

ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA DO PIMENTÃO EM ESTUFA PLÁSTICA NA PRIMAVERA UTILIZANDO VARIÁVEIS MEDIDAS FORA DA ESTUFA

ESTIMATING MAXIMUM EVAPOTRANSPIRATION OF SWEET PEPPER INSIDE A PLASTIC GREENHOUSE DURING SPRING USING VARIABLES MEASURED OUTSIDE THE GREENHOUSE

Ivonete Fátima Tazzo¹, Carina Rejane Pivetta¹, Arno Bernardo Heldwein², Ivan Carlos Maldaner³, Gustavo Trentin¹, Sidnei Zwick Radons⁴

1. Eng. Agr. Alunos de doutorado do Programa de Pós Graduação em agronomia, UFSM, Santa Maria, RS.

2. Eng. Agr. Professor Titular, Dep. De Fitotecnia, UFSM, Santa Maria, RS., Fone: (0xx55) , heldwein

3. Eng. Agr. Aluno de mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, UFSM, Santa Maria, RS.

4. Aluno de graduação do curso de Agronomia, Bolsista Pibic/CNPq, UFSM. Santa Maria, RS.

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

RESUMO: A necessidade hídrica dos cultivos em estufas plásticas pode ser determinada utilizando modelos de regressão. Nos modelos para esse ambiente podem ser utilizadas variáveis meteorológicas medidas no exterior da estufa, cuja relação com a ET_m no seu interior é dependente da época do ano. Foi realizado um experimento na primavera de 2005 e outro na primavera de 2006, no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, com o objetivo de determinar e avaliar modelos de estimativa da evapotranspiração máxima da cultura do pimentão em estufas plásticas, utilizando variáveis meteorológicas medidas no ambiente externo. Utilizaram-se 3 lisímetros de drenagem de 1,5m de comprimento contendo 5 plantas e 1 minilímetro de balança contendo duas plantas. Foram selecionados 39 modelos que apresentaram melhor desempenho na determinação da ET_m na sua validação. O maior número de modelos inclui o déficit de saturação do ar, ou o saldo de radiação e ou radiação solar global, medidos no exterior, como variável independente. A ET_m dividida pela raiz quadrada do índice de área foliar como variável dependente resultou num bom desempenho. O IAF foi a variável fenométrica que esteve incluída em um maior número de modelos.

PALAVRAS CHAVE: *Capsicum annuum*, evapotranspiração máxima, variáveis meteorológicas externas

ABSTRACT: Crop water requirement in plastic greenhouses can be determined using regression models. Models for this environment can be obtained using meteorological variables measured outside the greenhouse with specific coefficients depending upon the time of the year. An experiment in Spring 2005 and another one in spring of 2006 were carried out at the Department of Plant Science, Universidade Federal de Santa Maria. The objective was to determine and evaluate models for estimating the maximum evapotranspiration of sweet pepper grown in plastic greenhouse, using meteorological variable measured outside. Three drainage lysimeters with 1.5m length and 5 plants and one weighting lysimeter with 2 plants were used. 39 models that had better performance in estimating ET_m with independent data were selected. Most models included vapour pressure deficit, or net radiation and or global solar radiation measured outside,

as independent variable. ETm divided by the square root of the leaf area index as dependent variable, resulted in a good performance. LAI was the plant variable included in a high number of models.

KEY WORDS: *Capsicum annuum*, maximum evapotranspiration, outside meteorological variables

INTRODUÇÃO: As estufas plásticas constituem-se em uma técnica consolidada e importante na agricultura de pequena escala. É uma alternativa para produzir hortaliças fora da época de cultivo a campo, contribuindo para a redução do período de sazonalidade da produção, viabilizando a comercialização dos produtos nas épocas de melhores preços, além de conferir melhor qualidade e maior produtividade aos cultivos. Nesses ambientes, devido ao efeito da cobertura plástica, ocorre uma diferença na magnitude dos elementos meteorológicos em relação aos cultivos a céu aberto, principalmente no que diz respeito à temperatura e umidade relativa do ar, déficit de saturação do ar, radiação solar e, conseqüentemente, na evapotranspiração (CUNHA et al., 2003). Uma vez modificadas essas condições ambientais o manejo dispensado aos cultivos também deverá ser conduzido conforme tais exigências. Neste contexto, a evapotranspiração é um parâmetro importante no manejo da reposição da água fornecida para as plantas, principalmente quanto a sua variação ao longo do ciclo, nos diferentes subperíodos de desenvolvimento das plantas e época de cultivo em estufas plásticas. O conhecimento das relações entre as variáveis meteorológicas e fenométricas com a evapotranspiração é determinante para estabelecer modelos matemáticos que estimam com precisão aceitável a necessidade de água das espécies cultivadas em estufas plásticas. Esse tipo de informação ainda é escasso, principalmente no que diz respeito a certas espécies de hortaliças, tornando, desta forma, mais difícil o manejo da irrigação nestes ambientes. O objetivo deste trabalho foi determinar e avaliar modelos de estimativa da evapotranspiração máxima do pimentão cultivado em estufa plástica durante a época de primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no exterior da estufa.

MATERIAL E MÉTODOS: Os experimentos foram conduzidos em uma estufa com 240 m², recoberta com filme de polietileno de baixa densidade (PEBD), com espessura de 150µm, na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (29°42'S; 53°48'W; 95 m anm), na primavera de 2005 e 2006. Em 2005 o transplante do pimentão, híbrido Vidi, foi realizado em 09/08 e em 2006, o transplante do híbrido Priscila ocorreu em 13/09. Para a determinação da ETm utilizaram-se três lisímetros de drenagem com substrato, conforme metodologia proposta por Valandro (1999), cada um contendo cinco plantas, cultivadas em sacola plástica individual preenchidas com substrato agrícola esterilizado. A ETm (em mm) foi obtida através da diferença entre a água irrigada e a água drenada do dia subsequente: $ETm = [I - D] S^{-1}$; onde I é a irrigação em L, D é a água drenada em L e S é a superfície de abrangência (S = 1,50 m²). Também foi utilizado um minilímetro de balança com capacidade volumétrica de 20 L de substrato, contendo 2 plantas de pimentão. A variação de umidade no solo foi monitorada por variação de peso, através de uma balança eletrônica de bancada, com capacidade de 50 Kg e resolução de 0,005 Kg. A ETm foi quantificada pela diferença de massa medida com a balança entre as leituras realizadas no dia em questão e no dia subsequente. Semanalmente mediou-se com uma régua graduada o comprimento de todas as folhas em duas plantas por lisímetro de substrato e nas plantas do minilímetro de balança, para a determinação da área foliar. Também foi medida a altura das plantas marcadas. Os dados meteorológicos foram coletados em uma estação

meteorológica distante 100 metros da estufa. A evapotranspiração de referência (ET_o) foi calculada através dos dados meteorológicos obtidos a estação meteorológica. Os modelos para a estimativa da ET_m do pimentão foram gerados através da análise de regressão com os dados da primavera de 2005 e a avaliação do desempenho dos modelos foi realizada com os dados da primavera de 2006, a partir dos valores das estatísticas: raiz quadrada do quadrado médio do erro (RMSE), coeficiente de correlação (r) e coeficiente de exatidão ou de concordância (d), conforme STRECK (2005). Com este último quantificou-se o afastamento dos valores de ET_m estimados com os dados meteorológicos e fenométricos de 2006 utilizados nos diferentes modelos em relação aos valores de ET_m observados em 2006. Seus valores variam de zero, para nenhuma concordância, a um, para concordância perfeita entre as observações e as estimativas. Também foi utilizado o coeficiente de confiança (c), que reúne os valores das estatísticas r e d (STRECK, 2005). A diferenciação entre os desempenhos dos modelos de estimativa, foi realizada a partir dos valores de todas as estatísticas descritas anteriormente. Além disso, utilizando a metodologia proposta por Streck (2005), os modelos foram classificados com posições ordinais crescentes, partindo-se do valor 0,5 do melhor para o pior desempenho em cada estatística, obtendo-se o somatório das estatísticas (Σ PO). Após a classificação dos modelos nas colunas, de acordo com a atribuição das posições ordinais crescentes para as estatísticas RMSE, R², r, d e c, além dos coeficientes linear (a) e angular (b), foi realizada a soma dos valores das posições ordinais nas linhas. Assim, foi obtida uma última coluna composta Σ PO das estatísticas de avaliação. Os modelos obtidos foram classificados em ordem crescente pelo Σ PO, sendo o melhor modelo considerado aquele que apresentou menor valor de Σ PO das estatísticas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os 39 melhores modelos selecionados para a estimativa da ET_m do pimentão, que foram gerados através da análise de regressão com todos os dados da primavera de 2005, utilizando variáveis internas, apresentaram um coeficiente de determinação (R²) maior do que 0,60 na sua geração, com todos os seus coeficientes angulares significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro (Tabela 1). Verifica-se que nos modelos selecionados utilizaram uma variável fenométrica (iaf, nf ou ap) e ou raiz quadrada do iaf (iaf^{0,5}), juntamente com uma ou mais variáveis meteorológicas medidas no exterior da estufa plástica (Tabela 1). Os 39 modelos selecionados e classificados em ordem crescente pelo Σ PO, apresentaram alto desempenho nos testes, sendo os valores de Σ PO de 8 a 36,5 considerados ótimos a satisfatórios. Os seis primeiros modelos utilizaram o déficit de saturação médio do ar (de) associado a uma variável energética (rne ou rge), com exceção do modelo 2. Dos 39 modelos apenas 17 não utilizaram uma variável energética (rne, rge e ins), no entanto os modelos 26 e 32 utilizaram a ET_o, que também utiliza no seu cálculo a radiação solar. Com relação à ET_o 5 modelos utilizaram essa variável (12, 13, 21, 26 e 32), associada a outra variável meteorológica. Essa variável é de difícil obtenção, sendo, portanto esses modelos restritos aos produtores cujas propriedades situam-se próximas a estações meteorológicas, e ou possuem uma estação meteorológica portátil. O déficit de saturação (de), a radiação solar global (Rge) e o saldo de radiação (Rne) foram as variáveis meteorológicas que melhor estimaram a ET_m. DALMAGO et al. (2006) já verificaram que o saldo de radiação medido no ambiente externo é a variável que apresenta melhor relação com a ET_m. Os modelos 1 a 6 utilizam somente essa variável, com exceção do modelo 4 que inclui di15 e rgi. DALMAGO et al. (2006) verificaram que o déficit de saturação do ar no interior da estufa foi a variável que apresentou maior relação com a ET_m em um cultivo de pimentão no outono.

Tabela 1: Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis externas. Santa Maria, RS, 2005 e 2006.

Nº	Modelo de regressão	R ²	Linear (a)	Angular (b)	RMSE	r ²	r	d	c	ΣPo
1	ETm = iaF ^{0,5} (-0,02812 + 0,08026de + 0,05435rne)	0,78	0,032385	0,806628	0,21	0,88	0,93	0,95	0,88	8
2	ETm = -0,23893 + 0,76065iaf + 0,09036de	0,92	0,135353	0,755636	0,22	0,85	0,91	0,94	0,86	8,5
3	ETm = -0,29871 + 0,72796iaf + 0,08086de + 0,00937rge	0,92	0,154577	0,7498	0,21	0,86	0,92	0,94	0,87	9
4	ETm = iaF ^{0,5} (0,04709 + 0,09177de + 0,02093rge)	0,76	0,019061	0,80349	0,22	0,88	0,92	0,94	0,87	10
5	ETm = -0,33630 + 0,68282iaf + 0,07868de + 0,02621rne	0,92	0,170701	0,745068	0,21	0,86	0,92	0,95	0,87	11,5
6	ETm = iaF ^{0,5} (-0,03525 + 0,00434ap + 0,07630de + 0,03835rne)	0,78	0,042145	0,800576	0,21	0,88	0,93	0,95	0,88	12
7	ETm = 1,55011 + 0,99656iaf + 0,01157ure21 - 0,03105urme	0,88	0,121803	0,739873	0,24	0,83	0,90	0,93	0,83	14
8	ETm = iaF ^{0,5} (-0,28625 + 0,05185rne + 0,01589tmaxe + 0,06197de)	0,78	0,053692	0,796869	0,21	0,89	0,93	0,95	0,88	14,5
9	ETm = iaF ^{0,5} (-0,00773 + 0,00600ap + 0,07869de + 0,01457rge)	0,78	0,039071	0,796991	0,22	0,88	0,93	0,94	0,87	14,5
10	ETm = -0,48579 + 0,01886ap + 0,09545de	0,91	0,168358	0,74458	0,22	0,83	0,90	0,94	0,84	15
11	ETm = -0,29784 + 0,66799iaf - 0,09601rne + 0,57428eto	0,90	0,209243	0,74844	0,20	0,87	0,92	0,95	0,87	15,5
12	ETm = iaF ^{0,5} (-0,14656 + 0,48738eto - 0,03155ins)	0,76	0,087968	0,80595	0,19	0,88	0,93	0,95	0,89	15,5
13	ETm = iaF ^{0,5} (0,18614 + 0,12000de)	0,73	0,00845	0,797132	0,24	0,85	0,91	0,93	0,84	16
14	ETm = iaF ^{0,5} (-0,07055 + 0,38429eto)	0,74	0,081973	0,793524	0,20	0,89	0,93	0,95	0,89	17,5
15	ETm = iaF ^{0,5} (0,00272 + 0,00241nf + 0,07454de + 0,04072rne)	0,78	0,038826	0,774402	0,23	0,89	0,93	0,93	0,87	18
16	ETm = iaF ^{0,5} (0,06524 + 0,00748ap + 0,09303de)	0,77	0,037442	0,791669	0,23	0,86	0,92	0,94	0,86	18
17	ETm = iaF ^{0,5} (0,05013 + 0,00340nf + 0,07679de + 0,01559rge)	0,78	0,033886	0,75939	0,24	0,88	0,93	0,93	0,86	19
18	ETm = 1,77509 + 0,97196iaf - 0,02149urme	0,87	0,14496	0,717555	0,25	0,81	0,89	0,92	0,82	21
19	ETm = -0,38239 + 0,56919iaf - 0,03378rge + 0,51445eto	0,90	0,249598	0,730092	0,20	0,86	0,92	0,95	0,87	23
20	ETm = 1,71892 + 0,02430ap - 0,00609ure9 - 0,01811urme	0,87	0,168391	0,720375	0,24	0,80	0,88	0,92	0,81	23
21	ETm = 1,40064 + 0,02487ap + 0,01148ure21 - 0,03282urme	0,87	0,169328	0,719863	0,24	0,80	0,88	0,92	0,81	24
22	ETm = iaF ^{0,5} (0,14580 + 0,00424nf + 0,09239de)	0,77	0,030327	0,744522	0,26	0,86	0,92	0,91	0,84	25
23	ETm = 1,11255 + 0,84985iaf - 0,01566urme + 0,03677rne	0,88	0,194189	0,70479	0,23	0,83	0,90	0,93	0,84	25,5
24	ETm = -0,40106 + 0,68114iaf + 0,29789eto	0,89	0,246628	0,71021	0,21	0,85	0,91	0,94	0,86	27,5
25	ETm = iaF ^{0,5} (1,92902 + 0,01319ap + 0,01340ure21 - 0,03462urme)	0,71	0,068977	0,751311	0,24	0,85	0,91	0,92	0,84	28
26	ETm = iaF ^{0,5} (2,28715 + 0,01252ap - 0,00621ure9 - 0,01821urme)	0,71	0,070908	0,749532	0,24	0,85	0,91	0,92	0,84	29,5
27	ETm = 0,28805 + 0,99091iaf - 0,00654ure15 + 0,01799Rge	0,86	0,183039	0,697754	0,25	0,80	0,88	0,92	0,81	30,5
28	ETm = iaF ^{0,5} (-0,77004 + 0,05653tme + 0,04216rge)	0,75	0,135293	0,787471	0,20	0,87	0,92	0,95	0,88	31
29	ETm = iaF ^{0,5} (1,20393 - 0,01393urme + 0,08971rne)	0,69	0,091766	0,742978	0,23	0,88	0,92	0,93	0,86	31
30	ETm = -0,51897 + 0,52081iaf - 0,03438ins + 0,46513eto	0,89	0,27971	0,712506	0,20	0,86	0,91	0,94	0,86	32
31	ETm = 1,62872 + 0,02425ap - 0,02330urme	0,87	0,191193	0,698095	0,25	0,79	0,87	0,92	0,80	32
32	ETm = 0,17616 + 0,89451iaf - 0,00605ure15 + 0,04928rne	0,87	0,212501	0,690839	0,24	0,81	0,89	0,92	0,82	33
33	ETm = iaF ^{0,5} (1,39062 + 0,00816ap - 0,01592urme + 0,04809rne)	0,72	0,093735	0,74442	0,23	0,86	0,92	0,93	0,85	33
34	ETm = iaF ^{0,5} (-0,63513 + 0,00249nf + 0,04726tme + 0,03654rge)	0,76	0,132421	0,752235	0,21	0,86	0,92	0,94	0,86	34,5
35	ETm = -0,57751 + 0,97717iaf + 0,03354te9 - 0,04825tmine + 0,03292tmaxe	0,87	0,178772	0,679874	0,26	0,78	0,87	0,91	0,79	35
36	ETm = -0,79808 + 0,82482iaf + 0,02862te15 + 0,02076Rge	0,88	0,182703	0,664799	0,26	0,82	0,89	0,91	0,81	35,5
37	ETm = iaF ^{0,5} (-0,68904 + 0,08927rne + 0,04568tme)	0,75	0,142757	0,781186	0,20	0,86	0,91	0,95	0,87	35,5
38	ETm = iaF ^{0,5} (1,57190 + 0,01076ap - 0,01741urme + 0,01575rge)	0,71	0,091806	0,735874	0,24	0,85	0,91	0,92	0,84	36,5
39	ETm = iaF ^{0,5} (1,75743 - 0,01841urme + 0,03596rge)	0,63	0,083582	0,717307	0,25	0,86	0,92	0,92	0,84	36,5

*Todos os coeficientes angulares são significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro.

ETm=evapotranspiração máxima (mm); R²=coeficiente de determinação na geração do modelo; RMSE=raiz quadrada do quadrado médio do erro; r²= coeficiente de determinação dos valores observados e estimados; r=coeficiente de correlação; d=coeficiente de exatidão ou de concordância; c=coeficiente de confiança; ΣPo=somatório das estatísticas. iaF=índice de área foliar; iaF^{0,5}=raiz quadrada do iaF; ap=altura de plantas (cm); nf=número de folhas; de=déficit de saturação do ar médio (hPa); tme, tmine, tmaxe, te9 e te15=temperatura do ar média, mínima, máxima, das 9 e 15 horas, respectivamente (°C); urme, ure9 e ure21=umidade relativa do ar média, das 9 e 21 horas, respectivamente (%); rge=radiação global incidente (MJ); rne=saldo de radiação (MJ), ins=insolação; ETo=evapotranspiração de referência (mm).

A utilização da temperatura e da umidade do ar foi de menor importância nos modelos de estimativa da ETm do pimentão. Em relação as variáveis fenométricas, verifica-se que o iaF como variável independente e ou a sua raiz como divisor da variável dependente (ETm/IAF^{0,5}) apresenta o maior número de modelos. Com exceção dos modelos 10, 20, 21 e 31 que não incluem essas variáveis, todos os outros modelos incluem. A ap apresentou bons resultados em alguns modelos e o nf foi uma variável pouco utilizada. A ETm/iaF^{0,5} foi utilizada em 21 modelos (≅54%), indicando que a sua utilização torna os modelos mais estáveis, essa mesma tendência é

observada com modelos gerados com variáveis medidas no interior da estufa. Resultados semelhantes foram obtidos por HELDWEIN et al. (2004), que obtiveram modelos que estimam melhor a ETm quando utilizaram a ETm pela raiz do iaf, sendo a provável razão de que a ETm não aumenta linearmente com o iaf, principalmente para $iaf > 1$.

CONCLUSÕES: O déficit de saturação do ar, a radiação solar global e o saldo de radiação medidos no exterior da estufa, apresentam o maior número de modelos com desempenho ótimo na sua validação. Ao utilizar a evapotranspiração máxima dividida pela raiz do índice de área foliar como variável dependente, os modelos apresentam desempenhos ótimos na sua validação. A variável fenométrica iaf apresentou o maior número de modelos apresentando desempenhos ótimos na sua validação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

CUNHA, A. R.; ESCOBEDO, J. F. Alterações micrometeorológicas causadas pela estufa plástica e seus efeitos no crescimento e produção da cultura de pimentão. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 11, n.1, p. 15-26. Santa Maria, RS, 2003.

DALMAGO, G. A., et al. Evapotranspiração máxima da cultura do pimentão em estufa plástica em função da radiação solar, da temperatura, da umidade relativa e do déficit de saturação do ar. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.3, p.785-792, 2006.

HELDWEIN, A. B. et al. Modelos para a estimativa da evapotranspiração máxima da abóbora italiana em estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v. 12, n. 1, p. 75-86, 2004.

STRECK, L.. **Determinação da duração do molhamento foliar em cultivos de batata**. Santa Maria, RS, 2005. 107p. (Tese de Doutorado), curso de Pós-Graduação em Agronomia/UFSM. 2005.

VALANDRO, J. **Transpiração do tomateiro cultivado fora do solo em estufa plástica e sua relação com os elementos meteorológicos e parâmetros de crescimento**. Pelotas, RS, 1999. 67p. (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal de Pelotas.