

ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA AMBIENTE PROTEGIDO

**GERTRUDES MACÁRIO DE OLIVEIRA¹; EDGO JACKSON PINTO SANTIAGO²;
MÁRIO DE MIRANDA VILAS BOAS RAMOS LEITÃO³; RUY DE CARVALHO
ROCHA⁴; IRIS SANTANA GONÇALVES⁵ E RODRIGO RAFAEL DA SILVA⁶**

¹*Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais, Universidade do Estado da Bahia, UNEB, Juazeiro, BA, gemoliveira@uneb.br*

²*Programa de Pós-Graduação em Horticultura Irrigada, Universidade de Estado da Bahia, UNEB, Juazeiro, BA, edgoj@hotmail.com*

³*Colegiado de Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal do Vale do São Francisco, UNIVASF, Juazeiro, BA, mario.miranda@univasf.edu.br*

⁴*Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais, Universidade do Estado da Bahia, UNEB, Juazeiro, BA, rcrocha@uneb.br*

⁵*Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais, Universidade do Estado da Bahia, UNEB, Juazeiro, BA, irissg@hotmail.com*

⁶*Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais, Universidade do Estado da Bahia, UNEB, Juazeiro, BA, rodrigossilva_rafael@hotmail.com*

1 RESUMO

Tendo em vista a importância do conhecimento da evapotranspiração de referência (ET_o) para estimar as diferentes demandas evapotranspiratórias, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a ET_o em ambiente protegido, comparando-a com estimativas obtidas para condições de campo aberto. O experimento foi conduzido na área experimental do DTCS-UNEB, Juazeiro, BA, no período de junho a setembro de 2015. Sob uma estrutura coberta com tela de sombreamento foi introduzida a cultura do tomate, instalado um tanque classe A (TCA) e uma estação meteorológica automática. A ET_o da cobertura foi determinada a partir dos dados de evaporação do TCA instalado nesse ambiente e $K_p = 1$; e correlacionada com a ET_o externa calculada por diferentes métodos de estimativas. A ET_o da cobertura correspondeu a 77,8; 75,0 e 82,4% da ET_o obtida pelos métodos de Penman-Monteith, TCA e Jensen e Haise, respectivamente; e 105 e 131,3% da ET_o obtida pelos métodos de Hargreaves e Samani e Makkink, respectivamente. A evapotranspiração de referência em ambiente protegido pode ser estimada, com correlação elevada, a partir de dados externos, através do método do tanque classe A, com o K_p calculado para as condições climáticas locais.

Palavras-chave: evapotranspiração dos cultivos, tanque classe A, métodos de estimativa da ET_o

**OLIVEIRA, G. M.; SANTIAGO, E. J. P.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; ROCHA, R. C.;
GONÇALVES, I. S.; SILVA, R. R.
REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATE FOR A PROTECTED
ENVIRONMENT**

2 ABSTRACT

Considering how important is the knowledge on the reference evapotranspiration (ET_o) to estimate the different evapotranspiration demands, this study aims to evaluate the ET_o coefficient in a protected environment, comparing it with estimates obtained from the open field conditions. The experiment was conducted in the test area of DTCS-UNEB, Juazeiro, BA, from June to September, 2015. Under a structure covered with a shading screen was introduced the tomato culture, a Class A pan (TCA) and an automatic weather station. The covered area's ET_o was determined using the evaporation data from the TCA installed in this environment and the coefficient $K_p = 1$; and correlated with the external ET_o calculated by different estimation methods. The covered area's ET_o corresponded to 77.8; 75.0 and 82.4% of the ET_o obtained by the Penman-Monteith, TCA and Jensen and Haise methods, respectively; and 105 and 131.3% of the ET_o obtained by the methods of Hargreaves and Samani and Makkink, respectively. The reference evapotranspiration in a protected environment can be estimated, with high correlation, from external data, using the class A pan method, with a calculated K_p for the local weather conditions.

Keywords: crop evapotranspiration, class A pan, ET_o estimation methods

3 INTRODUÇÃO

A utilização de ambientes protegidos proporcionam modificações micrometeorológicas comparado ao ambiente externo. Isso, em função do material utilizado na cobertura favorecer os processos de reflexão e absorção dos raios solares e conseqüentemente, redução da radiação solar e alterações nos elementos meteorológicos no interior do ambiente protegido. As modificações ambientais causadas pelo ambiente protegido devem-se aos filmes ou malhas de cobertura que alteram o balanço de radiação do sistema solo-planta-atmosfera (ROSA, 2012). As modificações micrometeorológicas observadas nos ambientes protegidos em relação ao ambiente externo são devidas, a redução da incidência da radiação solar sobre as plantas e pelas condições de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento, que são os principais fatores condicionantes da evapotranspiração (GOMES et al., 2006).

O cultivo em ambiente protegido proporciona redução das necessidades hídricas e torna mais eficiente o uso da água pelas plantas, devido à redução da evapotranspiração (OLIVEIRA et al., 2014). A evapotranspiração consiste no processo de perda de água do solo e da planta para atmosfera, portanto, parâmetro de grande relevância para o dimensionamento e o manejo de sistema de irrigação. A importância do conhecimento da quantidade de água necessária para as culturas para o correto planejamento, dimensionamento e manejo de qualquer sistema de irrigação é destacada por Fernandes, Fraga Júnior e Takay (2011). Santiago et al. (2016) expõem que, o conhecimento das reais necessidades hídricas dos cultivos torna-se extremamente importante, uma vez que informação dessa natureza é crucial no gerenciamento de água aplicado aos processos produtivos agrícolas. Andrade et al. (2016) afirmam que há diferentes processos aplicáveis para o adequado manejo da irrigação e dentre esses, os que utilizam a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) como parâmetro.

Dentre os vários métodos de estimativa da ET_o, o método do tanque classe A (TCA) é bastante utilizado. Em virtude do seu fácil manejo e baixo custo de implantação é um dos métodos indiretos de uso mais generalizado (Braga et al., 2008). Entretanto, a sua utilização dentro de casas de vegetação ainda gera discussões, visto que os resultados das pesquisas não são conclusivos quanto à escolha do coeficiente de tanque (K_p) a ser utilizado dentro de casa

de vegetação. Por outro lado, alguns produtores acham inviável deixar uma área improdutiva dentro da casa de vegetação de aproximadamente 10 m² ocupada pelo tanque “Classe A” (FERNANDES; CORÁ; ARAÚJO, 2004).

Tendo em vista que o K_p é função da velocidade do vento, do tamanho da bordadura e da umidade relativa do ar, de acordo com Doorenbos e Pruitt (1976), estes parâmetros podem ser perfeitamente aferidos dentro da casa de vegetação para obtenção do K_p adequado. Porém, em estudo conduzido por Prados (1986) citado por Farias, Bergamaschi e Martins (1994), o valor do K_p dentro de casa de vegetação é próximo da unidade. Fernandes, Corá e Araújo (2004) recomendam a instalação do tanque classe A, dentro da casa de vegetação, para a estimativa da E_{To} utilizando o $K_p = 1,0$.

Considerando a importância do conhecimento da E_{To} para estimar as diferentes demandas evapotranspiratórias, o presente trabalho teve como objetivo, avaliar a E_{To} em ambiente protegido, comparando-a com estimativas obtidas para condições de campo aberto.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido de junho a setembro de 2015 no campo experimental do Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais (DTCS) da Universidade do Estado da Bahia (UNEB), no município de Juazeiro (09° 24' 50" S; 40° 30' 10" W; 368 m). Uma estrutura com 12 x 18 m e pé direito 3,0 m foi montada e coberta com tela Chromatinet cor cinza (35% de sombreamento). Sob essa estrutura foi introduzida a cultura do tomate e instalado um tanque classe A (TCA) e uma estação meteorológica automática equipada com sensores de temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar global e velocidade do vento. Os dados de evaporação do TCA da cobertura foram correlacionados com os dados de evaporação do TCA e de um tanque de cimento amianto (CA) instalados na estação meteorológica do DTCS/UNEB, localizada a 30 m.

Para determinar a evapotranspiração de referência (E_{To}) sob a cobertura foram considerados os dados de evaporação do tanque classe A instalado nesse ambiente e o coeficiente de tanque $K_p = 1$, conforme recomendado por Fernandes, Corá e Araújo (2004). A E_{To} sob a cobertura foi correlacionada com a E_{To} externa calculada pelos seguintes métodos: Penman-Monteith parametrizado pela FAO (ALLEN et al., 1998); método de Makkink (1957); método de Jensen e Haise (1963); método de Hargreaves e Samani (1985); e o método do tanque classe A (TCA), com o K_p determinado pela equação proposta por Snyder (1992). Todos os dados de entrada dos métodos de estimativas da E_{To} externa foram obtidos na estação meteorológica do DTCS/UNEB.

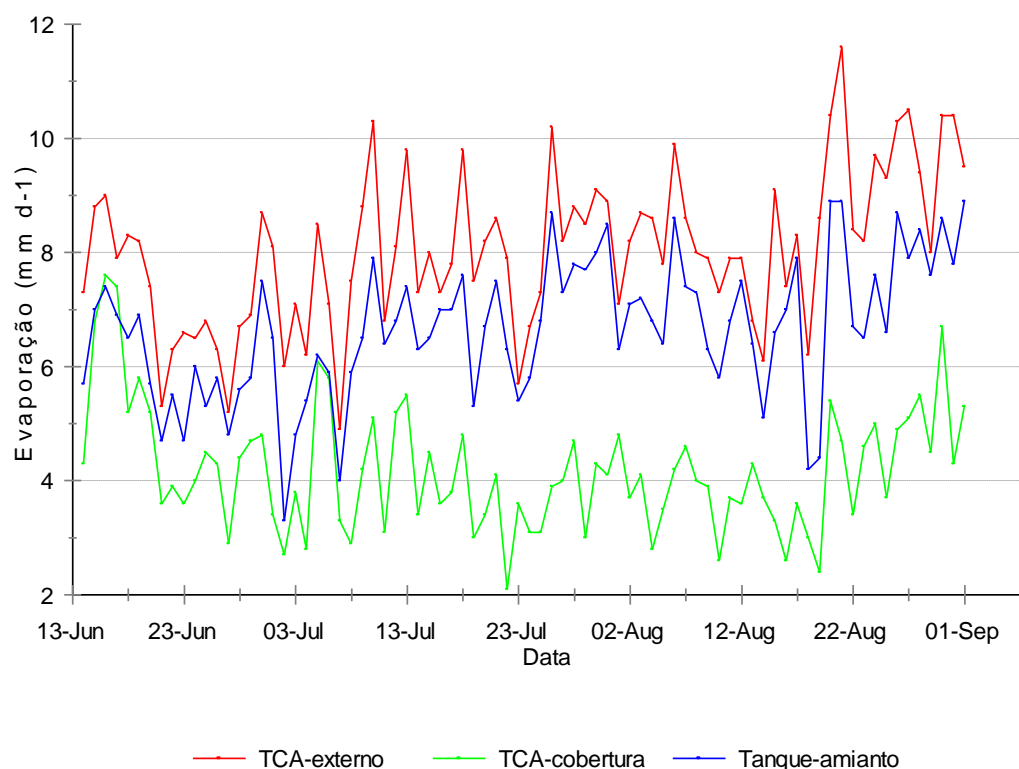
Para o ambiente coberto, foi avaliado a influência da radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento sobre a E_{To} . Os valores diários da E_{To} dentro e fora da cobertura foram comparados através de regressão linear simples.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores da evaporação dos tanques classe A (TCA) da estação meteorológica e da cobertura, bem como do tanque de cimento amianto (CA) são apresentados na Figura 1. Comparando os dados, a evaporação do TCA da estação variou de 4,9 a 11,6 mm d⁻¹, com média para todo o período de 8,0 mm d⁻¹; a do tanque de cimento amianto variou de 3,3 a 8,9 mm d⁻¹, com média de 6,7 mm d⁻¹; e do TCA da cobertura, 2,1 a 7,6 mm d⁻¹, com média de 4,2 mm d⁻¹. Em termos de média, a evaporação do TCA sob a cobertura correspondeu a 52 e 63%

da evaporação medida no TCA e CA da estação, respectivamente. É importante destacar que, o tanque de cimento amianto, em função da maior profundidade e exposição - enterrado, deixando-se apenas 5 cm de sua borda acima da superfície do solo, torna-se menos susceptível às condições aerodinâmicas específicas causadas pela exposição de suas paredes à radiação solar direta e da lâmina d'água a ação do vento, conforme apontam Andrade et al. (2016), como desvantagem do tanque classe A. Portanto, a condição de instalação do tanque de cimento amianto, certamente contribuiu para valores da evaporação mais próxima daquela observada no tanque classe A sob a cobertura.

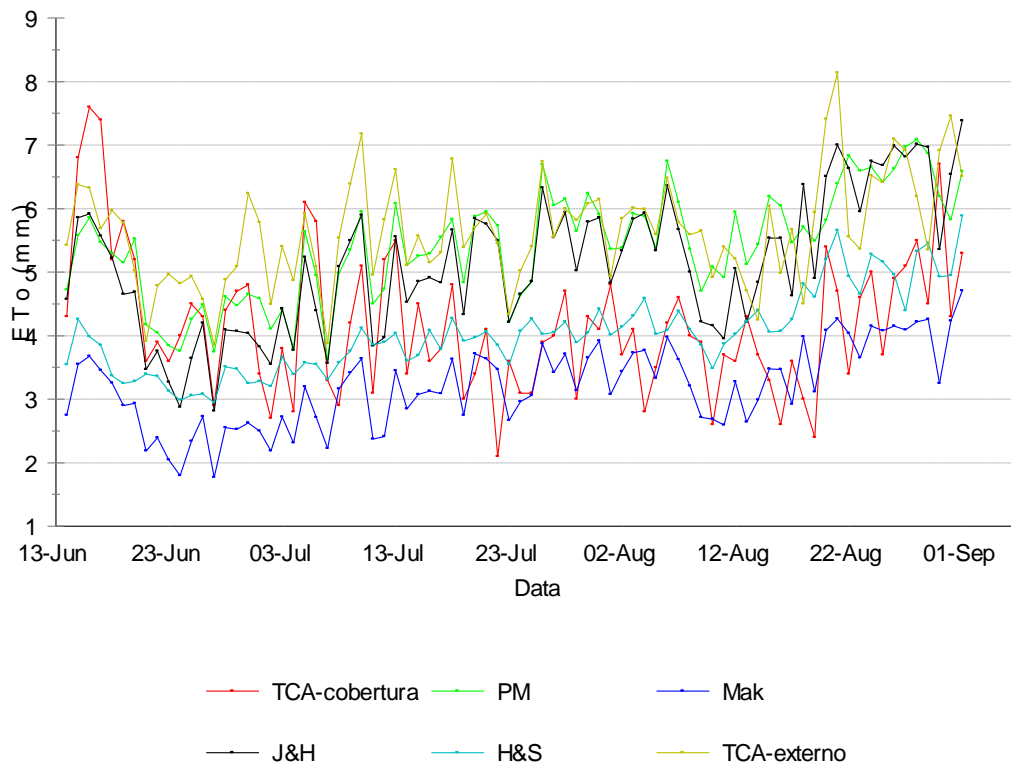
Figura 1. Evolução da evaporação dos tanques classe A da cobertura (TCA-cobertura) e da área externa (TCA-externo), bem como do tanque de cimento amianto (Tanque-amianto), ao longo do período experimental. Juazeiro- BA.



Comparando a ETo no interior do ambiente protegido com estimativas da ETo obtidas pelos métodos de Penman-Monteith (PM), Makkink (Mak), Jensen e Haise (J&H), Hargreaves e Samani (H&S) e tanque classe A (TCA), verifica-se que, enquanto os métodos de Penman-Monteith, TCA e Jensen e Haise sobestimaram a ETo sob a cobertura, os métodos de Hargreaves e Samani e Makkink subestimaram (Figura 2). Considerando a média para todo o período, a ETo da cobertura foi de 4,2 mm; ETo-PM = 5,4 mm; ETo-Mak = 3,2 mm; ETo-J&H = 5,1 mm; ETo-H&S = 4,0 mm e ETo-TCA = 5,6 mm. Ou seja, em termos percentuais, a ETo sob a cobertura correspondeu a 77,8; 75,0 e 82,4% da ETo obtida pelos métodos de PM, TCA e J&H, respectivamente; e 105 e 131,3% da ETo obtida pelos métodos de H&S e Mak, respectivamente. Percebe-se que, com exceção dos métodos de Hargreaves e Samani e Makkink, a evapotranspiração no ambiente protegido foi menor do que aquela que ocorreu no exterior; isso, devido à atenuação da radiação solar sob a cobertura e alterações nas condições

de temperatura, umidade relativa do ar e da redução da ação dos ventos, principais fatores da demanda evaporativa da atmosfera (DALMAGO et al., 2006; REIS; SOUZA; AZEVEDO, 2009; PIVETTA et al., 2010; ANDRADE JÚNIOR et al., 2011).

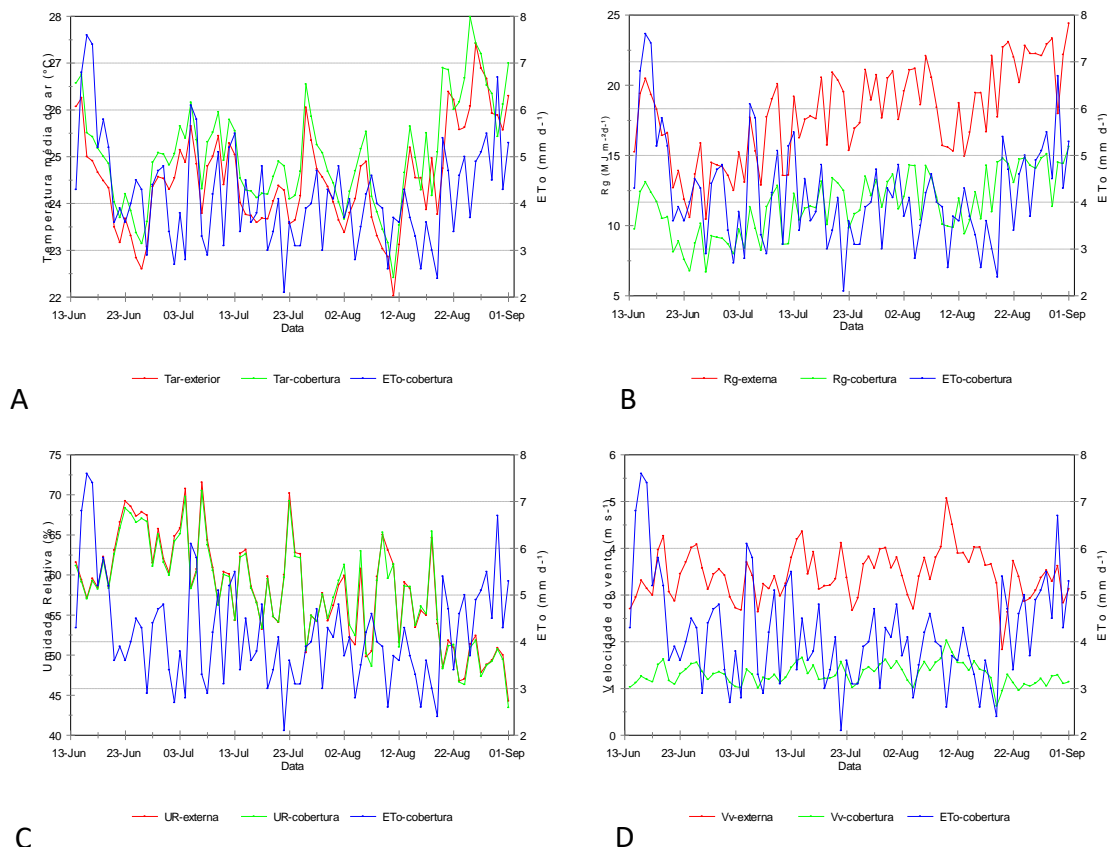
Figura 2. Evolução da evapotranspiração de referência sob a cobertura (TCA-cobertura) e estimada pelos métodos de Penman-Monteith (PM), Makkink (Mak), Jensen e Haise (J&H), Hargreaves e Samani (H&S) e tanque classe A (TCA-externo), ao longo do período experimental. Juazeiro-BA.



Embora, geralmente, a evapotranspiração no interior dos ambientes protegidos seja menor do que a campo aberto (ANDRADE JÚNIOR et al., 2011), os resultados encontrados no presente estudo para a ETo obtida pelo método de H&S podem ser justificados, considerando que a temperatura, única variável de entrada do método, foi maior sob a cobertura do que no exterior (Figura 3A), condição esta que, associada ao efeito de outros parâmetros, contribuíram para ETo mais elevada sob a cobertura. Maiores temperaturas em ambientes cobertos com telas de sombreamento também foram verificadas por Silva et al. (2017). Quanto ao método de Makkink, apesar de ter a radiação solar como variável de entrada, e esta, sob a cobertura ter sido inferior àquela observada externamente (Figura 3B), condição que, juntamente com a menor velocidade do vento observada sob a cobertura (Figura 3C), contribuiria para uma menor transferência de vapor d'água para a atmosfera, observa-se na Figura 2 que, em média, durante todo o período de estudo, a ETo sob a cobertura foi maior do que a ETo externa obtida pelo método de Makkink. Esse resultado pode estar associado ao uso dos coeficientes originais da equação de Makkink; de acordo com Pereira, Villa Nova e Sedyama (1997), os coeficientes $a = -0,12$ mm e $b = 0,61$ podem variar de local para local; demonstrando, portanto, a necessidade de calibração destes coeficientes para condições climáticas específicas.

Comparando a ETo sob a cobertura com as principais variáveis que interferem no processo de transferência de vapor d'água para a atmosfera (Figura 3), observa-se que no início do experimento, com a cultura pouco desenvolvida, o aumento da radiação solar (Figura 3B) e consequentemente, da temperatura do ar (Figura 3A), certamente contribuíram para maior aquecimento do solo, que associado a diminuição da umidade relativa do ar (Figura 3C), foram determinantes para valores elevados da ETo, atingindo o máximo para o período, 7,6 mm. Percebe-se na Figura 3A que apenas em alguns dias, a ETo aumentou com o aumento da temperatura, e vice-versa. Em relação à radiação solar, verifica-se a influência direta deste elemento sobre a ETo praticamente durante todo o experimento (Figura 3B); é perceptível também, o comportamento oposto da umidade relativa do ar em relação a ETo (Figura 3C); maior umidade, menor ETo e vice-versa. Quanto à velocidade do vento, embora este parâmetro tenha tido pouco índice de expressão, visualiza-se sua influência sobre a ETo ao longo do experimento (Figura 3D). Oliveira et al. (2014) observaram que a temperatura do ar não influenciou de forma concreta a ETo e destacam que, o fato pode ser um indício que corrobora com a afirmativa de Allen et al. (2006), que não consideram a temperatura do ar um dos principais fatores que afetam a evapotranspiração mas, sim, a radiação solar, a umidade do ar e a velocidade do vento.

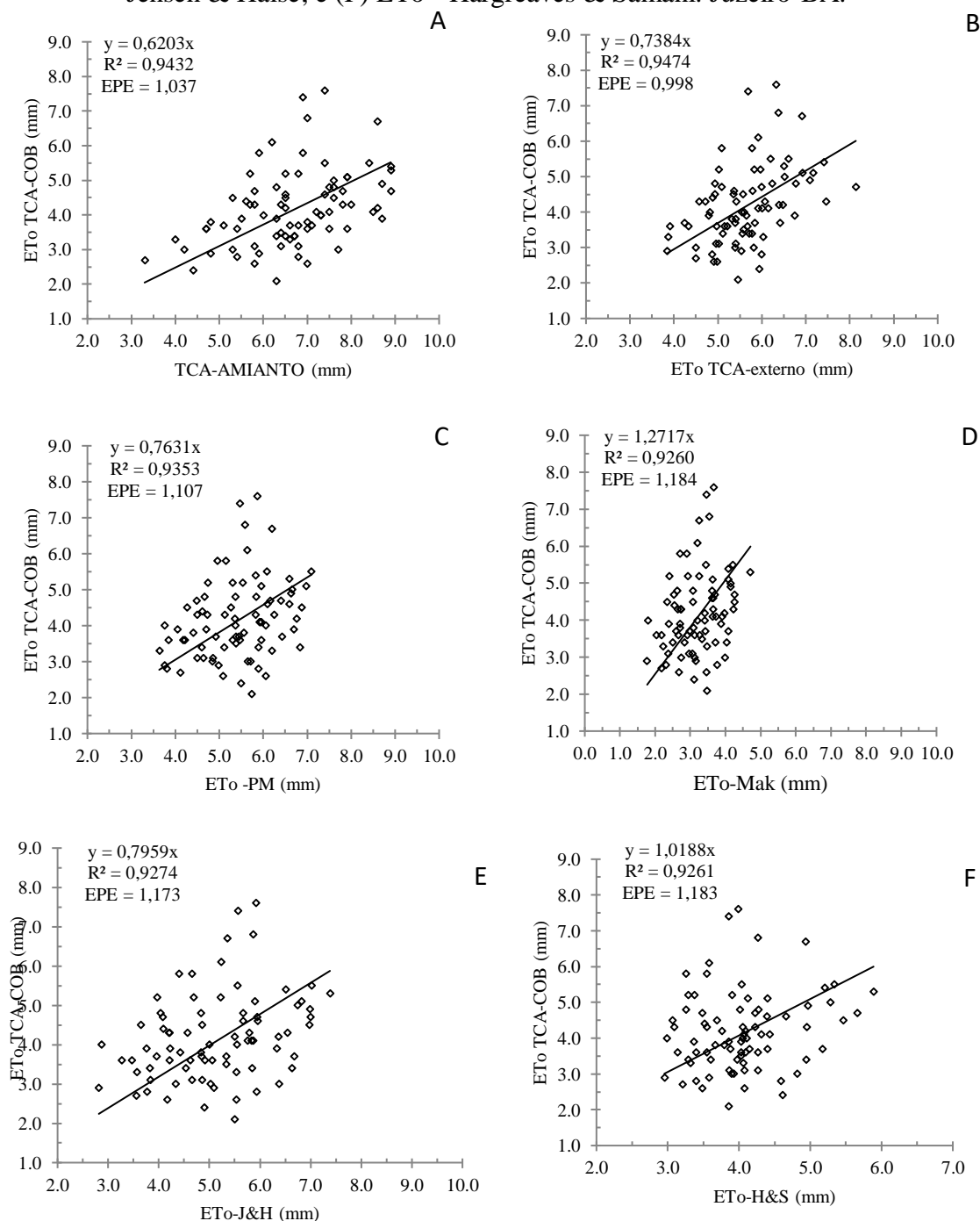
Figura 3. Evapotranspiração de referência versus temperatura do ar (A), radiação solar (B), umidade relativa do ar (C) e velocidade do vento (D) no interior do ambiente protegido, ao longo de período experimental. Juazeiro-BA.



A Figura 4 apresenta as regressões lineares entre os valores da ETo da cobertura e ETo externa obtida pelos métodos de Penman-Monteith (PM), Makkink (Mak), Jensen e Haise

(J&H), Hargreaves e Samani (H&S) e tanque classe A (TCA); bem como, com a evaporação do tanque de amianto. Observa-se na Figura 4 que as correlações foram altamente significativas, com o menor erro padrão de estimativa, 0,998 mm, obtido para o método do TCA, seguido do tanque de cimento amianto, 1,037 mm; e os maiores, 1,183 e 1,184 mm, para os métodos de Hargreaves e Samani e Makkink, respectivamente.

Figura 4. Correlação entre a ETo da cobertura versus (A) evaporação do tanque de amianto; (B) ETo – TCA externo; (C) ETo – Penman-Monteith; (D) ETo – Makkink; (E) ETo - Jensen & Haise; e (F) ETo - Hargreaves & Samani. Juzeiro-BA.



6 CONCLUSÕES

A evapotranspiração de referência em ambiente protegido pode ser estimada, com correlação elevada, a partir de dados externos, através do método do tanque classe A, com o Kp calculado para as condições climáticas locais.

7 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G. et al. **Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de água de los cultivos**. Roma: FAO, 2006. 298 p. (Estudio FAO Riego y Drenaje, 56).
- ALLEN, R. G. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 300 p.
- ANDRADE, A. D. et al. Desempenho de métodos de cálculo do coeficiente de tanque para estimativa da evapotranspiração de referência. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 1, p. 119-130, 2016.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. et al. Climate variations in greenhouse cultivated with gerbera and relationship with external conditions. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 5, p. 857-867, 2011.
- BRAGA, M. B. et al. Coeficientes do tanque classe “A” para estimativa da evapotranspiração de referência na região do Vale do Submédio São Francisco, estado da Bahia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Sete Lagoas, v. 16, n. 1, p. 49-57, 2008.
- DALMAGO, G. A. et al. Evapotranspiração máxima da cultura de pimentão em estufa plástica em função da radiação solar, da temperatura, da umidade relativa e do déficit de saturação do ar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, p. 785-792, 2006.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 1976. 193 p.
- FARIAS, J. R. B.; BERGAMASCHI, H.; MARTINS, S. R. Evapotranspiração no interior de estufas plásticas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 17-22, 1994.
- FERNANDES, A. L. T.; FRAGA JÚNIOR, E. F.; TAKAY, B. Y. Avaliação do método Penman-Piche para a estimativa da evapotranspiração de referência em Uberaba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 3, p. 270-276, 2011.
- FERNANDES, C.; CORÁ, J. E.; ARAÚJO, J. A. C. Utilização do tanque classe A para a estimativa da evapotranspiração de referência dentro de casa de vegetação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 46-50, 2004.
- GOMES, A. R. M. et al. Estimativa da evapotranspiração e coeficiente de cultivo da *Heliconia psittacorum* L x *H. spathocircinada* (Arist) cultivada em ambiente protegido. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 37, n. 1, p. 13-18, 2006.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. **Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature**. Chicago: American Society Agricultural Engineering Meeting, 1985. Paper 85-2517.

JENSEN, M. E.; HAISE, H. R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. **Journal of the Irrigation and Drainage**, New York, v. 89, p. 15-41, 1963.

MAKKINK, G. F. Ekzameno de la formulo de Penman. Neth. **Journal of Agricultural Science**, Amsterdam, v. 5, n. 1, p. 290-305, 1957.

OLIVEIRA, E. C. et al. Evapotranspiração da roseira cultivada em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 3, p. 314-321, 2014.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDYIAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PIVETTA, C. R. et al. Evapotranspiração máxima do pimentão cultivado em estufa plástica em função de variáveis fenométricas e meteorológicas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, p.768-775, 2010.

REIS, L. S.; SOUZA, J. L.; AZEVEDO, C. A. V. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do tomate caqui cultivado em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 289-296, 2009.

ROSA, J. Q. S. **Cultivo de pimentões sob telas fotosseletivas**. 2012. 61 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

SANTIAGO, E. J. P. et al. Ajuste da equação de Hargreaves e Samani a partir de dados lisimétricos para o município de Juazeiro-BA. **Irriga**, Botucatu, p. 108-114, 2016. Edição Especial Irriga & Inovagri.

SILVA, M. W. et al. Growth and production of *Heliconia* under different light conditions. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 38, n. 1, p. 7-18, 2017.

SNYDER, R. L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 118, p. 977-980, 1992.