

COMPARAÇÃO ENTRE DOIS MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA SANTO ANTÔNIO DE GOIÁS, GO: HARGREAVES VERSUS PENMAN-MONTEITH

Diego Simões Fernandes
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – (EMBRAPA - Arroz e Feijão)
Rod. Goiânia Nova Veneza, km 12, CEP 75375-000 - Santo Antônio de Goiás-GO, Brasil
diegosifer@cnpaf.embrapa.br

Alexandre Bryan Heinemann
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – (EMBRAPA - Arroz e Feijão)
Rod. Goiânia Nova Veneza, km 12, CEP 75375-000 - Santo Antônio de Goiás-GO, Brasil
alexbh@cnpaf.embrapa.br

Rosidalda Lopes F. da Paz
Sistema de Meteorologia e Hidrologia do Estado de Goiás – SIMEHGO
Rua 82 s/nº Palácio Pedro Ludovico Teixeira 2ºAndar Setor Sul, Goiânia-GO, Brasil
dalvapaz@yahoo.com.br

André de Oliveira Amorim
Sistema de Meteorologia e Hidrologia do Estado de Goiás – SIMEHGO
Rua 82 s/nº Palácio Pedro Ludovico Teixeira 2ºAndar Setor Sul, Goiânia-GO, Brasil
amorim_go@yahoo.com.br

Denis Francis de Oliveira
Sistema de Meteorologia e Hidrologia do Estado de Goiás – SIMEHGO
Rua 82 s/nº Palácio Pedro Ludovico Teixeira 2ºAndar Setor Sul, Goiânia-GO, Brasil
denis.engineer@gmail.com

Abstract. The objective of this work was to evaluate the Hargreaves evapotranspiration method of reference and to compare it to Penman-Monteith method, which is recommended for the Organization of United Nations for Feeding and Agriculture (FAO) as standard method for estimate reference evapotranspiration (ET_o). The values of ET_o from both methods were correlated to observe the estimated values. The ET_o estimated values did not show a good coefficient of regression in sazonal scale, except for the winter months, due to less precipitation in the winter months. It was possible to conclude that the estimated values of ET_o by Hargreaves method show the same trend that Penman-Montheith method, but overestimate the values. There is a need to adjust the results obtained by Hargreaves method. The best adjustment was found dividing the Hargreaves values by 3.

Resumo. Este trabalho teve como objetivo avaliar o método de estimativa de evapotranspiração de referência de Hargreaves, comparando-o com o método de Penman-Monteith (PM), recomendado pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) como método padrão para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o), para a cidade de Santo Antônio de Goiás, GO. Os valores de ET_o dos dois métodos foram correlacionados para observar a dependência dos valores estimados. Os valores estimados de ET_o não apresentaram um bom coeficiente de regressão em escala sazonal, exceto para os meses de inverno, e isso se deve, porque nos meses de inverno foram observados as menores precipitações da serie de dados. Conclui-se que os valores de ET_o estimados pelo método de Hargreaves estão em fase com os valores estimados pelo método de Penman-Monteith. Entretanto, há a necessidade de ajustar os valores encontrados, já que esse método superestima os valores de ET_o encontrados por PM em 3 vezes.

1. INTRODUÇÃO

Uma das atividades que mais consomem os recursos hídricos é a agricultura. Com uma população cada vez mais crescente, a demanda por alimentos é cada vez maior, e isso faz com que o consumo de água através da agricultura aumente. No Brasil, a partir dos anos 80 ocorreu uma expansão na

agricultura irrigada, principalmente com adoção de novos métodos ou técnicas de irrigação pressurizadas (Coelho et al. 2004).

Para se produzir com qualidade, reduzindo-se os impactos ambientais e obtendo uma maior produtividade, é exigido da comunidade científica, novos conhecimentos sobre as reais necessidades hídricas das culturas. Assim são associados sistemas ou métodos de irrigação, visando aplicar a quantidade certa e no momento certo que a planta requer, com adoção de manejo da água na propriedade, objetivando primeiramente a diminuição dos impactos ambientais negativos sobre os recursos hídricos, no processo de irrigação, proporcionando o uso eficiente da água, com a utilização de métodos ou técnicas mais apropriadas, com o conhecimento dos estudos das variáveis meteorológicas que quantificam as necessidades hídricas das plantas.

Com o conhecimento das variáveis meteorológicas registrados nas estações tanto convencionais como automáticas, é possível a quantificação da evapotranspiração (ET_o), possibilitando conhecer os potenciais hídricos diários, mensais e anuais de uma região, necessária para satisfazer as necessidades reais hídricas das culturas a serem implantadas.

A determinação da ET_o é um problema compartilhado por várias ciências que estudam o sistema solo-planta-atmosfera. Devido à necessidade de se conhecer a perda d'água de superfícies vegetadas, vários pesquisadores desenvolveram métodos de estimativa de ET_o. Existem vários métodos para estimativa de ET_o, sendo que muitos tem aceitação quase que unânime, enquanto outros são bastante criticados e até desprezados.

Uma maneira frequente utilizada para verificar a eficiência de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, que possibilitam a utilização de um menor número de variáveis, é por meio da comparação destes com o método de Penman-Monteith (PM), parametrizado pela FAO.

Allen et al. (1998) tem proposto que quando os dados não são suficientes para calcular a evapotranspiração de referência pelo método de PM, padrão FAO, então o método de Hargreaves (HG) pode ser utilizado. Entretanto, este método geralmente superestima o valor da evapotranspiração de referência em locais úmidos. Trajkovic (2005) conduziu um estudo para avaliar a confiabilidade de alguns métodos baseados em valores de temperatura com o método de PM para condições úmidas na Servia (sudeste da Europa). Os resultados encontrados com

o método de Hargreaves tem sido de bom entendimento com dados de locais úmidos relatados também por Jensen et al. (1990), Amatya et al. (1995), Itenfisu et al. (2003), e por Temesgen et al. (2005).

O objetivo deste trabalho é avaliar o método de HG para a estimativa de evapotranspiração de referência diária para locais em que não se coleta todas as variáveis necessárias para o cálculo do método de PM, padrão FAO. Tendo em vista que o cálculo desta variável está em processo de implantação e será disponibilizado no sítio do Sistema de Meteorologia e Hidrologia do Estado de Goiás (SIMEHGO) como um produto para suporte e tomadas de decisão no manejo da irrigação, face necessário uma avaliação de métodos substitutos ao PM. Na primeira análise utilizou-se o município de Santo Antônio de Goiás, GO, para o teste dos algoritmos que serão utilizados nos cálculos dos dois métodos.

2. DADOS E METODOLOGIA

O estudo foi baseado em dados coletados na estação meteorológica automática de Santo Antônio de Goiás (Lat. 16,48 S; Lon. 49,3 W; Altitude 823m), localizada na fazenda Capivara, (Embrapa - Arroz e Feijão).

2.1 Dados climáticos

Os dados meteorológicos são de 1983 a 2004, totalizando 22 anos de dados diários das variáveis climáticas. Temperatura Máxima do ar (°C), Temperatura Mínima do ar (°C), Umidade Relativa do ar (%), Velocidade do Vento a 10 metros de altura (m/s) e Radiação Solar Global (MJ/m².dia).

A velocidade do vento foi convertida para 2 metros para poder utilizar no cálculo da evapotranspiração de referência de PM.

2.2 Metodologia

Este trabalho visa avaliar o método de HG como substituto ao cálculo da evapotranspiração de referência de PM, em locais que não estejam disponíveis os dados necessários para o cálculo da evapotranspiração pelo método de PM.

O cálculo desta variável está sendo disponibilizado na página de produtos da agricultura do SIMEHGO, na qual após o usuário escolher/selecionar o produto desejado, neste caso evapotranspiração de referência, retornará outra página com os dois métodos para escolha do método..

As equações para o cálculo da ETo pelos dois métodos são apresentadas abaixo:

2.2.1 Método de Penman-Monteith

A estimativa da evapotranspiração de referência pelo método PM, padrão FAO, considera a resistência estomática de 70 sm^{-1} e a altura da cultura hipotética fixada em 0,12m (Allen et al., 1998).

$$PM = \frac{0,408 * \Delta * (R_n - G) + \gamma * \frac{900}{T_{med} + 273,16} * U_2 * (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma * (1 + 0,34 * U_2)} \quad (1)$$

Sendo que PM é a Evapotranspiração de Referência obtida pelo método de Penman-Monteith (mm.dia^{-1}), R_n é o saldo de radiação ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), G é a densidade do fluxo de calor no solo, que em nosso caso consideramos sempre sendo como $G = 0$, Δ é a declinação da curva de saturação do vapor de água ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), U_2 é a velocidade do vento (média diária) a 2 metros acima da superfície do solo (m/s), T_{med} é a temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$), e_s é a pressão de saturação do vapor (kPa), e_a é a pressão atual do vapor (kPa) e γ é o fator psicrométrico (MJ kg^{-1}).

A seguir é descrito o procedimento realizado para obtenção da evapotranspiração de referencia pelo método PM.

Os valores da velocidade do vento foram transformados de 10 metros para 2 metros, altura padrão para o cálculo pelo método PM, equação 2.

$$U_2 = U_z \frac{4,87}{\ln(67,8 * Z - 5,42)} \quad (2)$$

Sendo U_z a velocidade obtida na estação automática ou convencional e Z a altura em que foi coletado o dado, em nosso caso, 10 metros.

A pressão de vapor de saturação para temperatura máxima foi obtida pela equação 3.

$$e_s(T_{max}) = 0,6108 * e^{\left(\frac{17,27 * T_{max}}{T_{max} + 237,3}\right)} \quad (3)$$

Sendo que $e_s(T_{max})$ é a pressão de vapor de saturação para temperatura máxima (kPa) e T_{max} é a temperatura máxima do ar (°C).

A pressão de vapor de saturação da atmosfera, que é obtido pela soma dos valores de (e_s em KPa) é calculada pela soma dos valores de $e_s(T_{max})$ e $e_s(T_{min})$ dividindo-os por 2.

$$e_s = \frac{e_s(T_{max}) + e_s(T_{min})}{2} \quad (4)$$

Sendo $e_s(T_{min})$ a pressão de vapor de saturação obtida pela temperatura mínima (kPa), o cálculo, como já foi informado e obtido pela equação 3, apenas substituindo o valor da temperatura do ar.

A pressão de vapor atual foi calculada por meio da pressão de vapor de saturação, obtida pela temperatura média, mesmo processo da equação 3. A pressão de vapor atual é obtida pela equação 5.

$$e_a = e_s(T_{med}) \frac{UR_{med}}{100} \quad (5)$$

Sendo e_a a pressão de vapor atual (kPa), $e_s(T_{med})$ é a pressão de vapor de saturação da temperatura média (kPa) e UR_{med} é a umidade relativa média (%).

De posse dos valores de pressão de vapor de saturação (e_s) e pressão atual de vapor (e_a), pode-se calcular o déficit da pressão de vapor (DVP), equação 6.

$$DVP = e_s - e_a \quad (6)$$

A inclinação da curva de pressão da curva de pressão de vapor à saturação, denominado delta (Δ), pode ser calculado pela equação 7, para esse cálculo utilizaremos a temperatura média diária (T_{med}) e a pressão de vapor de saturação (e_s).

$$\Delta = \frac{4098 * e_s}{(T_{med} + 237.3)^2} \quad (7)$$

O cálculo da estimativa de pressão atmosférica é apresentado na equação 8. Para isso utilizaremos a altitude da estação (z), em nosso caso 823 metros.

$$P = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065 * z}{293} \right)^{5,26} \quad (8)$$

Assim que obtido o valor de pressão atmosférica podemos calcular a constante psicrométrica (γ) por meio da equação 9.

$$\gamma = 0,664742 * 10^{-3} * P \quad (9)$$

Na equação 10 é mostrado como calcular a radiação solar extraterrestre R_a . O cálculo dessa variável envolve o cálculo de outras variáveis auxiliares não demonstrados nesse trabalho, como: a distância relativa sol-Terra (d_r), inclinação solar (δ) e ângulo solar (ω_s).

$$R_a = 37,6 * d_r * (\omega_s * \text{sen}\varphi * \text{sen}\delta + \text{cos}\varphi * \text{cos}\delta * \text{sen}\omega_s) \quad (10)$$

A Radiação de Onda Longa para dias claros (R_{so}) utiliza a altitude (z) e a radiação solar extraterrestre (R_a), obtida com a equação 10, o calculo dessa variável está demonstrado na equação 11.

$$R_{so} = \left[0,75 + 2 * \frac{z}{100000} \right] * R_a \quad (11)$$

Com os dados de Radiação Solar Global (R_s) obtido pelas estações meteorológicas convencionais e automáticas, podemos calcular a Radiação de Onda Curta (R_{NC}) e a Radiação de Onda Longa (R_{NL}), equações 12 e 13 respectivamente.

$$R_{NC} = 0,77 * R_s \quad (12)$$

$$R_{NL} = \sigma * \left[\frac{(T_{max} + 273,16)^4 + (T_{min} + 273,16)^4}{2} \right] * (0,34 - 0,14 * \sqrt{e_a}) * \left(1,35 * \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (13)$$

Sendo R_s a Radiação Solar Global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), R_{so} é a Radiação de Onda Longa em um Dia Claro ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), σ é a constante de Stefan-Boltzmann e e_a é a pressão de vapor atual (kPa). Após feito esses cálculos se obtém a radiação líquida que é nada mais que a subtração da Radiações de Onda Curta e Longa, equação 14.

$$R_n = R_{NC} - R_{NL} \quad (14)$$

Feito o cálculo de todas essas variáveis, basta somente substituir os valores na equação 1 e assim se obtém a evapotranspiração de referência diária pelo método de PM.

2.2.2 Método de Hargreaves

O cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves é menos complexo do que a obtida pelo método de Penman-Monteith. Na ausência de dados de radiação global solar, umidade relativa e velocidade do vento, a evapotranspiração de referência pode ser estimada, em mm.dia^{-1} , através do método de Hargreaves (Hargreaves, 1974), demonstrado pela equação 15.

$$HG = 0,0023(T_{med} + 17,8) * (T_{max} - T_{min})^{0,5} * R_a \quad (15)$$

Sendo que ET_{oHG} é a Evapotranspiração de Referência obtida pelo método de Hargreaves (mm.dia^{-1}), T_{med} é a temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$), T_{max} é a temperatura máxima do ar ($^{\circ}\text{C}$), T_{min} é a temperatura mínima do ar ($^{\circ}\text{C}$) e R_a é a radiação solar no topo da atmosfera (mm.dia^{-1}).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 1 ilustra a comparação dos valores médios diários da evapotranspiração de referência (ET_o) estimada pelos métodos de PM e HG. Constatou-se que o método de HG superestima os valores de ET_o , comparando com os valores de PM, sendo esses considerados os valores mais próximo da realidade de ET_o em função de muitos trabalhos já publicados. Ao analisar os

resultados de ambos os métodos, verificou-se que os valores de HG foram aproximadamente 3 vezes maiores do que os valores de PM. Para um correto ajuste, procedeu-se com a divisão por 3 dos valores de HG e obteve-se a Evapotranspiração de Hargreaves Fator 3 (HGF3). Como pode ser visto na figura 1 os valores de PM e HGF3 são bem parecidos, a busca de igualdade dos valores de HG com os valores de PM se dá pelo fato de o método de PM ter sido avaliado em diferentes regiões do mndo. Os valores de PM oscilaram entre $2,8 \text{ mm.dia}^{-1}$ e $4,5 \text{ mm.dia}^{-1}$, já os valores de HG oscilaram entre $8,5 \text{ mm.dia}^{-1}$ e $14,1 \text{ mm.dia}^{-1}$ e, os valores de HGF3 oscilaram entre $2,8 \text{ mm.dia}^{-1}$ e $4,7 \text{ mm.dia}^{-1}$. O coeficiente de correlação de regressão ajustado para os valores médios mensais de ETo (figura 2), para o método de PM e HG foi de $R^2 = 0,719$.

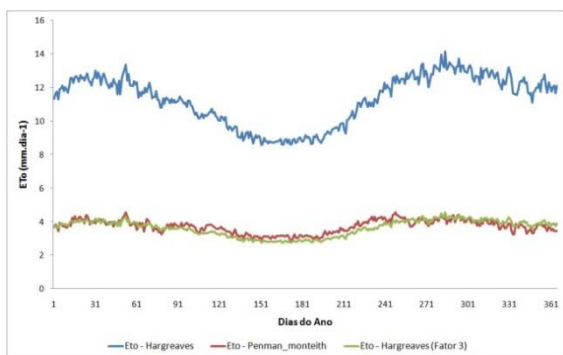


Figura 1 - Evapotranspiração de Referência (ETo) calculados pelos metodos de Penman-Monteith, Hargreaves e Hargreaves (Fator 3).

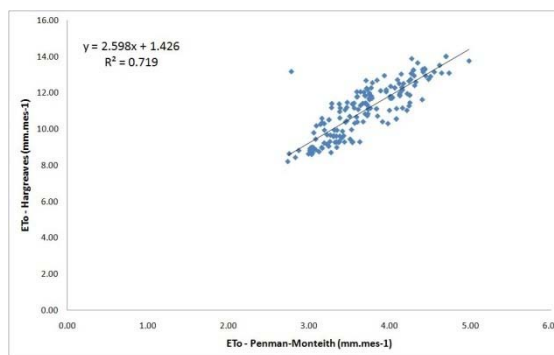


Figura 2 - Regressão Linear da ETo-HG em função de ETo-PM.

Os valores de ETo de ambos os métodos foram separados nas estações do ano para ver se obtêm valores mais representativos do coeficiente de correlação de regressão entre os valores dos métodos de PM e HG sazonalmente. Para os meses de verão (figura 3a) foi encontrado um coeficiente de regressão de $R^2 = 0,495$ e a função resultado da regressão entre os métodos de ETo foi a seguinte: $y = 1,125x + 7,839$, sendo y a variável dependente (HG) e x a variável independente (PM). Os melhores valores de coeficiente de correlação de regressão foram obtidos para os meses de outono (figura 4b) e inverno (figura 3c), $R^2 = 0,640$ ($y = 2,715x + 0,845$) e $R^2 = 0,918$ ($y = 2,485x + 1,133$), respectivamente. O pior resultado de correlação de regressão foi obtido para os meses da primavera (figura 4d) $R^2 = 0,218$ ($y = 0,897x + 9,148$).

A fim de comparar os valores dos métodos de HG e HGF3 com os valores de PM, para conhecer o quanto os valores encontrados nessas estimativas se

assemelhava-se ou distanciava-se dos valores do método de PM, foi feito um cálculo de porcentagem simples com os resultados ilustrados na tabela 1. Pode-se verificar que os resultados do método de HG tiveram seus valores muito superestimados variando de 180 a 218 % em relação aos valores de PM. Entretanto, os valores encontrados para o método de HGF3 tiveram uma melhor comparação, tendo seus valores variando aproximadamente de -6 a 6 pontos percentuais dos valores de PM.

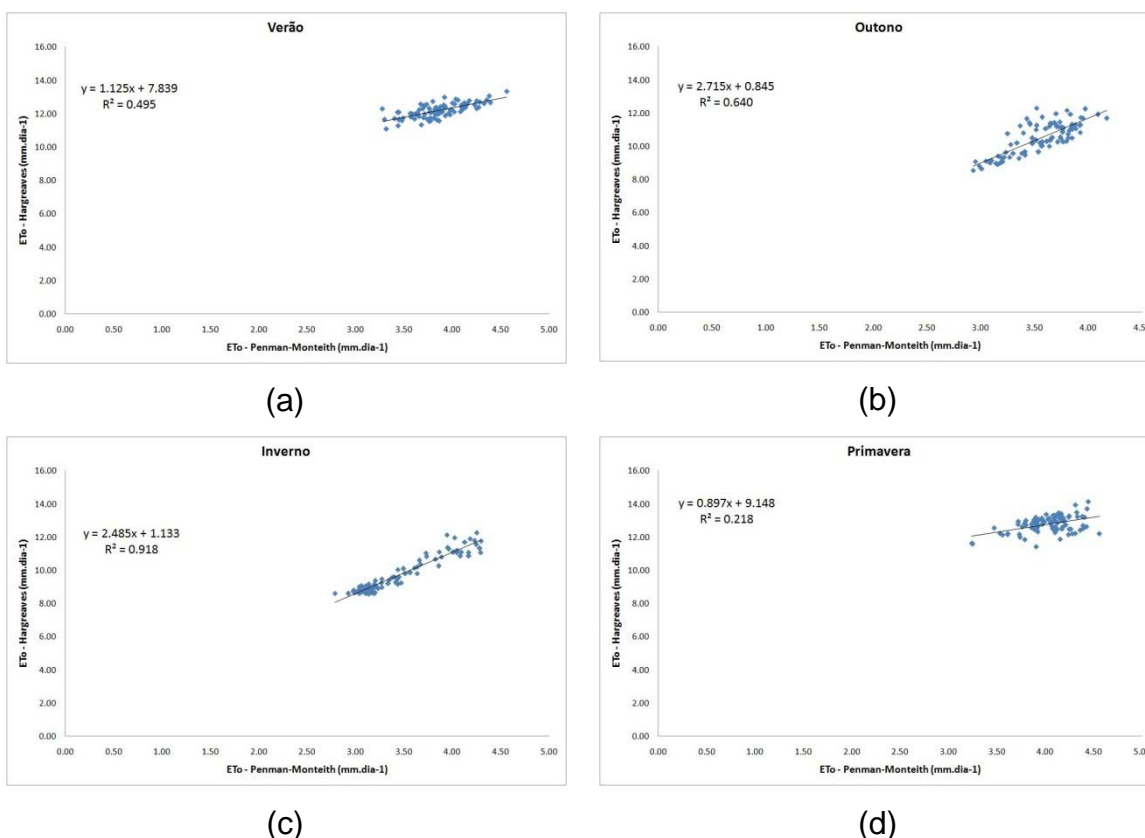


Figura 3 - Regressão linear da ETo - Hargreaves em função da ETo – Penman-Monteith. (a) Verão, (b) Outono, (c) Inverno e (d) Primavera.

Tabela 1 – Comparações de dos valores de ETo de HG e HGF3 com valores de ETo de PM em porcentagens de valores de ETo.

Estações do Ano	HG (%)	HGF3 (%)
Verão	216.54	5.51
Outono	195.48	-1.51
Inverno	181.90	-6.03
Primavera	218.00	6.00

4. CONCLUSÕES

O propósito deste estudo é subsidiar atividades agrometeorologias, em especial aquelas inerentes ao crescimento e desenvolvimento de culturas

irrigadas. O método de PM é recomendado como o padrão para o cálculo de evapotranspiração de referência. O uso deste método é limitado devido a disponibilidade dos dados em áreas onde a informação meteorológica é escassa. Em tais circunstâncias, o método de Hargreaves baseado em temperatura do ar máxima e mínima pode ser um substituto à esse método na estimativa de ETo. Entretanto este método geralmente superestima os valores de ETo. Neste estudo, o método de Hargreaves superestimou os valores de ETo, e as diferenças médias variaram de 181 a 218% para o município de Santo Antônio de Goiás. Analisando os resultados, verificou-se que os valores de HG, para esta localidade, geralmente são 3 vezes maiores do que os valores de PM, nesse caso resolveu criar uma HGF3 e, nesse caso, as diferenças médias variaram de -6 a 6%. Estes resultados indicam que é necessária uma calibração no método de Hargreaves, pois diversos estudos (Hargreaves 1989; Droogers e Allen 2002; Hargreaves e Allen 2003) mostram que este método para fornecer estimativas de confiança para ETo. Esse estudo será ampliado para todo o Estado de Goiás no futuro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, p.300. Irrigation and drainage paper 56.
- AMATYA, D. M., SKAGGS, R. W., GREGORY, J. D. 1995. Comparison of methods for estimating REF-ET. *Journal Irrigation Drain. Eng.*, 121(6), 427–435.
- COELHO, R.D., SCHMIDT W., JACOMAZZI, M.A., ANTUNES, M.A.H. 2004. Distribuição espacial de pivôs centrais no Brasil: I - região sudeste. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 8, n. 2-3, p. 7.
- DROOGERS, P.; ALLEN, R. G. 2002. Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. *Journal Irrigation Drain. Eng.*, 16(1), 33-45.
- HARGREAVES, G. H. 1974. Estimation of potential and crop evapotranspiration. *Transactions of the ASAE*, Saint Joseph, v.17, n.4, p.701-704.
- HARGREAVES, G. H. 1989. Accuracy of estimated reference crop evapotranspiration. *Journal Irrigation Drain. Eng.*, 115(6), 1000–1007.
- HARGREAVES, G. H.; ALLEN, R. G. 2003. History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. *Journal Irrigation Drain. Eng.*, 129(1), 53–63.
- ITENFISU, D., ELLIOTT, R. L., ALLEN, R. G., WALTER, I. A. 2003. Comparison of reference evapotranspiration calculations as part of the ASCE standardization effort. *Journal Irrigation Drain. Eng.*, 129(6), 440–448.
- JENSEN, M. E., BURMAN, R. D., and ALLEN, R. G. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. *ASCE manuals and reports on engineering practice No. 70*, ASCE, New York.
- TEMESGEN, B., ECHING, S., DAVIDOFF, B., FRAME, K. 2005. Comparison of some reference evapotranspiration equations for California. *Journal Irrigation Drain. Eng.*, 131(1), 73–84.
- TRAJKOVIC, S. 2005. Temperature-based approaches for estimating reference evapotranspiration. *Journal Irrigation Drain. Eng.*, 131(4), 316–323.