

COMPORTAMENTO DOS DIFERENTES MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NAS CINCO REGIÕES BRASILEIRAS

M. S. Costa¹, E. C. Mantovani², G. C. Sedyama²

RESUMO

A determinação da evapotranspiração de referência pode ter grande importância para a agricultura. O método proposto por Penman-Monteith (PM) e modificado pela FAO para o cálculo de ETo é aceito mundialmente e considerado padrão. Há, no entanto, outros métodos, como Hargreaves (HA). Objetivou-se nesse trabalho, determinar as variações dos métodos de determinação de ETo, de acordo com as condições climáticas das cinco regiões brasileiras. Escolheu-se cinco cidades de clima representativo e utilizou-se como tratamentos a estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) de acordo com os métodos PM, PMfd (com falta de dados), HA e HAaj (Hargreaves ajustado), em uma base de dados de 5 anos obtidos na plataforma do INMET. Na Região Norte, os dados obtidos por intermédio de HA e HAaj foram próximos aos de PM, enquanto que com PMfd obteve valores inferiores. Na Região Nordeste, o método que mais se aproximou de PM foi HAaj. No Centro-Oeste, os dados de PM e HAaj foram praticamente iguais. Para o Sudeste, PM foi superior a HA na época de temperaturas altas, tendendo ser inferior no inverno. No Sul, PM e HAaj se mantiveram praticamente iguais, no período de temperaturas baixas do ano HA apresentou valores próximos ao PM. Em todas as Regiões, obteve-se valores de PMfd abaixo dos demais, enquanto que PM e HAaj apresentaram comportamento semelhante. Da relação de HA e HAaj, conclui-se que é possível obter estimativas semelhantes a PM. Dentre os métodos

Palavras-chave: ETo, irrigação, manejo

BEHAVIOR OF DIFFERENT METHODS FOR DETERMINING THE REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION IN FIVE BRAZILIAN REGIONS

ABSTRACT

The determination of reference evapotranspiration (ETo) has great importance for the irrigated agriculture. The method proposed by Penman-Monteith (PM) and modified by FAO consultants is the method accepted and it has been used as the standard method worldwide. Have another methods, like Hargreaves (HA). The objective of this work was to determine and evaluate various methods for calculating the ETo rates and then estimate the ETo rates values, according to the climatic conditions of five Brazilian major regions. The reference evapotranspiration was determined firstly according to the PM method, and then with PMfd (PM adjusted), HA and HAaj (adjusted Hargreaves) with a 5-years databases obtained from INMET

¹Mestranda, DEA/UFV, Viçosa – Minas Gerais. E-mail: monalisa.costa@ufv.br

²Doutor, Professor da UFV, Viçosa – Minas Gerais. E-mail: everardo@ufv.br; g.sedyama@ufv.br
testados, em relação a PM, o HAaj foi o qual apresentou valores semelhantes ao de PM.

(National Institute of Meteorology) meteorological platforms. In the Northern Region, the ETo values obtained through HA and HAaj were close to the PM, while with that obtained from PMfd resulted in lower values. In the Northeast, the method that most approached PM was HAaj. In the Midwest, the data PM and HAaj were nearly identical. To the Southeast, PM exceeded HA at the time of high temperatures, tending to be lower in the winter. In the South, PM and HAaj remained nearly stable in the period of low temperatures of the year. HA showed similar results. In all regions, we obtained PMfd values to be below the others estimated values, while PM and HAaj showed similar behavior. From the ratio of HA and HAaj, it can be concluded that it is possible to obtain similar estimates of PM standards results. Among the methods tested in relation to PM, the HAaj presented values which was closer the PM method.

Keywords: ETo, irrigation, management

INTRODUÇÃO

A evapotranspiração pode ser definida como sendo a combinação de dois processos separados, em que a água é perdida por meio da evaporação na superfície do solo e também através do processo de transpiração da planta (ALLEN et al., 1998).

Nesse processo interferem vários fatores, que de um modo geral envolvem o clima, a planta e as condições ambientais e de manejo (ALLEN et al., 1998).

A evapotranspiração de referência (ETo) é um complexo parâmetro que controla a energia e a troca de massas entre os ecossistemas terrestre e atmosférico (CROITORU et al., 2013). É uma ferramenta sensível que monitora trocas de energia e transferência de umidade entre a atmosfera e a superfície terrestre.

Segundo Allen et al. (1998), a ETo se refere a evapotranspiração em uma superfície cultivada com uma grama hipotética sob condições específicas com boa disponibilidade de água. Essas condições são constituídas de uma grama que possui uma altura de 0,12 m, com uma resistência de superfície fixa em 70 s m^{-1} , um albedo de 0,23, uma extensa área verde com boa disponibilidade hídrica, altura uniforme, em ativo crescimento e com total sombreamento.

Existem vários métodos para se calcular a ETo, o principal deles é o método proposto por Penman-Monteith, cujo é considerado por muitos o método padrão, por ser usado em qualquer lugar sem necessitar de calibração, e por englobar tanto as variáveis fisiológicas e aerodinâmicas. Existe também o método proposto por Hargreaves, que pode ser considerado mais simples do que

Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998; BERTI et al., 2014).

Raziei e Pereira (2013) afirmam que a equação proposta por Hargreaves-Samani apresenta bons resultados quando comparada com a metodologia proposta por Penman-Monteith, quando utilizado para condições de clima árido e subúmido, pois foi para estas situações que o método foi desenvolvido. No entanto, em regiões úmidas, esse primeiro tende a superestimar a ETo quando em comparação com o último. Não são feitos ajustes nessa equação para torná-la mais exata em relação a Penman-Monteith, pois sua simplicidade faz com que seja utilizada em muitas ocasiões, principalmente quando não se dispõe de muitas variáveis climáticas. Todorovic et al. (2013) afirmam que se o local em que a equação for utilizada tenha clima seco e com incidência de elevadas velocidades de vento, HA subestima a ETo.

Valiantzas (2013) afirma que o método proposto por Penman-Monteith e modificado pela FAO é universalmente aceito, tanto para cálculos de ETo diário como mensal. Ressalta também como desvantagem de uso da equação, o elevado número de variáveis climáticas necessárias, ao passo que a equação de Hargreaves apresenta menor exigência e complexidade quanto a isso.

Uma alternativa para não disponibilidade completa de dados meteorológicos para o uso da equação de PM é apresentada por Allen et al. (1998). São procedimentos que estimam, em caso de falta, os valores de radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento, denominada de equação de PM com dados faltantes (PMfd).

Um estudo de ETo é de importância não somente relacionada ao clima, como também para a agricultura e estudos hidrológicos. É utilizado no manejo da irrigação, gestão de reservatórios,

COMPORTAMENTO DOS DIFERENTES MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NAS CINCO REGIÕES BRASILEIRAS

demanda hídrica pela cultura e estudo de mudanças climáticas (RAZIEI; PEREIRA, 2013). Na agricultura, a ETo pode afetar tanto no sentido de demanda hídrica pelas plantas, como também no padrão e época de crescimento (CROITORU et al., 2013).

Este trabalho tem por objetivo analisar a diferença dos métodos de determinação de ETo através da equação de Penman-Monteith, Hargreaves, a equação de Penman-Monteith na ausência de dados utilizando somente as temperaturas máxima e mínima, e através de uma regressão linear que corrige Hargreaves em relação a Penman-Monteith para as cinco Regiões brasileiras.

MATERIAIS E MÉTODOS

Através da plataforma do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), obteve-se dados históricos mensais do período entre Janeiro de 2009 até dezembro de 2013 para cinco cidades de cada uma das cinco Regiões brasileiras, sendo cada uma escolhida de forma aleatória dentre as que apresentavam disponibilidade de dados necessários. Na Tabela 1, apresentam-se as cidades utilizadas de cada Região com suas respectivas latitude, longitude, altitude e código da estação cadastrada.

Tabela 1. Identificação das cidades utilizadas para obtenção de dados climáticos de cada Região.

Cidade	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Estação
Norte				
Cruzeiro do Sul - AC	7,6° S	72,76° W	170	82704
Macapá - AP	0,05° S	51,11° W	14	82098
Manaus - AM	3,1° S	60,01° W	61	82331
Rio Branco - AC	9,96° S	67,8° W	160	82915
Manicore - AM	5,78° S	61,29° W	41	81810
Nordeste				
Caico - RN	6,46° S	37,08° W	171	81875
Arco Verde - PE	8,41° S	37,08° W	680	82890
Barbalha - CE	7,31° S	39,3° W	409	82784
Petrolina - PE	9,38° S	40,48° W	370	82983
Quixeramobim - CE	5,16° S	39,28° W	79	82586
Centro Oeste				
Goiás - GO	15,39° S	50,14° W	513	86712
Aragarcas - GO	15,9° S	52,23° W	345	83368
Brasília - DF	15,78° S	47,92° W	1160	83377
Gleba Celeste - MT	12,28° S	55,29° W	415	83264
Matupa - MT	10,25° S	54,91° W	285	83214
Sudeste				
Viçosa - MG	20,76° S	42,86° W	698	86824
Aimores - MG	19,49° S	41,07° W	83	83595
Montes Claros - MG	16,68° S	43,84° W	652	83437
Sorocaba - SP	23,48° S	47,43° W	645	83851
Uberaba - MG	19,73° S	47,95° W	737	83577

Sul					
Canela - RS		29,36°	50,82° W	831	86890
	S				
Campos Novos - SC		27,38°	51,2° W	947	83887
	S				
Curitiba - PR		25,43°	49,26° W	923	83842
	S				
Maringa - PR		23,4° S	51,91° W	542	83767
Santa Maria - RS		29,7° S	53,7° W	95	83936

Para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o) através do método de Penman-monteith (PM) e Hargreaves (HA), utilizou-se as equações apresentadas por Allen et al. (1998) e o programa RefET (ALLEN, 2012).

Obteve-se também ET_o utilizando como dados climáticos variáveis somente as temperaturas máxima e mínima (Penman com dados faltantes – PMfd). As variáveis umidade relativa do ar, velocidade do vento e insolação não fizeram parte dos cálculos, sendo assim estimadas por equações alternativas, apresentadas por Allen et al. (1998).

Com a ET_o calculada pelas metodologias de PM e HA, elaborou-se um ajuste para os dados estimados a equação de HA, utilizando-se um modelo de ajuste por regressão linear e a mesma foi definida como HA ajustada (HAaj). Utilizando como base de dados valores diários de temperatura máxima e mínima, umidade relativa média do ar, velocidade do vento, insolação e precipitação cada cidade em um intervalo de tempo compreendido entre 2009 e 2013, obtendo assim uma equação elaborada para cada cidade, como mostra na Tabela 2.

Tabela 2. Equação utilizada para o ajuste de HA em relação a PM para cada cidade no seguinte modelo:

$$HAaj = a Ha + b$$

Cidade	Coeficientes	
	a	b
Norte		
Cruzeiro do Sul - AC	1,49	-3,87
Macapá - AP	2,73	-7,97
Manaus - AM	1,88	-4,66
Rio Branco - AC	1,46	-3,18
Manicore - AM	10,00	-44,71
Nordeste		
Caico - RN	1,85	-3,29
Arco Verde - PE	1,88	-4,13
Barbalha - CE	1,61	-3,75
Petrolina - PE	1,71	-2,61
Quixeramobim - CE	2,07	-4,55
Centro - Oeste		
Goiás - GO	1,18	-0,081
Aragarcas - GO	1,36	-3,46
Brasília - DF	2,40	-5,98
Gleba Celeste - MT	1,95	-6,69
Matupa - MT	1,82	-5,49
Sudeste		
Viçosa - MG	1,72	-2,58
Aimores - MG	1,17	-1,83
Montes Claros - MG	1,41	-2,34
Sorocaba - SP	0,96	-0,84

COMPORTAMENTO DOS DIFERENTES MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NAS CINCO REGIÕES BRASILEIRAS

Uberaba - MG	1,45	-3,05
Sul		
Canela - RS	1,27	-0,31
Campos Novos - SC	1,14	-0,92
Curitiba - PR	1,05	-0,83
Maringá - PR	1,12	-1,1
Santa Maria - RS	1,10	-0,97

Na comparação da precisão da estimativa da ETo, o erro dos mesmos foi calculado através da equação da raiz do erro quadrático médio (REQM) e pelo erro absoluto médio (EAM), considerando sempre a ETo de PM como valor padrão, que foram obtidos através das equações (ALENCAR et al., 2011):

$$REQM = \sqrt{\left(N^{-1} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2\right)} \quad (1)$$

$$EAM = N^{-1} \sum_{i=1}^N |P_i - O_i| \quad (2)$$

Em que N é o número de observações; P_i são os valores estimados da ETo (mm dia⁻¹); e, O_i são os valores de ETo estimados pelo método de PM.

Também utilizou-se um Índice de Concordância proposto por Willmot (1982), em que quanto mais próximo de 1, maior é a concordância entre o método simulado e o observado. É dado pela seguinte equação:

$$IC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_{is} - P_{io})^2}{\sum_{i=1}^N (|P_{is} - \bar{P}_{is}| + |P_{io} - \bar{P}_{io}|)} \quad (3)$$

Em que P_{is} é o valor de ETo simulado (mm dia⁻¹); e, P_{io} é o valor de ET observado por PM.

Foi aplicado um Teste de Tukey a 5% de probabilidade para análise das médias de ETo entre os tratamentos adotados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ETo calculada pelo método proposto por Penman Monteith é tomada como base para comparação dos demais métodos adotados devido esta apresentar boa resposta de acordo com o tempo em que ela é usada e com o tipo de clima (TODOROVIC et al., 2013). Através do teste de médias, se observou que nas Regiões Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, os resultados foram significativos, havendo diferença de comportamento dos dados entre cada método utilizado, como mostra a tabela abaixo. Com exceção da Região Norte, em que não houve diferença entre os tratamentos.

Tabela 3. Diferença entre as médias para cada tratamento nas regiões Norte, Nordeste, Centro Oeste, Sul e Sudeste.

Norte		Nordeste		Centro Oeste		Sul		Sudeste	
Método	Média	Método	Média	Método	Média	Método	Média	Método	Média
PM	3,84 a	PM	5,14 a	PM	4,23 b	PM	3,22 ab	PM	3,81 b
HA	4,62 a	HA	4,97 ab	HA	4,98 a	HA	3,58 a	HA	4,44 a
HAaj	4,22 a	HAaj	5,39 a	HAaj	4,21 b	HAaj	3,22 ab	HAaj	3,82 b
PMfd	3,74 a	PMfd	4,03 b	PMfd	3,93 b	PMfd	2,76 b	PMfd	3,45 b

*As médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

HA foi superior em relação aos demais tratamentos, logo apresentou valores de ETo superestimados em comparação a PM, o que é normal de se observar na maioria dos eventos.

PMfd não apresentou diferença estatística em relação a PM e HAaj quando avaliado através de médias. Para PM e HAaj houve um perfeito ajuste desse último, aproximando ao máximo os valores

de ETo dos obtidos pela equação de PM. Esse comportamento é facilmente observado em valores médios, mas, para valores diários pode não haver tamanha aproximação, e sim uma variação maior entre esses.

Na Tabela 4 tem-se uma média da ETo quando calculada para cada cidade de acordo com os tratamentos adotados ao longo do período considerado.

Tabela 4. Média da ETo (mm dia⁻¹) na Região Norte, Nordeste, Centro Oeste, Sudeste e Sul conforme cada tratamento adotado.

		M	P A	H	P Mfd	H Aaj
Norte						
AC	Cruzeiro do Sul -	4	3,1 0	4,7	3, 72	3,1 3
	Macapá - AP	6	4,0 8	4,4	3, 59	4,0 6
	Manaus - AM	8	3,7 7	4,4	3, 69	3,7 7
	Rio Branco - AC	0	3,5 9	4,5	3, 73	3,5 0
	Manicore - AM	4	4,7 5	4,9	3, 96	6,6 4
Nordeste						
CE	Caico - RN	4	6,2 3	5,8	4, 44	7,5 0
	Arco verde - PE	3	4,3 9	4,4	3, 63	4,3 0
	Barbalha - CE	6	4,3 5	5,0	4, 07	4,3 9
	Petrolina - PE	2	5,4 0	4,7	3, 90	5,4 1
	Quixeramobim -	7	4,3 8	4,7	4, 10	4,3 7
Centro Oeste						
MT	Goiás - GO		4,9 3	5,0	4, 08	4,8 6
	Aragarcas - GO	2	3,5 3	5,1	4, 01	3,5 2
	Brasília - DF	4	3,7 4	4,0	3, 15	3,7 0
	Gleba Celeste -	3	4,1 6	5,5	4, 38	4,1 2
	Matupa - MT	6	3,8 3	5,1	4, 05	3,8 5
Sudeste						
	Viçosa - MG	8	3,2 9	3,9	3, 09	3,2 8
	Aimores - MG	6	3,8 7	4,8	3, 80	3,8 6
	Montes Claros -		4,1	4,6	3,	4,2

COMPORTAMENTO DOS DIFERENTES MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NAS CINCO REGIÕES BRASILEIRAS

MG	9	5	59	0		
Sorocaba – SP	3	3,0	4,0	3,	3,0	
Uberaba – MG	0	3,7	4,6	3,	3,7	
		6	62	1		
<hr/>						
Sul						
Canela – RS	5	2,7	3,2	2,	2,7	
Campos Novos –		3,0	3,4	2,	3,0	
SC	0	2	58	0		
Curitiba – PR	6	2,7	3,4	2,	2,7	
Maringá – PR	9	3,4	4,1	3,	3,4	
Santa Maria - RS	9	3,0	3,7	2,	3,0	
		1	88	9		

Na Região Norte, observou-se que PMfd subestimou a ETo. Ao contrário desse, HA superestimou esse em relação a PM ao longo dos anos estudados. A equação ajustada apresentou uma maior variação da ETo, mas mantendo sempre seu valor próximo a PM. Souza (2009) observou que para o Estado do Acre, HA superestimou PM, concordando assim com o apresentado. Berti et al. (2014) também observaram que HA superestimou os valores de ETo quando comparado com PM quando analisado em algumas localidades do nordeste da Itália.

Valiantzas (2013) apresentou uma equação com boa confiabilidade em relação a PM e menos complexa, obtendo sucesso quando elaborada somente utilizando valores de temperatura do ar e umidade relativa, resultando em uma equação cada vez mais simples.

Comparando a relação de HA e PM no Nordeste com o trabalho de Silva et al. (2010), se observou que esses apresentaram boa correlação entre esses métodos em dois municípios do Ceará. O assentimento dos resultados se dá devido o Nordeste ser uma região de clima homogêneo em maior parte do seu território. A equação ajustada HAaj se põe nesse caso como uma alternativa confiável em relação a HA, quando se leva em consideração a semelhança dos dados em analogia a PM e quando não se tem um parâmetro ajustado para a localidade. Gonçalves et al. (2009) também obtiveram boa correlação do método de PM e HA quando estudados para o Estado do Ceará.

Raziei e Pereira (2013) observando resultados de ETo para o Irã, observou que nas regiões semiáridas, houve uma boa correlação de Hargreaves e a equação de Penman-Monteith na ausência de dados, com a equação de Penman-Monteith. Quando comparou HA com PMfd verificou que a primeira foi melhor que a segunda na maioria das estações analisada.

No Centro-Oeste, HA ao longo de todo período considerado superestimou a ETo em relação a PM. Com a equação de HAaj se obteve bom ajuste, apresentando valores semelhantes a PM. PMfd tendeu a uma subestimativa da ETo. Comparando os dados com Fanaya Junior et al. (2012), esses também observaram HA com valores superestimados a PM, quando estudado para uma cidade do Estado do Mato Grosso do Sul.

Na Região Sudeste, os resultados são semelhante aos anteriores. O comportamento de PM e HA concordam com o apresentado por Borges e Mediondo (2007), em que estudam estimativas de ETo para uma bacia situada na região de São Paulo. Os resultados apresentados por Alencar et al. (2011) também apresentam comportamento condizente, quando avaliado três municípios do norte de Minas Gerais.

Observa-se que PMfd subestimou a ETo quando analisado a Região Sul, HAaj apresentou valores próximos a PM, enquanto que HA apresentou dados superiores aos demais tratamentos. Semelhante ao apresentado, Neves et al. (2011) observaram que houve um bom ajuste para PM e HA, justificando o comportamento análogo entre PM e HAaj.

Na Tabela 5, observa-se através do REQM que na Região Norte o método de PMfd foi mais confiável, apresentando assim menor valor de erro. No Nordeste obteve-se baixo valor de erro em HA-PM, o que é esperado, pois segundo Raziei e Pereira (2013), a equação de HA foi desenvolvida para condições áridas e clima subúmido. Enquanto que na Região Sudeste e Sul, o melhor ajuste foi quando se calculou HAaj

em relação a PM, com a equação HA-PM com baixa confiabilidade, devido a superestimativa desse primeiro quando submetido cálculo de ETo em clima frio e úmido. O fato do menor erro da Região Norte ser da relação PMfd-PM também é encontrado por estes autores. Estes ainda afirmam que PMfd tem melhor desempenho do que HA em regiões úmidas e subúmidas, como se nota nas Regiões Norte, Centro Oeste e Sudeste.

Tabela 5. Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM), Erro Absoluto Médio (EAM) e Índice de Concordância (IC) da equação de Hargreaves (HA), Penman Monteith com ausência de dados (PMfd) e Hargreaves ajustado (HAaj) em relação à Penman Monteith (PM).

Norte			
	REQM	EAM	IC
HA-PM	8,71	19,48	0,59
PMfd-PM	1,24	10,67	0,96
HAaj-PM	4,22	9,64	0,91
Nordeste			
	REQM	EAM	IC
HA-PM	1,92	12,86	0,97
PMfd-PM	12,53	28,02	0,59
HAaj-PM	2,79	6,69	0,97
Centro-Oeste			
	REQM	EAM	IC
HA-PM	10,60	23,71	0,49
PMfd-PM	1,17	11,65	0,97
HAaj-PM	0,24	0,53	0,99
Sudeste			
	REQM	EAM	IC
HA-PM	7,00	18,61	0,58
PMfd-PM	4,13	10,47	0,74
HAaj-PM	0,03	0,09	0,99
Sul			
	REQM	EAM	IC
HA-PM	4,05	14,25	0,72
PMfd-PM	5,17	11,57	0,65
HAaj-PM	0,009	0,08	0,99

Quanto ao IC, observa-se que o Nordeste apresentou melhor concordância na relação HA-PM, o que já seria esperado. No Centro Oeste, Sudeste e Sul, o melhor índice de concordância foi observado na equação de ajuste de Penman em relação à Hargreaves (HAaj). No Norte se observou esse desempenho em PMfd, esse comportamento pode ser justificado pela grande ausência de dados climáticos nas séries históricas das estações climatológicas da Região.

Todorovic et al. (2013) observando comparações entre o desempenho da ETo

calculada por PM e por HA, afirmam que HA tem uma boa performance, exceto para climas úmidos, onde HA tende a superestimar o valor de ETo, como observado aqui para quase todas as Regiões, com exceção do Nordeste, por ser uma região de clima predominantemente quente e seco.

Dinpashoh et al. (2011) afirma que estudos feitos em vários países sobre o comportamento da ETo sobre diferentes climas, tem mostrado uma diminuição no valor deste apesar de estarmos vivendo um aquecimento global. Sobretudo, a

tendência é de que haja um aumento no valor dado por esse elemento climático.

De acordo com Dinpashoh et al. (2011), a ETo é um dos principais elementos do ciclo hidrológico, sendo afetado diretamente por quaisquer mudanças nas variáveis climáticas, dentre elas temperatura do ar, velocidade do vento e duração de luz solar durante o dia, sendo esses últimos os que mais governam as alterações. A alteração de um parâmetro climático pode sair mudando os demais dependentes desse, havendo assim um reflexo no cálculo final desse elemento. Assim, a ETo acompanha as variações diárias e anuais nessas variáveis. Podendo com isso contribuir para informações de clima.

De modo geral, o método PMfd apresenta valores inferiores ao demais tratamentos. PM e HAaj apresentam valores muito próximos, o que pode conferir a este último um método confiável quando se utiliza a equação de HA para cálculo de ETo.

Sob valores de ETo elevados, HA tendeu a uma maior variação de valores, apresentando em alguns meses do ano ETo distinta de PM e HAaj. Mas nas outras Regiões, quando os valores de temperatura, insolação e velocidade do vento diminuía, fazendo que consequentemente a ETo também diminuísse, houve uma tendência de HA apresentar valores próximos aos de PM.

CONCLUSÕES

Conclui-se que em todas as Regiões estudadas PMfd subestimou os valores de ETo, indicando que para as condições presente esta metodologia não apresenta precisão adequada. HAaj estimou de forma adequada os valores de ETo quando comparado com a metodologia padrão de PM. HA apresentou boa correlação de ETo em relação a PM sob condições de clima quente e, apresentava superestimativa para Regiões de clima mais frio e úmido.

O uso do método HAaj pode ser uma técnica viável quando não se tem todas as variáveis necessárias para o cálculo de ETo através da equação de Penman-Monteith.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, L. P.; SEDIYAMA, G. C.; WANDERLEY, H. S.; ALMEIDA, T. S.; DELGADO, R. C. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades no norte de Minas Gerais. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 19, n. 5, p. 437-449, 2011.
- ALLEN, R. G. RefET. **Reference Evapotranspiration Calculator**. University of Idaho. 2012.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 297p.
- Assistat. **Assistência Estatística**. Versão 7.7 beta.
- BERTI, A.; TARDIVO, G.; CHIAUDANI, A.; RECH, F.; BORIN, M. Assessing reference evapotranspiration by the Hargreaves method in north-eastern Italy. **Agricultural Water Management**, 140, p. 20-25, 2014.
- BORGES, A. C.; MEDIONDO, 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.
- CROITORU, A. E.; PITICAR, A.; DRAGOTA, C. S.; BURADA, D. C. Recent changes in reference evapotranspiration in Romania. **Global and Planetary Change**, 111, p. 127-132, 2013.
- DINPASHOH, Y.; JHAJHARIA, D.; FAKHERIFARD, A.; SINGH, V. P.; KAHYA, E. Trends in reference crop evapotranspiration over Iran. **Journal of Hydrology**, 399, p. 422-433, 2011.
- FANAYA JUNIOR, E. D.; LOPES, A. S.; OLIVEIRA, G. Q.; JUNG, L. H. Métodos empíricos para estimativa da evapotranspiração de referência para Aquidauana, MS. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 4, p. 418-434, 2012.
- GONÇALVES, F. M.; FEITOSA, H. O.; CARVALHO, C. M.; GOMES FILHO, R. R.; VALNIR JUNIOR, M. Comparação de métodos

da estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Sobral-CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 3, n. 2, p. 71-77, 2009.

HARGREAVES, G.H., SAMANI, Z.A. Estimating potential evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, 108 (3), 225-230, 1982.

NEVES, L. O.; OLIVEIRA, E. C.; ARAÚJO, J. C.; SILVA, M. A. V.; AGUIAR, L. J. G.; GONÇALVES, P. H.; FREITAS, R. A. P.; RODRIGUES, M. P.; CATONI, J. M.; SILVA, M. E. Estimativa da evapotranspiração de referência diária para região de Ituporanga-SC. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 17., Gramado. **Anais...** Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2011.

PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G.; SMITH, M.; RAES, D. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: past and future. **Agricultural Water Management**, 147, p. 4-20, 2015.

RAZIEI, T.; PEREIRA, L. S. Estimation of ETo with Hargreaves-Samani and FAO-PM temperature methods for a wide range of climates in Iran. **Agricultural Water Management**, 121, p. 1-18, 2013.

SILVA, M. G. OLIVEIRA, J; B; LÊDO, E. R. F.; ARAÚJO, E. M.; ARAÚJO, E. M. Estimativa da ETo pelos métodos Penman-Monteith FAO 56 e Hargreaves-Samani a partir de dados de Tx e Tn para sobral e Tauá no Ceará. **Revista Acta Tecnológica**, Maranhão, v. 5, n. 2, p. 52-68, 2010.

SOUZA, M. L. A. **Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) em Rio Branco, Acre**. 2009. 75f. Dissertação (mestrado em agronomia) – Universidade Federal do Acre, Rio Branco.

TODOROVIC, M.; KARIC, B.; PEREIRA, L. S. Reference evapotranspiration estimate with limited weather data across a range of Mediterranean climates. **Journal of Hydrology**, 481, p. 166-176, 2013.

VALIANTZAS, J. D.; Simplified forms for the standardized FAO-56 Penman-Monteith reference evapotranspiration using limited weather data. **Journal of Hydrology**, 505, p. 13-23, 2013.

WILLMOT, C. J. Some Comments on the Evaluation of Model Performance. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 63, p. 1309-1313, 1982.