AJUSTE DE MÉTODOS EMPÍRICOS PARA ESTIMATIVA DE EVAPORAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA VITÓRIA DA CONQUISTA-BA

Lucas Farias Damasceno[1]; Flávio Bastos Campos[2]; Vinicius Mendes Rodrigues de Oliveira[3]; Catariny Cabral Aleman[4]; Everardo Chartuni Mantovani[4]

RESUMO: Para realizar um manejo adequado da aplicação de água na irrigação é necessário estimar a evapotranspiração de referência que pode ser obtida pela equação padrão de Penman-Monteith FAO56 (PM-56), porém esse método necessita de dados climáticos que dificulta o uso dessa equação principalmente por pequenos e médios produtores. Sendo assim existem alguns métodos empíricos, porém menos precisos, que são usados para estimar a evapotranspiração de referência. Com isso o objetivo desse trabalho foi comparar os métodos empíricos de Hargreaves e Samani (HS), Camargo (C) e Jensen-Haise (JH) com o método de PM-56 para a cidade de Vitória da Conquista, Bahia. Considerando esta cidade que se encontra no Planalto da Conquista e é uma das principais regiões produtoras de café na Bahia, e que a produção de café irrigado tem apresentado grande aumento no país. Os dados climáticos foram obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), depois organizados no Microsoft Office Excel, onde foi feita a estimativa para as equações usadas, procedidas as comparações, as análises de regressão linear e assim as correções.Para avaliar a comparação foram utilizados o índice de desempenho (c), o índice de exatidão (d), índice de correlação (r), a raiz quadrada do quadrado médio do erro (RMSE) e o erro absoluto médio (MBE). Assim, com as correções é possível usar os métodos de HS, C e JH para estimar a evapotranspiração de referência, sendo que as equações de HS e JH são mais indicadas.
PALAVRAS-CHAVE: equações de estimativa deevapotranspiração de referência; índice de desempenho; método de Hargreaves e Samani.

INTRODUÇÃO

A Bahia possui uma grande área cafeeira expressiva e compreendida por três regiões produtoras principais: a do Atlântico (Sul e Extremo Sul), a região Oeste (Cerrado) e a do Planalto da Conquista onde estão localizadas as sub-regiões de Jequié, Chapada Diamantina e Vitoria da Conquista (MATIELLO, 2000). Esta última é inserida num ambiente favorável ao cultivo do café arábica, é conhecida pelas temperaturas amenas, boa pluviosidade e por possuir paisagem de relevo de montanhas e vales, em altitude entre 700 e 1000 metros (SUREG et al, 2016). Além que, segundo SANTANA (2013), em Vitoria da Conquista é comprovado à excelente qualidade microbiológica do café comercializado.

A cafeicultura irrigada é uma realidade no cenário nacional, ocupando cerca de 8% da sua área plantada, sendo o cafeeiro entre as principais culturas irrigadas do Brasil (MANTOVANI, 2003). Porém o gerenciamento da lâmina de água aplicada é um fator que acarreta problemas, pois o manejo da água utilizada não é adotado, causando assim grande desperdício de água e alto consumo de energia. Um dos fatores do não manejo da água pode ser o método de se obter a exata lâmina de água necessária que depende da evapotranspiração de referência encontrada pela equação de Penman-Monteith FAO56, considerada padrão, que exige vários dados climáticos que pode ser de difícil

[1]Estudante de Graduação, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, lucas_farias13@hotmail.com;
[2]Estudante de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa;
[3]Estudante de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa;
[4]Professor(a) Adjunto, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa.

obtenção. Em contrapartida existem outros métodos empíricos como o de Hargreaves e Samani, Camargo, Jensen-Haise, para se obter a evapotranspiração de referência, porém são métodos menos precisos.
Portanto, o objetivo desse trabalho foi comparar o método padrão de Penman-Monteith FAO56 com métodos empíricos para estimativa de evapotranspiração de referência em Vitória da Conquista, Bahia.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados climáticos utilizados para os cálculos – temperaturas máximas, médias e mínimas do ar, horas de insolação, umidade relativa média do ar e velocidade média do vento a 2 m de altura – foram obtidos da estação meteorológica localizada em Vitoria da Conquista, BA (14°52'48"S; 40°47'24"O) através do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), durante o período de 01 de Janeiro de 2005 até 01 de Janeiro de 2016.Foram coletados dados diários e em caso de informações faltosas elas foram substituídas por dados mensais médios também obtidos no BDMEP. Os dados foram organizados no software Microsoft Office Excel, onde também foi feito o cálculo da ETo pelos métodos de Penman-Monteith FAO56(PM-56) (ALLEN et al, 1998), Hargreaves e Samani(HS) (HARGREAVES AND SAMANI, 1985), Camargo (C) (CAMARGO, 1971) e Jensen-Haise(JH) (JENSEN AND HEISE, 1963), com a aplicação das equações 1, 2, 3 e 4 respectivamente.

$$\mathbf{ETo(PM\text{-}56)} = \frac{0{,}408\Delta(Rn\text{-}G)+\gamma\frac{900}{T+273}u2(es\text{-}ea)}{\Delta+\gamma(1+0{,}34u2)} \qquad (1)$$

Em que, ETo(PM-56) é a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith FAO-56 (mm/d); Rn é o saldo radiação a superfície (MJ/m^2.d); G é o fluxo de calor no solo (MJ/m²d); T é a temperatura do ar média (ºC); u2 é a velocidade do vento a 2 m de altura (m/s); es é a pressão de vapor de saturação (kPa); ea é a pressão real de vapor (kPa); Δ é a tangente à curva da pressão de saturação do vapor d´água (kPa/ºC) e γ é o coeficiente psicrométrico;

$$\mathbf{Eto(HS)= 0{,}0023.RT.(Tmáx\text{-}Tmin)^{0{,}5}.(T+17{,}8)} \qquad (2)$$

Em que, ETo(HS) é a evapotranspiração de referência (mm/d) estimada pelo método de Hargreaves e Samani (1985); T, Tmáx,Tmin são as temperaturas médias, máximas e mínimas diárias (ºC); RT é a radiação solar extraterrestre (mm/d);

$$\mathbf{ETo(C)= Rt.T.kf.ND} \qquad (3)$$

Em que, ETo(C) é a evapotranspiração de referência (mm/d) estimada pelo método de Camargo (1971); RT é a radiação solar extraterrestre (mm/d de evapotranspiração equivalente); ND é o número de dias do período analisado; T é a temperatura do ar média (°C) e kf é um fator de ajuste que varia com a temperatura do ar média anual do local (kf = 0,01 para T < 23 °C; kf = 0,0105, para T = 24 °C; kf = 0,011, para T = 25 °C; kf = 0,0115, para T = 26 °C; e kf = 0,012, para T > 26°C);

$$\mathbf{ETo(JH) = Rs.(0{,}0252.T + 0{,}078)} \qquad (4)$$

Onde, ETo(JH) é a evapotranspiração de referência (mm/d) estimada pelo método de Jensen e Haise (1963); T é a temperatura média e RS é a radiação solar global (mm/d).
Os valores de ETo foram estimados por estas equações, sendo a de PM-56 considerada a padrão e as demais equações são empíricas. Depois da obtenção dos valores foi feita uma análise linear de regressão comparando a equações de PM-56 com as de HS, C e JH. Dessas comparações originaram equações, sendo que os dados da variável dependente foram de PM-56 e da variável independente foram das demais equações empíricas, onde estas foram analisadas, corrigidas e gerada outra comparação com a equação de PM-56 para verificar a correção através da equação linear gerada.
Para fazer a comparação entre as equações foram utilizados o índice de desempenho (c), o índice de exatidão (d), índice de correlação (r), a raiz quadrada do quadrado médio do erro (RMSE) e o erro absoluto médio (MBE). Com índice "d"foi obtido um estudo comparativo entre os métodos empíricos e o de PM-56, representado pela equação 5:

$$\mathbf{d = 1 - \left[\frac{\sum (Pi - Oi)^2}{\sum (|Pi - O| + |Oi - O|)^2} \right]} \qquad (5)$$

Onde, Pi – valor estimado por um dos métodos; Oi – valor calculado por PM-56; O – média dos valores calculados por PM-56.

O parâmetro "c", usado por CAMARGO E SENTELHAS (1997), utiliza os índices "r", adquirido pela regressão, e "d", de acordo a equação 6, e na Tabela 1 estão os critérios para interpretar o desempenho do índice "c".

$$\mathbf{c = r.d} \qquad (6)$$

Tabela 1. Critérios para interpretação do desempenho dos métodos de estimativa de ET0, por meio do índice "c"

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
≤0,40	Péssimo

Fonte: Camargo e Sentelhas(1997)

A classificação para o índice "r" é baseada em Hopkins (2014), onde é classificado conforme a sua amplitude (Tabela 2).

Tabela 2. Classificação das correlações de acordo com o coeficiente de correlação (r)

Coeficiente de correlação (r)	Classificação
0,0 – 0,1	Muito Baixa
0,1 – 0,3	Baixa
0,3 – 0,5	Moderada
0,5 – 0,7	Alta
0,7 – 0,9	Muito Alta
0,9 – 1,0	Quase Perfeita

Fonte: Hopkins (2014)

As avaliações de MBE e RMSE foram baseadas nas equações 7 e 8, respectivamente.

$$MBE = \frac{\sum(Pi-Oi)}{N} \quad (7)$$

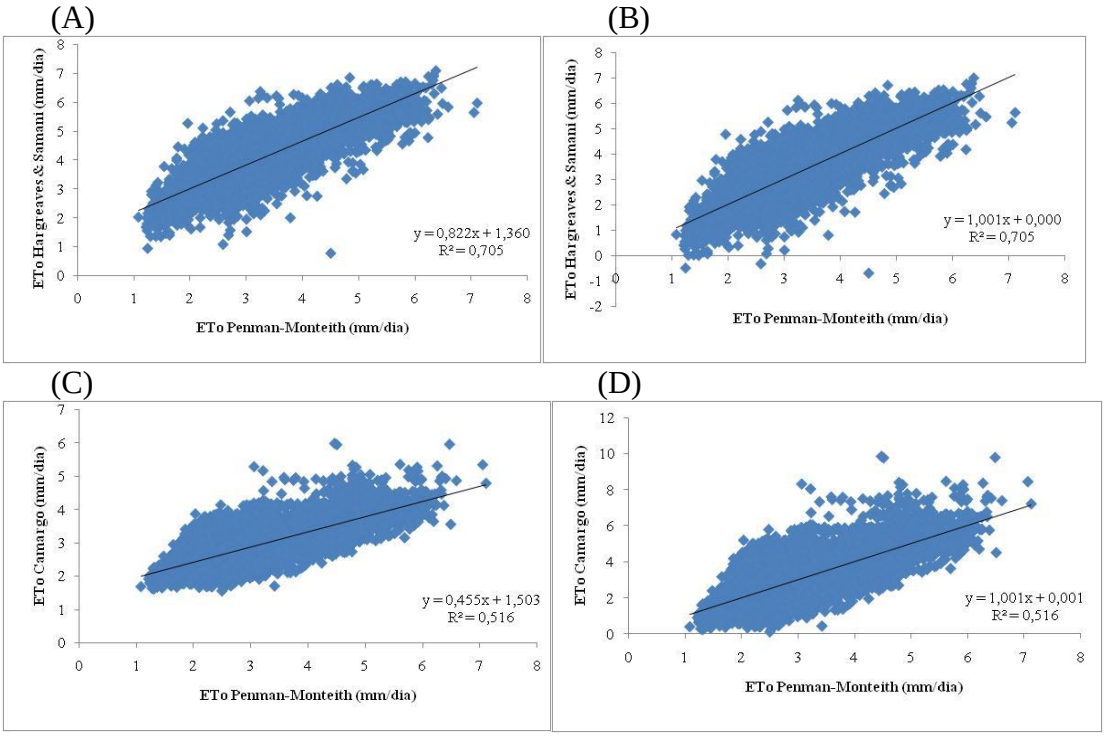
$$RMSE = \left[\frac{\sum(Pi-Oi)^2}{N}\right]^{0,5} \quad (8)$$

Em que Pi representa os valores estimados; Oi são os valores medidos; N é o número de observações. Segundo Souza et al (2011) o indicador MBE representa o desvio das médias fornece informações quanto ao desempenho do modelo a longo prazo, quanto menor o valor de MBE, melhor é o desempenho do modelo. Já o RMSE informa o valor real do erro produzido pelo modelo.

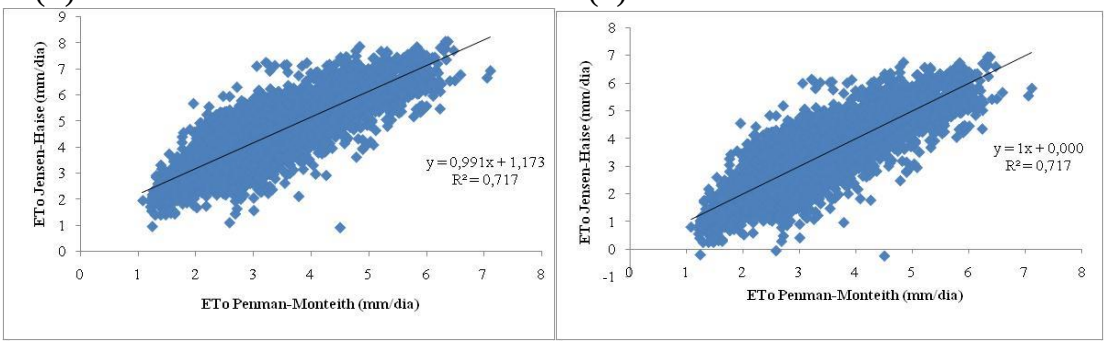
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 apresenta-se os gráficos A, C e E que relacionam valores de ETo calculado pelo método de PM-56 comparativamente aos calculados com os métodos de HS, C e JH, incluindo a equação de linear de ajuste e os respectivos valores de R^2. As equações foram utilizadas para estimar os valores ajustados que foram apresentados nos gráficos B, D e F.

Figura 1. Relações da estimativa de evapotranspiração de referência calculada com a equação padrão (PM-56) e com as empíricas (HS, C e JH), antes e depois da correção: (A) HS e PM-56 sem correção; (B) HS e PM-56 com correção; (C) C e PM-56 sem correção; (D) C e PM-56 com correção; (E) JH e PM-56 sem correção e (F) JH e PM-56 com correção.



(E) (F)



Observa-se na figura 1 que as equações de JH e HS foram as melhores para estimativa da ETo quando utilizadas sem ajuste, com valores de R^2 de 71,7% e 70,5%, respectivamente. Considerando a mínima diferença entre os valores, recomenda-se o uso da equação de HS, que não exige dados de radiação solar medida, somente as temperaturas máxima e mínima. A equação de C foi a que apresentou as piores estimativas. A utilização das equações de ajuste é importante para melhorar as estimativas. A estimativa de evapotranspiração é o primeiro passo para se fazer o manejo de irrigação das culturas, sendo este parâmetro dependente apenas do clima, se esta estimativa for feita de forma incorreta isto acarretará na sub ou superestimativa da quantidade de água que a cultura necessita, promovendo assim o desperdício ou déficit de água, percolação de adubos e até diminuição na produtividade das culturas.

Para ampliar a análise apresenta-se a tabela 3, com valores dos índices comparativos. Observa-se que antes da correção os métodos de HS, C e JH possuíam índices de desempenho classificados como Bom, Sofrível e Mediano, respectivamente, com valores 0,694, 0,551 e 0,643. Depois da correção houve uma melhora principalmente nos métodos de HS e JH, ambos com índices ficaram classificados como Muito Bom com valores de 0,762 e 0,773, respectivamente.

Tabela 3. Índice de desempenho (c), índice de exatidão (d), índice de correlação (r), raiz quadrada do quadrado médio do erro (RMSE) e erro absoluto médio (MBE) para os dados de evapotranspiração de antes e depois da correção.

Método	antes da correção						depois da correção					
de estimativa	r	RMSE	d	(MBE)	c	Classificação	r	RMSE	d	(MBE)	c	Classificação
HS	0,840	0,987	0,826	0,751	0,694	Bom	0,840	0,739	0,908	0,005	0,762	Muito Bom
C	0,719	0,881	0,767	-0,369	0,551	Sofrível	0,719	1,106	0,821	0,005	0,590	Sofrível
JH	0,847	1,345	0,760	1,142	0,643	Mediano	0,847	0,717	0,912	0,0001	0,773	Muito Bom

Para os índices de exatidão também ocorreu uma melhora depois da correção, alterando os valores de 0,826, 0,767 e 0,760 para valores superiores a 0,8, com valores mais elevados para JH e HS, superiores a 0,9, o que significa que os valores estimados se aproximaram dos valores medidos. Em relação ao MBE quanto menor é o valor obtido, menor é o desvio de médias, sendo assim houve diminuição dos desvios já que os índices MBE dos métodos HS e JH se aproximaram de zero com valores de 0,005 e 0,0001, respectivamente. O RMSE informa o erro produzido de cada método, assim depois da correção houve uma diminuição do erro, para HS saindo de 0,987 para 0,739 e JH que foi de 1,345 para 0,717.

Os coeficientes de correlação foram 0,840; 0,719 e 0,847 para as equações de HS, C e JH sendo todos os três classificados como muito alta segundo a classificação de HOPKINS.

Os parâmetros estatísticos utilizados neste trabalho mostraram que a maioria das equações para serem utilizadas necessitam de correção e esta correção é necessária para se estimar com precisão a demanda da cultura. Esta estimativa pode mostrar ainda, quando o plantio não possui irrigação, a demanda hídrica da cultura durante seu ciclo e o possível déficit de chuvas e com isso estimar a produtividade através de modelos.

A principal forma de se obter lucro nas lavouras seria a diminuição dos custos de produção e com a correta estimativa da necessidade de água das culturas isso seria possível, pois o maior custo do plantio irrigado é a energia elétrica. Contudo é importante a correta estimativa de evapotranspiração das culturas, mas o método padrão se torna de difícil aplicação em pequenas e médias propriedades devido à dificuldade de obtenção dos dados climáticos necessários e sua interpretação, por isso os métodos de HS, C e JH, que utilizam menor quantidade de variáveis e variáveis mais simples, são uma ótima alternativa para uso, quando estes são corrigidos com a equação padrão e avaliados nas condições regionais.

CONCLUSÕES

A equação de HS é a recomendada para estimativa da ETo em Vitória da Conquista pois apresenta os melhores resultados sem e com correção, além do mais, é simples e exige somente valores medidos de temperaturas máximas e mínimas.

REFERÊNCIAS

ALLEN RG; PEREIRA LS; RAES D; SMITH M. 1998. Guidelines for computing crop water requeriments. Rome: FAO, 308 p. (FAO IrrigationandDrainage, 56).

Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa, INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 01 de fevereiro de 2017.

BERNARDO S; PALARETTI LF; MANTOVANI EC. 2006. Irrigação Princípios e Métodos. 3. Ed. Viçosa, MG: Editora UFV. 355 p.

BERNARDO S; SOARES AA; MANTOVANI EC. 2006. Manual de irrigação. 8. ed. Viçosa, MG: Editora UFV. 625 p.

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.; 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.

CAMARGO, A.P. de. Balanço hídrico no Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agronômico, 24p. Boletim 116, 1971.

DOORENBOS J; PRUITT JO. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome: FAO, p 179. (FAO Irrigation and Drainage, 24)

HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z. Reference crop evapotranspiration from temperature. Journal of Applied Engineering in Agriculture, St Joseph, v.1, n.2, p.96-99, 1985.

HOPKINS, W. G. Correlation coefficient. Disponível em: <http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>. Acesso em: 08 jan. 2017.

JENSEN, M.E.; HAISE, H.R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. Journal of Irrigation Drainage Division, ASCE, New York, v.89, n.1, p.15-41, 1963.

MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. R. Irrigação do cafeeiro: informações técnicas e coletânea de trabalhos. Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais: UFV, DEA, 2003, 260 p. (Boletim Técnico, 8).

MATIELLO, J.B. Diagnóstico da cafeicultura Baiana. Salvador: SEAGRI, 2000. 24p.

MOURA, Ada Ravana Costa; MONTENEGRO, Suzana Mª Gico Lima; ANTONINO, Antônio Celso Dantas; AZEVEDO, José Roberto Gonçalves de; SILVA, Bernardo Barbosa da; OLIVEIRA, Leidjane Mª Maciel de. Evapotranspiração de Referência Baseada em Métodos Empíricos em Bacia Experimental no Estado De Pernambuco - Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia, 28(2), 181-191. 2013.

OLIVEIRA,V.M.R. ; DANTAS, G. F. ; PALARETTI, L. F. ; DALRI, A. B. ; SANTOS, M. G. ; FISCHER FILHO, J. A. . Estimativa de Evapotranspiração de Referência em Rio Paranaíba-Mg.. Irriga (UNESP Botucatu) , v. 20, p. 790-798, 2015.

SANTANA, C. M. P. Avaliação da qualidade microbiológica e de informações contidas em rótulos de café torrado e moído comercializados na Chapada Diamantina e em Vitória da Conquista. Vitória da Conquista – BA: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, 2013, 30p.

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

SUREG; GEDES; SEGEO. 2° Levantamento Público de Safra de Café de 2016. Boletim 2016. Maio 2016.