

MODELOS PARA A ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA DA BERINJELA NA PRIMAVERA A PARTIR DE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS MEDIDAS FORA DA ESTUFA PLÁSTICA

MODELS FOR ESTIMATING MAXIMUM EVAPOTRANSPIRATION OF EGGPLANT DURING SPRING USING METEOROLOGICAL VARIABLES MEASURED OUTSIDE THE PLASTIC GREENHOUSE

Ivan Carlos Maldaner¹, Sidinei Zwick Radons², Luis Henrique Loose², Carina Rejane Pivetta³, Ivonete Fátima Tazzo³ e Arno Bernardo Heldwein⁴

¹ Aluno Mestrado em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Rurais (CCR), UFSM, Santa Maria, RS, Brasil, Exbolsista FAPERGS

² Aluno Graduação em Agronomia, CCR, UFSM, Santa Maria, RS, Bolsista PIBIC, PRAE/UFSM e BIC CNPq, respectivamente

³ Alunas de Doutorado em Agronomia, CCR, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil, Bolsista CAPES e CNPq, respectivamente.

⁴ Dr., Agrometeorologia, Prof. Titular do Departamento de Fitotecnia da UFSM, RS, E-mail: heldwein@smail.ufsm.br.

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 05 de julho de 2007 – Aracaju – SE

RESUMO: Objetivou-se obter modelos para estimar a evapotranspiração da berinjela cultivada em estufa plástica. O experimento foi conduzido no departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria. As plantas foram cultivadas em camalhões de solo, recobertos por mulching plástico e irrigados por gotejamento, no interior de uma estufa plástica. A ET_m foi medida em seis repetições de minilísimetros de drenagem, contendo 20 L de substrato e uma planta. Foram feitas medições semanais de área foliar, com as quais se estimou o índice de área foliar (IAF), altura de plantas (AP) e determinação do número de folhas (NF). Os modelos foram gerados a partir de variáveis meteorológicas medidas fora da estufa plástica incluindo pelo menos uma variável fenométrica e testados através da análise de regressão. Verificou-se que na primavera os modelos com melhor desempenho nas avaliações foram os que incluem como variável independente a radiação solar, o déficit de saturação do ar e o IAF. O modelo gerado com as variáveis de simples mensuração inclui as variáveis temperatura máxima e mínima do ar e NF apresentou desempenho aceitável.

PALAVRAS-CHAVE: *Solanum melongena*, consumo de água, variáveis meteorológicas, variáveis fenométricas, modelos lineares.

ABSTRACT: The objective of this study was to obtain models for estimating the maximum evapotranspiration (ET_m) of eggplants grown in plastic greenhouse. The experiment was conducted at the Plant Science Department, Universidade Federal de Santa Maria. Plants were grown in a plastic greenhouse in hills covered with plastic mulch and drip irrigated. The ET_m was measured in six replications of lysimeters with 20 L of artificial soil and one plant. Daily leaf area index (LAI) was estimated from weekly leaf area measurements. Height of plants (AP) and leaf number (NF) were also measured one a week. The models were fitted from meteorological variables measured outside of the plastic greenhouse including at least one plant variable and tested using regression analysis. It was verified that in Spring model

performed better when solar radiation, vapour pressure deficit and LAI were included. The model with simple and easily measured variables such as maximum and minimum air temperatures and NF Rad acceptable performance.

KEYWORDS: *Solanum melongena*, water consumption, meteorological variables, plants variables, linear models.

INTRODUÇÃO: O cultivo em ambiente protegido possibilita obter um ambiente mais adequado para as plantas e maior produtividade em relação ao ambiente externo. No entanto, devido a proteção contra a precipitação é necessário o conhecimento da evapotranspiração máxima (ET_m) das culturas nesse ambiente, para quantificar a água a ser reposta por irrigação. Para determinar a ET_m o uso de modelos matemáticos pode ser considerado uma ferramenta muito útil e prática, pois os mesmos relacionam o consumo de água das plantas em estufa plástica com variáveis de seu crescimento e variáveis meteorológicas medidas tanto no interior quanto no exterior das estufas. Permitem assim, determinar a evapotranspiração máxima das culturas e estender a aplicabilidade dos resultados obtidos para regiões de maior abrangência quando os mesmos envolvem variáveis medidas na estação meteorológica devido a maior representatividade desses dados para a região (DALMAGO, 2001). (DALASSO et al., 1997) obteve os melhores modelos para a estimativa do consumo de água na primavera com as variáveis meteorológicas saldo de radiação, radiação solar global, umidade relativa média do ar e evaporação do tanque classe “A”, medidos na estação meteorológica e evaporação do tanque de tamanho reduzido e número de folhas determinados no interior de estufa. (VÁSQUEZ et al., 2005) afirma que há correlação entre os elementos meteorológicos observados no interior do ambiente protegido e no meio atmosférico, bem como correlação entre esses elementos externos e a evaporação interna. O objetivo deste trabalho foi obter e avaliar modelos para a estimativa da evapotranspiração máxima da berinjela cultivada na primavera em estufa plástica.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi realizado junto ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (latitude: 29° 43'S, longitude: 53° 43'W e altitude: 95m). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa, o solo do local é um argissolo vermelho distrófico arênico. Utilizou-se uma estufa plástica, de 240 m² de área, com cobertura em arco de polietileno de baixa densidade (PERB) de 0,15 mm de espessura. Foram construídos camalhões de solo no espaçamento de 1m, recobertos por PERB preto opaco, sob o qual foi instalado um tubo gotejador para irrigação. A evapotranspiração máxima foi medida diariamente em seis repetições de minilímetros de drenagem contendo substrato agrícola e uma planta de berinjela, distribuídos entre as demais plantas cultivadas no solo, que serviram de bordadura. Transplantaram-se as mudas em 15/09/2006, sendo as plantas conduzidas em duas hastes sustentadas com fio de ráfia. As determinações fenométricas semanais, tais como, altura das plantas e dimensão linear do limbo foliar no sentido longitudinal (C) e transversal (L), sendo os valores de C e L usados para a obtenção do índice de área foliar (IAF). As variáveis meteorológicas utilizadas para a confecção dos modelos foram obtidas através de dados medidos na estação meteorológica do 8° DISME/INMET, distante 60 m da estufa plástica. Para geração dos modelos foram utilizados

os dados dos dias pares da série de dias após o transplante (DAT) e para a avaliação dos modelos foram utilizados os dados dos dias ímpares. O teste constou da análise de regressão entre os valores observados e os estimados com os modelos, considerando-se o coeficiente de determinação da curva entre valores observados e estimados (R^2), a raiz quadrada do quadrado médio do erro (RMSE), o coeficiente de correlação (r), também denominado de índice de precisão (CAMARGO & SENTELHAS, 1997), o índice de concordância (d), conforme Willmott (1985), e de confiança “ c ”, apresentada na tabela 1.

Tabela 1. Intervalos de valores do Índice de confiança “ c ” utilizados para a interpretação do desempenho dos modelos de estimativa da evapotranspiração máxima da berinjela, em estufa plástica na primavera em 2006. Santa Maria. RS.

| Valores de “ c ” | Desempenho | Valores de “ c ” | Desempenho |
|--------------------|------------|--------------------|------------|
| > 0,85 | Ótimo | 0,51 a 0,60 | Sofrível |
| 0,76 a 0,85 | Muito bom | 0,41 a 0,50 | Mau |
| 0,66 a 0,75 | Bom | ≤ 0,40 | Péssimo |
| 0,61 a 0,65 | Mediano | | |

Fonte: CAMARGO & SENTELHAS (1997)

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na tabela 2, são apresentados 22 modelos de regressão para a estimativa da ET_m da berinjela obtidos a partir de variáveis meteorológicas externas e pelo menos 1 variável fenométrica (IAF, NF e AP), esses modelos foram classificados em ordem decrescente conforme seu coeficiente de determinação (r^2) e RMSE. Verifica-se que os modelos que utilizam uma variável de crescimento das plantas juntamente com o déficit de saturação do ar externo (D), associado ao saldo de radiação (R_n) ou a radiação solar global externa (R_g) modelos (1, 2 e 4) apresentaram um $r^2 \geq 0,80$. Isso pode ser explicado em razão de que a R_g e D são as duas variáveis que mais afetam a evaporação (HELDWEIN et al., 2001) e a ET_m em estufas (STANGHELLINI, 1989; DE VILLÈLE, 1972; JOLLIET & BAILEY, 1992). Segundo (DALMAGO, 2001), a radiação solar além de atuar na diminuição da resistência estomática, afeta também nas demais variáveis que condicionam a demanda hídrica atmosférica no interior da estufa, por isso a melhora do coeficiente de determinação quando uma dessas variáveis esteve presente. Os modelos onde foi incluída a umidade relativa do ar externa (UR_m) modelos (7,10 e 11) ficaram bem próximos dos modelos em que se utiliza o Déficit de Saturação do ar (D), isto se deve principalmente pela UR_m contribuir em grande parte para a demanda evaporativa da atmosfera. Os modelos 3, 5 e 6 que utilizam apenas uma variável fenométrica associada à ET_o, também obtiveram r^2 acima de 0,80, sendo que, a Evapotranspiração máxima da cultura da berinjela é bem estimada através da inclusão dessa variável, pois a mesma engloba o efeito de todas as variáveis medidas no exterior da estufa. Os modelos que utilizam o índice de área foliar (IAF) como variável de crescimento foram melhores em relação aos que utilizam altura de plantas (AP) e número de folhas(NF), isso se deve ao IAF representar melhor a superfície transpirante, mas é uma variável de difícil obtenção comparando com as outras duas. Analisando os modelos de regressão (Tabela 2) observa-se que os modelos que apresentaram maior “ c ” foram praticamente os mesmos que apresentaram maior coeficiente de determinação, sendo que a melhor estimativa da ET_m é obtida com a inclusão da variáveis R_n, R_g e D nos modelos. Desta forma, os modelos (1 ao 19) são classificados como muito bons pois apresentam “ c ” $\geq 0,76$. Já os modelos 20, 21 e 22 são classificados como bons apresentando “ c ” $< 0,76$. Isto em parte é explicado pela afirmação de JOLLIET & BAILEY (1992) que a temperatura do ar isolada não é um indicador preciso da ET_m das plantas. No entanto, o modelo número 19 é de fácil aplicabilidade para o produtor rural, pois é necessário apenas um termômetro de máxima e de mínima, para medir as temperaturas extremas do dia e o número de folhas podendo ser utilizado para estimar a ET_m com precisão aceitável ($c = 0,76$).

Tabela 2. Modelos de regressão gerados com dados meteorológicos externos a estufa, para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) da berinjela cultivada em estufa plástica na primavera e suas respectivas estatísticas de avaliação através da regressão entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006.

| Nº | Modelos de regressão* | r ² | Estatísticas de avaliação** | | | | |
|----|--|----------------|-----------------------------|----------------------|------|------|------|
| | | | RMS E | R ² (1:1) | r | d | c |
| 1 | ETm= - 0,53874 + 0,52556IAF + 0,09669D + 0,09102Rn | 0,81 | 0,26 | 0,83 | 0,89 | 0,94 | 0,83 |
| 2 | ETm= - 0,41907 + 0,56057IAF + 0,09783D + 0,04147Rg | 0,81 | 0,26 | 0,83 | 0,89 | 0,94 | 0,83 |
| 3 | ETm= - 0,63193 + 0,49836IAF + 0,55796ETo | 0,81 | 0,27 | 0,81 | 0,88 | 0,93 | 0,82 |
| 4 | ETm= - 0,63356 + 0,01602AP + 0,09737D + 0,09505Rn | 0,80 | 0,27 | 0,82 | 0,88 | 0,94 | 0,83 |
| 5 | ETm= - 1,05201 + 0,07000NF + 0,55190ETo | 0,80 | 0,28 | 0,80 | 0,87 | 0,93 | 0,81 |
| 6 | ETm= - 0,71910 + 0,01514AP + 0,57147ETo | 0,80 | 0,28 | 0,80 | 0,87 | 0,93 | 0,81 |
| 7 | ETm= 3,79018 + 0,09467NF - 0,04894URm | 0,80 | 0,27 | 0,80 | 0,88 | 0,94 | 0,82 |
| 8 | ETm= - 0,09456 + 0,56948IAF + 0,14885D | 0,80 | 0,26 | 0,82 | 0,88 | 0,94 | 0,83 |
| 9 | ETm= - 0,59320 + 0,08087NF + 0,15002D | 0,79 | 0,27 | 0,82 | 0,88 | 0,94 | 0,83 |
| 10 | ETm= 4,28080 + 0,66137IAF - 0,04769URm | 0,79 | 0,27 | 0,81 | 0,88 | 0,94 | 0,82 |
| 11 | ETm= 4,26182 + 0,02036AP - 0,04846URm | 0,78 | 0,27 | 0,80 | 0,87 | 0,93 | 0,82 |
| 12 | ETm= - 0,72789 + 0,55702IAF + 0,17666Rn | 0,78 | 0,30 | 0,76 | 0,85 | 0,91 | 0,78 |
| 13 | ETm= - 0,49693 + 0,62653IAF + 0,08134Rg | 0,78 | 0,31 | 0,75 | 0,85 | 0,91 | 0,77 |
| 14 | ETm= - 1,19346 + 0,07858NF + 0,17601Rn | 0,77 | 0,31 | 0,76 | 0,85 | 0,91 | 0,77 |
| 15 | ETm= - 1,03136 + 0,08884NF + 0,08114Rg | 0,77 | 0,31 | 0,75 | 0,84 | 0,91 | 0,77 |
| 16 | ETm= - 0,82954 + 0,01701AP + 0,18141Rn | 0,77 | 0,31 | 0,75 | 0,84 | 0,91 | 0,77 |
| 17 | ETm= - 0,59633 + 0,01924AP + 0,08316Rg | 0,76 | 0,32 | 0,74 | 0,84 | 0,90 | 0,76 |
| 18 | ETm= - 1,10569 + 0,71770IAF - 0,06616Tmin + 0,10682Tmx | 0,73 | 0,32 | 0,74 | 0,84 | 0,91 | 0,76 |
| 19 | ETm= - 1,66324 + 0,10353NF - 0,07121Tmin + 0,10658Tmx | 0,72 | 0,32 | 0,73 | 0,84 | 0,91 | 0,76 |
| 20 | ETm= - 1,33408 + 0,62208IAF + 0,10180Tm | 0,69 | 0,35 | 0,68 | 0,80 | 0,89 | 0,71 |
| 21 | ETm= - 1,81658 + 0,00831NF + 0,09934Tm | 0,68 | 0,35 | 0,68 | 0,80 | 0,89 | 0,71 |
| 22 | ETm= - 1,5048 + 0,01897AP + 0,10684Tm | 0,68 | 0,35 | 0,67 | 0,80 | 0,89 | 0,71 |

*Modelos gerados com os dados dos dias pares da série, todos os coeficientes angulares são significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro; ** estatísticas de avaliação dos modelos feita com os dias ímpares da série de dados.

Obs - r² coeficiente de determinação na geração dos modelos; RMSE é a raiz do quadrado médio do erro; R² é o coeficiente de determinação da curva entre valores observados e estimados; r é o coeficiente de correlação; d é o coeficiente de Willmott e c o coeficiente de Camargo; AP= altura de plantas (m); IAF= índice de área foliar; NF= número de folhas; D = déficit de saturação do ar externo (hPa); Tm, Tmin, Tmx = temperatura média, mínima e máxima do ar externa (°C), respectivamente; Rg = Radiação solar global incidente (MJ m⁻² dia⁻¹); Rn = Saldo de radiação (MJ m⁻² dia⁻¹); URm = umidade relativa média externa do ar (%); ETo = Evapotranspiração de referência.(mm dia⁻¹)

CONCLUSÕES: A ETm da berinjela pode ser estimada a partir de variáveis meteorológicas medidas no exterior da estufa plástica com a inclusão de uma variável de crescimento das plantas. As variáveis meteorológicas que melhor estimam a evapotranspiração máxima da berinjela são: a radiação solar global, o saldo de radiação, o déficit de saturação. A variável fenométrica que melhor estima a ETm da berinjela associada a variáveis meteorológicas é o índice de área foliar. O modelo número 19 é o modelo gerado com variáveis de simples mensuração como temperatura máxima e mínima do ar e NF.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

CAMARGO, A.P, SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

DALMAGO, G. A. **Evapotranspiração máxima e coeficiente da cultura do pimentão em estufa plástica**. Santa Maria, RS, 2001. 165p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), curso de Pós-Graduação em Agronomia/UFSM. 2001.

- DALSASSO, L.C.M., et al. Consumo d'água do tomateiro tipo salada em estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.61-67, 1997.
- DE VILLELE, O. Besoins en eau des cultures sous serre: essai de conduite des arrosages en fonction de l'ensoleillement. **Acta Horticulturae**, Den Haag, v.35, p.123-130, p.123-129, 1972.
- HELDWEIN, A. B. et al. Evaporação d'água em estufas plásticas e sua relação com o ambiente externo: 2 – efeito da espécie cultivada e da época do ano nos valores obtidos com minitanques. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.1, p.43-49, 2001a.
- JOLLIET, O., BAILEY, B.J. The effect of climate on tomato transpiration in greenhouses: measurements and models comparison. **Agricultural and Forest Meteorology**. Amsterdam, v.58, p.43-62, 1992.
- STANGHELLINI, G. Crop transpiration: a greenhouse climate control parameter. **Acta Horticulturae**, Wageningen, V.245, p.384-388, 1989.
- VÁSQUEZ, M.A.N., et al. Efeito do ambiente protegido cultivado com melão sobre os elementos meteorológicos e sua relação com as condições externas. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.137-143, 2005