

ISSN 0104-1347

## Variação sazonal do parâmetro de Priestley-Taylor para estimativa diária da evapotranspiração de referência<sup>1</sup>

### Seasonal variation of the Priestley-Taylor parameter to estimate daily reference evapotranspiration

Paulo Cesar Sentelhas<sup>2</sup>, Antonio Roberto Pereira<sup>3</sup>, Marcos Vinícius Folegatti<sup>4</sup>,  
Francisco Adriano C. Pereira<sup>5</sup>, Nilson Augusto Villa Nova<sup>3</sup> e Selma Regina Maggiotto<sup>6</sup>

**Resumo** - O parâmetro de Priestley-Taylor ( $\alpha$ ) foi determinado para a estimativa da evapotranspiração de referência ( $IETo$ ), padrão gama, na escala diária, para dois períodos do ano: um seco, em que  $IETo/Rn = 0,92 \pm 0,1$ , indicativo de forte advecção regional; e outro úmido, com  $IETo/Rn = 0,72 \pm 0,06$ . Foram utilizados  $ETo$  obtidos em lisímetro de pesagem com células de carga, cultivado com grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge), e temperatura do ar, saldo de radiação, e fluxo de calor no solo obtidos por estação automática, em Piracicaba, SP. Os resultados mostram que  $\alpha$  (média  $\pm$  desvio padrão) foi menor no período úmido, isto é,  $0,97 \pm 0,1$ , e maior no período seco, quando o valor médio chegou a  $1,32 \pm 0,15$ . No período chuvoso o termo aerodinâmico teve pouca influência sobre a  $ETo$  ao passo que no período seco sua contribuição foi bastante significativa representando, em média, 32% do termo radiativo. A área do lisímetro atuou como fonte de calor latente e sensível durante a época mais úmida, mas como fonte de calor latente e sumidouro de calor sensível na época mais seca.

**Palavras-chave:** lisímetro, saldo de radiação, advecção.

**Abstract** - The Priestley-Taylor parameter ( $\alpha$ ) was determined, on a daily time scale, to estimate daily reference evapotranspiration ( $IETo$ ) for two seasons of the year: one, dry when  $IETo/Rn = 0.92 \pm 0.1$ , indicating the presence of strong regional advection; and another, wet with  $IETo/Rn = 0.72 \pm 0.06$ .  $ETo$  values were obtained from an automatic weighing lysimeter covered with *Paspalum notatum* Flugge grass, and air temperature, net radiation, and soil heat flux were collected by an automatic weather station, in Piracicaba, State of São Paulo, Brazil (22° 42' S, 47° 38' W, 546m amsl). The results show that  $\alpha$  (mean  $\pm$  standard deviation) was lower in the wet season, i.e.,  $0.97 \pm 0.1$ , than in the dry season when mean value was  $1.32 \pm 0.15$ , indicating that aerodynamic term had little influence on  $ETo$  during the rainy season and that this term represents about 32% of the energetic term during the dry season. During the wet season the lysimeter area was a source of latent and sensible heat, but during the driest period it was a source of latent heat and a sink of sensible heat.

**Key words:** Lysimeter, net radiation, advection.

<sup>1</sup>Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor. Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, DER/ESALQ/USP.

<sup>2</sup>Professor Doutor. Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP, Caixa Postal 9, 13418-900, Piracicaba, SP. e-mail: pcsentel@carpa.ciagri.usp.br.

<sup>3</sup>Professor Associado. Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP. Bolsista do CNPq.

<sup>4</sup>Professor Associado. Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP. Bolsista do CNPq.

<sup>5</sup>Professor Doutor. Departamento de Engenharia Agrícola, UFBA, Cruz das Almas, BA.

<sup>6</sup>Eng. Agr. MS. Aluna de doutorado da University of Guelph, Canada.

## Introdução

O método de PRIESTLEY & TAYLOR (1972) para estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) é uma simplificação do método de Penman, em que permanece apenas o termo radiativo corrigido por um coeficiente empírico de ajuste ( $\alpha$ ) conhecido como parâmetro de Priestley - Taylor. Esse parâmetro incorpora a energia adicional ao processo de evapotranspiração e que é proveniente do termo aerodinâmico descartado. Analisando medidas realizadas em diversos locais, em dias imediatamente após ocorrência de chuvas maiores que 20mm, ou seja, sob condições de mínima advecção regional, PRIESTLEY & TAYLOR (1972) mostraram que  $\alpha$  variou de 1,08 a 1,34, com média de 1,26. Isso significa que naquelas condições o termo aerodinâmico contribuiu, em média, com 26% da energia total convertida em calor latente.

PEREIRA & VILLA NOVA (1992) mostraram que  $\alpha$  varia em resposta direta à densidade de fluxo de calor sensível, nas escalas horária e diária, tanto em arroz irrigado (Campinas, SP) como em grama (Davis, Califórnia), e que o valor 1,26 não representa situação de advecção. Portanto,  $\alpha$  varia com as condições climatológicas, com a cobertura do terreno, e com a escala de tempo adotada. PEREIRA et al. (1997b) listaram resultados experimentais mostrando  $\alpha$  variando de 1,01 a 2,85 em várias escalas de tempo.

Considerando-se apenas resultados obtidos em condições de medida de ET<sub>o</sub> (grama ou alfafa), alguns contrastes ficam evidentes. Por exemplo, ALLEN (1986) verificou que em regiões de clima úmido (grama em Coshocton, Ohio), com pequena advecção,  $\alpha = 1,26$  proporcionou boas estimativas diárias de ET<sub>o</sub>; no entanto, em climas áridos (grama em Davis, Califórnia; alfafa em Kimberley, Idaho), onde a advecção foi maior, houve subestimativa sugerindo  $\alpha = 1,34$ . Para alfafa na região de Eldorado do Sul, RS, em condição de clima subtropical úmido, CUNHA & BERGAMASCHI (1994) enfatizaram o efeito da escala de tempo sobre o valor de  $\alpha$  (média  $\pm$  desvio padrão), que variou de  $1,35 \pm 0,03$  na escala diária, para  $1,37 \pm 0,05$  na média de 5 dias, e para  $1,40 \pm 0,05$  na média de 10 e 30 dias. Esses valores são equivalentes àqueles obtidos em condições áridas.

Para grama em lisímetro de drenagem, na escala mensal, PEREIRA et al. (1997a) encontraram valores médios anuais bem inferiores a 1,26, ou seja:  $0,99 \pm 0,17$  em Campinas;  $1,07 \pm 0,12$  em Ribeirão Preto; e  $1,17 \pm 0,11$  em Pindamonhangaba, todas no

Estado de São Paulo. Houve variação entre valores médios dos meses mais chuvosos em relação aos menos chuvosos. Ainda para esses três locais e com o mesmo conjunto de dados, CAMARGO & SENTELHAS (1997) verificaram que, na escala mensal, este método (com  $\alpha = 1,26$ ) foi o de melhor desempenho entre aqueles que envolvem saldo de radiação. No entanto, essa classificação não se manteve para a região de Santa Maria, RS, embora  $\alpha = 1,26$  tenha resultado em boa estimativa de ET<sub>o</sub> (MEDEIROS, 1998).

Por serem oriundos de estimativas do saldo de radiação, os resultados relatados acima carregam uma parcela do erro proveniente dessa estimativa e, como enfatizado por PEREIRA et al. (1997a), devem ser aceitos como aproximações. Em função das variações relatadas, o objetivo do presente trabalho foi determinar  $\alpha$  para a estimativa diária de ET<sub>o</sub>, padrão grama, agora com medidas do saldo de radiação, e avaliar o efeito da sazonalidade das chuvas sobre o valor de  $\alpha$  nas condições climáticas de Piracicaba, SP.

## Material e métodos

O experimento foi conduzido no município de Piracicaba, Estado de São Paulo - SP (Lat.: 22° 42'S, Long.: 47° 38'W, e Alt. 546m), nos domínios da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), durante o período de janeiro a dezembro de 1996. A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) foi obtida em lisímetro de pesagem, com células de carga (Omega Eng., modelo LCCA-2K, capacidade de 910kg, e precisão de 0,037% da sua capacidade), com 0,65m de profundidade, 1,20m de comprimento, e 0,85m de largura, cultivado com grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge), e descrito por SILVA et al. (1999). A área gramada que circundava o lisímetro tinha 35 x 90m, totalizando 3.150m<sup>2</sup>, sendo manejada (irrigação, adubação e poda) de forma a manter o gramado em crescimento ativo, com altura entre 0,08 e 0,15m e com disponibilidade de água de modo a fornecer a ET<sub>o</sub>, como recomendado por DOORENBOS & PRUITT (1977) e ALLEN et al. (1994). Durante o período analisado, compreendido entre janeiro e dezembro de 1996, foram selecionados 132 dias, excluindo-se aqueles com chuvas excessivas e os de manutenção do lisímetro. Foram utilizados dados de temperatura média diária do ar, saldo de radiação e fluxo de calor sensível no solo obtidos em estação meteorológica automática. Para o período de inverno, em função da grama não apresentar crescimento vegetativo, e o índice de área foliar ficar reduzido,

não caracterizando condição de ETo, os dados não foram utilizados na análise.

Para a estimativa da  $\lambda ETo$  ( $MJ.m^{-2}.d^{-1}$ ) pelo método de Priestley-Taylor, utilizou-se a equação:

$$\lambda ETo = \alpha W (Rn - G) \quad (1)$$

em que  $\alpha$  é o parâmetro de Priestley-Taylor;  $Rn$  o saldo diário de radiação ( $MJm^{-2}.d^{-1}$ );  $G$  a densidade de fluxo de calor sensível no solo ( $MJm^{-2}.d^{-1}$ );  $I = 2,45MJ kg^{-1}$  o calor latente de evaporação utilizado para conversão de unidades; e  $W$  um fator de ponderação dependente da temperatura do ar ( $T$ , em  $^{\circ}C$ ) e do coeficiente psicrométrico (WILSON & ROUSE, 1972; VISWANADHAM et al., 1991), podendo ser calculado por:

$$W = 0,407 + 0,0145 T \quad (2)$$

para  $0,0 < T < 16 \text{ }^{\circ}C$  e

$$W = 0,483 + 0,0100 T \quad (3)$$

para  $16,1 < T < 32 \text{ }^{\circ}C$

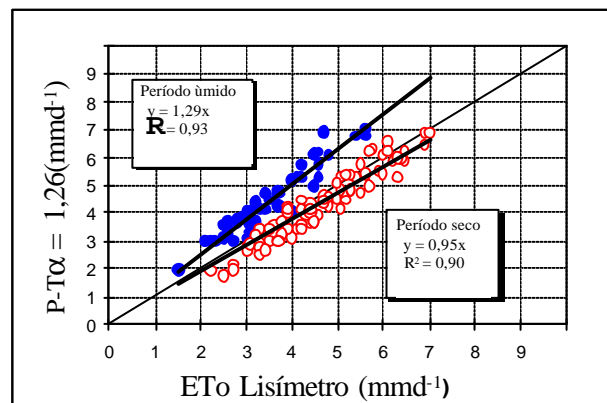
## Resultados e discussão

Inicialmente, estimou-se ETo ( $kg m^{-2} d^{-1} = mm d^{-1}$ ) utilizando-se a equação (1) com  $\alpha = 1,26$  para verificar a performance desta proposição para a região. Na Figura 1, nota-se que, apesar da concordância na tendência dos pontos, houve grande dispersão indicando que o valor original de  $\alpha$  não se aplica indiscriminadamente em todas as condições ambientais observadas ao longo do ano. Houve nítida separação dos pontos em dois conjuntos, sendo um representativo do período chuvoso, e outro do período mais seco. Para o período chuvoso, compreendido entre janeiro e meados de maio (verão – outono), o parâmetro original ( $\alpha = 1,26$ ) resultou em superestimativa de 29%, em média ( $R^2 = 0,93$ ). No entanto, para o período regionalmente seco (agosto – início de dezembro)  $\alpha = 1,26$  resultou em subestimativa de apenas 5%, em média ( $R^2 = 0,90$ ). Se o fluxo de calor no solo for desprezado nos cálculos ( $G = 0$ ), prática muito comum, a superestimativa no primeiro período sobe para 32%, mas a subestimativa cai para 3% no segundo período.

Numa tentativa de identificar as causas da menor exatidão das estimativas no período úmido, decidiu-se analisar a relação entre  $\lambda ETo$  e  $Rn$ , partindo-se da premissa que  $Rn$  seja a principal fonte de energia envolvida no processo evapotranspirativo. No período úmido, verificou-se que  $\lambda ETo / Rn = 0,72 \pm 0,06$ , indicativo de disponibilidade hídrica regional adequada (verão chuvoso); e que no período seco,  $\lambda ETo / Rn = 0,92 \pm 0,1$ , indicando possivelmente

presença mais acentuada de advecção de calor sensível. De fato, em alguns dias do período seco, a conversão em calor latente foi superior ao suprimento de energia radiativa ( $Rn$ ), mostrando que a área tampão adotada não foi adequada. Isso significa que durante o período das chuvas regionais a área do lisímetro atuou como fonte de calor latente e também de calor sensível, com razão de Bowen ( $\beta$ ) igual a  $0,38 \pm 0,11$ . Mas durante a época mais seca, por ser ela irrigada, tornou-se em fonte de calor latente e sumidouro de calor sensível ( $\beta = 0,07 \pm 0,11$ ).

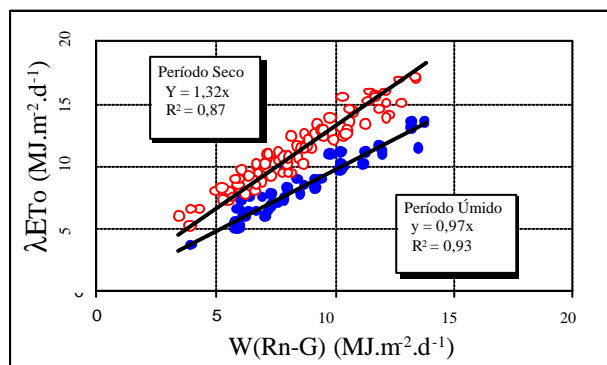
Essa variação sazonal, numa região onde o ritmo das chuvas varia ao longo do ano, com 70% do total das chuvas ocorrendo no período verão – outono, está diretamente relacionada ao tamanho da área tampão para minimização da advecção. Essa distância tampão pode variar desde alguns metros até centenas de metros, dependendo das condições de umidade da área que circunda o lisímetro (PEREIRA et al., 1997b). Adotando-se a descrição de PENMAN (1956), em períodos úmidos, com chuvas regionais, a área tampão amplia-se regionalmente caracterizando condições de pleno suprimento hídrico, quando a evapotranspiração ocorre em taxa potencial, dependendo principalmente do saldo de radiação. Nessa situação, mesmo área tampão pequena torna-se adequada visto que o ar regional está bem abastecido de umidade. No entanto, nos períodos secos a área tampão fica minimizada caracterizando “condição de oásis”, aumentando a advecção de calor sensível da área circundante, e neste caso a evapotranspiração ocorre em taxa maior do que a potencial, sendo denominada de evapotranspiração de oásis. Portanto, no período seco o conceito de ETo fica prejudicado pela inexistência de área tampão adequada, e os valores medidos caracterizam uma situação bem específica e local.



**Figura 1.** Relação entre ETo medida e estimada com Priestley-Taylor ( $\alpha = 1,26$ ), nos períodos úmido e seco, em Piracicaba, SP, durante o ano de 1996.

A equação de Priestley - Taylor pode ser interpretada como sendo representativa de uma reta que passa pela origem ( $a = 0$ ), em que a variável  $Y$  é representada pela evapotranspiração de referência ( $\lambda E_{To}$ ) e a variável  $X$  é dada pelo produto  $W$  ( $R_n - G$ ). Isso significa que o parâmetro  $\alpha$  representa o coeficiente angular ( $b$ ) da reta. Essa interpretação é possível porque o coeficiente  $W$ , no intervalo de temperatura aqui observado, tem pouca influência da temperatura (equação 3). De fato, a Figura 2 mostra que essa abordagem está correta pois a regressão linear simples indica a existência de duas retas distintas, de acordo com a disponibilidade regional de chuvas. Na época das chuvas generalizadas (verão - outono), verifica-se que o parâmetro  $\alpha$  foi, em média, igual a  $0,97 \pm 0,10$  ( $R^2 = 0,93$ ;  $n = 46$ ), bem próximo do valor obtido anteriormente por PEREIRA et al. (1997b), na escala mensal, para Campinas - SP, em determinações realizadas a cerca de 50km do presente experimento. Se o fluxo de calor no solo for desprezado ( $G = 0$ ), o valor de  $\alpha$  diminui para  $0,95$  ( $R^2 = 0,91$ ).

No período seco, o valor mais apropriado de  $\alpha$  foi  $1,32 \pm 0,15$  ( $R^2 = 0,87$ ;  $n = 86$ ), e esse valor não difere estatisticamente do valor original ( $\alpha = 1,26$ ). Esses resultados são intrigantes pois justamente a condição de advecção regional foi a que proporcionou valor de  $\alpha$  mais aproximado ao proposto por PRIESTLEY & TAYLOR (1972) e obtido em condições de ampla disponibilidade hídrica regional. No presente experimento essa condição seguramente não ocorreu no período seco, e essa grande diferença entre os valores médios de  $\alpha$  nos dois períodos indica que a bordadura necessária seria de algumas centenas de metros. Novamente, tomando-se  $G = 0$ , o valor de  $\alpha$  diminui para  $1,29$  aproximando-se ainda mais da proposição original.



**Figura 2.** Relação entre  $\lambda E_{To}$  e  $W$  ( $R_n - G$ ), nos períodos úmido e seco, em Piracicaba, SP, durante o ano de 1996.

Não foi encontrada uma razão óbvia, substantiada pelos dados experimentais, para essa **variação nos valores de  $\alpha$ .**

## Conclusões

Os resultados analisados permitem concluir que o parâmetro ( $\alpha$ ) de Priestley-Taylor varia de acordo com as condições de umidade regional, relacionadas ao tamanho da área tampão e à advecção de calor sensível. Para o período úmido  $\alpha$  é significativamente inferior ao proposto por PRIESTLEY & TAYLOR (1972). No entanto, para o período seco o valor de  $\alpha$  é bem próximo ao valor original. Isso mostra que para melhor uso desse método, especialmente para o manejo da irrigação, técnica utilizada nas épocas ou regiões secas quando normalmente a área tampão é inadequada, é conveniente a adoção distinta de valores de  $\alpha$  para cada condição de advecção.

A área do lisímetro atua como fonte de calor latente e sensível durante a época das chuvas regionais, e como fonte de calor latente e sumidouro de calor sensível na época mais seca do ano.

## Referências bibliográficas

- ALLEN, R.G. A Penman for all seasons. **Journal of Irrigation and Drainage Eng.**, New York, v. 112, n. 4, p. 348-368. 1986.
- ALLEN, R.G., SMITH, M., PERRIER, A., et al. An update for definition of reference evapotranspiration. **ICID Bulletin**, v. 43, n. 2, p. 1-34, 1994.
- CAMARGO, A.P., SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Rev. Bras. de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- CUNHA, G.R., BERGAMASCHI, H. Coeficientes das equações de Makkink e Priestley-Taylor para a estimativa da evapotranspiração máxima da alfafa. **Rev. Bras. de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 33-36, 1994.
- DOORENBOS, J., PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. 2. ed., Rome: FAO, 1977. 179 p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).
- MEDEIROS, S.L.P. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região mesoclimática de Santa Maria - RS. **Rev. Bras. de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 105-109, 1998.
- PENMAN, H.L. Evaporation: an introductory survey. **Neth. J. Agric. Sci.**, Wageningen, v. 4, n. 1, p. 9-29, 1956.

- PEREIRA, A.R., VILLA NOVA, N.A. Analysis of the Priestley-Taylor parameter. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 61, p. 1-9, 1992.
- PEREIRA, A.R., VILLA NOVA, N.A., SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba : FEALQ, 1997a. 183 p.
- PEREIRA, A.R., VILLA NOVA, N.A., SENTELHAS, P.C. O parâmetro de Priestley-Taylor para a estimativa da evapotranspiração de referência na escala mensal. **Rev. Bras. de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 83-87, 1997b.
- PRIESTLEY, C.H.B., TAYLOR, R.J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. **Monthly Weather Rev.**, Washington, v. 100, p. 81-92, 1972.
- SILVA, F.C., FOLEGATTI, M.V., MAGGIOTTO, S.R. Análise do funcionamento de um lisímetro de pesagem com célula de carga. **Rev. Bras. de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 53-58, 1999.
- VISWANADHAM, Y., SILVA FILHO, V.P., ANDRE, R.G.B. The Priestley-Taylor parameter  $\alpha$  for the Amazon forest. **Forest Ecology Management**, Amsterdam, v. 38, p. 211-225, 1991.
- WILSON, R.G., ROUSE, W.R. Moisture and temperature limits of the equilibrium evapotranspiration model. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 11, p. 436-442, 1972.