



Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.7, n°. 5, p. 306 - 316, 2013
ISSN 1982-7679 (On-line)
Fortaleza, CE, INOVAGRI – <http://www.inovagri.org.br>
DOI: 10.7127/rbai.v7n500172
Protocolo 172.13 – 10/07/2013 Aprovado em 24/10/2013

AJUSTE DO MODELO DE HARGREAVES PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NO NOROESTE PAULISTA

Marco Antônio Fonseca Conceição¹

RESUMO

O cálculo do consumo hídrico diário da cultura, para fins de irrigação, é feito, normalmente, com base na estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o). O modelo padrão para essa estimativa é o de Penman-Monteith, o qual requer dados que, muitas vezes, não estão disponíveis para os produtores rurais. Em condições como essa, é possível utilizar modelos que empreguem um menor número de variáveis, como o de Hargreaves, que tem por base os valores da temperatura do ar. O objetivo desse trabalho foi o de avaliar e ajustar o modelo de Hargreaves às condições climáticas do noroeste do Estado de São Paulo. Além dos dados diários, foram avaliados, também, os dados obtidos empregando-se as médias móveis de períodos de três e sete dias. O método original de Hargreaves superestimou os valores de ET_o, em relação ao método padrão, apresentando um desempenho classificado como bom. Os ajustes promovidos nos coeficientes da equação de Hargreaves permitiram melhorar o seu desempenho, que passou a ser classificado como ótimo, tanto para períodos diários como para intervalos de três e sete dias.

Palavras Chave: irrigação, Penman-Monteith, temperatura do ar

ADJUSTING THE HARGREAVES REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION MODEL FOR THE NORTHWESTERN REGION OF SÃO PAULO STATE, BRAZIL

ABSTRACT

Daily crop water requirement calculation, for irrigation purposes, is usually based on estimating reference evapotranspiration (ET_o) values. The Penman-Monteith method is the standard model for ET_o estimation, which requires data that, frequently, are not available to farmers. In such conditions, it can be used models that employ a smaller number of variables, such as Hargreaves method, which is based on air temperature values. The aim of this study was to evaluate and adjust the Hargreaves model for the climate conditions of the northwest region of the state of São Paulo, Brazil. Besides the daily data, there were also evaluated ET_o values obtained using moving averages of three and seven days. The Hargreaves original

¹ Embrapa Uva e Vinho, Estação Experimental de Viticultura Tropical, Caixa Postal 241, CEP 15700-971, Jales, SP. E-mail: marco.conceicao@embrapa.br

AJUSTE DO MODELO DE HARGREAVES PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NO NOROESTE PAULISTA

method overestimated E_{To} , compared to the standard one, with a performance classified as good. The adjustments of the Hargreaves equation coefficients improved its performance, which was classified as excellent for daily values as for three and seven days intervals.

Keywords: irrigation, Penman-Monteith, air temperature

INTRODUÇÃO

A região noroeste do Estado de São Paulo é um dos principais polos de viticultura tropical do Brasil, ao lado, por exemplo, do Vale do São Francisco e do norte de Minas Gerais, entre outros, (Camargo et al., 2011). Nessa região, a produção de uvas dá-se, predominantemente, em pequenas propriedades rurais, as quais têm, em média, de quatro a cinco hectares (Tecchio et al., 2011). Apesar de todas as áreas vitícolas serem irrigadas, os produtores, em geral, não utilizam critérios técnicos para o manejo da irrigação (Costa et al., 2012). Esse manejo tem, normalmente, por base a estimativa diária do consumo hídrico ou evapotranspiração da cultura (E_{Tc}) que se faz, geralmente, a partir dos valores da evapotranspiração de referência (E_{To}).

Atualmente, o modelo padrão para a estimativa de E_{To} é o de Penman-Monteith (E_{ToPM}), que requer, para sua aplicação, dados de radiação solar, temperatura do ar, velocidade do vento e umidade relativa do ar (Allen et al., 1998). A obtenção desses dados requer, todavia, equipamentos de maior custo (Exner-Kittridge & Rains, 2010) os quais, geralmente, não estão disponíveis para os produtores rurais do noroeste paulista (Costa et al., 2012). Em condições como essas, pode-se utilizar modelos de estimativa de E_{To} que empreguem um menor número de variáveis, como o de Hargreaves (E_{ToH}), que tem por base os valores da temperatura do ar (Allen et al., 1998).

Para as condições do noroeste paulista, Conceição (2003) comparou valores

mensais de E_{To} obtidos por diferentes modelos de estimativa baseados na temperatura do ar, com os valores de E_{ToPM} . O autor verificou que o modelo de Hargreaves, juntamente com o de Thornthwaite modificado por Camargo et al. (1999), apresentou um desempenho superior aos demais. Na mesma região, empregando dados diários de E_{To} , Conceição (2010a) observou que o modelo de Hargreaves apresentou um desempenho classificado como bom, em relação a E_{ToPM} .

De acordo com Allen et al. (1998), o modelo de Hargreaves pode melhorar o seu desempenho, com ajuste de seus coeficientes conforme as condições climáticas regionais. O ajuste de E_{ToH} pode ser realizado calibrando-se os três coeficientes empíricos do modelo, de forma isolada ou simultaneamente (Gavilán et al., 2006; Fooladmand & Haghghat, 2007; Trajkovic, 2007; Gelcer et al., 2010; Lee, 2010; Sentelhas et al., 2010; Aguilar & Polo, 2011; Almorox et al., 2012; Borges Júnior et al., 2012; Fernandes et al., 2012; Kelso-Bucio et al., 2012), ou incluindo-se outras variáveis no modelo, como a umidade relativa do ar (Back, 2008), a velocidade do vento (Martínez-Cob & Tejero-Juste, 2004) ou a precipitação pluvial (Droogers & Allen, 2002).

Os objetivos do presente trabalho foram os de avaliar e ajustar o modelo de Hargreaves utilizado na estimativa da evapotranspiração de referência, às condições climáticas do noroeste do Estado de São Paulo.

AJUSTE DO MODELO DE HARGREAVES PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NO NOROESTE PAULISTA

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados registros meteorológicos diários coletados na estação automática da Embrapa Uva e Vinho, em Jales, SP (20°10'S, 50°35'W, 455m), referentes aos anos de 2004 a 2011. Para a coleta das variáveis meteorológicas, foi empregado um sistema automático de aquisição de dados - modelo CR-510, da Campbell® - com registros efetuados a cada quinze minutos e totalizados diariamente. Foi utilizado um piranômetro de modelo Licor LI-200X,

para a determinação da radiação solar global (Rs), e sensores de temperatura e umidade relativa, de modelo Rotronic Hygroclip 525. A velocidade do vento foi medida utilizando-se um anemômetro da marca Young, instalado a 2,0m de altura.

Para calcular a ETo pelo método de Penman-Monteith (EToPM), considerado padrão para efeito de comparação, foi utilizada a seguinte expressão (Allen et al., 1998):

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

em que:

EToPM - evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith (mm dia⁻¹); s - declividade da curva de pressão de vapor em relação à temperatura (kPa °C⁻¹); R_n - radiação líquida total diária (MJ m⁻² dia⁻¹); G - fluxo total diário de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹); γ - coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹); U₂ - velocidade do vento a 2 m de altura (m s⁻¹); e_s - pressão de saturação de vapor (kPa); e_a - pressão parcial de vapor (kPa); T - temperatura média do ar (°C), calculada

automaticamente pelo sistema de aquisição de dados, com base na média das temperaturas horárias.

O fluxo de calor no solo (G) foi considerado igual a zero, valor que pode ser assumido para períodos diários (Allen et al., 1998; Back, 2007). A radiação líquida (R_n) foi estimada de acordo com a metodologia recomendada por Allen et al. (1998).

Para a estimativa de ETo pelo método de Hargreaves (EToH), foi empregada a seguinte equação:

$$EToH = HC \cdot Ra \cdot (T_x - T_n)^{HE} \cdot (T_{xn} + HT) \quad (2)$$

em que:

EToH - evapotranspiração de referência estimada pelo modelo de Hargreaves (mm dia⁻¹); HC, HE e HT - coeficientes empíricos, que no método original são iguais a 0,0023, 0,500 e 17,8, respectivamente (Hargreaves & Allen,

2003); Ra - radiação solar no topo da atmosfera (mm dia⁻¹), calculada com base na latitude do local, de acordo a metodologia apresentada por Allen et al. (1998); T_x e T_n - temperaturas máxima e mínima do ar (°C), respectivamente; T_{xn} -

AJUSTE DO MODELO DE HARGREAVES PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NO NOROESTE PAULISTA

temperatura média do ar calculada com base na média de T_x e T_n .

Foram empregados valores de T_{xn} , ao invés de T , tendo-se em vista a utilização de termômetros de máxima e mínima, para a estimativa de $EToH$, na região estudada (Conceição, 2010b).

Os ajustes dos coeficientes HC , HE e HT (Eq. 2) foram realizados com base nos dados diários de $EToH$ e $EToPM$ referentes aos anos de 2004, 2006, 2008 e 2010 ($n = 1446$), empregando-se a

ferramenta Solver, do programa Microsoft Excel[®] (Borges Júnior et al., 2012). Nesse procedimento, buscou-se maximizar o valor do índice de desempenho (c), em função da variação dos três coeficientes, analisados individual e conjuntamente. O índice de desempenho (c), proposto por Camargo & Sentelhas (1997), corresponde à multiplicação do coeficiente de correlação (r) pelo índice de exatidão (d), que pode ser escrito da seguinte forma:

$$d = 1 - \left\{ \frac{\sum (X_i - Y_i)^2}{\sum (|X_i - Y_m| + |Y_i - Y_m|)^2} \right\} \quad (3)$$

em que:

d - índice de exatidão (adimensional); X_i - representa os valores de $EToH$ (mm dia^{-1}); Y_i - representa os valores de $EToPM$ (mm dia^{-1}); Y_m - média dos valores de $EToPM$ (mm dia^{-1})

Foram considerados sete diferentes tipos de ajuste dos coeficientes HC , HE e HT : individualmente, mantendo-se os demais fixos; variando dois coeficientes (HC e HE , HC e HT e HE e HT) e mantendo o outro fixo; e variando os três coeficientes simultaneamente.

As avaliações do desempenho dos valores originais e ajustados de $EToH$, em relação aos valores de $EToPM$, foram obtidas considerando-se os dados diários

relativos aos anos ímpares da série (2005, 2007, 2009 e 2011; $n = 1435$) e os valores de R^2 , d e c . O desempenho foi classificado como ótimo para valores de c maiores que 0,85; como muito bom para valores entre 0,76 e 0,85; como bom para valores entre 0,66 e 0,75; como regular para valores entre 0,51 e 0,65; como ruim para valores entre 0,41 e 0,50; e como péssimo para valores inferiores a 0,40.

Além dos dados diários, foram avaliados, também, os dados obtidos empregando-se as médias móveis de períodos de três e sete dias, considerando-se que é comum, na região, a realização de irrigações com frequências igual a uma a duas vezes por semana (Costa et al., 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios, máximos e mínimos, no período, das temperaturas média (T e T_{xn}), máxima (T_x) e mínima (T_n) do ar, da amplitude térmica (AT), da umidade relativa do ar, da radiação solar global (R_g) e da velocidade do vento (U_2), estão apresentados na Tabela 1. As temperaturas mé-

dias do ar, calculadas com base na média dos valores horários (T), empregadas no modelo de Penman-Monteith (Eq. 1), e as calculadas com base nos valores de T_x e T_n (T_{xn}), utilizados no modelo de Hargreaves (Eq. 2), apresentaram valores próximos, durante o período estudado.

AJUSTE DO MODELO DE HARGREAVES PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NO NOROESTE PAULISTA

Tabela 1 – Valores diários máximo, médio e mínimo das temperaturas médias do ar, sendo T calculada a partir de dados horários e T_{xn} calculada com base nas temperaturas, máxima (Tx) e mínima (Tn) do ar; da amplitude térmica (AT), que representa a diferença entre Tx e Tn; da umidade relativa média do ar (UR); da radiação solar global (Rg); e da velocidade média do vento a 2 m de altura (U_2). Jales, SP, 2005-2011 (anos ímpares)

Valor	T (°C)	T_{xn} (°C)	Tx (°C)	Tn (°C)	AT (°C)	UR (%)	Rg (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	U_2 (m s ⁻¹)
Máximo	31,0	31,6	39,5	24,4	23,5	99,2	30,0	1,6
Médio	24,2	25,0	31,3	18,7	12,6	72,0	18,3	1,0
Mínimo	10,4	10,1	13,2	1,6	2,3	30,5	1,9	0,8

Os valores obtidos empregando-se o método de Hargreaves (EToH) superestimaram os valores de EToPM em todos os dias do período avaliado (Figura 1). Gavilán et al. (2006), avaliando as relações entre EToH e EToPM para diferentes localidades do sul da Espanha, também observaram uma tendência de EToH superestimar EToPM, principalmente em regiões localizadas mais distantes da costa,

enquanto que o inverso ocorreu para regiões mais próximas do litoral. Segundo os autores, o aumento na amplitude térmica (AT) é um dos fatores que leva à superestimativa de EToH, em relação à EToPM. No entanto, no presente trabalho, os valores de EToH foram inferiores aos de EToPM em todos os dias da série, apesar da grande variação de AT durante o período de avaliação (Tabela 1).

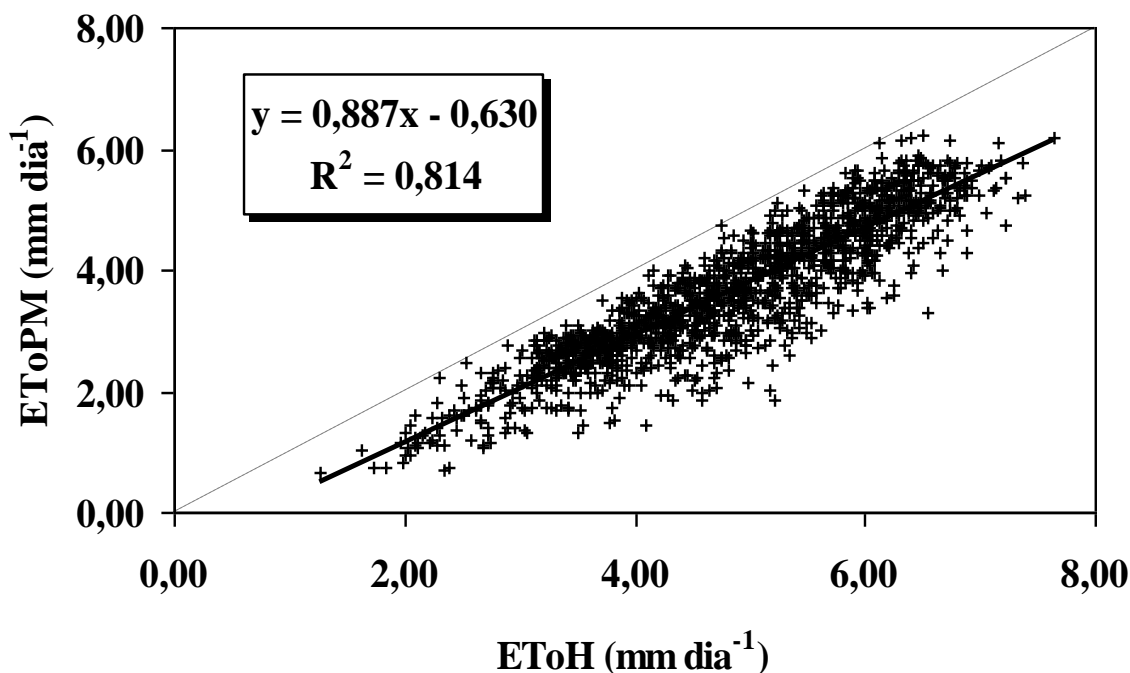


Figura 1 – Regressão linear entre os valores diários da evapotranspiração de referência estimados pelos métodos de Hargreaves (EToH) e Penman-Monteith (EToPM). Jales, SP, 2005-2011 (anos ímpares)

Os coeficientes HC, HE e HT, originais e ajustados para a Eq. 2, estão apresentados na Tabela 2. Os valores estimados pelo método de Hargreaves

(EToH), sem ajustes, apresentaram índices de exatidão (c) (Tabela 3), semelhantes ao observado por Conceição (2010), na mesma região, com outra série de dados; e

**AJUSTE DO MODELO DE HARGREAVES PARA ESTIMATIVA DA
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NO NOROESTE PAULISTA**

por Silva et al. (2011) em Uberlândia, MG. Nas duas condições, o modelo foi classificado como sendo de bom desempenho.

Tabela 2 – Valores ajustados dos coeficientes HC, HE e HT para dados diários da evapotranspiração de referência estimados pelo método de Hargreaves (EToH)

Sigla	Coefficientes ajustados	HC	HE	HT
EToH	Nenhum	0,00230	0,500	17,8
EToH _C	HC	0,00182	0,500	17,8
EToH _E	HE	0,00230	0,421	17,8
EToH _T	HT	0,00230	0,500	8,8
EToH _{CE}	HC, HE	0,00101	0,728	17,8
EToH _{CT}	HC, HT	0,00226	0,500	9,4
EToH _{ET}	HE, HT	0,00230	0,674	-3,5
EToH _{CET}	HC, HE, HT	0,00137	0,762	3,9

Tabela 3 – Coeficientes de determinação (R^2), regressão (r), exatidão (d) e desempenho (c), dos valores diários da evapotranspiração de referência estimados pelo método de Hargreaves (EToH), em relação aos estimados pelo método de Penman-Monteith (EToPM), considerando-se os diferentes ajustes dos coeficientes HC, HE e HT

Sigla	Média (mm dia⁻¹)	R^2	r	d	c	Classificação
EToPM	3,64	-	-	-	-	-
EToH	4,81	0,814	0,902	0,764	0,689	Bom
EToH _C	3,81	0,814	0,902	0,931	0,840	Muito Bom
EToH _E	3,95	0,789	0,888	0,912	0,810	Muito Bom
EToH _T	3,81	0,814	0,902	0,936	0,845	Muito Bom
EToH _{CE}	3,76	0,820	0,905	0,943	0,854	Ótimo
EToH _{CT}	3,81	0,814	0,902	0,936	0,845	Muito Bom
EToH _{ET}	3,79	0,828	0,910	0,949	0,864	Ótimo
EToH _{CET}	3,77	0,825	0,908	0,949	0,862	Ótimo

O ajuste apenas do coeficiente HC (EToH_C) (Tabela 2), aumentou o valor de c (Tabela 3), cujo desempenho passou a ser classificado como muito bom. Observa-se que os valores de R^2 e de r, de EToH e EToH_C, não são diferentes, sendo que os modelos diferenciam-se, nesse caso, pelo valor do índice de exatidão (d) (Tabela 3).

Gavilán et al. (2006) apresentaram ajustes dos valores de HC iguais a 0,0021 e 0,0027, para duas regiões semiáridas da Espanha. O maior valor representa condições em que a EToH subestima a EToPM. Segundo os autores, isso ocorre, principalmente, devido à incidência de ventos de maior intensidade, afetando o

componente aerodinâmico do modelo de Penman-Monteith, que assume, assim, valores superiores aos do modelo de Hargreaves, que não apresenta esse componente na sua composição. No entanto, a velocidade do vento (U_2) tem uma influência menor na região noroeste de São Paulo, uma vez que o maior valor no período de avaliação foi de 1,6 m s⁻¹ (Tabela 1).

Além da velocidade do vento, outros fatores podem afetar os valores de HC, como a nebulosidade, a umidade relativa do ar, a topografia e a proximidade de grandes massas de água, entre outros (Aguilar & Polo, 2011; Souza et al., 2011).

AJUSTE DO MODELO DE HARGREAVES PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NO NOROESTE PAULISTA

No Irã, Fooladmand & Haghghat (2007) obtiveram valores desse coeficiente variando entre 0,0035 e 0,0016. Sentelhas et al. (2010) ajustaram valores de HC entre 0,0017 e 0,0022, para doze localidades do Canadá. No sul da Espanha, Aguilar & Polo (2011) obtiveram valores de HC entre 0,003795 e 0,001856, estando esse último valor próximo ao encontrado no presente trabalho (Tabela 2).

O ajuste do coeficiente HE (EToH_E) (Tabela 2) elevou o valor de c, com desempenho também classificado como muito bom (Tabela 3). Em relação a EToH, o valor de R² apresentou redução, mas o índice d aumentou. Trajkovic (2007) obteve, para regiões úmidas do sudeste da Europa, um valor de HE igual a 0,424, semelhante ao apresentado na Tabela 2. A umidade relativa do ar média (UR) das regiões estudadas por Trajkovic (2007) foi igual a 73%, semelhante ao valor médio encontrado no presente trabalho, durante o período de avaliações (Tabela 1). Kelso-Bucio et al. (2012) obtiveram valores de HE, para dezesseis localidades do México, variando entre 0,30 e 0,53, com média igual a 0,44.

O ajuste do coeficiente HT (EToH_T) também permitiu que o desempenho passasse a ser classificado como muito bom (Tabela 3). Nesse caso, o valor de R² não variou, enquanto que o de d sofreu um incremento, em relação a EToH. Esses resultados indicam que, embora o valor original de HT (17,8) resulte da transformação dos valores da temperatura do ar de graus Fahrenheit para Celsius (Hargreaves & Samani, 1982), a sua calibração pode melhorar o desempenho do modelo de Hargreaves.

Os índices de desempenho foram superiores a 0,85 (Tabela 3), sendo classificados como ótimos, quando os

ajustes foram realizados considerando-se grupos de dois (EToH_{CE}, EToH_{ET}) ou três coeficientes (EToH_{CET}). Somente para EToH_{CT} é que o índice de desempenho não superou 0,85, sendo classificado como muito bom. Droogers & Allen (2002), considerando dados de diversas regiões do mundo, ajustaram valores de HC e HT iguais a 0,0025 e 16,8, respectivamente, os quais são superiores aos obtidos para EToH_{CT}, no presente trabalho (Tabela 2). Almorox et al. (2012) obteve, na Argentina, valores de HC e HE iguais a 0,00206 e 0,49, valores próximos aos do modelo original de Hargreaves. Os mesmos coeficientes foram ajustados por Fernandes et al. (2012) para dez localidades do estado de Goiás, apresentando valores médios regionais iguais a 0,00141 e 0,68, para HC e HE, respectivamente.

Considerando-se o ajuste simultâneo de HC, HE e HT (EToH_{CET}), Lee (2010) encontrou valores médios, para vinte e uma estações meteorológicas da Coreia do Sul, iguais a 0,0020, 0,194 e 50,73, respectivamente. Ajustando esses coeficientes às condições de Garanhuns, PE, Borges Júnior et al. (2012) obtiveram valores variando entre 0,0013 e 0,0014, para HC; 0,74 e 0,76, para HE; e 17,76 e 17,79, para HT. Os valores de HC e HE, obtidos por Borges Júnior et al. (2012), foram próximos aos obtidos no presente trabalho (Tabela 2).

De todos os modelos avaliados, o melhor desempenho foi obtido com o ajuste dos coeficientes HE e HT (EToH_{ET}) (Tabela 3). A principal diferença EToH e EToH_{ET}, em comparação a EToPM, refere-se ao ajuste em relação à reta 1:1 (Figuras 1 e 2), o que se reflete nos índices de exatidão (d) dos dois modelos (Tabela 3).

**AJUSTE DO MODELO DE HARGREAVES PARA ESTIMATIVA DA
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NO NOROESTE PAULISTA**

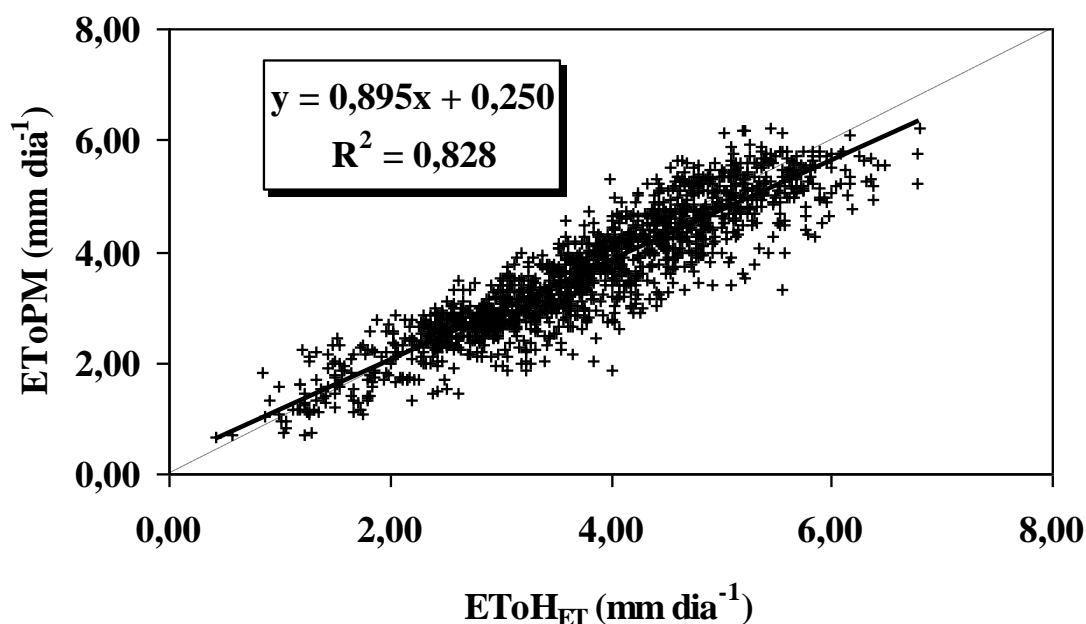


Figura 2 – Regressão linear, entre os valores da evapotranspiração de referência estimados pelo método de Hargreaves ajustado ($EToH_{ET}$) e pelo método de Penman-Monteith. Jales, SP, 2005-2011 (anos ímpares)

Avaliando-se dados médios em intervalos de três e sete dias, observou-se que, para $EToH$, o valor do índice c manteve-se o mesmo, quando foram empregados dados de três dias, e apresentou uma redução, para intervalos de sete dias (Tabela 4). Por outro lado, todos os valores ajustados apresentaram um aumento expressivo do desempenho, com o aumento do intervalo de tempo (Tabela

4). A classificação de desempenho dos modelos ajustados passou a ser ótima, com exceção de $EToH_E$ para intervalos de três dias, que manteve a mesma classificação anterior (muito bom), embora tenha apresentado um incremento no valor de c . Gelcer et al. (2010) também observaram que o desempenho do modelo de Hargreaves ajustado melhora, quando aumenta o intervalo de tempo de avaliação.

Tabela 4 – Coeficientes de determinação (R^2), regressão (r), exatidão (d) e desempenho (c), dos valores médios da evapotranspiração de referência, para períodos de 3 e 7 dias, estimados pelo método de Hargreaves ($EToH$), em relação aos estimados pelo método de Penman-Monteith ($EToPM$), considerando-se os diferentes ajustes dos coeficientes HC , HE e HT

Sigla	R^2		r		d		c		Classificação	
	3dias	7dias	3dias	7dias	3dias	7dias	3dias	7dias	3dias	7dias
$EToPM$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$EToH$	0,864	0,898	0,930	0,947	0,741	0,716	0,689	0,678	Bom	Bom
$EToH_C$	0,864	0,898	0,930	0,947	0,949	0,960	0,882	0,909	Ótimo	Ótimo
$EToH_E$	0,838	0,873	0,915	0,934	0,927	0,935	0,848	0,874	M.Bom	Ótimo
$EToH_T$	0,864	0,898	0,930	0,947	0,953	0,963	0,886	0,912	Ótimo	Ótimo
$EToH_{CE}$	0,880	0,913	0,938	0,956	0,960	0,969	0,900	0,926	Ótimo	Ótimo
$EToH_{CT}$	0,864	0,898	0,930	0,947	0,953	0,963	0,886	0,912	Ótimo	Ótimo
$EToH_{ET}$	0,883	0,917	0,940	0,958	0,963	0,971	0,905	0,930	Ótimo	Ótimo
$EToH_{CET}$	0,884	0,918	0,940	0,958	0,965	0,973	0,907	0,932	Ótimo	Ótimo

AJUSTE DO MODELO DE HARGREAVES PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NO NOROESTE PAULISTA

Com base nos resultados obtidos no presente trabalho, pode-se recomendar, assim, para as condições do noroeste

paulista, o modelo de Hargreaves ajustado e reescrito da seguinte forma:

$$EToH = 0,0023 \cdot Ra \cdot (T_x - T_n)^{0,674} \cdot (T_{xn} - 3,5) \quad (4)$$

CONCLUSÕES

Nas condições climáticas do noroeste paulista, o modelo de Hargreaves (EToH) superestima os valores da evapotranspiração de referência (ETo) estimados pelo modelo padrão de Penman-Monteith (EToPM).

O ajuste às condições locais, dos

coeficientes empíricos de EToH, melhora o desempenho de EToH, em relação a EToPM.

O desempenho dos modelos ajustados de EToH aumenta com a ampliação do intervalo de tempo de avaliação.

LITERATURA CITADA

AGUILAR, C.; POLO, M.J. Generating reference evapotranspiration surfaces from the Hargreaves equation at watershed scale. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.15, p.2495–2508, 2011.

ALLEN R.G.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALMOROX, J.; AGUIRRE, M.E.; ELISEI, V.; COMMEGNA, M. Calibración del modelo de Hargreaves para la estimación de la evapotranspiración de referencia en Coronel Dorrego, Argentina. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo**, v.44, n.1, p.101-109, 2012.

BACK, A.J. Desempenho de métodos empíricos baseados na temperatura do ar para a estimativa da evapotranspiração de referência em Urussanga, SC. **Irriga**, v.13, n.4, p.449-466, 2008.

BACK, A.J. Variação da evapotranspiração de referência calculada em diferentes intervalos de tempo. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.1, p.139-145, 2007.

BORGES JÚNIOR, J.C.F.; ANJOS, R.J.; SILVA, T.J.A.; LIMA, J.R.S.; ANDRADE, C.L.T. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.4, p.380–390, 2012.

CAMARGO, A.P. de; MARIN, F.R.; SENTELHAS, P.C.; PICINI, A.G. Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e superúmidos, com base na amplitude térmica diária. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, n.2, p.251-257, 1999.

CAMARGO, A.P. de ; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes

**AJUSTE DO MODELO DE HARGREAVES PARA ESTIMATIVA DA
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NO NOROESTE PAULISTA**

métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CAMARGO, U.A.; TONIETTO, J.; HOFFMAN, A. Progressos na viticultura brasileira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, volume especial, p.144-149, 2011.

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**, v.11, n.2, p.229-236, 2003.

CONCEIÇÃO, M.A.F. Evapotranspiração de referência com base na radiação solar global estimada pelo método de Bristow-Campbell. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.4, p.619-626, 2010a.

CONCEIÇÃO, M.A.F. **Uso de termômetro de baixo custo para estimar a evapotranspiração das culturas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2010b. 4p. (Embrapa Uva e Vinho. Comunicado Técnico, 102).

COSTA, T.V. da; TARSITANO, M.A.A.; CONCEIÇÃO, M.A.F. Caracterização social e tecnológica da produção de uvas para mesa em pequenas propriedades rurais da região de Jales-SP. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.34, n.2, p.766-773, 2012.

DROOGERS, P.; ALLEN, R.G. Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. **Irrigation and Drainage Systems**, v.16, p.33-45, 2002.

EXNER-KITTRIDGE, M.G.; RAINS, M.C. Case study on the accuracy and cost/effectiveness in simulating reference evapotranspiration in West-Central Florida. **Journal of Hydrologic Engineering**, v.15, n.9, p.696-703, 2010.

FERNANDES, D.S.; HEINEMANN, A.B.; PAZ, R.L.F.; AMORIM, A. de O. Calibração regional e local da equação de Hargreaves para estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Ciência Agrônômica**, v.43, n.2, p.246-255, 2012.

FOOLADMAND, H.R.; HAGHIGHAT, M. Spatial and temporal calibration of Hargreaves equation for calculating monthly ETo based on Penman-Monteith method. **Irrigation and Drainage**, v.56, p.439-449, 2007.

GAVILÁN, P.; LORITE, I.J.; TORNERO, S.; BERENGENA, J. Regional calibration of Hargreaves equation for estimating reference ET in a semiarid environment. **Agricultural Water Management**, v.81, p.257-281, 2006.

GELCER, E.M.; FRAISSE, C.W.; SENTELHAS, P.C. Evaluation of methodologies to estimate reference evapotranspiration in Florida. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, v.123, p.189-195, 2010.

HARGREAVES, G.H.; ALLEN, R.G. History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.129, n.1, p.53-63, 2003.

HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A. Estimating potential evapotranspiration. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, v.108, n.3, p.225-230, 1982.

**AJUSTE DO MODELO DE HARGREAVES PARA ESTIMATIVA DA
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NO NOROESTE PAULISTA**

KELSO-BUCIO, H.A.; BÂ, K.M.; SÁNCHEZ-MORALES, S.; REYES-LÓPEZ, D. Calibración del exponente de la ecuación Hargreaves-ETo en los estados de Chiapas, Oaxaca, Puebla y Veracruz, México. **Agrociencia**, v.46, p.221-229, 2012.

LEE, K.H. Relative comparison of the local recalibration of the temperature-based evapotranspiration equation for the Korea Peninsula. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.136, n.9, p.585-594, 2010.

MARTÍNEZ-COB, A.; TEJERO-JUSTE, M. A wind-based qualitative calibration of the Hargreaves ETo estimation equation in semiarid regions. **Agricultural Water Management**, v.64, p. 251–264, 2004.

SENTELHAS, P.C.; GILLESPIE, T.J.; SANTOS, E.A. Evaluation of FAO Penman–Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. **Agricultural Water Management**, v.97, p.635–644, 2010.

SILVA, V.J. da; CARVALHO, H. de P.; SILVA, C.R. da; CAMARGO, R. de; TEODORO, R.E.F. Desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária em Uberlândia, MG. **Bioscience Journal**, v.27, n.1, p.95-101, 2011.

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

TECCHIO, M.A.; BETTIOL NETO, J.E.; BARBOSA, W.; TUCCI, M.L.S. Evolution and perspective of the temperate fruit crops in São Paulo state, Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, volume especial, p.150-157, 2011.

TRAJKOVIC, S. Hargreaves versus Penman-Monteith under Humid Conditions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.133, n.1, p.38-42, 2007.