

ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA TRÊS LOCALIDADES DO ESTADO DA BAHIA¹

CRISTIANO TAGLIAFERRE*, JOÃO PAULO SILVA, ALESSANDRO DE PAULA, DIOGO ULISSES GOMES GUIMARAES, NILSON ÍTALO SOARES BARROSO⁵

RESUMO - O correto manejo de um sistema de irrigação depende de estimativas confiáveis da evapotranspiração de referência (ET_o). Neste trabalho objetivou-se avaliar o desempenho de equações empíricas utilizadas na estimativa da ET_o para as condições climáticas dos municípios de Anagé, Piatã e Ilhéus, Estado da Bahia. Foram utilizadas variáveis climáticas referentes aos anos de 2006 e 2007 obtidas através da plataforma automática de coleta de dados da Superintendência de Recursos Hídricos da Bahia/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, no qual se obteve a média das variáveis para os dois anos. Para comparar os valores de ET_o estimados pelos métodos de Penman Modificado FAO 24, Radiação, Blaney-Cridlle, Hargreaves-Samani, Priestley-Taylor e Turc com os do método padrão Penman-Monteith (FAO-56) foram considerados os parâmetros da equação de regressão (*a* e *b*), o coeficiente de determinação (*r*²), coeficiente de correlação (*r*), estimativa do erro padrão (EEP), índice de concordância (*d*), índice de confiança ou desempenho (*c*), na escala de um, três, cinco e sete dias. Os melhores métodos para a estimativa da ET_o, independente das condições climáticas das três localidades foram Blaney-Cridlle, Penman Modificado - FAO 24, Radiação FAO 24, Turc, Priestley-Taylor e Hargreaves-Samani.

Palavras-chave: Variáveis climáticas. Penman-Monteith. Manejo de irrigação.

ESTIMATION OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION FOR THREE LOCATIONS IN BAHIA STATE, BRAZIL

ABSTRACT - The correct management of an irrigation system depends on reliable estimate of reference evapotranspiration (ET_o). This paper aimed to evaluate the performance of some empirical equations used to estimate ET_o under the climatic conditions of the municipalities of Anagé, Piatã and Ilhéus, located in the Southwest of Bahia State, Brazil. Climatic variables were used for the years 2006 and 2007 obtained through the automatic data collection platform of the Superintendence of Bahia Water Resources / National Institute for Space Research, in which he averaged variables for the two years. To compare the ET_o values estimated by methods of Penman Modificado FAO 24, Radiação, Blaney-Cridlle, Hargreaves-Samani, Priestley-Taylor and Turc with the standard method Penman-Monteith (FAO 56) was performed by parameters of regression equation (*b*), determination coefficient (*r*²), correlation coefficient (*r*) estimated standard error (EEP), agreement index (*d*), index of confidence or performance (*c*) in daily, three, five and seven days scales. The best methods to estimate ET_o for the climatic conditions of the three sites, depending on the indices and parameters studied were by the order: Blaney-Criddle, Penman Modified - FAO 24, FAO 24 Radiation, Turc, Priestley-Taylor and Hargreaves-Samani.

Keywords: Climatic variables. Empirical equations. Irrigation of management.

*Autor para correspondência.

¹Recebido para publicação em 16/02/2011; aceito em 11/01/2012.

⁵Parte do trabalho de Conclusão de Curso do segundo autor realizado na UESB/Vitória da Conquista – BA.

Prof. Titular do Dep. de Eng. Agrícola e Solos, UESB, Estrada do Bem Querere, Km 04, Caixa Postal 95, 45083-900, Vitória da Conquista - BA; tagliaferre@yahoo.com.br

Eng. Florestal pela UESB, Vitória da Conquista - BA; jampalo@hotmail.com

Prof. Assistente do Dep. de Eng. Agrícola e Solos - UESB, Estrada do Bem Querere, Km 04, Caixa Postal 95, 45083-900, Vitória da Conquista – BA; alessandro@gmail.com

Graduandos em Engenharia Agrônômica, UESB, Estrada do Bem Querere, Km 04, Caixa Postal 95, 45083-900, Vitória da Conquista – BA; diogoullisses1@hotmail.com; nilsinhobarroso@hotmail.com.

INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada do Estado da Bahia vem experimentando, há alguns anos, uma grande expansão. Esse aumento da área irrigada demanda grandes quantidades de água de irrigação para suprir adequadamente as culturas. Portanto, exige-se nessas áreas, a implantação de sistemas de irrigação bem dimensionados, além da utilização de métodos adequados que quantifiquem as necessidades hídricas das culturas.

Segundo Silva e Rao (2006), a forma usual de se quantificar a água a ser aplicada ao longo do ciclo da cultura, considera os processos de evaporação do solo e de transpiração da planta conjuntamente, no que se denomina evapotranspiração da cultura.

De acordo com Doorenbos e Pruitt (1977), a evapotranspiração da cultura (ET_c) representa a lâmina de água que deve ser aplicada ao solo, para manter o crescimento e produtividade em condições ideais, sendo o resultado do produto da evapotranspiração de referência (ET_o) pelo coeficiente da cultura (K_c), este último dependente, dentre outros, da fase fenológica da cultura.

Existem diferentes maneiras de se estimar a ET_o. De acordo com Cavalcante Júnior et al. (2010), ela pode ser obtida a partir de medidas diretas ou estimada por meio de informações climáticas. No primeiro grupo, estão incluídos os diferentes tipos de lisímetros e o balanço de água no solo enquanto, no segundo, estão enquadrados os métodos teóricos e empíricos, como os de Penman, Thornthwaite, Blaney-Criddle, Jensen-Haise, Priestley-Taylor, Hargreaves e tanques evaporímetros como o “Classe A”.

Com o advento da tecnologia empregada nas estações meteorológicas automáticas que permitem medir e registrar os elementos meteorológicos em frações de tempo cada vez menores, o emprego das equações empíricas de estimativa da evapotranspiração de referência ganhou importância, devido à facilidade com que os dados são manipulados e por estarem disponíveis em meios eletrônicos de fácil acesso (TAGLIAFERRE et al., 2010).

Apesar da existência de diversos modelos para se estimar a ET_o, é comum utilizá-los em condições climáticas e agrônômicas muito diferentes daquelas em que inicialmente foram concebidos sendo, por isso, de extrema importância avaliar o grau de exatidão de cada modelo antes de utilizá-los para nova condição (OLIVEIRA et al., 2001).

Para o Estado da Bahia, a quantificação da evapotranspiração assume particular importância em virtude dos déficits hídricos que ocorrem ao longo do ano constituírem uma limitação à produção agrícola e uma permanente fonte de risco na agricultura, principalmente em áreas significativas, cujas características climáticas são de semiaridez.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar o desempenho de algumas equações empíricas utilizadas para estimar a evapotranspiração de referência para

as condições climáticas dos municípios de Anagé, Piatã e Ilhéus, do estado da Bahia.

MATERIAL E MÉTODOS

O município de Ilhéus, com altitude de 78 metros, localiza-se sob as coordenadas geográficas latitude 14° 26' Sul e longitude 39° 02' Oeste, na zona fisiográfica denominada Região Cacaueira da Bahia e Região Econômica Litoral Sul do Estado da Bahia. O clima deste município é classificado como B2r (úmido com pequena ou nenhuma deficiência hídrica) pela classificação de Thornthwaite. A precipitação média anual varia de 2000 a 2400 mm

Situado na região sudoeste do Estado da Bahia, o município de Anagé está localizado a latitude 14°37'00" Sul, longitude 41°08'00" Oeste e altitude de 580 metros. O clima é classificado como semiárido (D1dB') pela classificação de Thornthwaite com vegetação típica de caatinga, apresentando pluviosidade média de 656 mm por ano.

O município de Piatã, também situado na região sudoeste do Estado da Bahia, está localizado a 13°09'07" Sul de Latitude, 41°46'22" Oeste de Longitude e 1.292 metros de altitude. Tem um clima classificado como C1dB' (subúmido a seco) pela classificação de Thornthwaite, com uma precipitação média anual que varia de 800 a 900 mm. Destaca-se economicamente pela cultura do café e qualidade dos seus grãos produzidos. Na Figura 1 encontra-se a localização desses municípios no estado da Bahia.

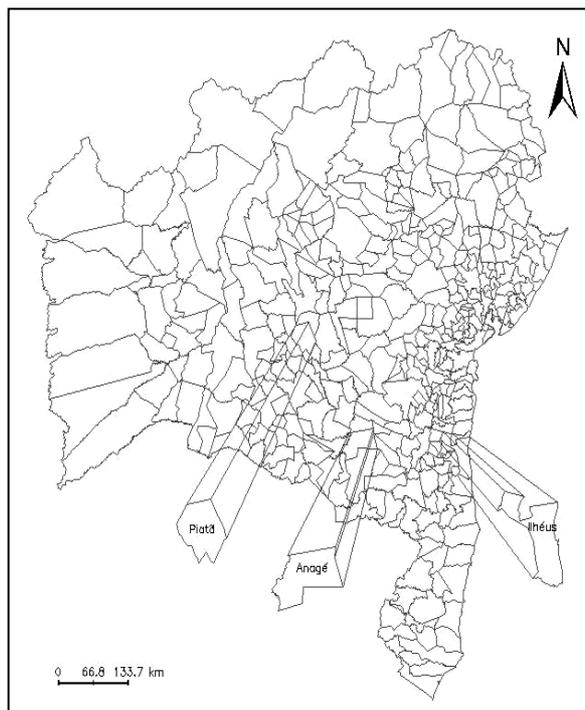


Figura 1. Localização dos municípios de Piatã, Anagé e Ilhéus no mapa do estado da Bahia.

Para a realização do trabalho, foram obtidos dados meteorológicos diários (pressão atmosférica, temperatura máxima, mínima e média do ar, umidade relativa máxima, mínima e média do ar, precipitação, radiação solar e velocidade do vento) de estações meteorológicas automáticas, pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), durante os anos 2006/2007, que estão instaladas nos municípios supracitados.

Com o propósito de tornar os dados meteorológicos utilizados mais homogêneos foram eliminadas aquelas informações discrepantes, incompletas ou inconsistentes.

Utilizou-se o programa computacional REF-ET (ALLEN, 2000) para estimativa da ETo, empregando-se os métodos Penman-Monteith – FAO 56, Penman modificado – FAO 24, Radiação FAO 24, Blaney-Cridle, Turc, Priestley-Taylor e o método proposto por Hargreaves-Samani (1985). O método de Penman-Monteith – FAO 56 foi adotado como padrão para avaliar o desempenho dos demais, conforme proposto por Smith (1991) e Allen et al. (1998).

A análise do desempenho dos métodos de estimativa da ETo foi feita comparando-se os resultados obtidos com os do método de Penman-Monteith – FAO 56. A metodologia adotada para comparação dos resultados foi aquela proposta por Allen et al. (1998), a qual se fundamenta na estimativa do erro padrão (EEP), calculado pela equação:

em que:

$$EEP = \left(\frac{\sum (y - \hat{y})^2}{n - 1} \right)^{\frac{1}{2}}$$

EEP = estimativa do erro padrão, mm d⁻¹;

Y = evapotranspiração de referência obtida pelo método-padrão, mm d⁻¹;

Ŷ = evapotranspiração de referência estimada pelos demais métodos, mm d⁻¹; e

n = número de observações.

A hierarquização das estimativas da evapotranspiração foi feita com base nos valores de EEP, do coeficiente de determinação (r²) e dos parâmetros a e b das respectivas regressões lineares simples. A melhor alternativa é aquela que apresenta maior r², menor EEP e b próximo da unidade.

A precisão foi dada pelo coeficiente de determinação, a qual indica o grau em que a regressão explica a soma do quadrado total. A exatidão está relacionada à aproximação dos valores estimados em relação aos observados. Matematicamente, essa aproximação é dada por um índice designado de concordância ou ajuste, representado pela letra “d” (WILLMOTT et al., 1985). Seus valores variam de zero (para nenhuma concordância) a 1 (para a concordância perfeita), utilizando-se a pela seguinte expressão:

em que:

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N \left[\left(|P_i - \bar{O}| \right) + \left(|O_i - \bar{O}| \right) \right]^2}$$

d = índice de concordância ou ajuste;

P_i = evapotranspiração de referência obtida pelos diferentes métodos, mm d⁻¹;

O_i = evapotranspiração de referência obtida pelo método-padrão, mm d⁻¹;

\bar{O} = média dos valores obtidos pelo método-padrão, mm d⁻¹; e

N = número de observações.

A hierarquização das estimativas da ETo também foi realizada utilizando-se o índice de confiança ou desempenho (c), conforme a equação:

$$c = r \cdot d \quad (3)$$

em que r, é o coeficiente de correlação e d é o índice de concordância.

Os valores de ETo obtidos para as três localidades foram comparados com os do método de Penman-Monteith – FAO 56 em períodos de um, três, cinco e sete dias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 encontram-se os parâmetros da equação de regressão (a e b), coeficiente de determinação (r²), estimativa de erro padrão (EEP), índice de concordância (d) e índice de confiança ou desempenho (c) para valores de ETo diários, três, cinco e sete dias, no município de Piatã – BA.

De acordo com os resultados obtidos para a escala diária, o melhor método foi o de Blaney-Cridle com desempenho “Ótimo” (c = 0,96; d = 0,98; EEP = 0,33) e boa precisão (r = 0,98), com estimativa da ETo próxima da obtida pelo método padrão. Com o desempenho “Muito Bom” ficaram os métodos Penman Modificado FAO 24 e Radiação FAO 24. Já os métodos Priestley-Taylor e Turc apresentaram desempenho “Bom”, com índice de confiança igual a 0,74. O método de Hargreaves-Samani apresentou o pior índice de desempenho, sendo classificado como “Mediano”. Esse método subestimou os valores de evapotranspiração de referência obtidos pelo método padrão. Estudos conduzidos por Conceição (2003), para região do baixo Rio Grande – SP mostraram que o método Hargreaves-Samani apresentou melhor desempenho do que o método de Blaney-Cridle, em que este apresentou um desempenho considerado “Mediano”.

Reis et al. (2007), avaliando métodos de estimativa da ETo 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 “Péssimo” pelo método Hargreaves-Samani.

Tabela 1. Parâmetros da equação de regressão (*a*, *b*) coeficiente de determinação (r^2), estimativa do erro padrão (EEP), índice de concordância (*d*) e índice de confiança ou desempenho (*c*) para valores de ETo de um, três, cinco e sete dias em Piatã - BA.

Métodos	<i>a</i>	<i>b</i>	r^2	EEP	<i>r</i>	<i>d</i>	<i>c</i>	Classificação*	ETo (mmd ⁻¹)
Diária									
FAO 56 PM									4,50
Penman. Mod.	- 1,047	1,442	0,98	1,13	0,99	0,87	0,86	Muito bom	5,45
Radiação	0,257	1,019	0,89	0,55	0,94	0,95	0,89	Muito bom	4,85
Blaney-Criddle	- 0,060	0,969	0,95	0,33	0,98	0,98	0,96	Ótimo	4,30
Harg-Samani	2,108	0,573	0,49	0,89	0,70	0,82	0,58	Mediano	4,61
Priestley-Taylor	1,115	0,649	0,75	0,78	0,86	0,87	0,74	Bom	4,04
Turc	1,078	0,608	0,82	0,90	0,90	0,82	0,74	Bom	3,82
Três dias									
FAO 56 PM									4,50
Penman. Mod.	- 0,948	1,420	0,98	1,07	0,99	0,85	0,84	Muito bom	5,45
Radiação	0,322	1,004	0,93	0,45	0,96	0,96	0,92	Ótimo	4,85
Blaney-Criddle	- 0,100	0,933	0,96	0,29	0,98	0,98	0,96	Ótimo	4,30
Harg-Samani	1,622	0,680	0,58	0,73	0,76	0,86	0,66	Mediano	4,69
Priestley-Taylor	0,946	0,689	0,79	0,69	0,89	0,87	0,78	Bom	4,04
Turc	1,088	0,606	0,88	0,84	0,94	0,81	0,76	Bom	3,82
Cinco dias									
FAO 56 PM									4,51
Penman. Mod.	- 0,895	1,407	0,99	1,04	0,99	0,84	0,83	Muito bom	5,45
Radiação	- 0,696	0,477	0,95	0,41	0,97	0,96	0,93	Ótimo	4,85
Blaney-Criddle	0,217	0,907	0,97	0,28	0,98	0,98	0,96	Ótimo	4,30
Harg-Samani	1,324	0,747	0,62	0,65	0,79	0,88	0,69	Mediano	4,65
Priestley-Taylor	0,909	0,694	0,80	0,66	0,89	0,87	0,77	Bom	4,04
Turc	1,167	0,588	0,91	0,82	0,95	0,79	0,75	Bom	3,82
Sete dias									
FAO 56 PM									4,49
Penman. Mod.	- 0,851	1,398	0,99	1,03	0,99	0,82	0,81	Muito bom	5,43
Radiação	0,553	0,953	0,95	0,40	0,97	0,95	0,93	Ótimo	4,83
Blaney-Criddle	0,301	0,888	0,97	0,27	0,98	0,98	0,96	Ótimo	4,29
Harg-Samani	1,060	0,805	0,64	0,61	0,80	0,89	0,71	Bom	4,68
Priestley-Taylor	0,831	0,711	0,80	0,63	0,89	0,86	0,77	Bom	4,03
Turc	1,180	0,585	0,91	0,80	0,95	0,78	0,74	Bom	3,81

*Camargo e Sentelha (1997).

Analisando os resultados para as escalas de três, cinco e sete dias, identifica-se que os melhores desempenhos foram atribuídos para os métodos Blaney-Criddle ($c = 0,96$) e Radiação FAO 24 ($c = 0,92$), classificados como “Ótimo”, com estimativas do erro padrão iguais a $0,28 \text{ mm d}^{-1}$ e $0,45 \text{ mm d}^{-1}$, respectivamente, com índices de concordância próximos da unidade, caracterizando uma concordância quase perfeita. Os demais métodos apresentaram desempenhos vari-

ando de “Muito Bom” a “Bom”, porém com valores de EEP mais elevados. Quanto ao método de Hargreaves-Samani, por apresentar índice mediano de desempenho ($c = 0,66$), ele deve ser empregado na estimativa da ETo com certa restrição ou ajuste. Para as condições de Viçosa-MG, Tagliaferre et al. (2006) obtiveram resultados semelhantes.

Na Tabela 2 encontram-se os parâmetros da equação de regressão (a e b), coeficiente de determi-

Tabela 2. Parâmetros da equação de regressão (a , b) coeficiente de determinação (r^2), estimativa do erro padrão (EEP), índice de concordância (d) e índice de confiança ou desempenho (c) para valores de ETo de um, três, cinco e sete dias em Anagé-BA.

Métodos	a	b	r^2	EEP	r	d	c	Classificação*	ETo (mmd^{-1})
Diária									
FAO 56 PM									6,04
Penman. Mod.	- 1,296	1,391	0,96	1,29	0,98	0,88	0,86	Muito bom	7,10
Radiação	- 0,829	1,078	0,84	0,78	0,92	0,94	0,86	Muito bom	5,68
Blaney-Criddle	0,114	0,927	0,91	0,55	0,95	0,96	0,92	Ótimo	5,71
Harg-Samani	2,136	0,565	0,78	1,05	0,78	0,82	0,64	Mediano	5,55
Priestley-Taylor	0,515	0,632	0,59	1,95	0,59	0,64	0,38	Mau	4,33
Turc	0,777	0,578	0,66	1,97	0,81	0,63	0,52	Mediano	4,27
Três dias									
FAO 56 PM									6,03
Penman. Mod.	- 1,222	1,379	0,97	1,23	0,99	0,87	0,87	Muito bom	7,10
Radiação	- 0,676	1,052	0,88	0,65	0,94	0,59	0,56	Mediano	5,67
Blaney-Criddle	0,277	0,900	0,94	0,48	0,97	0,54	0,52	Mediano	5,71
Harg-Samani	1,743	0,629	0,67	0,92	0,82	0,64	0,52	Mediano	5,54
Priestley-Taylor	0,445	0,644	0,60	1,92	0,78	0,92	0,72	Bom	4,33
Turc	0,866	0,834	0,70	1,94	0,84	0,93	0,78	Bom	4,26
Cinco dias									
FAO 56 PM									6,00
Penman. Mod.	- 1,262	1,387	0,96	1,24	0,98	0,86	0,85	Muito bom	7,07
Radiação	- 0,717	1,061	0,87	0,65	0,93	0,95	0,88	Muito bom	5,65
Blaney-Criddle	0,278	0,899	0,93	0,48	0,96	0,96	0,93	Ótimo	5,68
Harg-Samani	1,769	0,625	0,65	0,92	0,81	0,84	0,68	Mediano	5,52
Priestley-Taylor	0,431	0,648	0,58	1,89	0,76	0,63	0,48	Sofrível	4,33
Turc	0,837	0,568	0,70	1,92	0,84	0,61	0,51	Mediano	4,24
Sete dias									
FAO 56 PM									6,06
Penman. Mod.	- 1,086	1,357	0,97	1,21	0,98	0,85	0,84	Muito bom	7,14
Radiação	- 0,292	0,990	0,88	0,57	0,94	0,95	0,89	Muito bom	5,71
Blaney-Criddle	0,848	0,594	0,94	0,46	0,97	0,96	0,93	Ótimo	5,74
Harg-Samani	1,278	0,708	0,72	0,82	0,85	0,87	0,74	Bom	5,57
Priestley-Taylor	0,476	0,640	0,56	1,90	0,75	0,60	0,45	Sofrível	4,36
Turc	0,524	1,108	0,67	1,94	0,82	0,58	0,48	Sofrível	4,29

*Camargo e Sentelha (1997).

nação (r^2), estimativa de erro padrão (EEP), índice de concordância (d) e índice de confiança ou desempenho (c) para valores de ETo de um, três, cinco e sete dias em Anagé-BA.

Baseando-se nos resultados apresentados na Tabela 2 verifica-se que os métodos avaliados apresentaram desempenho variando de “Mau” a “Ótimo” para estimativa da ETo, na escala diária e que, a exceção do método de Penman modificado, todos os métodos subestimaram os valores de ETo obtidos

pelo método padrão. O método de Blaney-Criddle apresentou o melhor índice de desempenho, sendo classificado como “Ótimo”, com valor de estimativa do erro padrão igual a 0,55 mm d⁻¹. Destaca-se, também, que as equações de regressão obtidas para esse método apresentaram valores dos coeficientes *a* e *b* próximo a zero e um, respectivamente, evidenciando o melhor desempenho. Resultados semelhantes foram encontrados por Alencar et al. (2011) para o município de Espinosa-MG.

Tabela 3. Parâmetros da equação de regressão (*a*, *b*) coeficiente de determinação (r^2), estimativa do erro padrão (EEP), índice de concordância (d) e índice de confiança ou desempenho (c) para valores de ETo de um, três, cinco e sete dias em Ilhéus-BA.

Métodos	a	b	r^2	EEP	r	d	c	Classificação*	ETo (mmd ⁻¹)
Diária									
FAO 56 PM									3,12
Penman. Mod.	- 0,778	1,346	0,99	0,45	0,99	0,96	0,95	Ótimo	3,42
Radiação	- 0,375	1,248	0,96	0,51	0,98	0,94	0,92	Ótimo	3,52
Blaney-Criddle	- 0,082	0,865	0,90	0,57	0,95	0,90	0,85	Muito bom	2,62
Harg-Samani	2,164	0,855	0,63	1,82	0,79	0,55	0,43	Sofrível	4,83
Priestley-Taylor	0,217	1,151	0,98	0,72	0,99	0,88	0,87	Muito bom	3,81
Turc	0,541	0,951	0,93	0,45	0,96	0,94	0,90	Muito bom	3,51
Três dias									
FAO 56 PM									3,12
Penman. Mod.	- 0,708	1,324	0,99	0,41	0,99	0,95	0,95	Ótimo	3,42
Radiação	- 0,175	1,185	0,97	0,46	0,97	0,93	0,91	Ótimo	3,52
Blaney-Criddle	0,018	0,833	0,92	0,56	0,92	0,87	0,80	Bom	2,62
Harg-Samani	1,568	1,047	0,77	1,78	0,77	0,54	0,41	Sofrível	4,83
Priestley-Taylor	0,200	1,157	0,98	0,71	0,98	0,85	0,84	Muito bom	3,81
Turc	0,695	0,902	0,96	0,42	0,96	0,93	0,89	Muito bom	3,51
Cinco dias									
FAO 56 PM									3,12
Penman. Mod.	- 0,670	1,312	1,00	0,39	1,00	0,95	0,95	Ótimo	3,42
Radiação	- 0,094	1,158	0,97	0,45	0,98	0,93	0,91	Ótimo	3,52
Blaney-Criddle	0,118	0,801	0,93	0,56	0,96	0,86	0,83	Muito bom	2,62
Harg-Samani	1,348	1,117	0,82	1,77	0,91	0,53	0,48	Sofrível	4,83
Priestley-Taylor	0,145	1,175	0,99	0,71	0,99	0,84	0,84	Muito bom	3,81
Turc	0,702	0,900	0,97	0,42	0,95	0,92	0,88	Muito bom	3,51
Sete dias									
FAO 56 PM									3,12
Penman. Mod.	- 0,646	1,304	1,00	0,38	1,00	0,95	0,95	Ótimo	3,42
Radiação	- 0,001	1,128	0,97	0,44	0,98	0,93	0,91	Ótimo	3,52
Blaney-Criddle	0,164	0,786	0,93	0,56	0,96	0,85	0,81	Muito bom	2,62
Harg-Samani	1,143	1,184	0,85	1,78	0,92	0,52	0,48	Sofrível	4,83
Priestley-Taylor	0,122	1,183	0,99	0,72	0,99	0,83	0,83	Muito bom	3,81
Turc	0,748	0,885	0,97	0,42	0,98	0,92	0,90	Muito bom	3,51

*Camargo e Sentelha (1997).

Os métodos Penman Modificado e Radiação obtiveram valores de r^2 igual a 0,96 e 0,84, respectivamente, sendo classificados como “Muito Bom”. Hargreaves-Samani e Turc demonstraram desempenho “Mediano”. O método de Hargreaves-Samani subestimou os valores de ET_0 obtidos pelo método padrão, evidenciando comportamento contrário quando empregado em climas úmidos. Cavalcante Junior et al. (2010) avaliando e calibrando métodos de estimativa da ET_0 na região de Mossoró-RN, verificaram que, para os meses de maior demanda evapotranspirométrica, o método de Hargreaves-Samani tendeu a subestimar a ET_0 .

Dentre os métodos estudados, o que apresentou pior desempenho foi o método de Priestley-Taylor classificado como “Mau” ($c = 0,38$), justificado pelo seu alto valor de estimativa de erro padrão ($1,95 \text{ mm d}^{-1}$).

A análise dos resultados obtidos para as escalas de três, cinco e sete dias, evidencia que o método de Blaney-Criddle apresentou o melhor índice de desempenho (“Ótimo”), sendo acompanhado por Penman Modificado e Radiação, que apresentaram índice médio “c” $> 0,81$, classificando-os com desempenho “Muito Bom” e pelos seus baixos valores de EEP. Com isso, entende-se que esses métodos possam ser aplicados na estimativa da ET_0 para as condições climáticas do município de Anagé. Araújo et al. (2007), analisando diferentes métodos de estimativa da ET_0 , verificaram que o método Blaney-Criddle atende satisfatoriamente a estimativa da ET_0 mensal, na região de Boa Vista-RR.

Os métodos de Priestley-Taylor e Turc apresentaram valores médios de EEP elevados, iguais a $1,89 \text{ mm d}^{-1}$ e $1,92 \text{ mm d}^{-1}$, respectivamente. Esses resultados restringem seu uso na estimativa de ET_0 para esse local, sendo necessários novos estudos ou uma prévia calibração desses métodos. Bragança et al. (2007) para a localidade de Sooretama-ES, no período chuvoso, obtiveram resultados contrários, onde os métodos Priestley-Taylor e Turc apresentaram melhor desempenho.

Na Tabela 3 encontram-se os parâmetros da equação de regressão (a e b), coeficiente de determinação (r^2), estimativa de erro padrão (EEP), índice de concordância (d) e índice de confiança ou desempenho (c) para valores de ET_0 de um, três, cinco e sete dias, em Ilhéus-BA.

A análise dos resultados obtidos para a localidade de Ilhéus, na escala diária, mostram que os melhores métodos de estimativa da ET_0 foram Penman modificado e Radiação, com valores de $c = 0,95$ e $0,92$, respectivamente, sendo classificado com desempenho “Ótimo”, valores de r^2 próximos a 1 e baixos valores de estimativa do erro padrão. Com relação aos métodos de Blaney-Criddle, Priestley-Taylor e Turc, todos apresentaram desempenho considerado “Muito Bom”. Blaney-Criddle subestimou a

ET_0 em $0,50 \text{ mm d}^{-1}$, em relação ao método padrão, enquanto Priestley-Taylor e Turc o superestimaram. O método de Hargreaves-Samani foi o que obteve pior desempenho ($c = 0,43$ e $EEP = 1,82 \text{ mm d}^{-1}$), superestimando a ET_0 em $1,71 \text{ mm d}^{-1}$, sendo classificado como “Sofrível”. Resultados similares foram obtidos por Bragança et al. (2007) em estudos realizados no município de Cachoeiro de Itapemirim-ES, para período chuvoso e por Mendonça et al. (2003), em estudos desenvolvidos na região Norte Fluminense-RJ.

A análise dos resultados obtidos para todos os períodos de tempo mostram que os métodos de Penman modificado e Radiação apresentaram índices de $r^2 > 0,97$ e índices “c” $> 0,90$, sendo classificados como “Ótimos” desempenhos. Os métodos de Blaney-Criddle, Priestley-Taylor e Turc foram classificados como “Muito Bom”, porém, com elevados valores de EEP, o que pode indicar a necessidade de novos estudos. Hargreaves-Samani ($c = 0,48$) com valores de $EEP = 1,78 \text{ mm d}^{-1}$, superestimou a ET_0 obtida pelo método padrão e foi a que apresentou pior desempenho, sendo classificado como “Sofrível”. Este resultado corrobora com Jesen et al. (1990), os quais citam que os métodos que se baseiam na temperatura do ar e na radiação, caso de Hargreaves-Samani, tendem a superestimar a evapotranspiração de referência em 15 a 25%, em climas úmidos e, ainda, com Oliveira et al., (2008) em estudos realizados em Viçosa-MG, onde o método que mais superestimou a ET_0 , independentemente do intervalo de comparação, foi o de Hargreaves-Samani. Este método, por ser mais simples e por exigir apenas a temperatura máxima e mínima do ar, necessita de um fator de correção para dar resultados mais confiáveis e mais próximos do método de Penman-Monteith-FAO 56.

CONCLUSÕES

Para todas as localidades e em todos os intervalos de tempos estudados, os melhores métodos são: Blaney-Criddle, Penman Modificado - FAO 24, Radiação FAO 24, Turc, Priestley-Taylor e Hargreaves-Samani;

Os métodos que necessitam de um número maior de elementos climáticos, tais como, Blaney-Criddle, Radiação - FAO 24 e Penman Modificado - FAO 24 apresentam melhor desempenho do que os mais simples;

Independente das condições climáticas estudadas, se semiárida ou subúmida, o método de Hargreaves-Samani se destaca como sendo o pior método.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, L. P. et al. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades no Norte de Minas Gerais. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 19 n. 5, p. 437-449, 2011
- ALLEN, R. G. A penman for all seasons. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 112, n. 4, p. 348-386, 1986.
- ALLEN, R. G. **REF-ET**: reference evapotranspiration calculator. Version 2.1. Idaho: Idaho University, 2000. 82 p.
- ALLEN, R. G. et al. **Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 310 p. (Irrigation and drainage Paper, 56).
- ARAUJO, W. F.; COSTA, S. A. A.; SANTOS, A. E. Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Boa Vista, RR. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 20, n. 4, p. 84-88, 2007.
- 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.
- BRAGANÇA, R. et al. Estudo comparativo da estimativa da Evapotranspiração de Referência no período chuvoso para três localidades estado do Espírito Santo. **Revista Idesia**, v. 28, n. 2, p. 21-29, 2010.
- 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.
- CAVALCANTE JÚNIOR, E. G. et al. Estimativa da evapotranspiração de referência para a cidade de Mossoró – RN. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 31, n. 2, p. 87-92, 2010.
- CONCEIÇÃO, M. A. F. Estimativa da evapotranspiração de referência com base na temperatura do ar para as condições do Baixo Rio Grande, SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 229-236, 2003.
- JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1990. 332 p.
- MENDONÇA, J. C. et al. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003.
- OLIVEIRA, L. F. C. et al. Estudo comparativo de modelos de estimativa de evapotranspiração de referência para algumas localidades do estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 31, n. 2, p. 12-126, 2001.
- OLIVEIRA, R. A. et al. Desempenho do Irrigâmetro na estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2 p. 166-173, 2008.
- REIS, E. F. et al. Estudo comparativo da estimativa da Evapotranspiração de Referência para três localidades estado do Espírito Santo no período seco. **Revista Idesia**, v. 25, n. 3, p. 75-84, 2007.
- SILVA, L. C.; RAO, T. V. R. Avaliação de métodos para estimativa de coeficientes da cultura de amendoim. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 128-131, 2006.
- SMITH, M. **Report on the expert consultation on revision of crop water requirements**. Rome: FAO, 1991. 45 p.
- TAGLIAFERRE, C. et al. Estimativa da evapotranspiração de referência usando minievaporímetro com irrigâmetro modificado. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 14, n. 3, p. 212-212, 2006.
- TAGLIAFERRE, C. et al. Estudo comparativo de diferentes metodologias para determinação da evapotranspiração de referência em Eunápolis-BA. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 1, p. 103-111, 2010.
- WILLMOTT, C. J.; CKLESON, S. G.; DAVIS, R. E. Statistics for evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v. 90, n. C5. p. 8995-9005, 1985