

# EVAPORAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA EM CAMPO E ESTUFA ORIENTADAS NOS SENTIDOS NORTE/SUL E LESTE/OESTE

Marcos .Brandão .Braga<sup>1</sup>

Antônio Evaldo Klar<sup>2</sup>

*Departamento de Engenharia Rural – Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP – Botucatu, SP.*

*CP: 237 – CEP: 18603-970. E-mail: klar@fca.unesp.br*

## 1 RESUMO

O estudo da evaporação da água tem sido bastante empregado para estimar a evapotranspiração de culturas, constituído-se num fator de importância relevante para planejamento e manejo da irrigação. Nas últimas décadas, o cultivo em ambiente protegido, principalmente de hortaliças, tem sido muito utilizado no Brasil. No entanto, estudos referentes ao manejo de água em ambientes protegidos têm sido ainda pouco pesquisados. Este trabalho teve como objetivo, estimar a evaporação (E<sub>o</sub>) e evapotranspiração de referência (E<sub>To</sub>), dentro e fora das estufas, utilizando-se o método do tanque classe “A”, e estabelecer correlações entre estas variáveis medidas em duas estufas com orientações geográficas distintas (N-S, L-O). O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista - UNESP, campus de Botucatu-SP, no período de setembro de 1997 a fevereiro de 1998. Observou-se que a evaporação e a evapotranspiração de referência obtidas fora das estufas correlacionaram-se de forma positiva com as estimadas dentro das mesmas; que houve pequena variação na evaporação e evapotranspiração de referência, estimadas no interior das estufas; e que é possível estimar-se a evaporação e evapotranspiração de referência, dentro da estufa orientada no sentido Norte/Sul, através de dados de E<sub>o</sub> e E<sub>To</sub> obtidos fora destas e no interior da Leste/Oeste.

**UNITERMOS:** Evaporação, Evapotranspiração, Estufas

## BRAGA, M. B., KLAR, A. E. PLASTIC TUNNEL ORIENTATION INFLUENCE ON EVAPORATION AND REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION

## 2 ABSTRACT

The water evaporation has been employed to predict plant evapotranspiration in order to design irrigation management. Plastic tunnels has been used for cultivation of many plants, mainly vegetables, but few water use researches have been made under plastic tunnel conditions in Brazil. For this reason, the main objective of this study was to estimate evaporation - E<sub>o</sub> (class A pan method) and reference evapotranspiration – E<sub>To</sub> inside and outside greenhouses. Two plastic tunnels oriented North/South (N/S) and East/West (E/W) were used. The study was developed at the Agricultural Engineering Department, FCA/UNESP, Botucatu – SP from 09/1997 to 02/1998. The evaporation and the reference evapotranspiration obtained from classe A pan out the tunnels had positive correlations to those inside the tunnels, consequently it is possible to evaluate E<sub>o</sub> and E<sub>To</sub> inside tunnels from outside data. A positive correlation were founded between class A pan data obtained from both plastic tunnels.

**KEYWORDS:** Evaporation, Reference Evapotranspiration, Plastic Tunnel

<sup>1</sup>Eng. Agr., Parte da Tese de Doutorado em Irrigação e Drenagem, laranja@brasilmail.com.br

<sup>2</sup>Eng. Agr., bolsista do CNPq, Professor titular do DER/FCA/UNESP, E-mail: klar@fca.unesp.br

### 3 INTRODUÇÃO

O estudo da evaporação da água tem sido bastante empregado para estimar a evapotranspiração de culturas, constituído-se num fator de importância relevante para planejamento e manejo da irrigação. Nas últimas décadas, o cultivo em ambiente protegido, principalmente de hortaliças, tem sido muito utilizado no Brasil. No entanto, estudos referentes ao manejo de água em ambientes protegidos tem sido ainda pouco pesquisado.

A cobertura plástica da estufa altera o comportamento das variáveis climáticas, que diferem daquelas do ambiente exterior. Desta forma, a evaporação ( $E_o$ ) e Evapotranspiração ( $E_{To}$ ) também apresentam comportamentos diferenciados, que necessitam serem quantificados para um manejo mais adequado da irrigação.

Segundo Prados, 1986, são poucos os trabalhos que têm medido a evapotranspiração de referência em estufas, como meio de estimar o consumo de água das culturas. Trabalhos utilizando medidas da  $E_{To}$  em lisímetros no interior de estufas plásticas já foram desenvolvidos (Graaf, 1981 e Stanghellini, 1981). Algumas pesquisas têm utilizado diferentes tipos de evaporímetros, mas o emprego do tanque classe "A" tem sido escasso (Montero et al., 1985). Prados (1986), trabalhando com tomateiro em estufas com cobertura de polietileno de baixa densidade (PEBD), encontrou que há similaridade entre os valores obtidos de  $K$ , produto de  $K_p$  (coeficiente do tanque) com  $K_c$  (coeficiente da cultura), com os valores de  $K_c$  encontrados na bibliografia. Este fato induz a pensar que os coeficientes de tanque ( $K_p$ ), dentro das estufas, devem ser muito próximo de 1,0, valor superior aos citados por Doorenbos & Pruitt (1977) para condições externas às estufas. Devido ao fácil acesso e ao custo relativamente baixo em comparação com os equipamentos necessários para a estimativa da ( $E_{To}$ ) a partir dos métodos combinados (empíricos), os evaporímetros, principalmente o tipo Classe 'A', têm sido preferido para a determinação da evapotranspiração de referência, favorecendo, desta forma, a comparação de resultados. A evaporação medida no tanque envolve todo o complexo energético responsável pela evaporação (Klar, 1988).

No interior da estufa, a evapotranspiração é, em geral, menor do que a verificada externamente. Vários pesquisadores atribuem este fato à redução da ação dos ventos e à parcial capacidade de transmissividade da cobertura plástica à radiação solar, que são os principais fatores da demanda evaporativa da atmosfera. A diferença entre a evaporação e evapotranspiração interna e externa varia de acordo com as condições meteorológicas. Em geral, a evapotranspiração no interior das estufas são em torno de 60 a 80% da verificada no exterior (Montero et al., 1985; Prados, 1986; Rosenberg et al., 1989). Klar & Alves (1996) encontraram valores da evaporação medida no tanque classe "A", dentro da estufa tipo túnel, sensivelmente mais baixos do que em tanque localizado fora da estufa, numa proporção significativa de 93%. Segundo os autores, esta diferença deve-se principalmente à ausência de ventos e à maior umidade relativa dentro do túnel.

Esse trabalho teve como objetivo, determinar a evaporação ( $E_o$ ) e evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ), utilizando-se o método do tanque classe "A", e estabelecer correlações entre estas variáveis medidas em duas estufas com orientações geográficas distintas (N-S, L-O).

### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista - UNESP, campus Botucatu-SP, no período de setembro de 1997 a fevereiro de 1998. O clima da região é mesotérmico, segundo a classificação de Köppen, ou seja, uma região constantemente úmida com uma precipitação pluvial anual média de 1516,8mm e uma evapotranspiração média anual de 692mm. A temperatura média anual é de 20,6°C; com temperatura média máxima e mínima de 23,5 e 17,4 °C, respectivamente.

As estufas instaladas foram do tipo túnel alto com área de 100m<sup>2</sup> (5m x 20m), cobertas com filme transparente de polietileno, com 0,15mm de espessura e proteção contra raios ultravioletas. As mesmas foram instaladas na latitude 22°51'03" S e longitude de 48°25'37" W, uma no sentido Norte-

Sul (N/S) e a outra Leste-Oeste (L/O), à altitude de 786 metros. As estufas foram montadas com pé-direito de 3,5m e altura da lateral de 2,0m. A cobertura plástica foi colocada a uma altura de 2,0 m da superfície do solo, deixando este espaço para facilitar a aeração das mesmas. Utilizou-se também sombrite com 7% de sombreamento, no vão entre o rodapé e a altura da estufa, para evitar a entrada de insetos e animais.

Os tanques classe “A” foram acomodados em cima de estrados de madeira com 0,15m de altura, e instalados na posição central das estufas, ligeiramente deslocada para o lado esquerdo das mesmas. Os dados externos da evaporação no tanque classe “A”, foram obtidos na estação meteorológica localizada a aproximadamente 200m da área experimental. As medições, foram realizadas todos os dias às 09:00 horas.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferenças significativas tanto na evaporação como na evapotranspiração de referência, encontrados fora e dentro das estufas (Tabelas 1, 2 e 3).

Para a evaporação (Eo), encontrou-se valores médios diários, em 21 semanas monitoradas, de 3,94mm, 3,76mm e 5,73mm, nas estufas L/O, N/S e fora, respectivamente. Isto correspondeu em percentagem do total evaporado fora a 67,98% para estufa(L/O) e 63,54% para a estufa(N/S), resultados que diferiram significativamente dos valores encontrados por Klar & Alves (1996). Vale acrescentar que o túnel em que ocorreram os estudos destes autores eram maior (25m x 8m). A altura do pé direito central era de 4,0 metros.

Observou-se ainda pouca diferença dos valores de Eo encontrados entre as duas estufas, sendo esta diferença de 0,18mm ou 4,6% a mais para a estufa orientada no sentido Leste/Oeste. Esse fato pode ser explicado, pela maior incidência da radiação solar na estufa Leste/Oeste em relação à Norte/Sul.

A Tabela 2 mostra os dados de evapotranspiração de referência, obtidos dentro e fora das estufas. Sendo os dados de ETo (N/S e L/O) estimados utilizando-se do coeficiente de tanque (Kp) igual a unidade, conforme recomendado por Prados (1986) para ambiente protegido. O Kp utilizado para obter a ETo(fora), ambiente externo, foram os recomendados por Doorenbos & Pruitt (1977). Observou-se que as diferenças dos valores de ETo nas estufas diminuíram, chegando a valores de 84,71% e 79,49% para as estufas L/O e N/S, respectivamente, em relação aos da ETo (fora). Esses valores são coerentes com os encontrados por Montero et al. (1985) e Rosenberg et al. (1989). A diferença, para menor, existente entre a evapotranspiração de referência das estufas em relação a de fora, ocorre, segundo Klar & Alves (1996), pelos menores valores da velocidade do vento, maiores valores de umidade relativa do ar dentro das estufas e pela menor incidência da radiação solar direta.

Tabela 1- Média de 21 semanas da evaporação nos tanques Classe “A”, localizados dentro e fora das estufas.

| Evaporação da água no tanque classe “A”           |        |        |        |
|---|--------|--------|--------|
|   | (L/O)  | (N/S)  | (Fora) |
|   | (mm)   | (mm)   | (mm)   |
| Média total (mm)                                  | 3,94   | 3,76   | 5,73   |
| Somatório da evaporação diária (mm)               | 573,25 | 535,86 | 843,3  |
| Correspondente em (%) da evaporação no TCA (fora) | 67,98% | 63,54% | 100%   |
| Diferença em (%) da evaporação (fora)             | 32,02% | 36,46% | ----   |

Tabela 2 - Média de 21 semanas da evapotranspiração de referência, obtidos através de tanque Classe “A”, localizados dentro e fora das estufas.

| Evapotranspiração de Referência                          |   |                                  |                          |
|--|---|----------------------------------|--------------------------|
|  | <sup>+</sup> ET <sub>o</sub><br>(L/O)<br>(mm) | ET <sub>o</sub><br>(N/S)<br>(mm) | *ET <sub>o</sub><br>(mm) |
| Média total (mm)   | 3,94  | 3,76                             | 4,76                     |
| Somatório da Evapotranspiração diária (mm)               | 573,25  | 535,86                           | 676,7                    |
| Correspondente em (%) da evapotranspiração no TCA (fora) | 84,71 %                                       | 79,19 %                          | 100 %                    |
| Diferença em (%) da evapotranspiração no TCA (fora)      | 12,29 %                                       | 20,81 %                          | ----                     |

\*ET<sub>o</sub>; evapotranspiração de referência, foi obtido utilizando-se os coeficientes de tanque apresentados por Doorenbos & Pruitt (1977). <sup>+</sup>ET<sub>o</sub> (N/S e L/O) foram obtidos utilizando o coeficiente de tanque (K<sub>p</sub>= 1) recomendado por Prados (1986), para ambiente protegido.

Na Tabela 3 apresenta-se as equações de regressão obtidas a partir dos valores médios semanais e seus respectivos coeficientes de correlação.

Tabela 3 - Equações de regressão linear de evaporação e evapotranspiração de referência, para as situações dos ambientes estudados.

| Relações  | Equações  | Coefficient<br>es<br>(r) |
|---|---|--------------------------|
| Ev(fora) x Ev(L/O)  | Ev(L/O)= 0,4934(Ev fora) + 1,1134                               | 0,77**                   |
| Ev(fora) x Ev(N/S)  | Ev(N/S)= 0,4421(Ev fora) + 1,2241                               | 0,77**                   |
| ET <sub>o</sub> (fora) x<br>ET <sub>o</sub> (L/O)             | ET <sub>o</sub> (L/O)= 0,5328(ET <sub>o</sub> fora) +<br>1,4068 | 0,72**                   |
| ET <sub>o</sub> (fora) x<br>ET <sub>o</sub> (N/S)             | ET <sub>o</sub> (N/S)= 0,4791(ET <sub>o</sub> fora) +<br>1,477  | 0,73**                   |
| ET <sub>o</sub> (ET <sub>o</sub> ) x<br>ET <sub>o</sub> (N/S) | ET <sub>o</sub> (N/S)= 0,849(ET <sub>o</sub> L/O) + 0,410       | 0,95**                   |

\*\* Significativos a 1% de probabilidade pelo teste F e teste T.

Ev(Fora) – Evaporação fora das estufa; ET<sub>o</sub>(L/O) – Evapotranspiração de referência da estufa orientada no sentido L/O.

Comparando os valores de E<sub>o</sub> e ET<sub>o</sub> estimados no interior das estufas com os obtidos externo a estas, observou-se que as correlações foram relativamente elevadas, indicando a possibilidade de estimar-se a E<sub>o</sub> e conseqüentemente a ET<sub>o</sub>, através de medidas da evaporação no tanque classe “A” instalado somente no ambiente externo às estufas. Este fato evita a instalação de um tanque no interior da estufa, que além de ocupar espaço, proporciona um aumento na umidade relativa do ar nesse ambiente, criando um meio mais propício a ocorrência de doenças. Os valores das correlações de ET<sub>o</sub> dentro e fora das estufas aproximaram-se bastante daqueles encontrados por Farias et al. (1994) (r= 0,73), e diferiram do obtido por Klar & Alves (1996) (r= 0,59), ambos obtidos a partir do tanque classe “A” instalados no centro das estufas.

Observou-se ainda, uma elevada correlação da evapotranspiração de referência entre as duas estufas (r = 0,9516\*\*), mostrando que a ET<sub>o</sub> medida em estufas com orientações geográficas diferentes (no caso N/S e L/O, verdadeiros) não apresentaram grandes variações entre si (Figura 3).

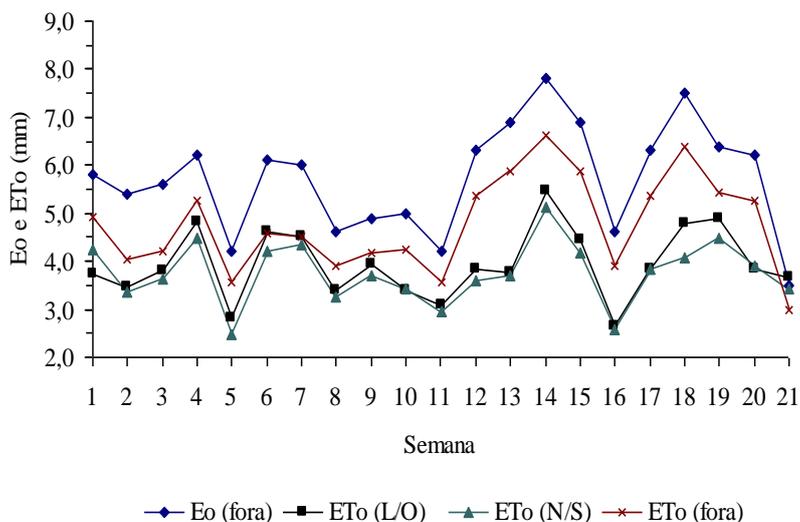


Figura 1. Médias semanais da evaporação e evapotranspiração de referência (ETo), obtidas no tanque classe “A”, instalados dentro e fora das estufas dispostas no sentido Norte/Sul e Leste/Oeste.

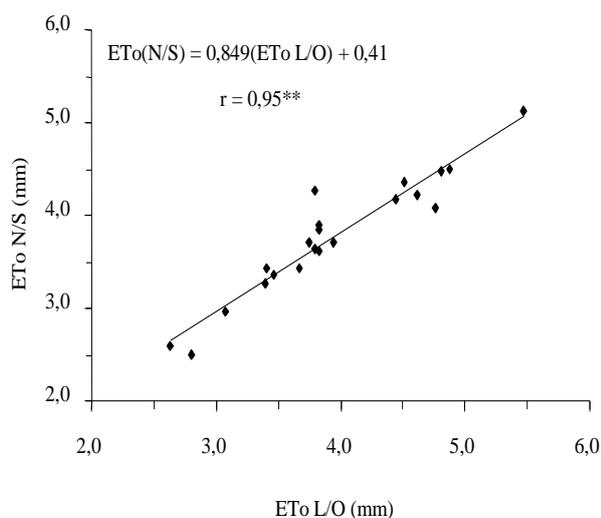


Figura 2 - Regressão entre a evapotranspiração de referência (ETo) dentro das estufas orientadas no sentido Leste/Oeste e Norte/Sul.

## 6 CONCLUSÕES

- A evaporação e evapotranspiração de referência obtidas fora das estufas, correlacionaram-se de forma positiva com as estimadas dentro das mesmas;
- Houve variação não significativa na evaporação e evapotranspiração de referência, estimadas no interior de estufas com orientações geográficas diferentes.
- É possível estimar-se a evaporação e evapotranspiração de referência, dentro da estufa orientada no sentido Norte/Sul, através de dados de Eo e ETo obtidos fora e no interior da Leste/Oeste.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DOORENBOS, J., PRUITT, W.O. *Guidelines for predicting crop water requirements*. Roma: FAO, 1977, 144p. (Irrigation and drainage paper, 24).
- FARIAS, J.R.B., BERGAMASCHI, H., MARTINS, S.R. Evapotranspiração no interior de estufas plásticas. *Rev. Bras. Agrometeorol.*, v. 2, p.17-22, 1994.
- GRAAF, R. Transpiration and evapotranspiration of the glass house crops. *Acta Hortic.*, (Wageningen), v. 119, p. 147-58, 1981.
- KLAR, A.E. *A água no sistema solo-planta-atmosfera*. 2.ed. São Paulo: Nobel, 1988. 408p.
- KLAR, A.E., ALVES, D.R.B. Evapotranspiração de referência em túnel de polietileno. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 11, 1996, v. 2, p. 179-83.
- MONTERO, J. I. et al. Climate under plastic in the Almeria. *Acta Hortic.*, (Wageningen), v. 170, p. 227-34, 1985.
- PRADOS, N. C. *Contribucion al estudio de los cultivos enarenados em Almeria: necesidades hídricas y extracción del nutrientes del cultivo de tomate de crecimiento indeterminado en abrigo de polietileno*. Almeria, 1986. 195p. Tesis (Doctoral)
- ROSENBERG, N. J.; MCKENNEY, M. S.; MARTIN, P. Evapotranspiration in a greenhouse warmed world: a review and a simulation. *Agric. For. Meteorol.*, v. 47, p. 303-20, 1989.
- STANGHELLINI, C. Evapotranspiration and energy consumption in greenhouses. *Acta Hortic.* (Wageningen), v. 199, p.273-279, 1981.