2010).

Por apresentar custos elevados, o uso de lisímetros tem ficado restrito a instituições de pesquisas, sendo utilizado para obter medidas precisas e exatas que sirvam de referência na calibração dos métodos de estimativa da ET utilizados pelos irrigantes, tais como as equações empíricas e o método do tanque classe "A", quando instalado e operado com os devidos cuidados (PEREIRA, 2004). Métodos complexos, como o de Penman – Monteith, que apesar de ser adotado pela Food and Agriculture Organization (FAO) como o método padrão

de estimativa da ETo na escala diária, exigem grande número de variáveis meteorológicas e, por isso, têm aplicação limitada, somente sendo utilizados quando há disponibilidade de todos os dados necessários (ANDRADE JUNIOR et al., 2003). Ele incorpora aspectos termodinâmico e aerodinâmico da cultura, como modelo padrão para quantificar a demanda atmosférica de evapotranspiração. Este método, que tem sido amplamente utilizado em todo o mundo (SILVA, 2004; SILVA et al., 2005; BORGES; MENDIONDO, 2007).

O conhecimento sobre o consumo hídrico das culturas, obtido com base na estimativa da evapotranspiração, constitui uma informação preciosa no manejo da água em qualquer região do planeta, principalmente agora em que ocorre forte conscientização popular em relação aos recursos hídricos, em referência a décadas anteriores (CAMPOS et al., 2008).

A ocorrência de períodos de longas estiagens na região semiárida brasileira, associada à alta disponibilidade de energia, favorece a redução do nível de água nos reservatórios tornando a agricultura de sequeiro uma atividade de alto risco. A agricultura de subsistência, explorada por pequenos agricultores, em algumas situações não apresenta rentabilidade de modo a impedir a migração da população rural para os centros urbanos (SILVA et al., 2002).

O conhecimento da distribuição espacial e temporal da transferência de vapor d'água para a atmosfera facilita bastante o estabelecimento de políticas visando o uso racional da água.

O objetivo deste trabalho é avaliar as estimativas da evapotranspiração de referência (ETo), referentes a cada método estudado (Jensen-Haise, Hargreaves & Samani e Thornthwaite-Camargo e analisar a comparação entre suas estimativas, tomando-se como padrão o método de Penman-Monteith-FAO com o intuito de determinar quais dentre eles é o mais indicado para Mossoró/RN.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados nesta pesquisa foram obtidos de uma série histórica de 38 anos (1970 a 2007) dos registros da estação meteorológica Jerônimo Rosado da UFERSA (Universidade Federal Rural do Semi-Árido), em Mossoró cujas coordenadas geográficas são: $5^{\circ}11' \text{ S}$ e $37^{\circ}20' \text{ W}$ a 1,5 m de altura da superfície, com altitude de 40,5 m acima do nível do mar, estando localizado a apenas 40 km do Atlântico Norte. O clima local apresenta uma temperatura média anual em torno de $27,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de 68,9%. A precipitação média anual é de 670 mm e, a evapotranspiração média anual está em torno de 1945,20 mm e a insolação média de 236 h.mês^{-1} , sendo os meses mais secos de maior insolação. (CARMO

FILHO et al., 1991). Segundo a classificação climática de Köppen, o clima de Mossoró é do tipo BSw^h, ou seja, quente e seco, com estação chuvosa no verão, atrasando-se para o outono. De acordo com as análises dos dados, a região em estudo apresenta um clima do tipo DdA^a, ou seja, semiárido, megatérmico com pouco ou nenhum excesso de água durante o ano. Isto, segundo a classificação climática de Thornthwaite, que está baseado numa série de índices térmicos utilizando-se o balanço-hídrico da região.

Em Mossoró o clima é tropical-equatorial com sete a oito meses secos, sendo também classificado como semiárido. Durante a maior parte do ano, apresenta redução dos totais pluviométricos mensais e elevadas temperaturas. A variação sazonal da temperatura média não é tão expressiva, o que leva à formação de áreas em

que se observa quedas térmicas pouco expressivas na situação de inverno e apresenta regularidade térmica e variabilidade pluviométrica anuais expressivas. O outono caracteriza-se por ser mais chuvoso (a média mensal de março e abril é cerca de 180 mm) e o inverno e a primavera, menos chuvosos (chegando a 5 mm em novembro), (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Foram utilizados 10 métodos empíricos para estimar a evapotranspiração de referência : Penman-Monteith, Linacre, Benavidez & Lopez, Jensen-Haise, Hargreaves & Samani, Tanque Classe A, Thornthwaite, Thornthwaite-Camargo, Camargo e Garcia Lopez.

A organização dos dados foi realizada por meio do suporte da MACRO ALANEB que vem facilitar a manipulação de dados para auxílio de softwares. Para a estimativa da evapotranspiração pelo método de Penman – Monteith foi utilizado o software SEEVA elaborado por (BEZERRA, 2009), desenvolvido utilizando a linguagem de programação C# no ambiente de desenvolvimento Microsoft® Visual C# 2005, além deste software, utilizou-se o pacote da Microsoft® Office Excel (2007).

A Organização Meteorológica Mundial (OMM) relata que são necessários pelo menos 30 anos de dados climáticos para que se tenha uma maior confiabilidade na caracterização climática

Os valores de ETo (evapotranspiração de referência) foram acumulados em períodos consecutivos de 5 dias (pentadial), 10 dias (decendial), e 30 dias (mensal), de forma que antes dessa separação de dados, foi retirado ao longo de (38) trinta e oito anos de dados, valores médios de 1970 a 2007, totalizando 38 observações para cada período em estudo. Nesse caso, foi totalizado para cada mês, seis (6) pântadas, três (3) decêndios e (1) mensal. Para os doze (12) meses do ano foram considerados como padrão trinta (30) dias, observando que no mês de fevereiro, o dia vinte e nove (29) do ano bissexto, também foi considerado. Nesse mesmo mês, a última pântada foi organizada com os quatro (4) últimos dias, o último decêndio, os nove (9) últimos dias e mensalmente com vinte e nove dias (29) dias. Somente para o mês de março é que foi considerado 31 dias.

Camargo

Método baseado no método de Thornthwaite, apresenta as mesmas vantagens e restrições desse método. Apesar disso, tem uma vantagem a mais que é não necessitar da temperatura média anual normal, no entanto, considera a irradiância solar extraterrestre (Qo), a qual é fornecida por tabelas.

$$ET_o = 0,01Q_oT_{med}NDP \quad (1)$$

Onde,

Qo - irradiância solar extraterrestre (mm.d⁻¹)

Tmed - temperatura média do ar (°C)

NDP - número de dias do período em questão

Hargreaves & samani

Método desenvolvido para a região de clima seco. Baseia-se na temperatura média do ar e na amplitude

térmica. Tem como vantagem a sua aplicabilidade em climas áridos e semi-áridos, como no nordeste do Brasil. A desvantagem é sua limitação de uso para tais condições, apresentando super-estimativa em climas úmidos.

$$ET_o = 0,0023Q_o(T_{max} - T_{min})^{0,5}(17,8 + T_{med})NDP \quad (2)$$

Onde,

Qo - irradiância solar extraterrestre (mm.d⁻¹)

Tmax - temperatura Máxima do ar (°C)

Tmin - temperatura Mínima do ar (°C)

Tmed - temperatura média do ar (°C)

NDP - número de dias do período em questão

Thornthwaite

Este método foi proposto por Thornthwaite para estimativa da evapotranspiração potencial (ET_o) mensal de um gramado (posto meteorológico) como elemento climatológico, visando a classificação climática do local. O conjunto de equações desenvolvidas por Thornthwaite

foi baseado no balanço hídrico de bacias hidrográficas e em medidas de evapotranspiração realizadas em lisímetro e utiliza apenas a temperatura do ar como variável independente.

$$ET_o = 16 \left(\frac{10T_m}{I} \right)^a \text{ para } (0 \leq T_m < 26,5^\circ\text{C}) \quad (3)$$

$$ET_o = -415,85 + 32,24T_m - 0,43T_m^2 \text{ para } (T_m \geq 26,5^\circ\text{C}) \quad (4)$$

$$I = 12(0,2T_a)^{1,514} \quad (5)$$

$$a = 0,49239 + 1,7912 \cdot 10^{-2} I - 7,71 \cdot 10^{-5} + 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 \quad (6)$$

$$Cor = \left(\frac{N}{12} \right) \left(\frac{NDP}{30} \right) \quad (7)$$

$$ET_o(\text{Corrigida}) = ET_o \cdot Cor \left(\text{mm} \cdot \text{mês}^{-1} \right) \quad (8)$$

Onde,

T_m - temperatura média mensal (°C)

N - fotoperíodo do mês em questão padronizado em 12 h

NDP - dias do período em questão padronizado 30 dias

COR - correção da ET_o para o mês em questão

I - índice térmico mensal da região

a - função cúbica do índice térmico

f - fator de correção dependente do mês e do fotoperíodo

Linacre

Este modelo considera a temperatura do ar como única variável de entrada para um determinado local. Na realidade trata-se de uma simplificação do método de

Penman, Este método tem sido usado para estimar a ET_o em períodos menores que um mês.

$$ET_o = \frac{\left(500 \left(\frac{T_m}{100 - A} \right) + 15(t - t_o) \right)}{80 - t} \quad (9)$$

$$t_m = t + 0,006h \quad (10)$$

Onde,

A - latitude em graus

t - temperatura do ar em (°C)

to - temperatura do ponto de orvalho (°C)

tm - equivalente ao nível do mar da temperatura do ar (°C)

h - altitude (m)

Jensen-haise

A evapotranspiração potencial ou de referência é aquela que ocorre nos campos irrigados em áreas semi-áridas, não havendo necessidade de bordadura homogênea, ilimitada e bem suprida de água. Trabalhando em áreas semi-áridas americanas Jensen & Haise propôs a seguinte equação:

$$ET_o = (0,014t - 0,37)R_s \quad (11)$$

Onde,

R_s - radiação solar global, expressa em equivalente de evaporação (polegada.dia⁻¹)

t - temperatura média (°F)

Tanque classe a

Método baseado na proporcionalidade existente entre a evaporação de água do tanque classe A (ECA) e a ET_o, visto que ambas dependem exclusivamente das condições meteorológicas. A conversão de ECA em ET_o depende de um coeficiente de proporcionalidade, denominado coeficiente do tanque (K_p), K_p depende principalmente do tamanho da bordadura, umidade relativa do ar e a velocidade do vento.

$$K_p = 0,482 + 0,024 \ln(F) - 0,000376V_2 + 0,0045UR \quad (12)$$

$$ET_o = ECA \cdot K_p \quad (13)$$

Onde,

F - bordadura em (m)

V₂ - velocidade do vento a 2 m de altura em Km.d⁻¹

UR - umidade relativa do ar em (%)

Caso não se disponha dos dados de bordadura F, velocidade do vento V₂ e umidade relativa (UR) pode-se adotar um valor fixo de K_p que varia de 0,7 a 0,8 para a região do nordeste brasileiro.

Garcia-lopez

O método de Garcia e Lopez baseia-se na relação encontrada entre ET_p ou ET_o medida em seis estações nitidamente tropicais, entre as latitudes de 15° N e 15° S. Este método se fundamenta na influência do déficit de saturação e da temperatura na ET_p. Como é difícil obter os valores de "déficit" de saturação se calculam, a partir da temperatura média e da umidade relativa.

$$ET_o = 1,21 \cdot 10^x (10,001 \cdot UR) + 0,21T - 2,30 \quad (14)$$

$$x = \frac{(7,45T)}{(234,7 + T)} \quad (15)$$

Onde,

ETO - evapotranspiração potencial ou de referência (mm.mês^{-1})

t - temperatura média mensal do ar ($^{\circ}\text{C}$)

X - coeficiente que depende da temperatura média mensal do ar

UR - umidade relativa média mensal

Penman-monteith-fao

O método combinado de Penman-Monteith para cálculo de ETo da cultura hipotética, sendo incorporada a resistência da superfície de 70 s.m^{-1} e com a resistência aerodinâmica fixada para grama, em 0,12 m de altura

uniforme a ETo pode ser expressa, segundo para fins de padronização dos procedimentos de cálculos, pela equação abaixo:

$$ET_o = \frac{0,408S(R_n - G) + \frac{\lambda \cdot 900 \cdot V_2}{t + 273}}{S + \lambda(1 + 0,34V_2)} \quad (16)$$

$$S = \frac{4098 \cdot e_s}{(t + 237,3)^2} \quad (17)$$

Onde,

Rn - radiação líquida total diária ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$),

G - fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)

$\lambda=0,063 \text{ KPa}^{\circ}\text{C}$ - constante psicrométrica para psicrômetro aspirado

T - temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$)

V_2 - velocidade do vento a 2 m de altura (m.s^{-1})

e_s - pressão de saturação em (KPa)

e - pressão atual do vapor d'água em (KPa)

S - declividade da curva de pressão de saturação de vapor na temperatura do ar, em $\text{KPa } ^{\circ}\text{C}$.

Benavidez & lopez

Este método relaciona a evapotranspiração de referência (ETo) com a umidade relativa (UR) e a temperatura (t), com a seguinte equação:

$$ET_o = 1,21 \cdot 10^{\left(\frac{7,45t}{234,7 + t}\right)} \cdot (1 - 0,01 \cdot UR) + 0,21t - 2,30 \quad (18)$$

Onde,

T - Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$)

UR - Umidade relativa do ar (%)

Thornthwaite – camargo

É o método de Thornthwaite, porém adaptado por Camargo para ser empregado em qualquer condição climática, Utiliza-se a temperatura efetiva (Tef), que expressa a amplitude térmica local, ao invés da temperatura média do ar. A vantagem é a ETo não é mais subestimada em condições de clima seco. A desvantagem

é que há agora necessidade de dados de temperatura máxima e mínima. Assim como no método original de Thornthwaite, esse método parte de uma ETo para um mês de 30 dias e com N= 12 h.

$$ET_o = 1,21.10 \left(\frac{7,45t}{234,7 + t} \right) (1 - 0,01.UR) + 0,21t - 2,30 \quad (18)$$

$$ET_o = -415,85 + 32,24T_{ef} - 0,43T_{ef}^2 \text{ para } (T_{ef} \geq 26,5^\circ\text{C}) \quad (19)$$

$$ET_o = 16 \left(\frac{10T_{ef}}{I} \right)^a \text{ para } (0 \leq T_{ef} < 26,5^\circ\text{C}) \quad (20)$$

$$T_{ef} = 0,36(3T_{max} - T_{min}) \quad (21)$$

$$I = 12(0,2T_a)^{1,514} \quad (22)$$

$$a = 0,49239 + 1,7912.10^{-2}I - 7,71.10^{-5}I^2 + 6,75.10^{-7}I^3 \quad (23)$$

$$ET_o(\text{Corrigida}) = ET_o \cdot \text{Cor} \left(\text{mm.mês}^{-1} \right) \quad (24)$$

$$\text{Cor} = \left(\frac{N}{12} \right) \left(\frac{NDP}{30} \right) \quad (25)$$

Para avaliação dos métodos de estimativa de ETo, foi realizada a análise de regressão linear considerando a estimativa de ETo pelo método de Penman Monteith

como variável dependente, e a estimativa de ETo pelos demais métodos como variável independente, isto é:

$$(26)$$

$$PM = aX + b$$

A precisão das estimativas foi avaliada por meio do coeficiente de determinação (r²), e do índice de exatidão (d) de Wilmott et al. (1985) que expressa a exatidão das estimativas em relação aos valores observados, variando

de 0 (zero) que indica a falta de concordância e 1(um) que indica perfeita concordância (exatidão). Segundo Wilmott et al. (1985) o índice de exatidão é determinado da seguinte forma:

$$d = 1 - \frac{\sum(P_i - O_i)^2}{\sum(|P_i - O_i| + |O_i - O|)} \quad (27)$$

Onde,

O_i - valor estimado de ETo pelo método de Penman-Monteith.

P_i - valor estimado de ETo pelos demais métodos.

O - média dos valores estimados de ETo pelo método de Penman-Monteith.

i - número de eventos.

A avaliação de desempenho de cada método foi realizada com o índice de desempenho proposto por Camargo e Sentelhas (1997) e utilizado por Medeiros (2002) denominado de “c”, sendo o desempenho do

método classificado conforme Camargo e Sentelhas (1997).

A Tabela 1 apresenta o índice de desempenho reúne o índice de precisão “r” e de exatidão “d” sendo expresso da seguinte forma:

$$c = r.d \quad (28)$$

Tabela 1 - Avaliação do desempenho dos métodos de evapotranspiração de referência (ET_o), pelo índice “c”, segundo 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

Fonte: Camargo e Sentelhas (1997)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Camargo e Camargo (2000) o modelo de Penman-Monteith, prediz com eficácia a ET_o em diversas condições de umidade atmosférica necessitando, entretanto, de vários elementos meteorológicos que nem sempre se encontram disponíveis em algumas regiões. A alternativa, segundo os autores, é o uso de equações simplificadas que considerem a ET_o um elemento meteorológico padrão para emprego na agrometeorologia.

A escolha de um método para ser utilizado como estimador das necessidades hídricas de uma cultura deve apresentar bom desempenho na região climática em estudo com uma resolução temporal, a menor possível, em vista de dados disponíveis para sua solução.

Outro fator, é a escala de tempo requerida e a disponibilidade de dados meteorológicos, pois métodos complexos, que exigem grande número de variáveis, somente terão aplicabilidade quando houver disponibilidade de todos os dados necessários, nesta condição o método de Penman - Monteith não poderá ser empregado em local que só disponha de dados de temperatura do ar.

Normalmente métodos empíricos como os de Thornthwaite e de Camargo, estimam bem a ET_p ou ET_o na escala mensal, ao passo que os métodos que envolvem o saldo de radiação apresentam boas estimativas na escala diária. Por fim, no caso dos métodos empíricos é

necessário que se conheça as condições climáticas para as quais foram desenvolvidas, pois normalmente não são de aplicação universal. Desse modo, métodos como os de Thornthwaite e de Camargo aplicam-se a regiões de clima úmido, não apresentando boas estimativas para regiões de clima seco (semiárido), onde eles tendem a subestimativas. Nessa situação, o método de Hargreaves & Samani adapta-se melhor, pois foi desenvolvido para esse tipo de clima.

Em nível mundial, foram realizados inúmeros estudos sobre avaliação de métodos para estimativa da evapotranspiração máxima (ET_m) de culturas. O manejo da água na agricultura via parametrização meteorológica, destaca-se como uma metodologia prática e de múltiplas aplicações, notadamente ao nível de projeto e operação de sistemas de irrigação. Além disto, muitos estudos que envolvem a aptidão climática requerem acuracidade na determinação das necessidades hídricas para quantificação da água no solo (SHUTTLEWORTH, 1991).

Fietz et al. (2005) compararam estimativas de ET obtidas com os métodos de Priestley-Taylor, Tanque Classe A, Hargreaves-Samani, Makking, Camargo, Penman-Monteith com os valores medidos em lisímetros.

A tabela 2 apresenta as estimativas da evapotranspiração de referência ET_o pelos 10 métodos empíricos.

Tabela 2 - Estimativa da evapotranspiração de referência, ET_o anual (mm) e diária (mm.d⁻¹) obtida pelos 10 métodos de estimativa da evapotranspiração de referência de 1970 a 2007 em Mossoró-RN

BL	C	HS	T	L	JH	TCA	GL	PM	TC
----	---	----	---	---	----	-----	----	----	----

2086,81	1457,86	1797,97	1801,35	2770,51	2018,74	1942,26	3805,63	2138,46	1783,79
5,80	4,05	4,99	5,00	7,70	5,61	5,40	10,57	5,94	4,95

BL-Benavidez & Lopez; C-Camargo; HS-Hargreaves & Samani; T-Thorntwaite; L-Linacre; JS-Jensen-Haise;TCA-Tanque Classe A; GL-Garcia-Lopez; PM-Penman-Monteith; TC-Thorntwaite-Camargo

Nos intervalos pentadiais os métodos de Hargreaves-Samani, Jensen-Haise e Thornthwaite-Camargo apresentaram desempenho ótimo, sendo que, o método de Hargreaves-Samani apresentou desempenho muito bom para os meses de janeiro, março, abril, maio, junho e

dezembro. O método de Jensen-Haise apresentou desempenho muito bom para os meses de janeiro, abril, maio e julho, Já o método de Thornthwaite-Camargo apresentou desempenho bom para os meses de janeiro, março, julho e dezembro. (Tabela 3).

Tabela 3 - Índices de exatidão “d” e de desempenho “c” em intervalos pentadiais comparados com o método de Penman-Monteith para Mossoró/RN no período de 1970 a 2007.

MÉTODOS	d	c	DESEMPENHO
HARGREAVES-SAMANI	0,98	0,95	Ótimo
Janeiro	0,85	0,79	Muito bom
Março	0,99	0,79	Muito bom
Abril	0,99	0,80	Muito bom
Maio	0,93	0,81	Muito bom
Junho	0,91	0,80	Muito bom
Dezembro	0,86	0,76	Muito bom
Jensen-Haise	0,98	0,91	Ótimo
Janeiro	0,95	0,82	Muito bom
Abril	0,86	0,82	Muito bom
Maio	0,88	0,79	Muito bom
Julho	0,95	0,81	Muito bom
Thornthwaite-Camargo	0,99	0,92	Ótimo
Janeiro	0,79	0,70	Bom
Março	0,99	0,74	Bom
Julho	0,83	0,72	Bom
Dezembro	0,87	0,74	Bom

Fonte: Dados obtidos através da pesquisa

Nos intervalos decendiais os métodos de Hargreaves-Samani e Jensen-Haise apresentaram desempenho muito bom, já Thornthwaite-Camargo apresentou desempenho ótimo, sendo que, o método de Hargreaves-Samani apresentou desempenho bom para os meses de fevereiro, março, julho e dezembro. O método de Jensen-Haise apresentou desempenho bom para os meses de abril, agosto e setembro. Já o método de Thornthwaite-Camargo apresentou desempenho bom para os meses de janeiro, março, abril, maio e julho (Tabela 4).

Para o período decendial Carvalho et al. (2006) e Araújo et al. (2007) não obtiveram resultados semelhantes para o método de Hargreaves-Samani.

A melhoria do desempenho do método de Thornthwaite com o uso da temperatura efetiva, em

relação ao método original de Thornthwaite, foi observada, também, em outras regiões (CAMARGO et al., 1999; CONCEIÇÃO, 2003). As modificações sugeridas por Camargo et al. (1999), substituindo a temperatura média diária pela temperatura efetiva, melhoram a eficiência do método de Thornthwaite (CONCEIÇÃO, 2003).

Embora os métodos de estimativa de ETo com base nos dados de temperatura sejam recomendados para cálculos em intervalos mensais, observa-se que nos métodos Hargreaves-Samani, Jensen-Haise e Thornthwaite-Camargo em períodos decendiais foi classificado como desempenho bom ou superior.

Tabela 4 - Índices de exatidão “d” e de desempenho “c” em intervalos decendiais comparados com o método de Penman-Monteith para Mossoró/RN no período de 1970 a 2007

Métodos	d	c	Desempenho
Hargreaves-Samani	1,00	0,82	Muito bom
Fevereiro	0,98	0,69	Bom
Março	1,00	0,68	Bom
Julho	0,91	0,70	Bom
Dezembro	0,89	0,69	Bom
Jensen-Haise	0,99	0,77	Muito bom
Abril	0,97	0,67	Bom
Agosto	0,89	0,72	Bom
Setembro	0,86	0,68	Bom
Thornthwaite-Camargo	0,99	0,89	Ótimo
Janeiro	0,91	0,66	Bom
Março	1,00	0,68	Bom
Abril	1,00	0,74	Bom
Mai	0,99	0,67	Bom
Julho	0,99	0,70	Bom

Fonte: Dados obtidos através da pesquisa

Para os intervalos mensais o método de Hargreaves-Samani apresentou desempenho muito bom, já os métodos de Jensen-Haise e Thornthwaite-Camargo, apresentaram um péssimo desempenho. (Tabela 5).

Tabela 5 - Índices de exatidão “d” e de desempenho “c” em intervalos mensais comparados com o método de Penman-Monteith para Mossoró/RN, no período de 1970 a 2007

Método	d	c	Desempenho
Hargreaves-Samani	0,89	0,76	Muito bom
Jensen-Haise	0,50	0,27	Péssimo
Thornthwaite-Camargo	0,75	0,37	Péssimo

Fonte: Dados obtidos através da pesquisa

Os resultados das análises indicam que o método de Hargreaves-Samani deve ser usado nas condições do local em estudo, possivelmente pelo fato de que este método foi

desenvolvido para as condições semiáridas, sendo que este se destacou entre os métodos estudados.

CONCLUSÕES

Na comparação de métodos nos períodos analisados o método de Hargreaves-Samani apresentou o melhor desempenho, sendo possível indicá-lo para ser usado na região de Mossoró/RN.

Para estimar de maneira mais criteriosa e precisa a previsibilidade espaço-temporal da

evapotranspiração de referência é preciso realizar estudos mais detalhados acerca dos períodos de análise, pois em projetos de irrigação normalmente utiliza-se estimativas médias e máximas de acordo com uma cultura específica para suprir suas necessidades hídricas.

AGRADECIMENTOS

Ao Cnpq, CAPES e UFERSA pela concessão de recursos para o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE JUNIOR, et al. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para Parnaíba e Teresina, Piauí. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.11, n.1, p.63-68, 2003.
- ARAÚJO, W. F.; COSTA, S. A.; SANTOS, A. E. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) para Boa Vista, RR. **Caatinga**, v.20, n.4, p.84-88, out-dez, 2007.
- BEZERRA, A. H. F. **Software de simulação do coeficiente de cultura**. 2009. 59 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal Rural do SemiÁrido (UFERSA), Mossoró-RN.
- BORGES, A. C.; MENDIONDO, E. M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.3, p.293-300, 2007.
- CAMPOS, J. H. B. C. et al. Evapotranspiração e produtividade da mangueira sob diferentes tratamentos de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.2, p.150-156, 2008.
- CAMARGO, A. P., SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.1, p.89-97, nov, 1997.
- CAMARGO, 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**, v.7, n.2, p.252-257, out-dez, 1999.
- CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, v.59, n.2, p.125-137, 2000.
- CARMO FILHO, F.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; MAIA NETO, J. M. **Dados meteorológicos de Mossoró** (janeiro de 1989 a dezembro de 1990), Mossoró: ESAM, FGD, 1991, 110p, Coleção Mossoroense, Série C, 630.
- CARVALHO, D.F. et al. Avaliação da evapotranspiração de referência na região Seropédica-RJ, utilizando lisímetro de pesagem. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.14, n.2, p.187-195, out-dez, 2006.
- CONCEIÇÃO, M. A. F. Estimativa da evapotranspiração com base na temperatura do ar para as condições do baixo Rio Grande, SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.11, n.2, p.229-236, out-dez, 2003.
- FIETZ, C. R.; SILVA, F. C.; URCHEI, M. A. Estimativa da evapotranspiração de referência diária para a região de Dourados, MS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.13, n.2, p.250-255, 2005.
- MEDEIROS, A. T. **Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraíba, PB**. 2002. 103f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA I. M. **Climatologia noções básicas e climas do Brasil**, São Paulo, Oficina de textos, 2007.
- PEREIRA, L. S.; **Necessidades de água e métodos de rega**, Lisboa: Publicações Europa-América, 2004, 312 p.
- SANTOS, W. O. **Ajuste da evapotranspiração de referência estimada através de 10 métodos em Mossoró-RN à diferentes distribuições densidade de probabilidade**. 2010. 222 f. Monografia (Graduação em Agronomia)- Universidade Federal Rural do SemiÁrido (UFERSA), Mossoró-RN.
- SHUTTLEWORTH, W. J. 1991 The role of hydrology in global science. In: Kienitz, G; Milly, P. C. D.; Van Genuchten, M. Th.; Rosbjerg, D.; Shuttleworth, W. J. (editors) **Hydrological interactions between atmosphere, soil and vegetation**. IAHS Publication n.204, pp. 361- 375, 1991.
- SILVA, V. DE P. R. et al. Modelo de previsão de rendimento de culturas de sequeiro, no semi-árido do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.83-87, 2002.
- SILVA, V. DE P. R. On climate variability in Northeast of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v.1, n.58, p.575-596, 2004.
- SILVA, V. DE P. R. et al. Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de

referência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.4, p.547-553, 2005.

TURCO, J. E. P.; FARIA, M. T.; FERNANDES, E. J. Influência da forma de obtenção do saldo de radiação na comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência. **Irriga**, v.10, n.3, p.215-228, 2005.

WILLMOTT, C. J. et al. Statistics for the evaluation and comparison of models, **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v.90, n.5, p.8895-9055, janeiro, 1985.