



COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_0) NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

G. H. S. Vieira¹; G. Peterle²; G. Peterle³; J. B. Loss⁴; P.A.V. Lo Monaco⁵; C. M. M. Poloni⁶

RESUMO: O suprimento de água ideal para uma cultura está diretamente relacionado com a determinação ou estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0). Objetivou-se, com a realização deste trabalho, estimar e comparar a evapotranspiração de referência pelo método simplificado de Hargreaves-Samani com o método universal padrão Penman-Monteith - FAO 56, para as condições climáticas de sete municípios do Estado do Espírito Santo: Afonso Cláudio, Alfredo Chaves, Linhares, Nova Venécia, Santa Teresa, São Mateus e Vitória. Os resultados das estimativas foram obtidos utilizando dados climáticos fornecidos pelo INMET, provenientes de estações instaladas nos respectivos municípios. Com os resultados obtidos, calculou-se o erro-padrão de estimativa, os coeficientes de ajuste das equações lineares e o erro-padrão de estimativa ajustado pela regressão. Diante dos resultados obtidos, conclui-se que é possível estimar a evapotranspiração de referência, com apenas dados de temperatura, para os locais estudados, desde que se faça uma correção a partir da equação de ajuste linear.

PALAVRAS-CHAVE: Demanda hídrica, Hargreaves-Samani, Penman-Monteith, temperatura.

SIMPLIFIED ESTIMATION OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION (ET_0) IN ESPÍRITO SANTO STATE BRAZIL

ABSTRACT: The ideal water supply for a crop is directly related to the determination or estimation of reference evapotranspiration (ET_0). This work was due to estimate and compare the reference evapotranspiration calculated by simplified Hargreaves-Samani and the standard Penman-Monteith - FAO 56 standard methods for the climatic conditions of seven municipalities in the State of Espírito Santo-Brazil: Afonso Cláudio, Alfredo Chaves, Linhares,

¹ Prof. Doutor, IFES *campus* Santa Teresa, CEP 29.660-000, Santa Teresa – ES. Fone: (27) 3259-6503. E-mail: ghsvieira@gmail.com

² Estudante de Agronomia, IFES *campus* Santa Teresa – ES.

³ Mestrando em Meteorologia Agrícola, DEA-UFV, Viçosa - MG.

⁴ Mestre em Produção Vegetal, CCA-UFES, Alegre-ES.

⁵ Prof^a. Doutora, IFES *campus* Santa Teresa – ES.

⁶ Estudante de Agronomia, IFES *campus* Santa Teresa – ES.

Nova Venécia, Santa Teresa, São Mateus and Vitória. The results of the estimates were obtained using climatic data provided by INMET from stations installed in the respective municipalities. With the obtained results, the standard error of estimate, the coefficients of adjustment of the linear equations and the standard error of estimate adjusted by the regression were calculated. Considering the obtained results, it is concluded that it is possible to estimate the reference evapotranspiration, with only temperature data, for the studied sites, provided that a correction is made from the linear adjustment equation.

KEY WORDS: Water demand, Hargreaves-Samani, Penman-Monteith, temperature.

INTRODUÇÃO

Uma das atividades que mais demandam água 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).

Existem diversos fatores relacionados ao sistema solo-planta-atmosfera que afetam o desenvolvimento das culturas, dentre estes o adequado suprimento de água ao longo do seu ciclo. Determinar a quantidade de água nas diferentes fases do desenvolvimento de determinada cultura é fundamental para o dimensionamento de sistemas de irrigação e para o manejo da água na agricultura, visto que se trata de um recurso natural limitado e importante para a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola (CHAGAS et al., 2013).

A escassez de água e o uso consciente dos recursos hídricos têm sido pautados na maioria dos assuntos abordados em estudos acadêmicos relacionados à irrigação e manejo. A evapotranspiração (ET_0) é um componente do ciclo hidrológico, que contabiliza o somatório da evaporação de água do solo e da transpiração vegetal e a sua estimativa tem por objetivo otimizar o uso da água na agricultura, por meio do manejo correto e eficiente da irrigação (PALARETTI; MANTOVANI; SEDIYAMA, 2014).

Os métodos de estimativa da ET_0 podem ser classificados em diretos e indiretos. Para determinação direta da ET_0 são utilizados lisímetros, equipamentos que podem apresentar custos elevados ficando restritos à instituições de pesquisa. Os métodos indiretos são menos onerosos e se baseiam na aplicação de modelos matemáticos que utilizam dados climatológicos medidos em estações meteorológicas (PEREIRA et al., 1997).

A equação de Penman-Monteith - FAO 56 foi convencionada como método padrão de estimativa da ET_0 , por exigir a disponibilidade de um número considerável de variáveis climatológicas. Seu uso pode ser inviável em regiões nas quais esse tipo de informação é incipiente e onde verifica-se deficiência no monitoramento total dos elementos meteorológicos (CAMARGO; CAMARGO, 2000 citado por Chagas et al., 2013).

Uma maneira frequentemente 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). Allen et al. (1998) tem proposto que quando os dados não são suficientes para calcular a evapotranspiração de referência pelo método de PM, então o método de Hargreaves pode ser utilizado (FERNANDES et al., 2009).

MATERIAL E MÉTODOS

As estimativas da evapotranspiração de referência (ET_0) foram realizadas com base numa série de dados climáticos diários (2011 a 2015) das estações localizadas nas regiões de estudo, cedidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. As regiões de estudo foram os municípios de Afonso Claudio, Alfredo Chaves, Linhares, Nova Venécia, Santa Teresa, São Mateus e Vitória.

Para a estimativa da ET_0 foram coletadas as seguintes variáveis: Temperatura Máxima e Mínima do ar ($^{\circ}\text{C}$), Umidade Relativa do ar (%), Velocidade do Vento (m s^{-1}) e Radiação Solar Global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). Esses dados foram analisados, sendo eliminadas informações inconsistentes e incompletas, para maior representatividade.

Os métodos utilizados para estimativa dos valores da ET_0 , foram o de Penman - Monteith (Equação 1), considerado pela FAO como padrão e Hargreaves - Samani (Equação 2), método simplificado, com menor exigência de dados climáticos. Os valores de ET_0 foram calculados em médias diárias para um período de cinco anos.

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0,34U_2)} \quad (1)$$

Em que:

ET_0 = evapotranspiração de referência, mm dia^{-1} ;

R_n = saldo de radiação na superfície da cultura, $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$;

G = densidade do fluxo de calor do solo, $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$;

T = temperatura do ar média diária a 2 m de altura, °C;

u2 = velocidade do vento a 2 m de altura, m s⁻¹;

es = pressão de vapor de saturação, kPa;

ea = pressão parcial de vapor, kPa;

es - ea = déficit de pressão de vapor de saturação, kPa;

Δ = declividade da curva de pressão de vapor, kPa °C⁻¹, e

γ = coeficiente psicrométrico, kPa °C⁻¹.

$$ET_0 = 0,023Ra(T_{m\acute{a}x} - T_{m\acute{i}n})^{0,5}(T + 17,8) \quad (2)$$

Em que:

ET₀ = Evapotranspiração de referência, mm d⁻¹;

Q₀ = Radiação extraterrestre, mm d⁻¹;

T máx = Temperatura máxima, °C;

T mín = Temperatura mínima, °C; e

T méd = Temperatura média diária, °C.

Os valores de ET₀ estimados para ambos os métodos foram pareados e foi montado um gráfico de dispersão. Sobre o gráfico foi ajustada uma equação de regressão linear, a qual forneceu a relação matemática entre os valores de ET₀ pelo método de Penman-Monteith e pelo método de Hargreaves-Samani para as regiões.

Para comparação e análise dos resultados, foram utilizados os critérios propostos por Jensen et al. (1990), seguindo-se procedimentos empregados por Mantovani (1993) e Bonomo (1999), que envolvem o erro percentual, o erro-padrão de estimativa (SEE) (Equação 3), calculado pela Equação 03, o erro-padrão de estimativa ajustado (SEEA) e o coeficiente de ajuste das equações lineares completas, bem como os respectivos coeficientes de determinação (r²) e o intervalo de confiança dos estimadores dos parâmetros das equações.

$$SEE = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{p_i} - Y_{met_i})^2}{n-1} \right)^{1/2} \quad (3)$$

Em que:

SEE = erro-padrão da estimativa, mm d⁻¹;

Y_p = ET₀ estimada pelo método-padrão (PM), mm d⁻¹;

Y_{met} = ET₀ estimada pelo método a ser avaliado, mm d⁻¹; e

n = número de observações.

Para avaliar o desempenho dos métodos testados em relação ao método padrão de Penman-Monteith-FAO56, foram utilizados como indicadores, o índice de concordância (d) (Equação 4) conforme Willmott (1985) e índice de desempenho (c) (Equação 5) proposto por Camargo e Sentelhas (1997), calculados de acordo com Equações 04 e 05, respectivamente.

$$d = 1 - \frac{\sum_i^n (P_i - O_i)^2}{\sum_i^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (4)$$

Em que:

P_i = Valores estimados pelo método em teste;

O_i = Valores estimados pelo método padrão, $ET_0 PM$; e

\bar{O} = Média dos valores estimados pelo método padrão, $ET_0 PM$.

$$c = r d \quad (5)$$

Em que:

c = Coeficiente de desempenho;

d = Coeficiente de exatidão; e

r = Coeficiente de correlação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, são apresentados os valores médios de ET_0 estimados pelos métodos Penman-Monteith-FAO56 e Hargreaves – Samani (HS), para sete cidades Estado do Espírito Santo, bem como os valores dos parâmetros estatísticos de avaliação.

Observa-se a superestimativa de ET_0 HS para as cidades de Afonso Cláudio, Alfredo Chaves, Nova Venécia, Santa Teresa e Vitória. Fernandes et al., (2012) relatam que um dos problemas apresentados pelo método de Hargreaves-Samani é que em regiões de clima frio, nas quais as características não se assemelham ao local onde ele foi calibrado originalmente, ocorre a superestimação dos dados da ET_0 , em relação ao método padrão.

Para as cidades de Linhares e São Mateus houve a subestimativa de ET_0 HS. O relevo destas cidades é caracterizado pela topografia plana, formando uma planície, favorecendo a alta velocidade do vento. A velocidade do vento é um dos parâmetros aplicados na equação de Penman-Monteith e maiores valores deste parâmetro resultam em maiores valores de ET_0 .

Para os valores de SEE, observam-se variações nos valores de ET_0 de 0,831 a 1,086 mm d^{-1} , para as cidades de Vitória e Afonso Cláudio, respectivamente.

O menor valor de ET_0 estimado foi 3,22 mm d⁻¹, ocorrido em Santa Teresa, e o maior valor foi 4,67 mm d⁻¹, ocorrido em Nova Venécia, ambos estimados por HS.

Nos valores de SEEA observam-se variações nos valores de ET_0 de 0,649 a 1,102 mm d⁻¹, para as cidades de Santa Teresa e São Mateus respectivamente.

Avaliando os parâmetros da regressão, observa-se que os coeficientes A e B, com os valores de A entre -0,045 e -0,702, menos para São Mateus que o valor de A foi de -1,259, muito distante de zero. Para B, na maioria das localidades, os valores foram obtidos entre 0,801 e 1,440, mantendo-se valores próximos a um. Este comportamento repete-se na avaliação do R^2 , com extremos de 0,790 em Alfredo Chaves e 0,415 em Afonso Claudio.

Analisando os índices de desempenho estatístico (d), observa-se que a maior exatidão ocorreu nas cidade de Santa Teresa (d=0,868), seguido por Alfredo Chaves (d=0,854), e o menor valor de exatidão na cidade de Afonso Claudio (d=0,580).

Na tabela 2, pode-se observar a classificação dos valores do índice de confiança/desempenho (c), sendo que os índices obtidos foram classificados em “muito bom”, para as cidades de Alfredo Chaves e Santa Teresa, e como “Bom” para Vitória. Nessas cidades os índices de correlação indicaram correlações fortes e boa precisão para o método em estudo. Os municípios de Linhares e Nova Venécia apresentaram classificação “Mediano”, São Mateus apresentou classificação “sofrível” e Afonso Claudio apresentou classificação “péssimo”. Nestas quatro cidades, os índices de avaliação indicaram correlações fraca e baixa precisão para o método em estudo.

Sintetizando tudo que foi discutido, pode se observa que ET_0 HS corrigida apresenta índices de precisão “r” variando de “péssimo” a “Muito bom”, de desempenho “c”, exatidão “d” muito variáveis, caracterizando baixa concordância, para as cidades em estudo, o que sugere ser este um método que pode ser aplicado para estimativa da ET_0 nestas localidades, requerendo para uso em algumas delas o “ajuste” pela inserção dos valores de A e B para corrigir e melhorar a performance da estimativa por Hargreaves-Samani.

CONCLUSÕES

Houve uma tendência à superestimativa da evapotranspiração pelo método de Hargreaves-Samani, na maioria das regiões estudadas, exceto em Linhares e São Mateus onde ocorreu subestimativa da evapotranspiração. As maiores superestimativas de ET_0 HS foram obtidas em Santa Teresa e Nova Venécia e a ocorrência de subestimativa de ET_0 HS foi observada em São Mateus e Linhares. Para melhorar o desempenho das estimativas, pode ser

uma alternativa realizar os cálculos e a separação dos dados por estações e assim aplicar as correções.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) pelo apoio e auxílio financeiro.

REFÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. *Guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO, 1998. 308 p. (FAO Irrigation and Drainage, 56).

BONOMO, R. Análise da irrigação na cafeicultura em áreas de cerrado de Minas Gerais. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1999. 224 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

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.

CHAGAS, R. M.; FACCIOLI, G. G.; NETTO, A. de O. A.; SOUSA, I. F. de; VASCO, A. N. do; SILVA M. G. S. da. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) no município de Rio Real-BA. *Irriga*, Botucatu, v. 18, n. 1, p. 351-363, abril-junho, 2013.

COELHO, R. D.; SCHMIDT, W.; JACOMAZZI, M. A.; ANTUNES, M.A. H. 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. 330-333, 2004.

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; PAZ, R. L. F. da; AMORIM, A. de O.; OLIVEIRA, D. F. Comparação entre dois métodos de estimativa de evapotranspiração de referência para Santo Antônio de Goiás, GO: Hargreaves versus Penman-Monteith. Embrapa. Goiânia-GO. 2009.

JENSEN, M.E.; BURMAN, R.D.; ALLEN, R.G. *Evapotranspiration and irrigation water requirements*. New York: ASCE, 1990. 332 p.

MANTOVANI, E. C. Desarrollo y evaluación de modelos para el manejo Del riego: estimación de la evapotranspiración y efectos de la uniformidad de aplicación del riego sobre la producción

de los cultivos. Córdoba: ETSIA, Depto. Agronomia, 1993. 184 f. Dissertação (Doutorado em Agronomia) – ETSIA/Córdoba.

PALARETTI, L. F.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C. Análise da sensibilidade dos componentes da equação de Hargreaves-Samani para a região de Bebedouro - SP. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 29, n. 2, 299-306, 2014.

PEREIRA, A. R.; VILA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G.C. Evapotranspiração. Fundação de Estudos Agrários. Luiz de Queiros: FEALQ, Piracicaba, 183p. 1997.

Tabela 01. Evapotranspiração média para o período (ET₀), mm d⁻¹ (1); percentagem em relação ao método padrão (PM) (2); erro-padrão de estimativa em relação ao método-padrão, mm d⁻¹ (3); coeficientes da equação de regressão ajustada (4) e (5); coeficiente de determinação para a regressão (6); erro-padrão de estimação em relação à regressão, mm d⁻¹ (7); índice de concordância, adimensional (8); índice de confiança (9), e coeficiente de correlação (10), para municípios apresentados.

| Método | ET ₀ (1) | % (2) | SEE (3) | A (4) | B (5) | R ² (6) | SEEA (7) | d (8) | c (9) | R (10) |
|-----------------------|------------------------|----------|------------|----------|----------|-----------------------|-------------|----------|----------|-----------|
| Afonso Cláudio | | | | | | | | | | |
| PM | 4,10 | 100 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| HS | 4,34 | 105,87 | 1,086 | 0,620 | 0,801 | 0,415 | 1,037 | 0,580 | 0,374 | 0,644 |
| Alfredo Chaves | | | | | | | | | | |
| PM | 3,93 | 100 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| HS | 4,1 | 104,04 | 0,838 | -0,702 | 1,129 | 0,790 | 0,800 | 0,854 | 760 | 0,889 |
| Linhares | | | | | | | | | | |
| PM | 4,43 | 100 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| HS | 4,2 | 94,66 | 0,942 | -0,438 | 1,160 | 0,694 | 0,893 | 0,788 | 0,656 | 0,883 |
| Nova Venécia | | | | | | | | | | |
| PM | 3,98 | 100 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| HS | 4,67 | 115,80 | 0,908 | -0,045 | 0,873 | 0,762 | 0,634 | 0,849 | 0,741 | 0,873 |
| Santa Teresa | | | | | | | | | | |
| PM | 2,77 | 100 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| HS | 3,22 | 116,60 | 0,737 | -0,496 | 1,011 | 0,787 | 0,576 | 0,868 | 0,770 | 0,887 |
| São Mateus | | | | | | | | | | |
| PM | 4,48 | 100 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| HS | 3,98 | 88,93 | 1,291 | -1,259 | 1,440 | 0,645 | 1,102 | 0,741 | 0,595 | 0,803 |
| Vitória | | | | | | | | | | |
| PM | 3,92 | 100 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| HS | 3,93 | 100,04 | 0,831 | -0,486 | 1,123 | 0,694 | 0,820 | 0,792 | 0,660 | 0,833 |

*PM: Penman-Monteith; HS: Hargreaves-Samani

Tabela 2. Critérios de interpretação do índice de desempenho "c".

| Índice de desempenho "c" | Classificação |
|--------------------------|---------------|
| > 0,85 | Ótimo |
| 0,76 - 0,85 | Muito bom |
| 0,66 - 0,75 | Bom |
| 0,61 - 0,65 | Mediano |
| 0,51 - 0,60 | Sofrível |
| 0,41 - 0,50 | Mal |
| ≤ 0,4 | Péssimo |

Fonte: Camargo e Sentelhas (1997)