



COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NO MUNICÍPIO DE BOM JESUS, PI

Filipe Augusto Pedrosa de Lucena¹ Everaldo Moreira da Silva² Aureliano de Albuquerque
Ribeiro³ Marcelo Simeão⁴ João Paulo Augusto Pedrosa de Lucena¹

RESUMO

O Sudeste piauiense vem se destacando no cenário agrícola nacional, sendo considerado a última fronteira agrícola do país. A região apresenta boa disponibilidade hídrica subterrânea, que tem possibilitado o desenvolvimento da agricultura irrigada, sendo necessário o conhecimento da evapotranspiração de referência (ET_o) para o cálculo da necessidade hídrica das culturas. Assim sendo, objetivou-se com a realização deste trabalho, avaliar, para as condições climáticas de Bom Jesus, PI, diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (Hargreaves-Samani, Ivanov, Camargo, Priestley-Taylor e Jensen-Haise), comparando-os com o método padrão de Penman-Monteith-FAO. Foi utilizado um conjunto de dados diários de treze anos (2000 a 2013) de temperatura do ar, velocidade do vento, umidade relativa do ar e insolação. Os dados foram obtidos na estação meteorológica convencional do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), situada no município de Bom Jesus. A estimativa da ET_o foi feita para o período anual, chuvoso (novembro a abril) e o seco (maio a outubro). Os métodos de Jensen-Haise (JH) e Priestley-Taylor (PT) apresentaram os melhores desempenhos no período anual, chuvoso e seco, porém, com superestimativa do método de Priestley-Taylor. Os piores desempenhos, por sua vez, foram constatados para os métodos de Ivanov (IVN) e Camargo (CM). Com isso, para as condições climáticas do município de Bom Jesus, PI, recomenda-se o uso da equação de Jense-Haise para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o), quando não se dispõe de dados para o cálculo por PM.

Palavras-chave: agrometeorologia, Penman-Monteith, Jense-Haise, planejamento de irrigação

COMPARISON REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATE METHODS IN MUNICIPALITY OF BOM JESUS, PI

¹ Engenheiro Agrônomo, Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas. filipeaugustopedrosa@gmail.com, jpapl.agronomia@gmail.com

² Professor da Universidade Federal do Piauí- Campus Professora Cinobelina Elvas (CPCE), Bom Jesus, Piauí, everaldo@ufpi.edu.br

³ Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, alburibeiro@hotmail.com

⁴ Mestre em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal do Piauí- Campus Professora Elvas (CPCE), Bom Jesus, PI, marcelosimeao16@gmail.com

ABSTRACT

The Sudeste Piauiense has been highlighted in the national agricultural scenario and is considered the last agricultural frontier of the country. The region has good underground water availability, which have enabled the development of irrigated agriculture, which required the knowledge of the reference evapotranspiration (ET_o) to calculate the crop water requirement. Therefore, the objective with this work to evaluate, for the weather conditions of Bom Jesus, PI, different methods of estimation of the reference evapotranspiration (Hargreaves-Samani, Ivanov, Camargo, Priestley-Taylor and Jensen-Haise), comparing them with the standard Penman-Monteith-FAO. A set of daily data thirteen years was used (2000-2013) air temperature, wind speed, relative humidity and heat stroke. Data were obtained in conventional weather station of the National Institute of Meteorology (INMET), in the municipality of Bom Jesus. The estimate of ET_o was made for the annual period, rainy season (November to April) and dry (May to October). The methods of Jensen-Haise (JH) and Priestley-Taylor (PT) had the best performance in the annual period, wet and dry, however, to overestimate the Priestley-Taylor method. The worst performers, in turn, were found to methods of Ivanov (IVN) and Camargo (CM). With this, for the climatic conditions of Bom Jesus, PI, it is recommended to use the Jensen-Haise equation for estimating reference evapotranspiration (ET_o), when no data are available for the calculation by PM.

Keywords: agrometeorology, Penman-Monteith, Jensen-Haise, irrigation planning

INTRODUÇÃO

Diante da preocupação mundial com o uso racional da água, e considerando que a irrigação é indiscutivelmente, a atividade de maior uso desse recurso natural, tornou-se necessário para um planejamento mais eficiente do aproveitamento da água na produção agrícola, o desenvolvimento de metodologias que possibilitem obter máxima produção com um mínimo de água. Nesse aspecto, destaca-se o manejo racional da água na agricultura irrigada, o qual depende, dentre diversos fatores, da quantificação correta do conteúdo de água perdido por evapotranspiração dos cultivos (ET_c) (OLIVEIRA et al., 2010).

A estimativa adequada da evapotranspiração da cultura (ET_c) consiste no principal parâmetro a ser considerado no dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação, uma vez que ela totaliza a quantidade de água utilizada nos processos de evaporação e transpiração pela cultura, durante determinado período. De forma bastante simplificada, a ET_c pode ser obtida através do valor da evapotranspiração de uma cultura de referência (ET_o) corrigida pelo coeficiente da cultura (K_c), que dependente do tipo de cultura

e de seu estágio de desenvolvimento (SILVA et al., 2009).

Existem vários métodos para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o), sendo divididos em diretos e indiretos. Para Pereira et al. (1997), a medida direta é onerosa e difícil, e reforça a existência de métodos empíricos de estimativa aptos ao uso, dependendo dos dados climáticos disponíveis no local de estudo. O método de Penman-Monteith parametrizado pela FAO (ALLEN et al., 1998) é o método empírico recomendado para a estimativa da evapotranspiração, porém requer uma quantidade maior de elementos meteorológicos (radiação solar global, temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento) que muitas vezes não estão disponíveis, ocasionando assim, a busca de métodos de estimativa mais simples.

Muitos estudos vêm avaliando o desempenho dos diferentes métodos de estimativa da ET_o (Gonçalves et al., 2009; Oliveira et al., 2010; Guedes Filho et al., 2011; Araújo et al., 2011; Oliveira et al., 2015). Os resultados são bastante variáveis, dificultando a escolha do método mais adequado para uso no manejo da irrigação. Com isso, Pereira et al. (2009) recomendam que antes de aplicar um

COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NO MUNICÍPIO DE BOM JESUS, PI

método para determinado local, é necessário verificar o desempenho deste e, quando necessário, fazer calibrações a fim de minimizar erros de estimativa.

A região do Alto Médio Gurguéia, Sudoeste do Estado do Piauí, onde o município de Bom Jesus está localizado, apresenta um grande potencial agrícola, sendo considerado a última fronteira agrícola do país. A região, apesar do clima quente e seco na maior parte do ano, apresenta boa disponibilidade de água subterrânea, com diversos poços jorrantes, que têm possibilitado o desenvolvimento da agricultura irrigada (BASTOS et al., 2008), fazendo-se necessário a obtenção de métodos simplificados que permitam a estimativa diária da evapotranspiração de referência (ET_o).

Com isso, objetivou-se com o presente estudo, avaliar para as condições de Bom Jesus (PI), diferentes métodos para a estimativa diária da ET_o comparando-os com o método padrão de Penman-Monteith-FAO.

MATERIAL E MÉTODOS

Tabela 1. Períodos selecionados com seus respectivos anos, meses e dias com disponibilidade de dados para a cidade de Bom Jesus-PI.

Estação	Período	Anos	Nº de meses	Dias com dados disponíveis
Bom Jesus	Anual	2000 a 2013	168	4764
	Chuvoso	2000 a 2013	84	2415
	Seco	2000 a 2013	84	2349

Os métodos utilizados para a estimativa da ET_o foram: Hargreaves-Samani, Ivanov, Camargo, Priestley-Taylor e Jensen-Haise Todos foram comparados ao método de Penman-

O trabalho foi realizado utilizando dados meteorológicos obtidos entre o período de 01 de janeiro de 2000 a 31 de dezembro de 2013 na estação meteorológica convencional do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), situada no município de Bom Jesus, PI (09° 06' 00" S, 44° 07' 00" W e altitude de 331,74 m).

A região é classificado como tipo Cwa, que corresponde a uma região tropical, com inverno seco e verão quente e chuvoso, precipitação local média de 900 a 1400 mm/ano e temperaturas médias de 28°C, embora durante o ano sejam comuns temperaturas entorno de 40°C (VIANA et al., 2008).

Foram coletados dados diários de temperaturas máxima (T_{máx}), média (T_{méd}) e mínima (T_{mín}) do ar, insolação, umidade relativa média do ar (UR_{méd}) e velocidade do vento a 10 m de altura, sendo posteriormente convertida para 2 m.

Os dados analisados foram divididos em três períodos: anual, seco e chuvoso (Tabela 1). O período anual compreendeu todos os meses do ano, o período chuvoso (novembro a abril) e o período seco (maio a outubro).

Monteith, considerado padrão pela FAO.

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi calculada pelo método de Penman-Monteith-FAO (PM), equação (1):

$$ET_o = \frac{0,408 \cdot (R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (1)$$

Onde: ET_o: evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹); R_n: saldo de radiação à superfície (MJ m⁻² dia⁻¹); G: fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹); T: temperatura do ar (°C); U₂: velocidade do vento à altura de 2 m (m s⁻¹); e_s:

pressão de saturação do ar (kPa); e_a: pressão de vapor atual do ar (kPa); (e_s - e_a): déficit de pressão de vapor (kPa); Δ: declividade da curva de pressão de vapor de saturação (kPa °C⁻¹) e γ: constante psicrométrica (0,0677 kPa °C⁻¹).

A radiação solar global (R_s), em $\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$, foi estimada a partir dos dados de insolação, por meio da equação de Angström - Prescott (ALLEN et al., 1998):

$$R_s = R_a \left(a + b \cdot \frac{n}{N} \right) \quad (2)$$

O método de Hargreaves-Samani (Pereira et al., 1997) foi utilizado conforme a equação (3):

$$E_{To} = 0,0023R_a(T_{\max_c} - T_{\min_c})^{0,5}(T + 17,8) \quad (3)$$

Sendo: R_a : radiação solar extraterrestre (mm dia^{-1}); T_{\max_c} : temperatura máxima do ar ($^{\circ}\text{C}$); T_{\min_c} : temperatura mínima do ar ($^{\circ}\text{C}$) e T : temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$).

Realizou-se a estimativa da E_{To} pelo método de Ivanov (Jensen, 1973) por meio da equação (4):

$$E_{To} = 0,006(25 + T_{\text{méd}})^2 \left(1 - \frac{UR_{\text{méd}}}{100} \right) \quad (4)$$

Em que T_m é a temperatura média em $^{\circ}\text{C}$ e UR é a umidade relativa do ar em %.

O método de Camargo (1971) foi utilizado conforme a equação (5):

$$E_{To} = 0,01R_aTaK \quad (5)$$

em que: R_a = radiação solar extraterrestre incidente acima da atmosfera no dia 15 de cada mês (mm d^{-1}). Para a obtenção de R_a em mm d^{-1} , dividem-se os valores em $\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$ por 2,45; K = fator de ajuste de Camargo

O método de Jensen-Haise (1963) foi utilizado conforme a equação (6):

$$E_{To} = R_s(0,025Ta + 0,008) \quad (6)$$

em que: T_a = temperatura média diária, $^{\circ}\text{C}$; R_s = radiação solar global convertida em unidades de água evaporada, mm.

O método Priestley-Taylor descrito por Pereira et al. (2002), foi calculado conforme a equação 7:

$$E_{To} = 1,26W(R_n - G) \div \lambda \quad (7)$$

Onde: λ : calor latente de vaporização a 20°C ($2,45 \text{ MJ. kg}^{-1}$); W : fator de ponderação em função da temperatura (T) e do coeficiente psicrométrico. Pode ser calculado segundo as seguintes equações:

$$W = 0,407 + 0,0145T \quad (0^{\circ}\text{C} < T < 16^{\circ}\text{C}) \quad (8)$$

$$W = 0,483 + 0,01T16, \quad 1^{\circ}\text{C} < T < 32^{\circ}\text{C}) \quad (9)$$

Os valores de E_{To} determinados pelo modelo de Penman-Monteith foram comparados com os obtidos pelos demais modelos, utilizando análise de correlação e regressão linear para obtenção dos coeficientes da equação ($Y = a + bx$) e do coeficiente de determinação (R^2). Para a exatidão dos métodos empíricos, foi realizada a análise para a determinação do índice de concordância (d) de Willmott et al. (1985), do índice de desempenho (c) e da estimativa do erro padrão (EEP), descrita por Allen et al. (1986), obtidos pelas equações 10, 11 e 12, e os valores do índice "c", interpretados de acordo com a Tabela 1 (CAMARGO; SENTELHAS, 1997).

$$d = 1 \frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (10)$$

Onde: d = coeficiente de concordância; P_i = evapotranspiração estimada pelo método testado (mm); O_i = evapotranspiração estimada pelo método padrão (mm); \bar{O} = média dos valores observados pelo método padrão (mm).

$$c = d \times r \quad (11)$$

Em que: c = índice de desempenho; r = coeficiente de correlação

$$EEP = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}}{n - 1} \quad (12)$$

COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NO MUNICÍPIO DE BOM JESUS, PI

Em que: EEP = Estimativa do erro padrão, em mm dia⁻¹; Oi = valores estimados pelo método padrão, em mm dia⁻¹; Pi = corresponde aos

valores estimados pelos métodos comparados ao padrão, em mm.dia⁻¹; n= número de observações.

Tabela 2. Classificação do desempenho segundo o índice de confiança “c”.

Valor de c	Desempenho
≥ 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,76	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Ruim
≤ 0,40	Péssimo

Fonte: Camargo e Sentelhas (1997).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Período anual

Os métodos que apresentaram melhor desempenho (Tabela 3) foram: Jensen-Haise

(c=0,9727; d= 0,9999; EEP= 0,32 mm.dia⁻¹), com valores bem próximos ao método padrão (Figura 1E) e Priestley-Taylor (c= 0,9612; d= 0,9998; EEP= 3,83 mm.dia⁻¹), mesmo superestimando os valores de ETo do método padrão (Figura 1D).

Tabela 3. Estimativa do erro padrão (EEP), coeficiente de determinação (R²), coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d) e índice de confiança (c) na escala diárias para o período anual, de 01 de janeiro de 2000 a 31 de dezembro de 2013, para o município de Bom Jesus, Piauí.

Métodos	Período anual					Desempenho
	EEP	R ²	r	d	c	
HS	1,69	0,3304	0,5748	0,9999	0,5747	Sofrível
IVN	4,84	0,2535	0,5035	0,9998	0,5034	Sofrível
CAM	1,12	0,2712	0,5208	0,9999	0,5207	Sofrível
PT	3,83	0,9242	0,9614	0,9998	0,9612	Ótimo
JH	0,32	0,9463	0,9728	0,9999	0,9727	Ótimo

HS= Hargreaves-Samani; IVN= Ivanov; CAM= Camargo; PT= Priestley-Taylor; JH= Jensen-Haise; EEP= estimativa do erro padrão; R²= coeficiente de determinação; r= coeficiente de correlação; d= coeficiente de concordância; c= índice de confiança.

O melhor desempenho da equação de Jensen-Haise justifica-se em virtude da mesma ter sido originada em regiões que possuem condições climáticas semelhantes às encontradas no local onde o presente estudo foi realizado (MEDEIROS, 2008). O uso de métodos de estimativa da evapotranspiração que utilizam poucas variáveis para a determinação da ETo, como é o caso do referido método, que necessita apenas da temperatura média do ar, é de grande importância, pois facilita o manejo da irrigação para os produtores (GONÇALVES et al., 2009). A superestimativa verificada para o

método de Priestley-Taylor é justificada pelo fato do mesmo ter sido desenvolvido para clima úmido.

Em estudo conduzido por Gonçalves et al. (2009), para o município de Sobral- CE, o método de Jensen-Haise apresentou índice de desempenho “c” classificado como “Bom”, apresentando índice de desempenho de 0,69, coeficiente de correlação “r” de 0,76, e estimativa de erro padrão (EEP) de 0,97 mm dia⁻¹. Em Uberlândia, Minas Gerais, Silva et al. (2011), usando o método de Priestley-Taylor, obtiveram índice de desempenho classificado como “ótimo”.

Os métodos de HS, IVN e CAM obtiveram desempenho caracterizado como Sofrível e apresentaram os índices: ($c=0,5747$; $d=0,9999$; $EEP=1,69 \text{ mm.dia}^{-1}$); ($c=0,5034$; $d=0,9998$; $EEP=4,84 \text{ mm.dia}^{-1}$) e ($c=0,5207$; $d=0,9999$; $EEP=1,12 \text{ mm.dia}^{-1}$

¹⁾, respectivamente (Tabela 3). Araújo et al. (2007), em Boa Vista, RR e Gonçalves et al., (2009) em Sobral, CE, também encontraram desempenho classificado como Sofrível, para os métodos de Hargreaves-Samani e Ivanov.

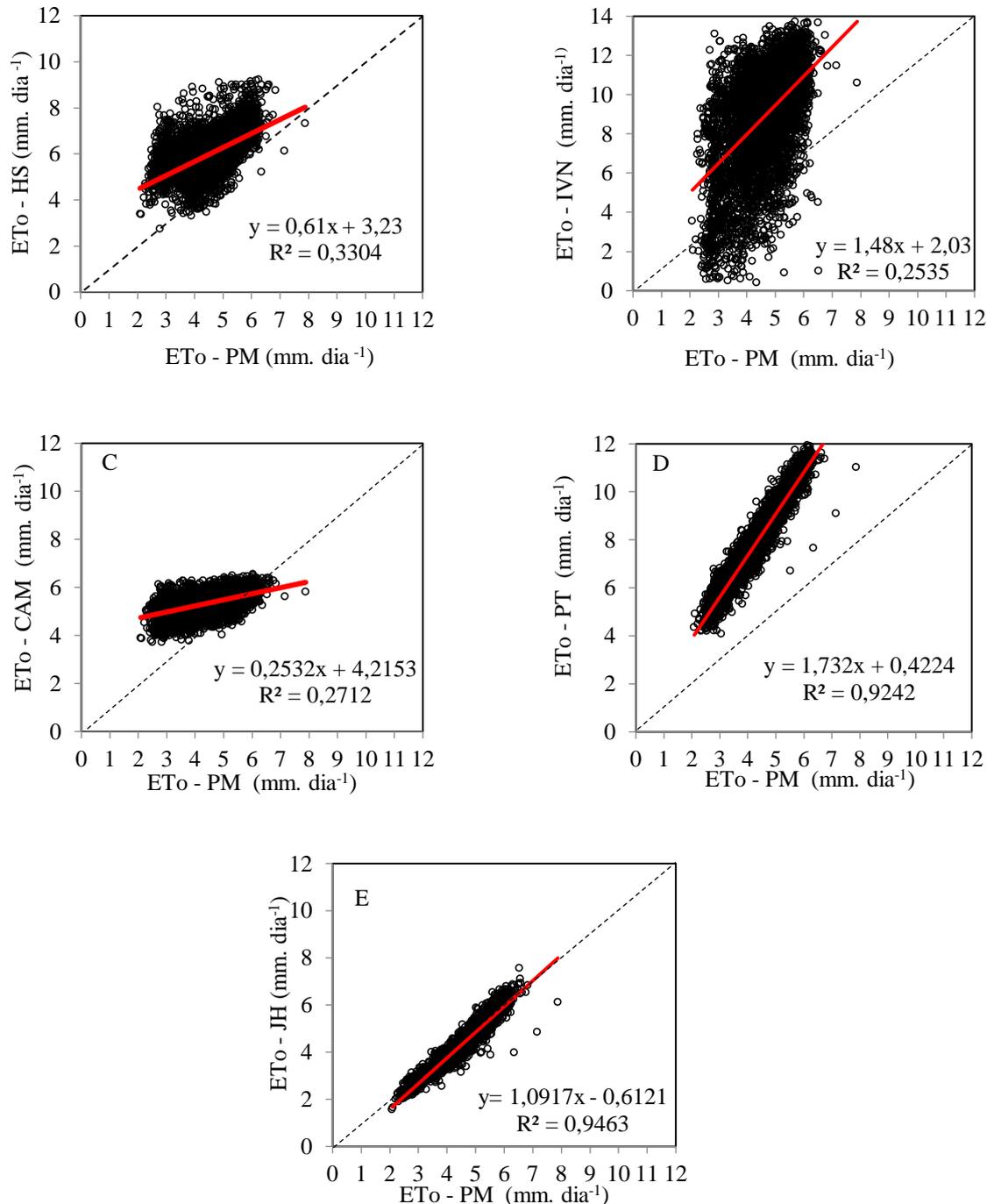


Figura 1. Regressão linear entre os valores diários de evapotranspiração de referência (ETo) estimados pela comparação dos métodos de Hargreaves-Samani (A), Ivanov (B), Camargo (C), Priestley-Taylor (D) e Jensen-Haise (E), com o método padrão, Penman-Monteith, no período anual, para o município de Bom Jesus, Piauí.

COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NO MUNICÍPIO DE BOM JESUS, PI

Período chuvoso

Na comparação dos dados realizados no período chuvoso, verificou-se que os métodos de Priestley-Taylor e Jensen-Haise novamente apresentaram os melhores desempenhos, com valores dos índices de confiança (c) de 0,9725 e 0,9823, respectivamente, sendo assim

classificados como Ótimos (Tabela 4), com superestimativa do método de Priestley-Taylor (Figura 2D). Os demais métodos continuaram apresentando desempenho classificado como Sofrível (Tabela 4), superestimando o método padrão em períodos do ano e subestimando em outros (Figura 2A, 2B e 2C).

Tabela 4. Estimativa do erro padrão (EEP), coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d) e índice de confiança ou desempenho (c) nas escalas diárias para o período chuvoso (novembro a abril), de 01 de janeiro de 2000 a 31 de dezembro de 2013, para a cidade de Bom Jesus, Piauí.

Período chuvoso						
Métodos	EEP	R^2	r	d	c	Desempenho
HS	1,99	0,3053	0,5526	0,9998	0,5524	Sofrível
IVN	4,22	0,2855	0,5343	0,9997	0,5342	Sofrível
CAM	1,20	0,2633	0,5131	0,9998	0,5130	Sofrível
PT	3,97	0,9462	0,9727	0,9997	0,9725	Ótimo
JH	0,27	0,9649	0,9823	0,9999	0,9823	Ótimo

HS= Hargreaves-Samani; IVN= Ivanov; CAM= Camargo; PT= Priestley-Taylor; JH= Jensen-Haise; EEP= estimativa do erro padrão; R^2 = coeficiente de determinação; r= coeficiente de correlação; d= coeficiente de concordância; c= índice de confiança.

Em estudo realizado no estado da Geórgia (EUA) e comparando os métodos Priestley-Taylor e Penman-Monteith, Suleiman;Hoogenboom (2007) encontraram valores de d variando de 0,95 a 0,99, semelhante ao encontrado no presente estudo. Em Nova Venécia, no norte do Estado do Espírito Santo, Souza et al. (2014), verificaram que no período chuvoso o método de Priestley-Taylor obteve melhor desempenho, também superestimando o método padrão. Em estudo similar realizado para o período chuvoso na região da Serra da Mantiqueira, MG, Pereira et al. (2009) verificaram que o método de Jensen-Haise também apresentou desempenho classificado como Ótimo.

Araújo et al. (2007), avaliando as estimativas de ETo pelos métodos de Thornthwaite, Hargreaves-Samani, Blaney-Criddle, Penman-Monteith-FAO, Tanque Classe “A” e Makkink, para o município de Boa Vista, RR, verificaram que o método de

Hargreaves-Samani apresentou desempenho Sofrível (c= 0,57), assim como no presente estudo. O método de Hargreaves-Samani foi obtido para a condição semiárida. Assim, o seu desempenho apresenta uma redução na precisão da estimativa da evapotranspiração nos meses chuvosos. (ALENCAR et al., 2011).

Para as condições de Rio Branco (AC), o desempenho do método de Camargo também não foi bom, sendo classificado como Péssimo, com valor de “c” igual a 0,33 (SOUZA, 2009). Segundo Souza et al. (2011) e Borges Júnior et al. (2012), é possível que durante o período mais chuvoso do ano, o método de Camargo apresente valores de “c” mais altos, uma vez que o desempenho desse modelo tende a ser melhor em condições de maior nebulosidade. Contudo, este comportamento não foi constatado no presente estudo, possivelmente em virtude das diferenças climáticas entre as regiões em que os estudos foram realizados e/ou ao fato da série de dados históricos utilizados serem distintas.

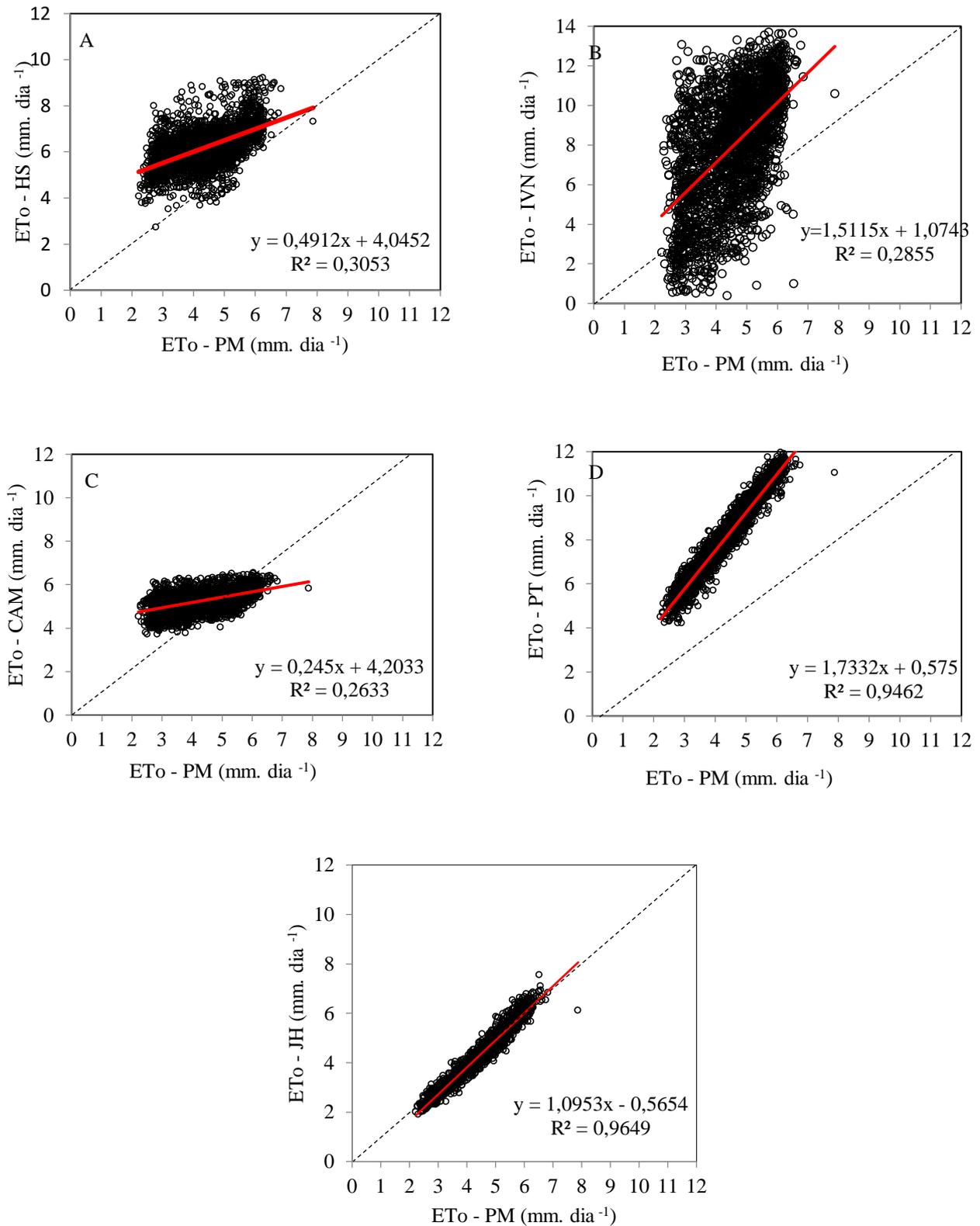


Figura 2. Regressão linear entre os valores diários de evapotranspiração de referência (ETo) estimados pela comparação dos métodos de Hargreaves-Samani (A), Ivanov (B), Camargo (C), Priestley-Taylor (D) e Jensen-Haise (E), com o método padrão, Penman-Monteith, durante o período chuvoso, no município de Bom Jesus, Piauí.

COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NO MUNICÍPIO DE BOM JESUS, PI

Período seco

No período seco, os métodos de Priestley-Taylor e Jensen-Haise continuaram com o mesmo desempenho observado nos períodos anual e chuvoso, sendo classificado como Ótimos (Tabela 5). Na região da Serra da Mantiqueira, MG, Pereira et al. (2009) verificaram o mesmo comportamento para o

método de Jense-Haise. Porém, o método de Priestley-Taylor apresentou redução elevada nos indicadores estatísticos, no período seco em relação aos obtidos para o período chuvoso. Segundo os autores, a variabilidade observada no desempenho da equação de Priestley-Taylor para o período chuvoso e seco, pode ser explicada pelo efeito da sazonalidade das chuvas no local.

Tabela 5. Estimativa do erro padrão (EEP), coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d) e índice de confiança ou desempenho (c) nas escalas diárias para o período seco (maio a outubro) de 01 de janeiro de 2000 a 31 de dezembro de 2013, para a cidade de Bom Jesus, Piauí.

Métodos	Período seco					Desempenho
	EEP	R^2	r	d	c	
HS	1,31	0,5189	0,7204	0,9998	0,7202	Bom
IVN	5,41	0,2356	0,4854	0,9996	0,4852	Mau
CAM	1,04	0,2829	0,5319	0,9998	0,5318	Sofrível
PT	3,69	0,9106	0,9542	0,9997	0,9539	Ótimo
JH	0,35	0,9219	0,9602	0,9999	0,9601	Ótimo

HS= Hargreaves-Samani; IVN= Ivanov; CAM= Camargo; PT= Priestley-Taylor; JH= Jensen-Haise; EEP= estimativa do erro padrão; R^2 = coeficiente de determinação; r = coeficiente de correlação; d = coeficiente de concordância; c = índice de confiança

O método de Hargreaves-Samani apresentou-se com desempenho caracterizado como Bom, com índices ($c=0,7202$; $d= 0,9998$; $EEP= 1,31 \text{ mm.dia}^{-1}$) (Tabela 5), sendo superior ao verificado no período anual e chuvoso, porém, continuou superestimando o método padrão (Figura 3A). O método de Hargreaves-Samani, ao contrário do método de Camargo, tende a apresentar melhor desempenho em condições de menor nebulosidade (SOUZA et al., 2011).

Contudo, Reis et al. (2007), avaliando métodos de estimativa da E_{To} para Venda Nova do Imigrante, Espírito Santo (ES), em comparação ao método padrão-FAO, no período seco (junho a agosto), em escala diária, obtiveram desempenho classificado como Bom para o método de Priestley-Taylor (PT), porém Péssimo para o método de Hargreaves-Samani (HS). Nesse estudo, o baixo desempenho do método de Hargreaves-Samani no período seco está associado a baixa variação de temperatura e radiação solar verificada no local de estudo. Chagas et al. (2013) no município de Rio Real, Bahia, concluíram que o método de

Hargreaves-Samani obteve avaliação inferior para todos os critérios de comparação com relação aos demais métodos de estimativa de E_{To} , tanto para o período seco quanto para o período úmido;

Os métodos de Ivanov (IVN) e Camargo (CM) continuaram apresentando baixo desempenho, com índices ($c= 0,4852$; $d= 0,9996$; $EEP= 5,41 \text{ mm.dia}^{-1}$) e ($c= 0,5318$; $d= 0,9998$; $EEP= 1,04 \text{ mm.dia}^{-1}$) (Tabela 5), sendo classificados com Mau e Sofrível, respectivamente, o que mostra que não adequados para o cálculo da necessidade hídricas das culturas no município de Bom Jesus em nenhum período do ano.

Em Mossoró, RN, Cavalcante Júnior et al. (2011) verificaram que no período seco, o método de Camargo também não apresentou boa performance ($r= 0,70$; $d= 0,51$ e $c= 0,35$), com desempenho classificado como Péssimo. Gonçalves et al., (2009) obtiveram para Sobral, CE pelo método de Ivanov, valor do índice de desempenho “ c ” classificado também como “Sofrível”

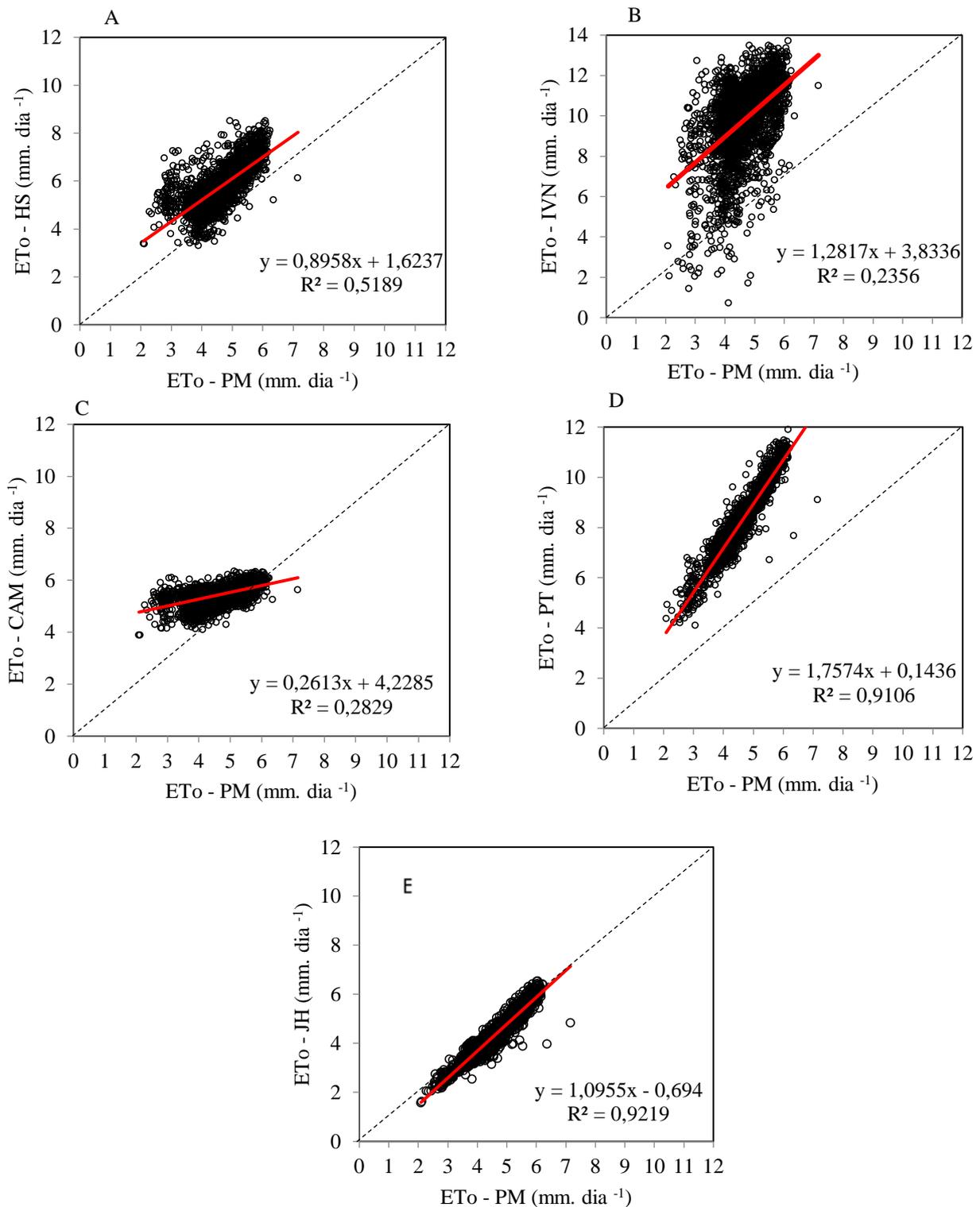


Figura 3. Regressão linear entre os valores diários de evapotranspiração de referência (ETo) estimados pela comparação dos métodos de Hargreaves-Samani (A), Ivanov (B), Camargo (C), Priestley-Taylor (D) e Jensen-Haise (E), com o método padrão, Penman-Monteith, durante o período seco, no município de Bom Jesus, Piauí.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, recomenda-se para as condições climáticas do município de Bom Jesus, PI, o uso da equação de Jensen-Haise para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, L. P.; DELGADO, R. C.; ALMEIDA, T. S.; WANDERLEY, H. S. Comparação de diferentes métodos de estimativa diária da evapotranspiração de referência para a região de Uberaba. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.6, n.2, p.337-343, 2011.
- ALLEN, R. G. A. Penman for all seasons. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.112, n.4, p.348-368, 1986.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Pan evaporation method. In: **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements**. Roma: FAO, p. 78-85, 1998. (Irrigation and Drainage, 56).
- ARAÚJO, G.L.; REIS, E.F. dos. MARTINS, C.A. da S.; BARBOSA, V.S.; RODRIGUES, R.R. Desempenho comparativo de métodos para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o). **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.5, n.2, p.84-95, 2011.
- ARAÚJO, W. F.; CONCEIÇÃO, M. A. F.; VENANCIO, J. B. Evapotranspiração de referência diária Em Boa Vista (RR) com base na temperatura do ar. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 155 - 169, 2012.
- ARAÚJO, W.F.; COSTA, S.A.A.; SANTOS, A.E. dos. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referencia (ET_o) para Boa Vista (RR). **Caatinga**, Mossoró, v.20, n.4, p.84-88, 2007.
- BASTOS, E. A.; FERREIRA, V. M.; SILVA, C. R. da; ANDRADE JUNIOR, A. S. de. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi no Vale do Gurguéia, Piauí. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 2, p. 182-190, 2008.
- BORGES JUNIOR, J.C.F.; ANJOS, R.J.; SILVA, T.J.A.; LIMA, J.R.S.; ANDRADE, C.L.T. 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.
- 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.
- CAMARGO, A.P. **Balço hídrico no Estado de São Paulo**. Campinas: IAC. 28p. 1971. (Boletim Técnico, 116).
- CAVALCANTE JÚNIOR, E. G.; OLIVEIRA, A. D.; ALMEIDA, B. M.; SOBRINHO, J. E. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para as condições do semiárido Nordeste. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, p. 1699-1708, 2011.
- GONCALVES, F.M.; FEITOSA, H. de O.; CARVALHO, C.M. de; GOMES FILHO, R.R.; VALNIR JUNIOR, M. Comparação de métodos da estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Sobral, CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.3, n.2, p.71-77, 2009.
- GUEDES FILHO, D. H.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; COSTA FILHO, J. F.; FRANCISCO, P. R. M.; CAMPOS, V. B. Estimativa da evapotranspiração de referência para a cidade de Areia, Paraíba. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.5, n.º. 1, p.37-47, 2011.

JENSEN, M. E.; HAISE, H. R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. *J. Irrigation and Drainage*. **American Society Civil Engineers**, New York v.4, p.15-41, 1963.

JENSEN, ME (ed.). Consumptive use of water and irrigation water requirements. **American Society of Civil Engineers**, New York, USA, 215p.1973.

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. 241f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). Universidade de São Paulo, São Paulo.

OLIVEIRA, G.M.; LEITÃO, M.M.V.B.R.; BISPO, R.C.; SANTOS, I.M.S.; ALMEIDA, A.C. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência na região Norte da Bahia. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.4, n.2, p.104–109, 2010.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia – fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Ed. Agropecuária. 478p. 2002.

OLIVEIRA, V. M. R.; DANTAS, G. F.; PALARETTI, L. F.; DALRI, A. B.; SANTOS, M. G.; FILHO, J. A. F. Estimativa de evapotranspiração de referência na região de rio Paranaíba-MG. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 4, p. 790-798, 2015.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração**. 1.ed. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PEREIRA, D.R.; YANAGI, S.N.M.; MELLO; C.R.; SILVA, A.M.; SILVA, L.A. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região da Serra da Mantiqueira, MG. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.9, p. 2488-2493, 2009.

REIS, E. F.; BRAGANÇA, R.; GARCIA, G. O.; PEZZOPANE, J. E. M.; TAGLIAFERRE, C. Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do estado do espírito santo no período seco. **Idesia**, Chile, v.25, n.3, p.75-84, 2007.

SILVA, V. de P. R.; CAMPOS, J. H. B. C.; AZEVEDO, P. V. de. Wateruse efficiency and evapotranspiration of mango orchard grown in northeastern region of Brazil. **Scientia Horticulturae**, Gritish Columbia, v.1, n.120, p.467-472, 2009.

SILVA, V. J. da.; CARVALHO, H. de P.; SILVA, C. R. da.; CAMARGO, R. de.; TEODORO, R. E. F. Desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária em Uberlândia, MG. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.27, n.1, p.95-101, 2011.

SOUZA, A.P. de; CARVALHO, D.F. de; SILVA, L.B.D. da; ALMEIDA, F.T. de; ROCHA, H.S. da. Estimativas da evapotranspiração de referência em diferentes condições de nebulosidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.3, p.219-228, 2011.

SOUZA, J. M.; PEREIRA, L. R.; RAFAEL, A. M.; SILVA, L. D.; REIS, E. F.; BONOMO, R. Comparison of methods for estimating reference evapotranspiration in two locations of Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agricultura**, Fortaleza, v.8, nº. 2, p. 114 - 126, 2014.

SOUZA, M.L.A. de. **Comparação de métodos de estimativa de evapotranspiração de referência (ET_o) em Rio Branco, Acre**. 2009. 75f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal do Acre, Rio Branco.

SULEIMAN, A. A.; HOOGENBOOM, G. Comparison of Priestley-Taylor and FAO-56

COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NO MUNICÍPIO DE BOM JESUS, PI

Penman-Monteith for Daily Reference Evapotranspiration Estimation in Georgia. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York ,v. 133, p.175-82, 2007.

VIANA, T. V. de A.; AZEVEDO, B. M de. **Meteorologia e climatologia agrícolas.**

Fortaleza, CE. Universidade Federal do Ceará, 2008.

WILLMOTT, C. J., CKLESON, S.G., DAVIS, R. E. Statistics for the evaluation and comparision of models. **Journal of Geophysical Research**. Ottawa, v. 90, n. 5, p. 8995 – 9005, 1985.