

# ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA COM BASE NA EQUAÇÃO DE BRISTOW-CAMPBELL

M. A. F. CONCEIÇÃO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pesquisador, Embrapa Uva e Vinho, Estação Experimental de Viticultura Tropical, Jales, SP, e-mail: marcoafc@cnpuv.embrapa.br

Escrito para apresentação no  
XXXVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2009  
02 a 04 de agosto de 2009 – Juazeiro-BA/Petrolina- PE

**RESUMO:** A quantidade de água a ser aplicada em sistemas de irrigação é normalmente calculada com base na evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) da região. Vários métodos podem ser empregados para o cálculo de ET<sub>o</sub>. Um dos mais utilizados é o de Hargreaves, em que a amplitude térmica é empregada para estimar a radiação solar global (R<sub>s</sub>). No presente trabalho buscou-se avaliar um método alternativo para cálculo de ET<sub>o</sub>, derivado da equação de Hargreaves, mas onde os valores de R<sub>s</sub> foram estimados empregando-se a equação de Bristow-Campbell. Os valores estimados pelo método alternativo e pelo de Hargreaves foram comparados com os calculados pelo método de Penman-Monteith, que é considerado padrão para a estimativa de ET<sub>o</sub>. O método alternativo apresentou desempenho superior ao de Hargreaves, sendo que para os dois métodos os desempenhos durante o período seco do ano foram superiores aos do período úmido.

**PALAVRAS-CHAVE:** irrigação, Hargreaves, Penman-Monteith

## ESTIMATING REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION BASED ON THE BRISTOW-CAMPBELL RADIATION METHOD

**ABSTRACT:** The calculation of the amount of water applied in irrigation systems is usually based on the local reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>). Several methods can be employed to estimate ET<sub>o</sub>. One of the most widely used is the Hargreaves method, that employed the temperature range to estimate solar radiation (R<sub>s</sub>). In this paper was evaluated an alternative method based on the Hargreaves method but where R<sub>s</sub> was estimated by the Bristow-Campbell equation. The values obtained by the Hargreaves and the alternative methods were compared with those calculated by the Penman-Monteith method, considered as the standard for ET<sub>o</sub> estimation. The alternative method showed a superior performance than the Hargreaves method. In the dry period of the year the performance of both methods was higher than in the wet season.

**KEYWORDS:** irrigation, Hargreaves, Penman-Monteith

**INTRODUÇÃO:** A quantidade de água a ser aplicada em sistemas de irrigação é normalmente calculada com base na evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) da região. O método de Penman-Monteith é considerado, atualmente, como padrão para a estimativa de ET<sub>o</sub> (Allen et al., 1998). Para seu uso, entretanto, são necessárias variáveis meteorológicas nem sempre disponíveis aos produtores. Por essa razão, métodos que empregam um menor número de variáveis são também utilizados para estimar a ET<sub>o</sub>. Dentre esses, destacam-se os que empregam apenas a temperatura do ar, sendo que Allen et al. (1998) recomendam o uso do método de Hargreaves quando só há disponibilidade de dados de temperatura no local. Para as condições da região noroeste de São Paulo, esse método



apresentou desempenho superior ao de outros avaliados, quando comparados ao método de Penman-Monteith (Conceição, 2003). Nele, a radiação solar global ( $R_s$ ) é estimada por uma equação baseada na diferença entre as temperaturas máxima e mínima do ar. Outros métodos podem, também, ser empregados para estimar a  $R_s$  usando essa diferença. Conceição & Marin (2007) verificaram que, para diferentes regiões do Brasil, o método de Bristow-Campbell (Bristow & Campbell, 1984) foi o que proporcionou os melhores resultados, quando comparados aos valores medidos de  $R_s$ . O presente trabalho apresenta uma adaptação da equação de Hargreaves para a estimativa de  $E_{To}$ , onde é utilizado a equação de Bristow-Campbell para calcular os valores de  $R_s$ . Esses valores e os obtidos empregando-se o método original de Hargreaves foram comparados aos calculados pelo método de Penman-Monteith.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Nas análises foram utilizados registros meteorológicos coletados na estação automática da Embrapa Uva e Vinho/Estação Experimental de Viticultura Tropical, em Jales, SP (20°10'S, 50°35'W, 455m). Os valores da evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ) foram calculados a partir de dados meteorológicos diários referentes aos anos de 2004 a 2007. 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 15 minutos e totalizados diariamente. Para calcular a  $E_{To}$  pelo método de Penman-Monteith ( $E_{ToPM}$ ) foi utilizada a metodologia apresentada por Allen et al. (1998). Já o método de Hargreaves pode ser descrito da seguinte forma (Hargreaves & Allen, 2003):  $E_{ToH} = 0,055 \cdot (T_{med} + 17,8) \cdot R_s$ , em que  $E_{ToH}$  é a evapotranspiração de referência calculada por esse método ( $\text{mm dia}^{-1}$ );  $R_s$  é a radiação solar global ( $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ); e  $T_{med}$  é a temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ). O valor de  $R_s$  é estimado, nesse método, empregando-se a seguinte expressão (Allen et al., 1998):  $R_s = 0,16 \cdot (T_{max} - T_{min})^{0,5} \cdot R_a$ , em que  $R_a$  é a radiação incidente no topo da atmosfera ( $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ). Por outro lado, a equação de Bristow-Campbell para a estimativa de  $R_s$  pode ser descrita da seguinte forma (Conceição & Marin, 2007):  $R_s = 0,7 \cdot [1 - \exp(-0,005 \cdot (T_{max} - T_{min})^{2,4})] \cdot R_a$ . Substituindo-se  $R_s$  na equação de  $E_{ToH}$ , obtém-se:  $E_{ToB} = 0,0039 \cdot (T_{med} + 17,8) \cdot [1 - \exp(-0,005 \cdot (T_{max} - T_{min})^{2,4})] \cdot R_a$ , em que  $E_{ToB}$  é a evapotranspiração de referência utilizando-se o método de Bristow-Campbell para estimar  $R_s$  ( $\text{mm dia}^{-1}$ ). Foram feitas avaliações considerando-se todos os dados e, também, considerando-se somente os períodos úmido (de novembro a março) ou seco (de abril a setembro). As comparações entre os valores de  $E_{ToH}$  e  $E_{ToB}$ , em relação a  $E_{ToPM}$  foram realizadas empregando-se regressões lineares, forçando-se as retas a passarem pela origem. O coeficiente de desempenho ( $c$ ) proposto por Camargo & Sentelhas (1997), foi utilizado para avaliar o desempenho de  $E_{ToH}$  e  $E_{ToB}$  em relação a  $E_{ToPM}$ . Esse coeficiente corresponde à multiplicação do coeficiente de correlação ( $r$ ) pelo coeficiente de exatidão ( $d$ ) de Willmott et al. (1985). 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.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) empregando-se  $E_{ToB}$  foram superiores aos obtidos empregando-se  $E_{ToH}$ , tanto para a série total de dados (Figura 1), quanto para os períodos úmido (Figura 2) e seco (Figura 3). Observa-se que, para os dois métodos, os valores de  $R^2$  no período seco (Figura 3) apresentaram valores próximos aos do período úmido (Figura 2). As maiores diferenças entre os dois períodos ocorreram em relação ao coeficiente de exatidão, sendo que no período seco os seus valores foram maiores (Tabela 1). O uso de  $E_{ToH}$  proporcionou um desempenho classificado como bom, considerando-se os dados em geral e o período úmido, e como muito bom no período seco (Tabela 1). Por outro lado, o desempenho de  $E_{ToB}$  foi classificado como muito bom nas três condições avaliadas (Tabela 1). O melhor desempenho de  $E_{ToB}$ , em relação a  $E_{ToH}$ , reflete o desempenho superior da equação de Bristow-Campbell em relação à de Hargreaves na estimativa de  $R_s$  (Conceição & Marin, 2007). O elevado desempenho de

EToB, principalmente durante o período seco, torna o seu emprego bastante apropriado às pequenas propriedades de uva do noroeste paulista, no que se refere ao manejo da irrigação. Isso porque o único equipamento necessário para o uso desse método é um termômetro de máxima e mínima, que é bastante acessível aos pequenos produtores, do ponto de vista econômico, além de apresentar facilidade de operação e manutenção.

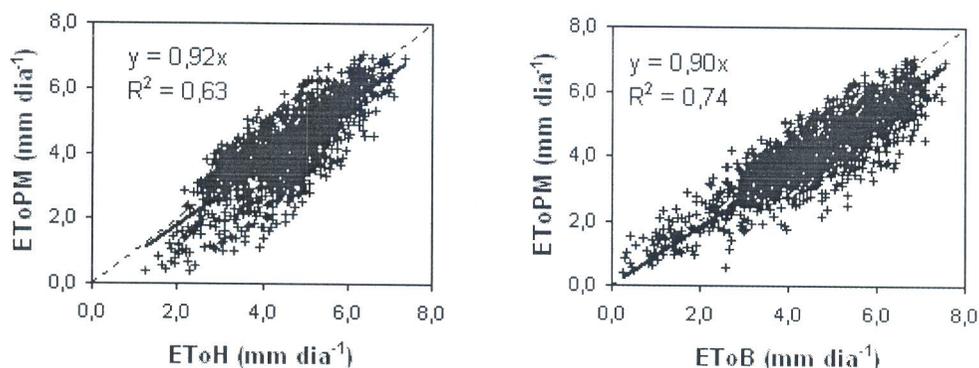


Figura 1 – Relações entre ETcH e ETcPM e entre ETcB e ETcPM. Jales, SP, 2004-2007.

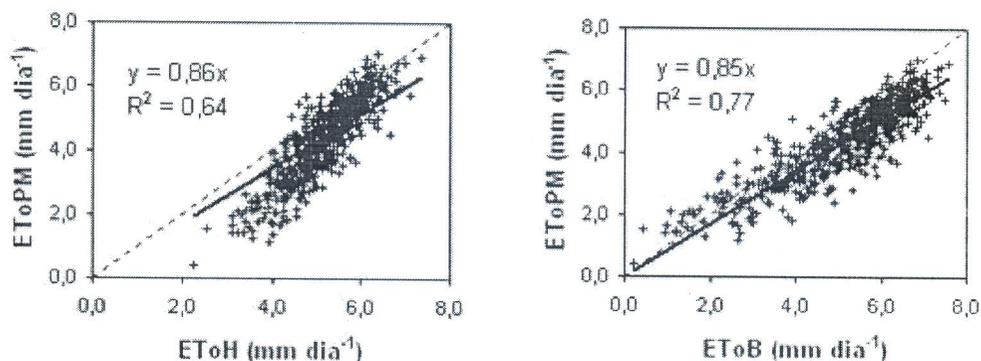


Figura 2 – Relações entre ETcH e ETcPM e entre ETcB e ETcPM durante o período úmido (novembro a março). Jales, SP, 2004-2007.

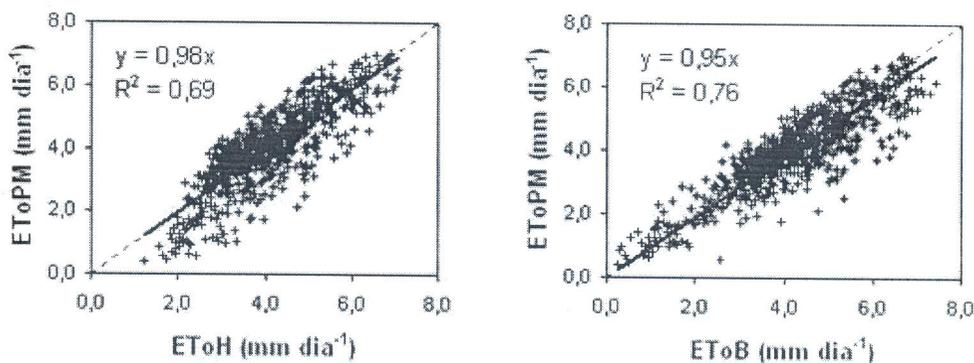


Figura 3 – Relações entre ETcH e ETcPM e entre ETcB e ETcPM durante o período seco (abril a outubro). Jales, SP, 2004-2007.



**Tabela 1** – Coeficientes de correlação (r), de exatidão (d) e de desempenho (c), com as suas correspondentes classificações, de ETo e EToB em relação a EToPM, considerando-se todos os dados (Geral) e os períodos úmido e seco. Jales, SP. 2004-2007.

Índices	EToH	EToB	EToH	EToB	EToH	EToB
	Geral	Geral	Úmido	Úmido	Seco	Seco
r	0,79	0,87	0,87	0,88	0,83	0,88
d	0,86	0,91	0,77	0,87	0,91	0,93
c	0,69	0,79	0,67	0,77	0,76	0,82
Classificação	Bom	Muito Bom	Bom	Muito Bom	Muito Bom	Muito Bom

**CONCLUSÃO:** A estimativa da evapotranspiração de referência empregando-se a equação de Bristow-Campbell para estimar a radiação solar global, proporcionou desempenho superior ao do método original de Hargreaves.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- 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).
- BRISTOW, K.L.; CAMPBELL, G.S. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.31, p.159-166, 1984.
- CAMARGO, A P. de ; 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.
- 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.
- CONCEIÇÃO, M.A.F.; MARIN, F.R. Avaliação de modelos para a estimativa de valores diários da radiação solar global com base na temperatura do ar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v.15, n.1, p.103-108, 2007.
- 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.
- WILLMOTT, C.J., ACKLESON, S.G., DAVIS, J.J., FEDDEMA, K.M., KLINK, D.R. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v.90, n.5, p. 8995-9005, 1985.