

Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para as condições do semiárido Nordeste

Methods of estimation of reference crop evapotranspiration for the conditions of northeastern semiarid, Brazil

Edmilson Gomes Cavalcante Junior^{1*}; Aleksandra Duarte Oliveira²; Bruno Marçal de Almeida³; José Espínola Sobrinho⁴

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) em condições de baixa e elevada umidade relativa usando o método de Penman Monteith-FAO 56 como referência. Foram utilizados dados de uma estação meteorológica convencional pertencente à Universidade Federal Rural do Semiárido, em Mossoró-RN referentes ao período de janeiro de 2002 a junho de 2008. A avaliação do desempenho foi realizada por meio do índice de precisão “*r*”, um índice de exatidão “*d*”, e de confiança ou desempenho “*c*”. Os métodos Kimberly-Penman 1982, Kimberly-Penman 1972, Benevides-Lopez 1970 e Hargreaves-Samani 1985 tiveram um aumento substancial nos seus desempenhos quando utilizados em condições de elevada umidade (UR > 70%), em comparação com as condições de baixa umidade (UR < 70%). As equações de Makkink 1957 e Hamon 1961 subestimaram a ET_o em ambos os períodos e o método Penman modificado-FAO24 tendeu a superestimar o método padrão. Os métodos Penman 1948, FAO24-Radiação, FAO24-Blaney-Criddle e Frere-Popov apresentaram melhor desempenho entre os avaliados.

Palavras-chave: Penman Monteith-FAO 56, umidade, Eto

Abstract

The objective of this work was to evaluate methods of estimation of reference crop evapotranspiration (ET_o) in conditions of low and high air relative humidity, using the Penman Monteith-FAO 56 method as reference. Data from the period between January 2002 and June 2008 were obtained from a conventional meteorological station at Semiarid Federal Rural University, in Mossoró, RN, Brazil. Evaluation of methods was made by means of the precision index “*r*”, accuracy “*d*”, and of confidence or performance “*c*”. Methods Kimberly-Penman 1982, Kimberly-Penman 1972, Benevides-Lopez 1970 and Hargreaves-Samani 1985 obtained an important improvement in their performance when high air relative humidity conditions were considered (UR > 70%), compared to low air relative humidity conditions (UR < 70%). Equations of Makkink 1957 and Hamon 1961 underestimated ET_o in both periods, and the method Penman modified-FAO24 showed tendency to overestimate the reference method. Methods Penman 1948, FAO24-Radiation, FAO24-Blaney-Criddle and Frere-Popov presented the higher performance among the evaluated methods.

Key words: Penman Monteith-FAO 56, humidity, Eto

¹ Tecnólogo em Irrigação e Drenagem, Mestrando em Irrigação e Drenagem, UFERSA, BR 110 do km 47, Bairro: Costa e Silva, 59625-900, Mossoró, RN. E-mail: ediguatu@yahoo.com.br

² Pesquisadora A, Embrapa Cerrados, BR 020, km 18, C P 08223, 73310-970, Planaltina, DF. E-mail: alexsandra.duarte@cpac.embrapa.br

³ Tecnólogo em Irrigação e Drenagem, Mestrando em Irrigação e Drenagem, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, UFERSA, BR 110 do km 47, Bairro: Costa e Silva, 59625-900, Mossoró, RN, E-mail: brunoevapo@gmail.com

⁴ Engº Agrº, Prof. Dr. DCAT, UFERSA, Mossoró, RN. E-mail: jespínola@ufersa.edu.br

* Autor para correspondência

Introdução

O conhecimento das necessidades hídricas das culturas é de grande importância para o estudo do manejo da água de irrigação. A evapotranspiração é uma das principais variáveis do ciclo hidrológico. A taxa de evapotranspiração refere-se à transferência de água para a atmosfera, da superfície do solo e das plantas pela combinação da evaporação com a transpiração (SEDIYAMA, 1998).

A estimativa do consumo hídrico das culturas tem sido tema de vários estudos nas últimas décadas, várias foram às metodologias criadas para tentar representar de maneira precisa essa questão. A obtenção deste consumo pode ser realizada através de medições diretas no campo ou por meio indireto através de equações empíricas. As medições diretas muitas vezes requerem a utilização de equipamentos sofisticados e caros o que no geral inviabiliza sua utilização. Por isso, tem-se recorrido à utilização de equações empíricas, por serem mais práticas e viáveis de serem usadas para fins de manejo da irrigação.

Segundo Allen et al. (1998), vários são os métodos empíricos criados, por vários cientistas e pesquisadores, para determinação da ET utilizando diferentes elementos climáticos. No entanto, tais métodos somente estimam de forma satisfatória a evapotranspiração nas condições de clima em que são desenvolvidos, e quando utilizados em condições diferentes podem proporcionar grandes erros e gerar grandes perdas nas produções ou desperdício de recursos hídricos. Com isso, a FAO observou a necessidade de se obter um método padrão que se adaptasse a diferentes localidades e climas, criando o método Penman-Monteith FAO 56 (PM FAO-56) que foi derivado da equação original de Penman (1948).

O método PM FAO-56 é bastante utilizado em trabalhos para avaliar e calibrar diferentes equações empíricas como em Oliveira et al. (2005), Oliveira e Carvalho (1998) e Vescove e Turco (2005). Embora seja um método complexo, concilia os aspectos

aerodinâmicos e termodinâmicos, incluindo a resistência ao transporte de calor sensível e de vapor d'água e a resistência da superfície à transferência de vapor d'água, fatores que nenhum outro método leva em consideração e que proporciona melhor precisão (OLIVEIRA, 2003). De acordo com Medeiros (2002), diversos trabalhos científicos têm mostrado que o desempenho do método de PM FAO-56 na estimativa da ETo é satisfatório, quando comparado com medidas lisimétricas. No entanto, muitas vezes nem todos os elementos meteorológicos necessários para o uso desse modelo encontram-se disponíveis. Nessa situação, outros métodos que necessitem de um número menor de elementos meteorológicos podem ser usados (FIETZ; SILVA; URCHEI, 2005).

A proposta deste trabalho foi avaliar o comportamento de diferentes equações empíricas na estimativa da ETo, em condições de meses úmidos e secos, no município de Mossoró-RN, tendo como padrão o método Penman-Monteith FAO 56.

Material e Métodos

Os dados utilizados neste estudo foram coletados pela estação meteorológica convencional pertencente à Universidade Federal Rural do Semiárido, em Mossoró-RN, cujas coordenadas geográficas são: latitude 5° 12' 48" S, longitude 37° 18' 44" W. Grw. e altitude de 37 m. Segundo W. KÖEPPEN, citado por Carmo Filho et al. (1991), a classificação climática local, é do tipo Bsw^h, ou seja, clima seco e quente com as maiores precipitações no verão atrasando-se para o outono. Pela classificação de W. C. THORNTHWAITE o clima de Mossoró é do tipo DdA'a', ou seja semi-árido, megatérmico com pequeno ou nenhum excesso de água durante o ano (IZÍDIO, 1994).

Foram utilizados dados diários de temperatura máxima e mínima, umidade relativa, velocidade do vento, evaporação do tanque classe A e insolação, compreendidos de janeiro de 2002 a junho de 2008. Por meio do programa REF-ET versão 2.01.17, desenvolvido por Allen (2001) foram

feitas as estimativas da ETo dos seguintes métodos: Kimberly-Penman segundo Wright (1982), Kimberly-Penman segundo Wright e Jensen (1972), Penman (1948), Penman modificado-FAO24, Frere & Popov (1979), FAO24-Radiação, FAO24-Blaney-Criddle, FAO24-Tanque Classe A, Hargreaves-Samani (1985), Priestley-Taylor (1972), Makink (1957), Benevides-Lopez (1970), Jensen-Haise (1963), Camargo (1971) e Hamon (1961). Sendo que os últimos quatro métodos foram estimados diretamente e não pelo REF-ET, por não estarem disponíveis no referido software, sendo calculados pelas seguintes equações:

1) Benevides-Lopez (1970) citado por Medeiros (1998)

$$T_o = 1,21 \cdot 10^{\left(\frac{7,45T}{243,7+T}\right)} \cdot (1 - 0,01 \cdot UR) + 0,21 \cdot T - 2,30 \quad \text{Eq. 1}$$

em que: ETo: evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹); T: temperatura média do ar em °C; e UR: umidade relativa do ar em %.

2) Jensen-Haise (1963)

$$ET_o = R_s (0,0252 T * 0,078) \quad \text{Eq. 2}$$

em que: T: temperatura média do ar em °C; e R_s: radiação solar global à superfície em cal.cm⁻².dia⁻¹.

3) Camargo (1971)

$$ET_o = 0,01 R_a T K \quad \text{Eq. 3}$$

em que: T: temperatura média do ar em °C; R_a: radiação solar extraterrestre (mm.dia⁻¹); e K: fator de ajuste de Camargo.

4) Hamon (1961)

$$ET_o = 0,55 \left(\frac{N}{12}\right)^2 \left(\frac{4,95 \exp^{0,062 T}}{100}\right)^{25,4} \quad \text{Eq. 4}$$

em que: T: temperatura média do ar em °C; e N: fotoperíodo em h.

O método Penman-Montheith FAO 56 foi considerado como padrão, para análise dos demais métodos (Equação 5). A comparação dos métodos foi realizada em dois períodos distintos, período úmido e seco. Foi considerado como período

úmido os meses que apresentaram umidade relativa média maior que 70 % e como período seco, os que apresentaram umidade relativa do ar abaixo de 70%.

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_a + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

Δ: declividade da curva de pressão de vapor no ponto de temperatura média (kPa °C⁻¹);

R_n: radiação solar líquida total do gramado (MJ m⁻² d⁻¹);

G: fluxo de calor no solo (MJ m⁻² d⁻¹);

γ: constante psicrométrica (kPa °C⁻¹);

e_s: pressão de saturação do vapor médio diário (kPa);

e_a: Pressão atual de vapor médio diário (kPa);

u₂: velocidade do vento média diária a 2m de altura (m s⁻¹); e

T_a: temperatura média do ar (°C).

A análise comparativa entre o método padrão e os avaliados, foi baseada em regressão linear, onde a variável dependente foi considerada a ETo do método padrão e a independente a ETo do métodos avaliados, e os seguintes índices estatísticos de comparação sugeridos Camargo e Sentelhas (1997): o grau de precisão foi obtido por meio do coeficiente de correlação “r” (Equação 6), a exatidão foi avaliada pelo índice de Willmott “d” (Equação 7) e o desempenho pelo indicador “c”. Sendo c obtido pelo produto de d * r. Onde os valores de c são classificados conforme a Tabela 1.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - O) \cdot (P_i - P)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - O)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - P)^2}} \quad \text{Eq. 6}$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad \text{Eq. 7}$$

sendo: P_i o valor estimado; P a média do valor estimado; O_i o valor observado e O é a média dos valores observados.

A verificação dos erros proporcionados pelas estimativas foi realizada pelo cálculo do erro padrão da estimativa (EPE) conforme Jensen, Burman e Allen (1990).

$$EPE = \left[\frac{\sum (Y - Y_m)^2}{n-1} \right]^{0.5} \quad \text{Eq.8}$$

sendo: Y a evapotranspiração estimada pelo método avaliado (mm.dia^{-1}); Y_m a evapotranspiração estimada pelo método PM FAO 56 (mm.dia^{-1}); e n o número total de observações.

Tabela 1. Valores dos coeficientes de desempenho conforme Camargo e Sentelhas (1997).

Valor de “c”	Desempenho
>0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
$\leq 0,40$	Péssimo

Resultados e Discussão

A partir da estimativa da ETo pelos métodos descritos, procurou-se identificar uma equação que melhor se ajustasse ao método de Penman-Monteith FAO 56 e que envolvesse uma quantidade menor de parâmetros nos cálculos, de modo a se obter de forma mais simples a ETo em dois períodos distintos (seco e úmido) em Mossoró-RN. Na maioria dos anos estudados, o período seco (umidade relativa média mensal < 70%) esteve compreendido entre os meses de

julho a dezembro e o período úmido (umidade relativa média mensal > 70%) de janeiro a junho. A média anual da umidade relativa do ar e da ETo estão expostas na Figura 1.

Analisando-se os resultados de acordo com as Tabelas 2 e 3, os métodos Hamon (1961) e Makkink (1957) subestimaram a evapotranspiração nos dois períodos analisados, sendo a subestimativa mais acentuada no período seco. Em relação a Makkink (1957) esse comportamento se deve, provavelmente, ao fato dos coeficientes utilizados da equação original serem desenvolvidos nas condições climáticas de Wageningen, na Holanda e de acordo com Pereira, Villa Nova e Sedyama (1997), os coeficientes dessa equação podem variar de local para local e nas diferentes escalas de tempo de medida. Vescove e Turco (2005) obtiveram resultado semelhante ao avaliar o método de Makkink (1957) nas condições climáticas de Araraquara-SP. Borges e Menciondo (2007) avaliaram diferentes metodologias de determinação da ETo na Bacia do Rio Jacupira, SP, e também verificaram que o método de Hamon (1961) subestimou a ETo, em todas as estações do ano.

Observando a Tabela 2, verifica-se que, o EPE para os diferentes modelos avaliados, com base nos valores ETo para o período seco, apresentaram uma variação de 0,19 a 2,74 mm.d^{-1} , com o menor valor para Penman (1948) e o maior valor, para o método de Hamon (1961). Para o período úmido (Tabela 3) o EPE variou de 0,21 a 0,99 mm.d^{-1} para os métodos Kimberly-Penman 1972 e FAO24-Tanque Classe A, respectivamente. Esse maior intervalo nos valores do EPE do período seco pode estar associado ao fato de que a maioria dos métodos estudados foram desenvolvidos em condições de demanda evapotranspirativa menores do que na região do presente estudo, tendendo a subestimar os valores de ETo de forma acentuada quando utilizados no período seco, proporcionando assim maiores valores do EPE. Visualizam-se, nas Figuras 2 e 3 a análise

de regressão linear entre os métodos avaliados e o método padrão, com suas respectivas equações de ajuste e coeficiente de determinação (r^2). Aos Gráficos foi adicionada uma linha ao meio, a fim de auxiliar a verificação de quando um método sub ou superestima o método padrão. Observa-se que dentro os métodos avaliados o FAO24-Tanque Classe A foi o que apresentou pior correlação em ambos os período analisados.

A equação de Jensen-Haise (1963) segundo Medeiros (2008), foi uma equação desenvolvida para regiões áridas e semi-áridas, o que explica sua boa adaptabilidade para o período seco, onde obteve desempenho ótimo, ao contrário do período úmido quando obteve apenas desempenho mediano. Como descrito por Allen et al. (1998) o método Penman modificado-FAO24 superestima com frequência a ETo em condições de baixa demanda evapotranspirativa, podendo essa atingir níveis de até 20%. Neste

trabalho o referido método superestimou em 15,7 % a ETo no período úmido. Apesar dessa elevada superestimativa o método demonstrou ser bastante preciso ($r = 0,99$) obtendo um desempenho muito bom ($c = 0,80$), quando utilizado no período úmido (Tabela 3).

Os métodos Kimberly-Penman 1982 e Kimberly-Penman 1972 apresentaram classificações inferiores quando utilizados no período seco em relação ao úmido, o que pode ser observado pelos valores de EPE e pelos coeficientes de desempenho “c”, onde Kimberly-Penman 1982 foi classificado como sofrível no período seco e muito bom no úmido, comportamento semelhante aos métodos Benevides-Lopez (1970), Camargo (1971), Priestley-Taylor (1972) e Hargreaves e Samani (1985) que também apresentaram uma melhora significativa quando utilizados no período úmido.

Figura 1. Média anual da ETo, estimada pelo método Penman-Montheith FAO 56, e da umidade relativa do ar, compreendida entre janeiro de 2002 a junho de 2008, para o município de Mossoró, RN.

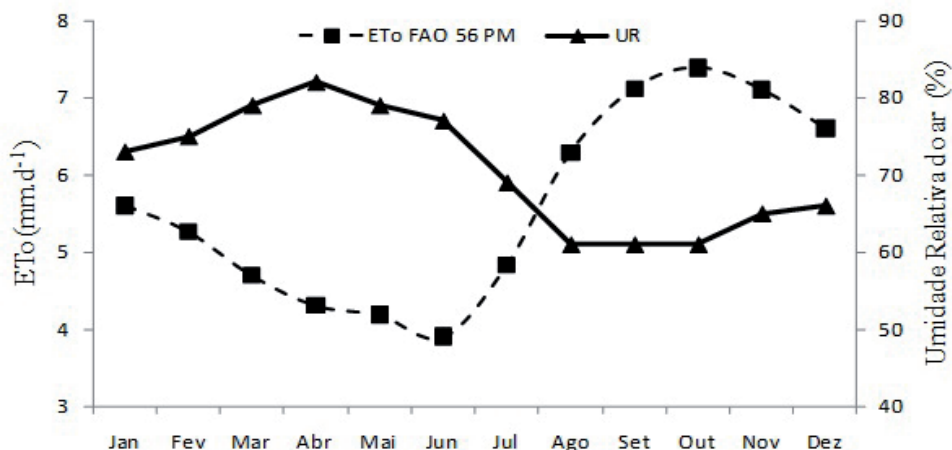


Tabela 2. Valores de coeficiente de correlação, índices de exatidão, coeficientes de desempenho e erro padrão de estimativa, referentes ao período seco em Mossoró-RN, de 2002 a 2008.

Euações	%	r	d	c	Desempenho	EPE (mm.dia⁻¹)
Penman 1948	102.5	0.99	0.98	0.97	Ótimo	0.19
FAO24-Radiação	102.0	0.97	0.97	0.94	Ótimo	0.24
FAO24-Blaney-Cliddle	97.8	0.97	0.95	0.93	Ótimo	0.24
Frere-Popov 1979	104.3	0.98	0.94	0.92	Ótimo	0.32
Jensen-Haise 1963	97.4	0.92	0.94	0.87	Ótimo	0.30
Kimberly-Penman 1972	110.1	0.99	0.80	0.79	Muito Bom	0.71
Benevides-Lopez 1970	96.6	0.82	0.74	0.60	Sofrível	0.48
Kimberly-Penman 1982	99.1	0.71	0.82	0.58	Sofrível	0.61
Priestley-Taylon 1972	84.2	0.85	0.59	0.50	Mau	1.13
Penman modificado-FAO24	124.8	0.99	0.48	0.48	Mau	1.74
Hargreaves-Samani 1985	81.7	0.89	0.49	0.43	Mau	1.31
Makkink 1957	65.8	0.92	0.35	0.32	Péssimo	2.36
Camargo 1971	81.9	0.70	0.51	0.35	Péssimo	1.32
Tanque Classe A	119.9	0.44	0.43	0.19	Péssimo	1.65
Hamon 1961	60.7	0.53	0.28	0.15	Péssimo	2.74

* r: coeficiente de correlação; d: índices de exatidão; c: coeficientes de desempenho; EPE: erro padrão de estimativa.

Tabela 3. Valores de coeficiente de correlação, índices de exatidão, coeficientes de desempenho e erro padrão de estimativa, referentes ao período úmido em Mossoró-RN, de 2002 a 2008.

Euações	%	r	d	c	Desempenho	EPE (mm.dia⁻¹)
Kimberly-Penman 1972	101,1	0,99	0,98	0,97	Ótimo	0,21
Penman 1948	105,5	0,99	0,96	0,95	Ótimo	0,26
Frere-Popov 1979	105,5	0,99	0,96	0,95	Ótimo	0,26
FAO24-Radiação	108,0	0,97	0,91	0,89	Ótimo	0,39
FAO24-Blaney-Cliddle	99,7	0,91	0,95	0,86	Ótimo	0,27
Kimberly-Penman 1982	108,5	0,96	0,89	0,85	Muito Bom	0,55
Penman modificado-FAO24	115,7	0,99	0,80	0,80	Muito Bom	0,76
Hargreaves-Samani 1985	103,2	0,84	0,87	0,73	Bom	0,38
Benevides-Lopez 1970	111,8	0,89	0,77	0,69	Bom	0,62
Camargo 1971	107,3	0,77	0,83	0,63	Mediano	0,57
Jensen-Haise 1963	116,9	0,89	0,71	0,63	Mediano	0,82
Priestley-Taylon 1972	108,4	0,77	0,80	0,61	Mediano	0,56
Tanque Classe A	106,8	0,74	0,73	0,54	Sofrível	0,99
Makkink 1957	80,5	0,85	0,57	0,49	Mau	0,96
Hamon 1961	82,8	0,85	0,56	0,48	Mau	0,88

* r: coeficiente de correlação; d: índices de exatidão; c: coeficientes de desempenho; EPE: erro padrão de estimativa.

Os métodos que apresentaram resultados satisfatórios em ambos os períodos estudados foram Penman 1948, FAO24-Radiação, FAO24-Blaney-Criddle e Frere-Popov, classificados como ótimos de acordo com o coeficiente de desempenho. O método da FAO24-Blaney-Criddle apresenta grande praticidade, pois requer somente dados de

temperatura do ar e algumas informações médias do clima, sendo adequado para estimativas mensais de ETo. Chiew et al. (1995) avaliaram o desempenho desse método em relação a Penman-Monteith e obtiveram coeficiente de correlação superior a 0,8 em 15 de 16 localidades estudadas na Austrália, para estimativas mensais de ETo.

Figura 2. Relação entre a evapotranspiração de referência estimada por diferentes métodos e o método Penman-Monteith FAO 56, para o período úmido em Mossoró-RN, de 2002 a 2008.

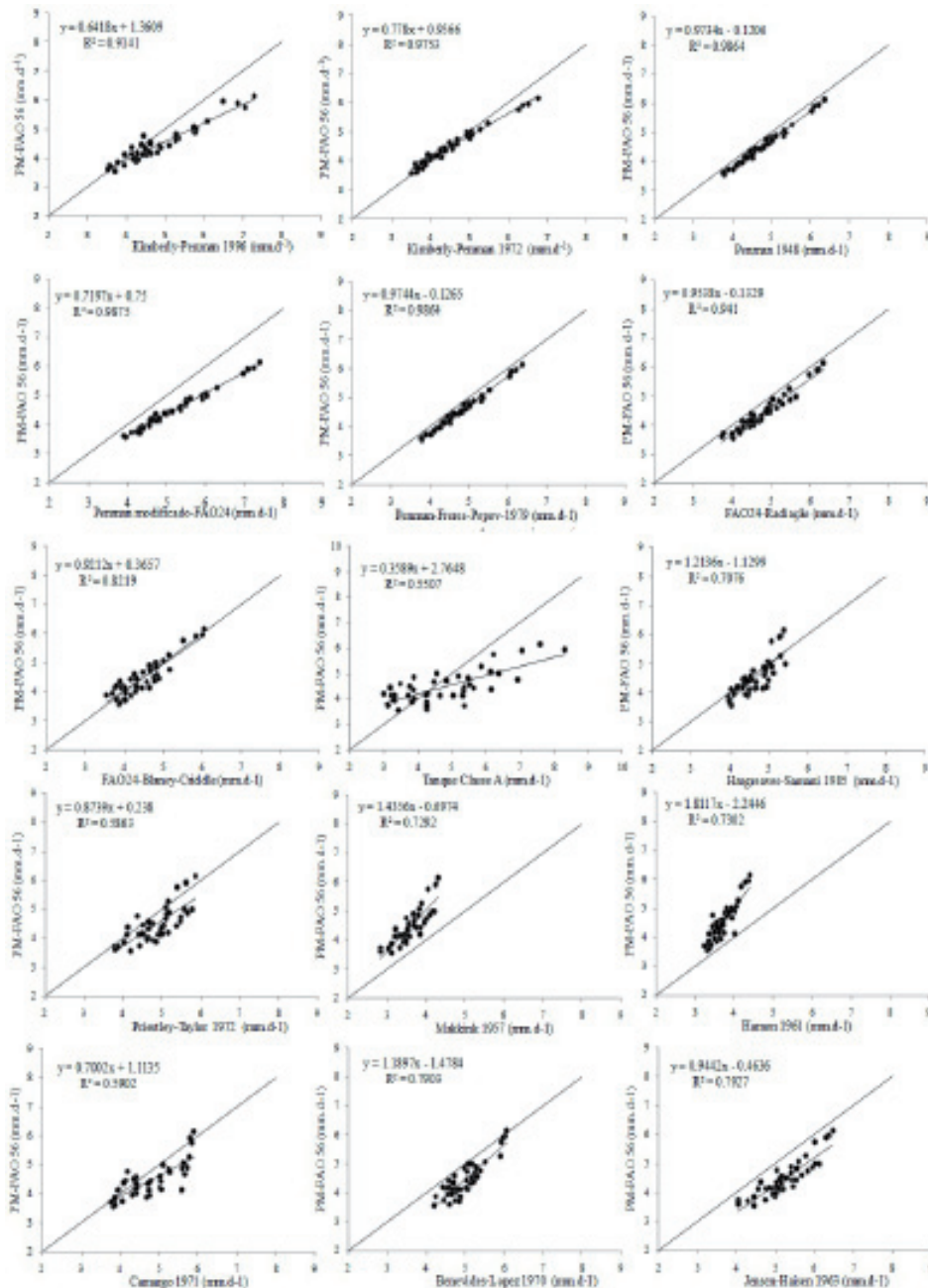
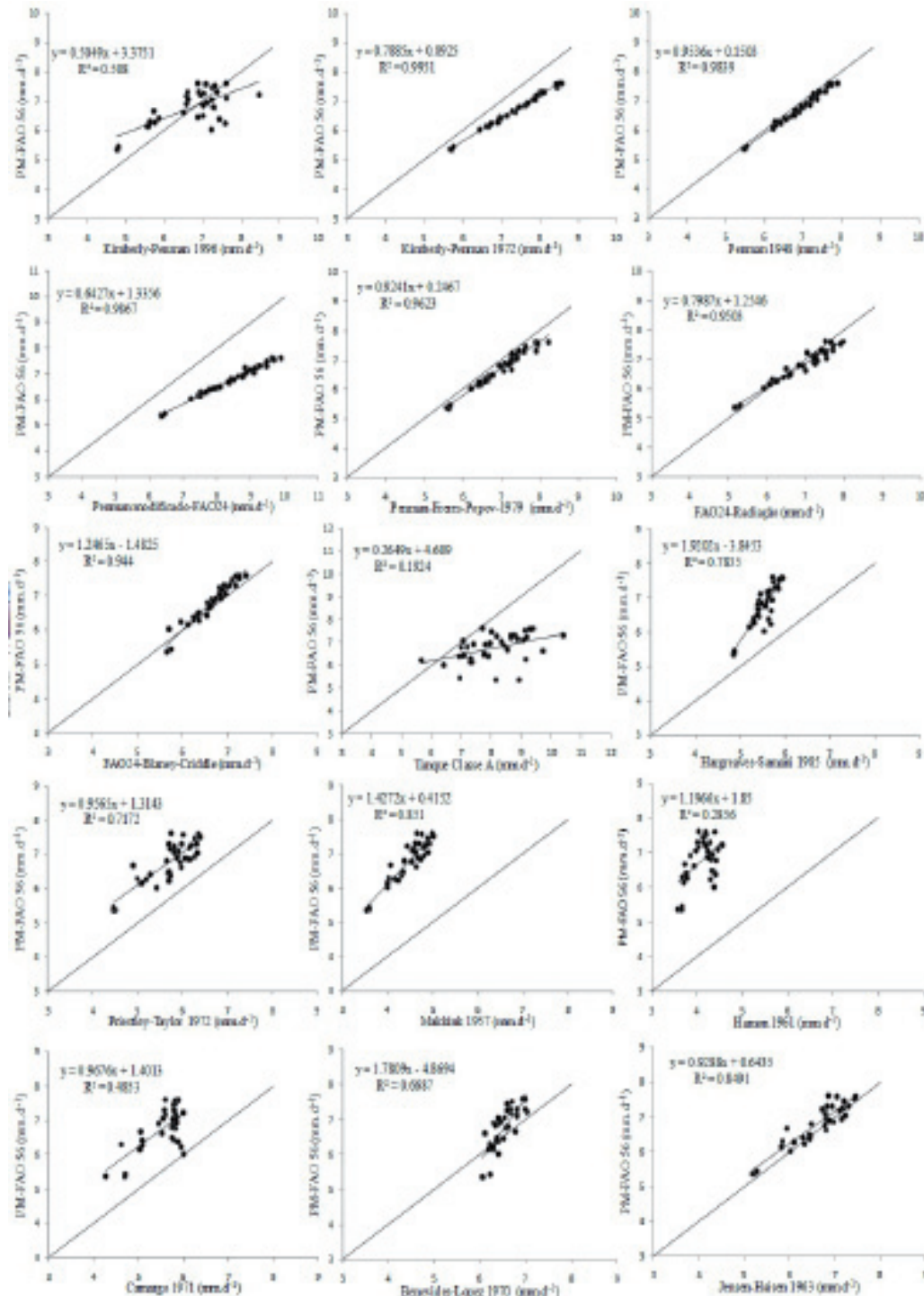


Figura 3. Relação entre a evapotranspiração de referência estimada por diferentes métodos e o método Pemas-Monteith FAO 56, para o período seco em Mossoró-RN, de 2002 a 2008.



Conclusões

De todos os métodos estudados quatro deles (Penman 1948, FAO24-Radiação, FAO24-Blaney-

Cridde e Frere-Popov) apresentaram ótimo desempenho na estimativa da evapotranspiração de referência em qualquer época do ano, podendo serem recomendados para o uso nos projetos de

irrigação na região, uma vez que seus resultados apresentaram uma satisfatória correlação com o método padrão, Penman-Monteith FAO 56.

De uma maneira geral os métodos testados mostraram uma melhora na precisão da estimativa, do período seco para o úmido, uma vez que nenhum deles foi considerado “péssimo” no primeiro semestre estudado.

Referências

- ALLEN, R. G. *REF-ET*: reference evapotranspiration calculator, Version 2.1. Idaho: Idaho University, 2001. 82 p. (Software).
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. *Guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO, 1998. 310 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- BENEVIDES, J. G.; LOPEZ, D. Formula para el caculo de la evapotranspiracion potencial adaptada al tropico (15° N - 15° S). *Agronomia Tropical*, Maracay, v. 20, n. 5, p. 335-345, 1970.
- BLANEY, H. F.; CRIDDLE, W. O. *Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data*. Washington: USDA Soil Conservation Service, 1950. 48 p. (Technical Paper, n. 96).
- 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*, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 293-300, 2007.
- CAMARGO, A. P. *Balanço hídrico no estado de São Paulo*. 3. ed. Campinas: IAC, 1971. 24 p. (Boletim, n. 116).
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- CARMO FILHO, F. do; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; MAIA NETO, J. M. *Dados meteorológicos de Mossoró (janeiro de 1988 a dezembro de 1990)*. Mossoró: ESAM, 1991. v. 4, 470 p.
- CHIEW, F. H. S.; KAMALADASA, N. N.; MALANO, H. M.; McMAHON, T. A. Penman-Monteith, FAO-24 reference crop evapotranspiration and class-A pan data in Australia. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 28, n. 1, p. 9-21, 1995.
- FIETZ, C. R.; SILVA, F. C.; URCHER, M. A. Estimativa da evapotranspiração de referência diária para a região de Dourados, MS. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 225-250, 2005.
- FRERE, M.; POPOV, G. *Agrometeorological crop monitoring and forecasting*. Rome, Italy: FAO, 1979. 64 p. (Fao Plant Production and Protection Paper, 17).
- HAMON, W. R. Estimating potential evapotranspiration. *Journal of Hydraulics Division ASCE*, Nova Iorque, v. 87, n. 3, p. 107-120, 1961.
- HARGREAVES, G. L.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. Basin. *Journal of the Irrigation and Drainage Division-ASCE*, New York, v. 111, n. 1, p. 113-124. 1985.
- IZÍDIO, L. R. *Determinação dos parâmetros “a” e “b” da equação de Angstrom, para estimativa da irradiação solar global em Mossoró*. RN. 1994. Monografia (Graduação em Agronomia) - Escola Superior de Agronomia de Mossoró, Rio Grande do Norte.
- JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. *Evapotranspiration and irrigation water requirements*. New York: ASCE, 1990. 332 p.
- JENSEN, M. E.; HAISE, H. R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. *Journal of the Irrigation and Drainage Division-ASCE*, New York, v. 4, n. 1, p. 15-41, 1963.
- MAKKINK, G. F. Testing the Penman formula by means of lysimeters. *Journal of the Institution of Water Engineers*, v. 11, n. 3, p. 277-288. 1957.
- MEDEIROS, A. T. *Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Piraipaba, CE*. 2002. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MEDEIROS, P. V. *Análise da evapotranspiração de referência a partir de medidas lisimétricas e ajuste estatístico de nove equações empíricas- teóricas com base na equação de Penman-Monteith*. 2008. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MEDEIROS, S. L. Avaliação de métodos de estimativa as 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.
- OLIVEIRA, A. D. de. *Comparação de métodos de*

estimativa da evapotranspiração de referência utilizando dados de uma estação meteorológica convencional e automática. 2003. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária. Universidade de São Paulo, Jaboticabal.

OLIVEIRA, M. A. A.; CARVALHO, D. F. Estimativa da evapotranspiração de referência e da demanda suplementar de irrigação para o milho (*Zea mays* L.) em Seropédica e Campos, Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, PB, v. 2, n. 2, p. 132-135, 1998.

OLIVEIRA, R. Z.; OLIVEIRA, L. F. C.; WEHR, T. R.; BORGES, L. B.; BONOMO, R. Comparação de metodologias de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Goiânia, GO. *Biosci. J.*, Uberlândia, v. 21, n. 3, p. 19-27, 2005.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of Royal Society-Series A*, London, v. 193, p. 120-145, 1948.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDYAMA, G. C. *Evapo(transpi)ração*. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PRIESTLEY, C. H. B.; TAYLOR, R. J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Rev.*, Boston, v. 100, n. 2, p. 81-92, 1972.

SEDIYAMA, G. C. *Evapotranspiração: necessidades de água para as plantas cultivada*. Brasília, DF: ABEAS, 1998, 181 p. (Curso de especialização por tutoria à distância).

VESCOVE, H. V.; TURCO, J. P. Comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara-SP. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 713-721, 2005.

WRIGHT, J. L. New evapotranspiration crop coefficients. *Journal of the Irrigation and Drainage Division-ASCE*, New York, v. 108, n. 1, p. 57-74, 1982.

WRIGHT, J. L.; JENSEN, M. E. Peak water requirements of crops in Southern Idaho. *Journal of the Irrigation and Drainage Division-ASCE*, New York, v. 96, n. 1, p. 193-201, 1972.