

# INFLUÊNCIA DA MÉDIA DIÁRIA DO DÉFICIT DE PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR D'ÁGUA DO AR NA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PADRÃO FAO56

Gustavo Bastos LYRA<sup>1</sup>, Antônio Roberto PEREIRA<sup>2</sup>, Guilherme Bastos LYRA<sup>3</sup>, Gilberto Chohaku SEDIYAMA<sup>4</sup>, Alailson Venceslau SANTIAGO<sup>2</sup>, Marcos Vinícius FOLEGATTI<sup>5</sup>

## INTRODUÇÃO

Um elemento meteorológico importante para estimativa da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) por Penman-Monteith é o déficit de pressão de saturação do vapor d'água do ar ( $D_{ar}$ ). O método utilizado na determinação da média diária de  $D_{ar}$  ( $D_{ar\_méd}$ ) pode introduzir erros significativos nos valores da  $ET_o$  diária. Isso se deve, principalmente, à não linearidade da relação entre pressão de saturação do vapor d'água ( $e_s$ ) e temperatura do ar.

Estudando o efeito de 15 métodos de estimativa do  $D_{ar\_méd}$  sobre a estimativa de  $ET_o$ , usando a equação de Penman modificada por van Bavel (van BAVEL, 1966), SADLER & EVANS (1989) relatam variações de 8 a 17% em relação ao melhor método de  $D_{ar\_méd}$  na determinação de  $ET_o$ . PEREIRA et al. (1996) citam erros relativos de 10 a 50 % no inverno, e em torno de 10 % no verão, com alguns casos extremos acima de 100 %, na estimativa da  $ET_o$  pela equação original de Penman, utilizando seis métodos de cálculo de  $D_{ar\_méd}$ .

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência dos métodos de determinação da média diária do déficit de pressão de saturação do vapor d'água do ar descritos em ALLEN et al. (1998) e o calculado com valores horários na estimativa da evapotranspiração de referência padrão FAO56.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de 01/01 a 31/12/96, numa área de 3150 m<sup>2</sup> (35 x 90 m), localizada na Fazenda Areão, ESALQ/USP, em Piracicaba, SP (longitude 22°42'S; latitude 47°30'W e altitude de 546 m). Pela classificação de Köppen, o clima da região é do tipo  $C_{wa}$  (subtropical úmido – com chuvas no verão e inverno seco).

A evapotranspiração de referência diária foi determinada pela variação da massa de um lisímetro de pesagem gramado ( $ET_{o\_lis}$ , mm d<sup>-1</sup>), descrito em SILVA et al. (1999). Devido a problemas operacionais com o lisímetro de pesagem durante a estação chuvosa e em dias secos com rajadas de vento foram selecionados 141 dias para as análises.

A estimativa de  $ET_o$  diária (mm d<sup>-1</sup>) seguiu as parametrizações do modelo de Penman-Monteith descritas em ALLEN et al. (1998), ou seja:

$$ET_o = \frac{0,408\delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 D_{ar\_méd}}{\delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

em que,  $T_{méd}$  (°C) é a temperatura média do ar a 2 m de altura [ $T_{méd} = (T_{máx} + T_{mín})/2$ ];  $s$  (kPa °C<sup>-1</sup>) é a derivada da curva de pressão de saturação do vapor no ponto de  $T_{méd}$  [ $s = 4098.e_s / (T_{méd} + 237,3)^2$ ];  $R_n$  (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) é o saldo de radiação total diário estimado (ALLEN et al., 1998);  $G$  (MJ

m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) é o fluxo de calor no solo, desprezado na escala diária (ALLEN et al., 1998);  $\gamma$  (kPa °C<sup>-1</sup>) é o coeficiente psicrométrico;  $u_2$  (m s<sup>-1</sup>) é a velocidade do vento a 2 m de altura;  $D_{ar\_méd}$  (kPa) é a média diária do déficit de pressão de saturação do vapor d'água do ar.

O  $\gamma$  foi admitido como constante e igual a 0,0633 kPa °C<sup>-1</sup>, devido à pequena amplitude da pressão atmosférica local ao longo do ano, com um máximo de 95,7 kPa em julho e mínimo de 95,03 kPa em janeiro, assumindo-se o calor latente de evaporação da água igual a 2,45 MJ kg<sup>-1</sup>. Os métodos de estimativa de  $D_{ar\_méd}$  analisados foram (ALLEN et al., 1998):

### Método 1

$$[e_s(T_{máx})(1 - 0,01.UR_{mín}) + e_s(T_{mín})(1 - 0,01.UR_{máx})]/2 \quad (2)$$

### Método 2

$$\{[e_s(T_{máx}) + e_s(T_{mín})]/2\}(1 - 0,01.UR_{méd}) \quad (3)$$

### Método 3

$$\{[e_s(T_{máx}) + e_s(T_{mín})]/2\} - e_s(T_{mín})0,01.UR_{máx} \quad (4)$$

em que,  $e_s$  (kPa) é a pressão de saturação do ar;  $T_{máx}$  e  $T_{mín}$  (°C) são as temperaturas máxima e mínima do ar, respectivamente;  $UR_{máx}$ ,  $UR_{mín}$  e  $UR_{méd}$  (%) são as umidades relativas máxima, mínima e média [ $(UR_{máx} + UR_{mín})/2$ ]. Além desses, utilizou-se  $D_{ar\_méd}$  calculado com valores horários (método 4).

Uma estação meteorológica automática (CAMPBELL SCIENTIFIC Inc., Logan, UT) instalada na área experimental forneceu a velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar coletados a 2 m de altura. Foram armazenados valores médios de 30 min, a partir de medidas obtidas com frequência de 1 Hz, e também os valores extremos de temperatura e umidade relativa do ar.

Na avaliação da influência dos métodos de cálculo de  $D_{ar\_méd}$  na estimativa da  $ET_o$  pela equação (1), os seguintes coeficientes estatísticos foram utilizados: média aritmética, variância, coeficiente de determinação ( $r^2$ ), interceptação (a) e coeficiente angular (b) da regressão linear entre  $ET_o$  medida pelo lisímetro (X) e estimada por Penman-Monteith (Y). Utilizou-se também o erro padrão de estimativa (EPE) e o coeficiente de sensibilidade relativa (Sr) (MELLO, 1998). Efetuaram-se os testes t e F para médias e variâncias de  $ET_o$  em função dos vários métodos e para os valores medidos pelo lisímetro.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A média da evapotranspiração de referência medida no lisímetro ( $ET_{o\_lis}$ ) foi 3,56 mm d<sup>-1</sup> com variância de 1,85 mm d<sup>-1</sup> (Tabela 1), enquanto que as médias estimadas de  $ET_o$ , por Penman-Monteith FAO56 (PM-FAO56), utilizando os diversos métodos de cálculo de  $D_{ar\_méd}$ , variaram entre 3,78 mm d<sup>-1</sup> (método 2) e 4,17 mm

<sup>1</sup> Doutorando do Curso de Física do Ambiente Agrícola, LCE/ESALQ/USP. Av. Pádua Dias, 11, CP 9. Piracicaba, SP – CEP: 13418 – 900. e-mail: [gblyra@esalq.usp.br](mailto:gblyra@esalq.usp.br).

<sup>2</sup> Prof. Titular do Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP. e-mail: [arpereir@esalq.usp.br](mailto:arpereir@esalq.usp.br).

<sup>3</sup> Mestrando do Curso de Irrigação e Drenagem, Departamento de Engenharia Agrícola/UFV. e-mail: [guilhermebl@bol.com.br](mailto:guilhermebl@bol.com.br)

<sup>4</sup> Prof. Titular do Departamento de Engenharia Agrícola/UFV. e-mail: [sedyama@ufv.br](mailto:sedyama@ufv.br)

<sup>5</sup> Prof. Associado do Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP. e-mail: [mvfolega@esalq.usp.br](mailto:mvfolega@esalq.usp.br)

d<sup>-1</sup> (método 3). Todos os métodos a superestimaram de 6,08 % (método 2) a 17,05 % (método 3). As médias de ET<sub>o</sub> dos métodos 1 e 3 diferiram estatisticamente da ET<sub>o, lis</sub> pelo teste t (p < 0,05). As variâncias de ET<sub>o</sub> estimada ficaram entre 1,30 (método 3) a 1,46 mm d<sup>-1</sup> (método 4).

Tabela 1- Média aritmética (mm d<sup>-1</sup>) e variância (mm d<sup>-1</sup>) da evapotranspiração de referência medida no lisímetro e estimadas pela equação de Penman-Monteith FAO56, utilizando os vários métodos de D<sub>ar, méd</sub>. Erro padrão de estimativa (EPE, mm d<sup>-1</sup>) e sensibilidade relativa (Sr). Piracicaba, SP, 1996

	Média (mm d <sup>-1</sup> )	Variância (mm d <sup>-1</sup> )	EPE (mm d <sup>-1</sup> )	Sr
Lisímetro	3,56	1,85		
Método 1	4,15*	1,42	0,76	0,35
Método 2	3,78	1,32**	0,47	0,29
Método 3	4,17*	1,30**	0,78	0,36
Método 4	3,82	1,46	0,51	0,29

\* A média do valor estimado difere estatisticamente da média do lisímetro pelo teste t (p < 0,05)

\*\* A variância do valor estimado difere estatisticamente da variância dos valores do lisímetro pelo teste F (p < 0,05)

Em trabalho similar, MELLO (1998) avaliou a influência do método 1 sobre a estimativa de ET<sub>o</sub> para Córdoba, Espanha. O método subestimou em 2,25 % a ET<sub>o, lis</sub>. A variância de ET<sub>o, lis</sub> (4,26 mm d<sup>-1</sup>) foi superior a do valor estimado (2,25 mm d<sup>-1</sup>). Problemas no manejo do lisímetro foi uma provável causa atendida por MELLO (1998).

O erro padrão de estimativa (EPE) dá pesos iguais às diferenças absolutas entre valores medidos e estimados. O EPE variou entre 0,47 (método 2) e 0,78 (método 3), sendo menores do que o citado por MELLO (1998) de 0,80.

Pelo coeficiente de sensibilidade relativa (Sr), a ET<sub>o</sub> estimada foi menos sensível aos métodos 2 e 4 (0,29) e mais sensível ao método 3 (0,36). Esses resultados significam que erros de 10 % na estimativa de D<sub>ar, méd</sub> implicam em incremento de 2,9 % em ET<sub>o</sub> pelos métodos 2 e 4, e de 3,6 % no caso do método 3. Não houve Sr negativo, o que indicaria redução na ET<sub>o</sub> com incremento em D<sub>ar, méd</sub>. Esses valores são semelhantes àqueles encontrados por MELLO (1998) e BASELGA (1990) para Penman-Monteith respectivamente 0,32 a 0,41, e 0,25 a 0,50.

Os coeficientes de determinação (r<sup>2</sup>) entre o valor medido e estimados (Figura 1) foram elevados, entre 0,8817 e 0,9190 para os métodos 1 e 2, respectivamente. A ET<sub>o</sub> estimada mostrou duas tendências em função do método de D<sub>ar, méd</sub> utilizado. Houve a superestimativa dos

valores de ET<sub>o</sub> menores que 5,0 mm d<sup>-1</sup>, em média, e subestimativa dos maiores valores. Com os métodos 2 e 4. Com os métodos 1 e 3, a tendência foi de sempre superestimar.

Os métodos 1, 2 e 4 apresentaram valores do coeficiente angular (b) próximo de 1, entre 0,8101 (método 3) e 0,8421 (método 4), em que o método 3 teve o mais afastado (0,7890). A Interceptação dos métodos 1 e 3 apresentaram altos valores, acima de 1,2 mm d<sup>-1</sup>, sendo os menores observados nos métodos 2 e 4, abaixo de 0,90 (Figura 1).

## CONCLUSÕES

Os métodos de determinação de D<sub>ar, méd</sub> influenciam de forma significativa a estimativa de ET<sub>o</sub> padrão FAO56. Sendo necessário determinar os métodos que melhor estimem ET<sub>o</sub> para condições climáticas específicas.

Os métodos 2 e 4 de cálculo de D<sub>ar, méd</sub> foram os que apresentaram melhor estimativa de ET<sub>o</sub> nas condições climáticas de Piracicaba, SP.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; et al. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome, FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56)
- BASELGA, J. **The feasibility of using remotely sensed inputs for the estimation of roughness length and zero-plane displacement of corn**. Logan: USU, 1990. Dissertação (Mestrado) – Utah State University, 1990.
- MELLO, J.L.P. **Análise de sensibilidade dos componentes da equação de Penman-Monteith-FAO**. 1998. 78 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- PEREIRA, A.R.; MANIERO, M.A.; VILLA NOVA, N.A.; et al. Penman's wind function for a tropical humid climate. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 69-75, 1996.
- SADLER, E.J.; EVANS, D.E. Vapor pressure deficit calculations and their effect on the equation combination equation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 49, p. 55-80, 1989.
- SILVA, F.C.; FOLEGATTI, M.V.; MAGGIOTTO, S.R. Análise do funcionamento de um lisímetro de pesagem com célula de carga. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.7, n.1, p.53-58, 1999.
- van BAVEL, C. H. M. Potential evaporation: the combination concept and its experimental verification. **Water Resource Research**, Washington, v.2, p. 455-467, 1966.

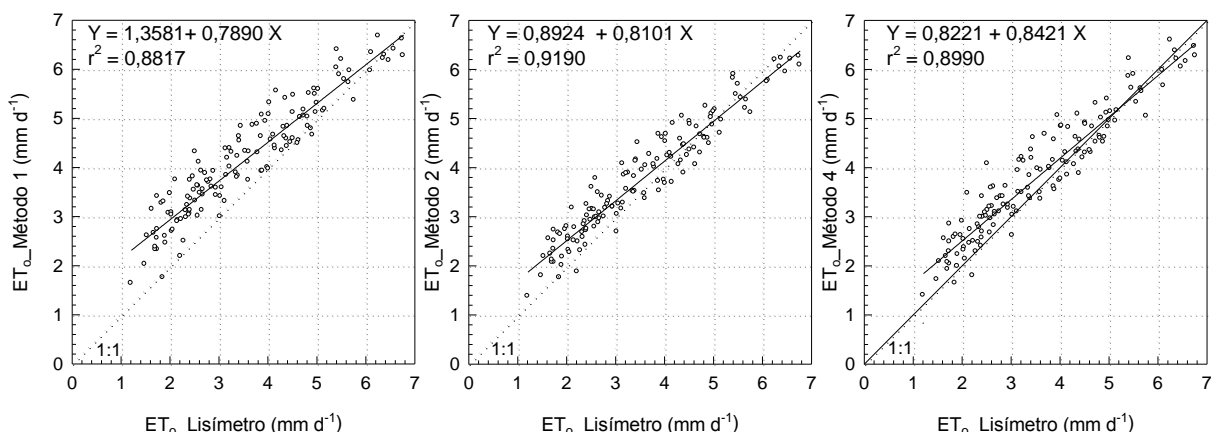


Figura 1 – Relação entre ET<sub>o</sub> medida no lisímetro e estimada por Penman-Monteith (FAO56), em função dos métodos 1, 2 e 4 da média diária do déficit de pressão de saturação do vapor d'água do ar. Piracicaba, SP, 1996.