



Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.3, n.2, p.71-77, 2009
 ISSN 1982-7679 (On-line)
 Fortaleza, CE, INOVAGRI – <http://www.inovagri.org.br>
 Protocolo 016.09 - 17/03/2009 Aprovado em 12/08/2009

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA O MUNICÍPIO DE SOBRAL-CE

Fabrcio Mota Gonçaves¹, Hernandes de Oliveira Feitosa², Clayton Moura de Carvalho³,
 Raimundo Rodrigues Gomes Filho⁴ & Manoel Valnir Júnior⁵

¹ Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, fabriciomota21@yahoo.com.br

² Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, hernandes.oliveira@gmail.com

³ Doutorando em Eng. Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Prof. FATEC, carvalho_cmc@yahoo.com.br

⁴ Doutor em Eng. Agrícola, Professor da UFG, rrgomesfilho@hotmail.com

⁵ Doutor em Eng. Agrícola, Professor do IFET-Sobral, valnirjvm@hotmail.com

RESUMO: A agricultura irrigada para que haja sucesso necessita de um manejo adequado de forma a suprir as necessidades hídricas das culturas, a lâmina a ser aplicada e o momento correto da irrigação. Tendo em vista esta preocupação o presente trabalho visa mostrar a correlação entre o método Penman-Monteith-FAO e Hargreaves & Samani, Ivanov, Camargo e Jensen-Haise na estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Sobral, Ceará, como uma alternativa de manejo para os pequenos agricultores da região. Os dados foram coletados a partir de uma estação automática localizada em Sobral na zona norte do Estado do Ceará, sob coordenadas geográficas de 3°41'03" de latitude sul, 40°20'24" de longitude oeste Greenwich e altitude aproximada de 70 m. Conforme classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw', quente, com chuvas de verão e máximas em outono. Foram quantificados valores diários das temperaturas máxima (Tmáx), média (Tmed) e mínima (Tmín); umidade relativa do ar: (URmáx), média (URmed.), mínima (URmín.); radiação solar (Rs); precipitações e velocidade do vento a 2m (Vv). Os dados foram obtidos de 01 de janeiro de 2006 a 28 de dezembro de 2006. Os métodos que utilizam apenas dados de temperatura mostraram-se como uma alternativa de estimativa da ETo e manejo da irrigação para a agricultura familiar no município de Sobral, Ceará. Com a utilização deste método de controle da ETo para aplicação da lâmina de irrigação pode-se reduzir o desperdício de água na região.

Palavras-chave: Manejo de irrigação, agrometeorologia, controle da irrigação.

COMPARISON OF METHODS FOR ESTIMATING THE EVAPOTRANSPIRATION OF REFERENCE FOR THE CITY OF SOBRAL-CE

ABSTRACT: The irrigated agriculture to achieve success we need a proper management in order to meet the water requirements of crops, the blade being applied correctly and the time of irrigation. In view of this concern the present work aims to show the correlation between the method-FAO Penman-Monteith and Hargreaves & Samani, Ivanov, Camargo and Jensen-Haise the estimation of reference evapotranspiration for the city of Sobral, Ceará, as an alternative management for small farmers in the region. Data were collected from an automatic station located in Sobral in the northern state of Ceará, in geographical coordinates of 3 ° 41'03 "south latitude, 40 ° 20'24" west longitude and Greenwich altitude of approximately 70 m. As classification of Köppen, the climate of the region is the type Aw ', hot, with rains in summer and maximum in autumn. Were quantified values of daily maximum temperatures (Tmáx), middle (Tmed) and minimum (Tmin); relative humidity: maximum (URmáx),

middle (UR_{méd}) and minimum (UR_{mín.}); solar radiation (R_s); rainfall and wind speed in 2m (V_v). Data were obtained from 01 January 2006 to 28 December 2006. The methods that use only the temperature data showed itself as an alternative estimate of E_{To} and irrigation management for family farming in the city of Sobral, Ceará. With the use of this method of controlling the application of E_{To} for irrigation levels one can reduce the waste of water in the region.

Key words: Irrigation management, agrometeorology, control of irrigation.

INTRODUÇÃO

De uma forma geral, podemos notar a preocupação mundial no que se refere às boas práticas de conservação do meio ambiente como um todo. A sustentabilidade é a palavra chave nos dias atuais em todos os meios exploratórios. Para que haja sucesso na produção irrigada e sustentabilidade da produção e produtividade, vários aspectos devem ser considerados, manejo adequado do solo, água e da cultura entre outros.

Talvez o ponto que exija maior cuidado seja o manejo da irrigação, a condução da cultura irrigada definindo-se de forma precisa às necessidades hídricas da cultura e a lâmina e o momento da irrigação mais adequada.

Segundo Bernardo & Mantovani (2006), a determinação da quantidade de água necessária para as culturas é um dos principais parâmetros para o correto planejamento, dimensionamento e manejo de qualquer sistema de irrigação. Sua quantificação é realizada fazendo-se o balanço hídrico da camada do solo ocupada pelo sistema radicular da cultura, o qual tem, na evapotranspiração e na precipitação pluviométrica, seus principais componentes. Ela é controlada pelo balanço de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas. Pereira et al. (1997), definem a evapotranspiração como um elemento climatológico fundamental, que corresponde ao processo oposto da chuva, também expressa em milímetros. Bernardo et al. (1996) relatam que a Evapotranspiração de referencia (E_{To}) pode ser determinada por métodos diretos e indiretos.

O método direto (lisímetro), apesar de apresentar ótimos resultados, utiliza

equipamentos de custo muito elevado, tornando-se inviável sua utilização no manejo da agricultura irrigada no dia a dia. Já os métodos indiretos oferecem a estimativa da E_{To}, sendo o método Penman-Monteith-FAO considerado padrão. Outros métodos são utilizados para se estimar a evapotranspiração de referência, como os métodos Radiação Solar, Makkink, Linacre, Jensen-Haise, Camargo, Ivanov, Hargreaves-Samani, Tanque Classe “A” e outros.

Para a utilização do método padrão-FAO são empregados dados de temperatura (T) e umidade relativa do ar (UR), radiação solar (R_s) e velocidade do vento (V). Os produtores rurais, contudo, nem sempre dispõem desses dados, sendo necessária a utilização de métodos mais simples para o cálculo de E_{To}. Outro método bastante utilizado é denominado de Tanque classe “A”, o mesmo é bastante fácil de ser manejado e necessita apenas da evaporação do tanque (ECA) e de um coeficiente chamado de coeficiente do tanque (K_p). Entretanto, o tanque é um equipamento de custo elevado, principalmente para agricultores familiares.

Métodos que utilizam somente a temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação solar para a estimativa da E_{To} também podem ser empregados pelos produtores para o manejo da irrigação. Conceição & Marin (2003) observaram um coeficiente de determinação (R²) igual a 0,84 entre os valores mensais de E_{To} determinados pelo método de Penman-Monteith-FAO e os valores obtidos pelo método de Hargreaves & Samani (SAMANI, 2000), sob as condições do noroeste paulista.

Este trabalho visa mostrar a correlação entre o método Penman-

Comparação de métodos da estimativa da evapotranspiração de referência para o 73 município de Sobral-CE

Monteith-FAO e Hargreaves & Samani (1985), Ivanov (JENSEN, 1973), Camargo (1971) e Jensen-Haise (1963) na estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Sobral, Ceará, como uma alternativa de manejo para os pequenos agricultores da região.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados foram coletados a partir de uma estação automática localizada em Sobral na zona norte do Estado do Ceará, sob coordenadas geográficas de 3°41'03" de latitude sul, 40°20'24" de longitude oeste Greenwich e altitude aproximada de 70 m.

Conforme classificação de Köppen citado por Aragão (2005), o clima da região é do tipo Aw', quente, com chuvas de verão e máximas em outono. São dados climáticos da região: temperaturas máximas variando de 36° C em outubro e de 31,2° C em maio e mínimas entre 23,2° C em dezembro e 21° C em julho; as chuvas são da ordem 833 mm anuais ocorrendo cerca de 800 mm em janeiro a junho, e 33 mm de julho a dezembro. A umidade relativa média é 68,42 mm e a insolação anual é de 2556,0 h (BRASIL, 1900).

Foram quantificados valores diários das temperaturas máxima (T_{máx}), média (T_{méd}) e mínima (T_{mín}), umidade relativa máxima do ar (UR_{máx}), umidade relativa média do ar (UR_{méd}), umidade relativa mínima do ar (UR_{mín}), radiação solar (R_s), precipitações e velocidade do vento a 2m (V_v). Os dados foram obtidos de 01 de janeiro de 2006 a 28 de dezembro de 2006.

A evapotranspiração de referência (E_{To}) foi calculada pelo método de Penman-Monteith-FAO (E_{To}PM), equação (01).

$$E_{To} = \frac{0,408\Delta,40 - G + \gamma \frac{900}{(T+273)} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0,34U_2)} \quad (1)$$

em que: R_n e G têm as mesmas unidades ($MJ.m^{-2}.dia^{-1}$); T é a temperatura média diária ($^{\circ}C$); U_2 é a

velocidade média do vento medida a 2m (ms^{-1}); 0,408 corresponde a $1/\lambda$ sendo λ o calor latente de evaporação da água igual a $2,45MJ.kg^{-1}$ a $20^{\circ}C$; 900 é um coeficiente gerado para a condição de uma cultura de referência ($kJ^{-1}.kg.K^{\circ}.d^{-1}$), que envolve os valores constantes da equação.

O método de Hargreaves & Samani (PEREIRA et al., 1997) (E_{To}HS) foi utilizado, conforme a equação (02).

$$E_{To} = 0,023 \times Ra \times (T_{máx} - T_{mín})^{0,5} \times (T_{méd} + 17,8)$$

em que: E_{To} é a evapotranspiração de referência ($mm.dia^{-1}$), R_a é a radiação solar no topo da atmosfera, expressa em equivalente de evaporação ($mm.dia^{-1}$), que varia com o mês e a latitude do local e T_{máx}, T_{mín} e T_{méd} são as temperaturas máxima, mínima e média do ar, respectivamente ($^{\circ}C$).

Realizou-se a estimativa da E_{To} pelo método de Camargo (1971) conforme a equação (03).

$$E_{To} = F \times Q_o \times T \quad (3)$$

em que: F é um fator de ajuste em função da temperatura média local, Q_o é a radiação extraterrestre diária em $mm.dia^{-1}$ e T temperatura média diária em $^{\circ}C$.

Realizou-se a estimativa da E_{To} pelo o método de Jensen-Haise (1963) de acordo com a equação (04).

$$E_{To} = R_s \times (0,0252 \times T + 0,078) \quad (4)$$

em que R_s é a radiação solar em $mm.dia^{-1}$ e T a temperatura $^{\circ}C$.

Estimou-se a E_{To} por meio do método de Ivanov (JENSEN, 1973), calculado por meio da equação (05).

$$ET_o = 0,006 \times (25 + T_m)^2 \times \left(1 - \frac{UR_m}{100}\right) \quad (5)$$

Em que T_m é a temperatura média em °C e UR é a umidade relativa do ar em %.

Por meio do programa computacional Excel 2003[®] foram calculadas as estimativas da evapotranspiração de referência para Penman-Monteith-FAO (ET_oPM) e os demais métodos.

Os valores diários de ET_o para os métodos testados foram comparados com os de ET_o calculados pelo método padrão utilizando-se regressão linear, obtendo-se os respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Aplicou-se ainda o teste desenvolvido por Willmott (1981), que através de um coeficiente designado concordância ou exatidão (designado pela letra “d”), quantifica matematicamente a dispersão dos dados em relação ao método considerado padrão, sendo calculado pela equação (06).

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (6)$$

onde, d = coeficiente de concordância, P_i = evapotranspiração estimada pelo método testado (mm), O_i = evapotranspiração estimada pelo método padrão (mm) e O = média dos valores observados pelo método padrão (mm).

Utilizou-se um índice de confiança “c”, ferramenta estatística de comparação proposta por Camargo & Sentelhas (1997), que serve como indicador de desempenho dos métodos, reunindo os índices de precisão “r” e de exatidão “d”, sendo expresso na equação (07).

$$c = r \times d \quad (7)$$

Os valores desse índice “c” variam de 0,0 para nenhuma concordância a 1,0 para concordância perfeita entre os dados,

qualificando os resultados de acordo com a Tabela 01.

Tabela 1 - Classificação do desempenho segundo o índice de confiança “c”.

Valor de “c”	Desempenho
$\geq 0,85$	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

Os métodos avaliados em relação à Penman-Monteith-FAO (ET_oPM) mostraram uma boa correlação para Hargreaves & Samani (1985) e Jensen-Haise (1963), já o método de Ivanov (JENSEN, 1973) e Camargo (1971) não apresentaram resultados satisfatórios. Os valores de a, c, d, r e o erro padrão de estimativa SSE para cada método alternativo aplicado estão relacionados na tabela 02.

Tabela 2 - Relação dos coeficientes analisados.

	A	c	d	r	SSE	Desempenho
IVANOV	0,9654	0,57	0,93	0,61	1,18	Sofrível
HS	0,9524	0,76	0,93	0,81	0,79	Muito bom
JH	0,8447	0,69	0,92	0,76	0,97	Bom
CAMARGO	1,1032	0,23	0,35	0,66	1,61	Péssimo

Observou-se que o coeficiente angular da reta de regressão, passando pela origem para o método de Jensen-Haise (1963) e Hargreaves & Samani (1985), aproximou-se de 1, fato este também observado por Conceição & Marin (2005), segundo os mesmos autores, este fato demonstra que o método testado apresenta boa exatidão. A relação entre o método padrão da FAO e os métodos testados encontram-se nas figuras abaixo.

Comparação de métodos da estimativa da evapotranspiração de referência para o 75 município de Sobral-CE

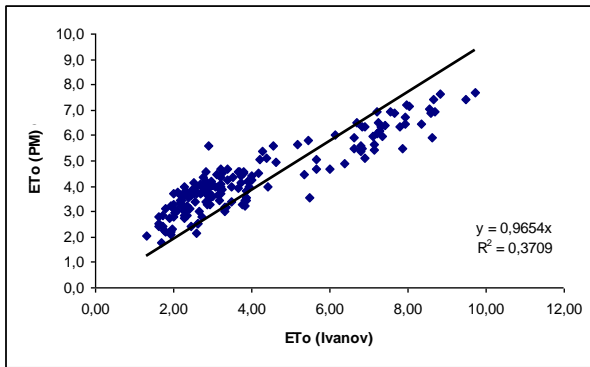


Figura 01. Relações entre os valores diários da evapotranspiração de referência calculados pelos métodos de Ivanov e de Penman-Monteith-FAO (E_{ToPM}).

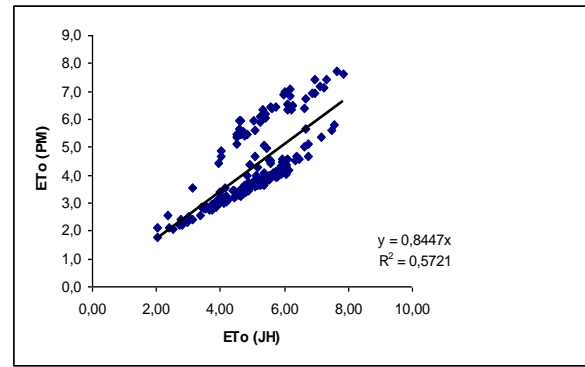


Figura 4. Relações entre os valores diários da evapotranspiração de referência calculados pelos métodos de Jensen-Haise e de Penman-Monteith-FAO (E_{ToPM}).

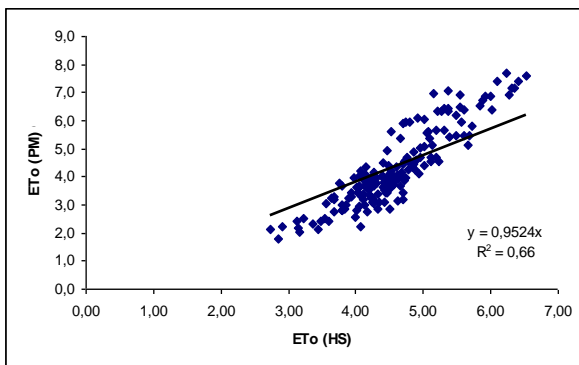


Figura 2. Relações entre os valores diários da evapotranspiração de referência calculados pelos métodos de Hargreaves-Samani e de Penman-Monteith-FAO (E_{ToPM}).

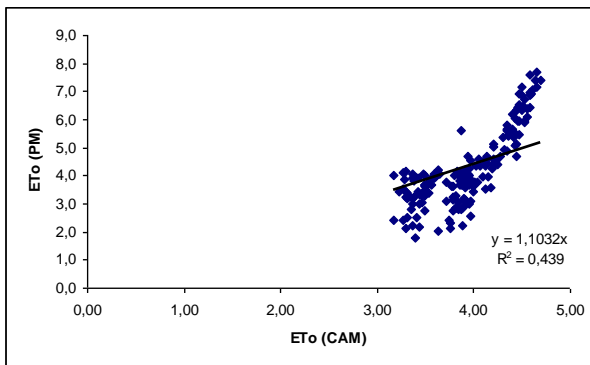


Figura 3. Relações entre os valores diários da evapotranspiração de referência calculados pelos métodos de Camargo e de Penman-Monteith-FAO (E_{ToPM}).

O índice de confiança “c” entre o método padrão FAO e Hargreaves & Samani (1985) foi de 0,76, considerado muito bom de acordo com Camargo & Sentelhas (1997). Conceição (2005) também encontrou resultados semelhantes para o município de Jales, São Paulo. Já Medeiros (2002) encontrou um coeficiente de confiança “c” de 0,45 para o município de Paraipaba, Ceará. Tal resultado obtido por Medeiros (2002) pode ser justificado pela baixa variação de temperatura e radiação solar na região litorânea do Ceará.

O método Jensen-Haise (1963) foi considerado bom, apresentando um índice de confiança de 0,69. A estimativa da evapotranspiração obtido pelo mesmo método mencionado anteriormente é ainda mais fácil comparada com Hargreaves & Samani (1985), pois necessita apenas da temperatura média do ar.

A boa confiabilidade dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência que utilizam apenas a temperatura para a região estudada pode ser justificada pela variação de temperatura e radiação solar no local, como é mostrado nas figuras (6) e (7).

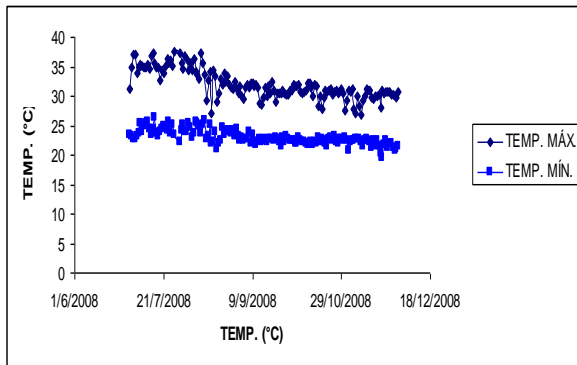


Figura 6. Variação da temperatura em função dos dias observados.

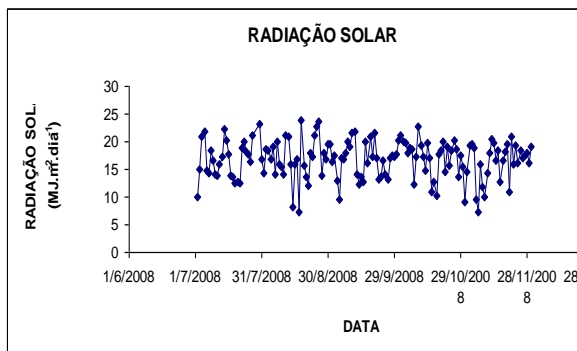


Figura 7. Variação da radiação solar em relação aos dias observados.

O uso de métodos de estimativa da evapotranspiração que utilizam poucas variáveis para a determinação da ETo é de grande importância para a região de Sobral, o uso da temperatura do ar para a estimativa da ETo facilita o manejo da irrigação para os produtores. Segundo Conceição & Marin (2005), o método de Penman-Monteith- FAO requer variáveis nem sempre disponíveis, bem como o método do tanque Classe “A”, que utiliza informações de umidade relativa do ar e velocidade do vento para a determinação do Kp. Além disso, o uso do tanque Classe “A” apresenta um custo maior de instalação e maior necessidade de manutenção do que os métodos baseados na temperatura do ar, como é o caso dos Hargreaves & Samani (1985) que requerem tão somente um abrigo meteorológico e um termômetro de máxima e mínima.

CONCLUSÕES

Os métodos que utilizam apenas dados de temperatura mostraram-se como uma alternativa de estimativa da ETo e manejo da irrigação para a agricultura familiar no município de Sobral, Ceará. Com a utilização deste método de controle da ETo para aplicação da lâmina de irrigação pode-se reduzir o desperdício de água na região.

Nas condições climáticas do local de estudo, para os métodos avaliados, o método de Hargreaves & Samani apresentou melhor índice de confiança com 0,76 (muito bom), mostrando-se maior confiabilidade na estimativa da evapotranspiração de referência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAGÃO, V. F. **Produção de Pimentão (*Capsicum annuum*) em Diferentes Níveis de Nitrogênio e Lâminas de Irrigação**. Dissertação (Mestrado em irrigação e drenagem). Campina Grande (PB), 2005.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C.. **Manual de Irrigação**. 08.ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 625p
- BERNARDO, S.; SOUSA, E.F.; CARVALHO, J.A. **Estimativa da evapotranspiração de referência (ETo), para as “áreas de baixada e de tabuleiros” da região Norte Fluminense**. Campos dos Goytacazes: UENF, 1996. 14 p. Boletim Técnico.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Plano Estadual dos Recursos Hídricos do Ceará: dados climatológicos de Sobral – Ce (1961 – 1988)**. Brasília, 1990.
- 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**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

**Comparação de métodos da estimativa da evapotranspiração de referência para o 77
município de Sobral-CE**

- CAMARGO, A. P. **Balço hídrico no Estado de São Paulo**. 3a.ed., Campinas, IAC. 24 p. 1971. (Bol.116).
- CONCEIÇÃO, M. A. F.; MANDELLI, F. Estimativa da evapotranspiração de referência diária para a região de Bento Gonçalves, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, 2005.
- CONCEIÇÃO, M.A.F.; MARIN, Estimativa da evapotranspiração de referência 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, 2003.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from teperature. **Applied Engineering Agriculture**, v.1, n.2, p.96-99, 1985.
- JENSEN, M.E., HAISE, H.R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. J. Irrigation and Drainage. **Div. Proc. Am. Soc. Civil Engeneers**. v. IR4, p. 15-41, 1963.
- JENSEN, ME (ed.), 1973. Consumptive use of water and irrigation water requirements. **American Society of Civil Engineers**, New York, USA, 215 pp.
- MEDEIROS, ALMIRO TAVARES. **Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas em Paraipaba**, Ce. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. – Piracicaba, 2002.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração**. 1.ed. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.
- SAMANI, Z. Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v.126, n.4, p.265-267, 2000.
- WILLMOTT, C.J. On the validation of model. **Phys. Geogr.**, 2:184-94, 1981.