

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA DO TOMATE E DO
PIMENTÃO EM ESTUFA PLÁSTICA EM FUNÇÃO DA
EVAPORAÇÃO NO “PICHE” E OUTRAS VARIÁVEIS
METEOROLÓGICAS E FENOMÉTRICAS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CARINA REJANE PIVETTA

Santa Maria, RS, Brasil

2007



UFSM

Dissertação de Mestrado

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA DO TOMATE E DO PIMENTÃO EM ESTUFA
PLÁSTICA EM FUNÇÃO DA EVAPORAÇÃO NO “PICHE” E OUTRAS VARIÁVEIS
METEOROLÓGICAS E FENOMÉTRICAS**

Carina Rejane Pivetta

PPGA

Santa Maria, RS, Brasil

2007

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA DO TOMATE E DO
PIMENTÃO EM ESTUFA PLÁSTICA EM FUNÇÃO DA
EVAPORAÇÃO NO “PICHE” E OUTRAS VARIÁVEIS
METEOROLÓGICAS E FENOMÉTRICAS**

por

Carina Rejane Pivetta

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

Orientador: Prof^o. Dr. Arno Bernardo Heldwein

Santa Maria, RS, Brasil

2007

Pivetta, Carina Rejane, 1981-

P693e

Evapotranspiração máxima do tomate e do pimentão em estufa plástica em função da evaporação no "piche" e outras variáveis meteorológicas e fenométricas / por Carina Rejane Pivetta ; orientador Arno Bernardo Heldwein. - Santa Maria, 2007.

80 f. ; il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, RS, 2007.

1. Agronomia 2. Evapotranspiração 3. Piche 4 Cultura protegida 5. Tomate 6. Pimentão I Heldwein, Arno Bernardo, orient. II. Título

CDU: 635.64

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes - CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação de Mestrado

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA DE DO TOMATE E DO PIMENTÃO EM
ESTUFA PLÁSTICA EM FUNÇÃO DA EVAPORAÇÃO NO “PICHE” E
OUTRAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E FENOMÉTRICAS**

Elaborada por
CARINA REJANE PIVETTA

como requisito parcial para a obtenção do grau de
MESTRE EM AGRONOMIA

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Arno Bernardo Heldwein
(Presidente/Orientador)

Prof. PhD. Nereu Augusto Streck
(UFSM)

Prof. Dr. Evandro Zanini Righi
(PUC-Toledo/PR)

Santa Maria, 28 de fevereiro de 2007

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Centro de Ciências Rurais pelos conhecimentos adquiridos no decorrer de minha formação acadêmica e de Pós-Graduação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia e a CAPES pela concessão da bolsa de estudos e concretização do Curso de Mestrado.

Ao Prof. Arno Bernardo Heldwein pela orientação e principalmente pelos incentivos e presença amiga.

Ao Prof. Nereu Augusto Streck pela disponibilidade e grande colaboração na realização deste trabalho, especialmente na versão do resumo em inglês.

A meus pais que sempre me apoiaram e permanecem sempre ao meu lado nesta trajetória.

Ao meu irmão que durante sua existência, participou diretamente dos meus planos no empreendimento da vida, mas que nunca se extinguirá de minha memória, é a saudade que gosto de ter.

Aos colegas e bolsistas do Setor de Climatologia, pela amizade, convívio, valiosa ajuda desde a execução dos experimentos e momentos de descontração: Ivonete, Edenir, Gustavo, Ivan, Sidinei, Guilherme, Luciano, Leosane, Joel, Fabrício, Anderson, Cezar, Maikell, muito obrigada.

As estes amigos que sempre terão lugar cativo em meu coração, independente da distância de nossos caminhos ao longo dessa vida: Elis, Ivonete, Fabrina (Bina), Marta, Roberta, Juliana, Cristina.

Muito obrigada.

RESUMO

Dissertação de Mestrado

Programa de Pós-Graduação em Agronomia

Universidade Federal de Santa Maria

EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA DO TOMATE E DO PIMENTÃO EM ESTUFA PLÁSTICA EM FUNÇÃO DA EVAPORAÇÃO NO “PICHE” E OUTRAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E FENOMÉTRICAS

AUTOR: CARINA REJANE PIVETTA

ORIENTADOR: ARNO BERNARDO HELDWEIN

Santa Maria, 28 fevereiro de 2007

O cultivo protegido é uma alternativa para produzir hortaliças fora da época de cultivo a campo, pois permite obter aumento da produtividade, qualidade e preço. A evapotranspiração é um parâmetro imprescindível no manejo da irrigação das plantas cultivadas em estufas plásticas, sendo necessário conhecer suas relações com as variáveis meteorológicas e fenométricas para estabelecer modelos matemáticos que estimem com precisão aceitável a necessidade de água das espécies cultivadas nesse ambiente. O objetivo do trabalho foi estimar a evapotranspiração máxima (ET_m) das culturas do pimentão e do tomate em estufa plástica, em função da evaporação medida no evaporímetro de Piche exposto à radiação solar (E_{pi}), com e sem a inclusão de outras variáveis meteorológicas pontuais de fácil mensuração, na época de primavera, em Santa Maria, RS. Em uma estufa plástica de 240 m², realizaram-se medidas diárias da ET_m em lisímetros de drenagem, E_{pi} e temperatura e déficit de saturação do ar (D), além de determinações de índice de área foliar (IAF), altura das plantas (AP) e número de folhas (NF). Através de análise de regressão, ajustaram-se modelos para estimar ET_m aos dados medidos no experimento da primavera de 2005 para o pimentão e, para o tomateiro, com os dados dos dias pares da série medida na primavera de 2005, selecionando os que apresentaram parâmetros angulares significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro e coeficiente de determinação (R^2) > 0,80. Para o pimentão

efetuou-se o teste dos modelos selecionados com os dados de um segundo experimento, realizado de 23/08 a 07/12/2006. Para o tomateiro os modelos foram testados com os dados dos dias ímpares da série de dados do mesmo experimento de 2005. O teste constou da análise de regressão entre os valores observados dessas respectivas séries e os estimados com os modelos, considerando-se a raiz quadrada do quadrado médio do erro e os índices de precisão, concordância e confiança. Verificou-se que é possível estimar a ET_m das culturas do pimentão e do tomate, com precisão aceitável para efetuar irrigação em estufa plástica, através de modelos que incluem valores de E_{pi} e pelo menos uma variável fenométrica, das quais para o pimentão o IAF resulta em maior estabilidade dos modelos do que NF e AP . A utilização da AP resulta em um desempenho intermediário àquele proporcionado pelo IAF e NF na estimativa da ET_m do pimentão, enquanto que a inclusão de uma variável meteorológica adicional, além da E_{pi} , em geral proporciona uma pequena melhora no ajuste dos modelos de estimativa da ET_m do pimentão aos dados e nas estatísticas do desempenho dos modelos. Para estimar a ET_m do tomateiro, deve ser dada preferência aos modelos que incluem a variável fenométrica AP . A inclusão de D medido às 9 h nos modelos que incluem E_{pi} e AP ou NF ou IAF , melhora a estimativa da ET_m . Quando se dispõe apenas de um termômetro de máxima e um de mínima, da AP ou do NF , também é possível estimar a ET_m do pimentão com a amplitude térmica diária e a temperatura do ar às 9 h.

Palavras-chave: evapotranspiração; Piche; cultivos protegidos.

ABSTRACT

Master of Science Dissertation
Graduate Program in Agronomy
FEDERAL UNIVERSITY OF SANTA MARIA

MAXIMUM EVAPOTRANSPIRATION OF TOMATO AND SWEET PEPPER GROWN IN PLASTIC GREENHOUSE BASED UPON “PICHE” EVAPORATION AND OTHER METEOROLOGICAL AND FENOMETRICAL VARIABLES

AUTHOR: CARINA REJANE PIVETTA

ADVISOR: ARNO BERNARDO HELDWEIN

Santa Maria, RS, Brazil, February 28th, 2007

Protected cropping is an alternative cropping system to produce vegetables outside the field growing season because of increase in yield, quality, and price. Evapotranspiration is an important parameter for managing irrigation inside plastic houses. In order to improve the efficiency of irrigations, relationships between meteorological variables and plant growth parameters need to be known to develop models for estimating crops water demand. The objective of this study was to estimate maximum evapotranspiration (ET_m) of sweet pepper and tomato inside plastic house as a function of evaporation measured with “Piche” evaporimeter exposed to solar radiation (E_{pi}) with and without other meteorological variables easily measured during the spring growing season in Santa Maria, RS, Brazil. The experiment was carried out inside a 240 m² plastic house. Daily ET_m (measured with drainage lysimeters), E_{pi} , air temperature, vapor pressure deficit (D), leaf area index (LAI), plant height (AP), and leaf number (NF) were measured. Using regression analyses, models were fit to estimate ET_m using sweet pepper data collected during spring 2005, and tomato data collected on even days of set collected during spring 2005. In the multiple regression analysis only models with parameters significant at 5 % by t test and coefficient of determination (r^2) >0,8 were selected. For sweet pepper, models were evaluated with independent data collected in an experiment

conducted from 23/08 to 07/12/2006. For tomato, models were evaluated with independent data collected on add days of the 2005 experiment. Statistics used for model evaluation were regression analyses between observed and estimated data, root mean square error, and accuracy, agreement and confidence indices. Results showed that it is possible to estimate ET_m of sweet pepper and tomato crops with acceptable accuracy to perform irrigation inside plastic greenhouse using models that take into account E_{pi} and at least one plant growth parameter, which for sweet pepper LAI was better than NF and AP . Including AP resulted in intermediate model performance compared to LAI and NF for estimating ET_m in sweet pepper, whereas including an additional meteorological variable, besides E_{pi} , usually led to a small improvement in model fitting and model performance in this crop. For estimating ET_m in tomato, models with the parameter AP should be preferred. Including D measured at 9h in the models with E_{pi} and AP or NF or LAI improved ET_m estimates. When one has only a maximum and minimum thermometer, AP or NF , ET_m of sweet pepper can also be estimated using daily temperature amplitude and air temperature measured at 9h.

Key words: evapotranspiration, Piche; greenhouse crops.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Sais para a fertirrigação das culturas do pimentão e tomate na dosagem de produto comercial necessária para uma e quinze plantas cultivadas nos lisímetros de drenagem. Santa Maria, RS – 2005 e 2006..... 36

TABELA 2 – Intervalos de valores do Índice de confiança “c” utilizados para a interpretação do desempenho dos modelos de estimativa da evapotranspiração máxima do pimentão e tomateiro, em cultivo protegido por estufa plástica na época de primavera em Santa Maria, RS.....39

TABELA 3 – Modelos de regressão para estimativa da evapotranspiração máxima (ET_m) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera em 2005. Santa Maria, RS. (Utilizando todo o banco de dados)54

TABELA 4 – Avaliação dos modelos de regressão para estimativa da ET_m máxima do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera em 2005, através da regressão entre valores observados e estimados pelos modelos. Santa Maria, RS. (Utilizando os dados da primavera de 2006).....56

TABELA 5 – Modelos de regressão para estimativa da evapotranspiração máxima

(*ETm*) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera em 2005 com a *AT*.
Santa Maria, RS. (Utilizando todo o banco de dados).....57

TABELA 6 – Estatísticas de avaliação entre valores de *ETm* observados na primavera de 2006 e valores estimados com dados de 2006 utilizando modelos gerados com dados fenométricos e meteorológicos medidos na primavera de 2005, em que a evaporação de Piche (*Ep*) foi substituída pela amplitude térmica diária (*AT*).....57

TABELA 7 – Modelos de regressão para estimativa da *ETm* do tomate cultivado em estufa plástica na primavera em 2005. Santa Maria, RS. (Utilizando os DAT pares da série de dados).....65

TABELA 8 – Avaliação dos modelos de regressão para estimativa da *ETm* máxima do tomate cultivado em estufa plástica na primavera em 2005, através da regressão entre valores observados e estimados pelos modelos. Santa Maria, RS. (Utilizando os DAT ímpares da série de dados).....66

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Densidade do fluxo de radiação solar global incidente (a) no ambiente externo (R_{ge} , MJ m⁻² dia⁻¹) e interno (R_g , MJ m⁻² dia⁻¹) e (b) temperatura média do ar interna (T_m , °C) e externa (T_{me} , °C) e umidade relativa do ar interna (UR_m , %) e externa (UR_{me} , %) em função dos dias após o transplante (DAT) na primavera de 2005, em Santa Maria, RS.....41

FIGURA 2 – Evapotranspiração máxima (ET_m , mm dia⁻¹) associada ao déficit de saturação do ar no ambiente interno (D , hPa) (a), temperatura média do ar interna (T_m , °C) (b), radiação solar global interna (R_g , MJ m⁻² dia⁻¹) (c) e sua correlação com déficit de saturação do ar no ambiente interno (D , hPa) (d), com a temperatura média do ar interna (T_m , °C) (e) e com o saldo de radiação externo à estufa (R_{ne} , MJ m⁻² dia⁻¹) (f) em função dos dias após o transplante (DAT) para o pimentão cultivado em estufa plástica na primavera. Santa Maria, RS, 2005.....44

FIGURA 3 – Evapotranspiração máxima (ET_m) e índice de área foliar do pimentão (IAF) em função do número de dias após o transplante (DAT) (a) e regressão entre ET_m e o IAF (b) para essa cultura cultivada na primavera de 2005 em estufa plástica. Santa Maria, RS.....46

FIGURA 4 – Evapotranspiração máxima (ET_m) e índice de área foliar (IAF) (a),

altura de plantas (*AP*) (b) e número de folhas (*NF*) (c) em função dos dias após o transplante (DAT) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, nos subperíodos Transplante-Início da Floração (T-IF), Início da Floração-Início da Colheita (IF-IC) e Colheita (C). Santa Maria, RS, 2005.....48

FIGURA 5 – Evapotranspiração máxima (*ETm*) e da evaporação diária medida no evaporímetro de Piche (*Epi*), em função dos dias após transplante (DAT) (a), e relação entre a *ETm* e a *Epi* (b), para o pimentão cultivado na primavera de 2005 em estufa plástica. Santa Maria, RS.....49

FIGURA 6 – Evapotranspiração máxima (*ETm*) e índice de área foliar do tomate (*IAF*) em função do número de dias após o transplante (DAT) (a) e regressão entre *ETm* e o *IAF* (b) para essa cultura cultivada na primavera de 2005 em estufa plástica. Santa Maria, RS.....58

FIGURA 7 – Evapotranspiração máxima (*ETm*) e índice de área foliar (*IAF*) (a), altura de plantas (*AP*) (b) e número de folhas (*NF*) (c) em função dos dias após o transplante (DAT) do tomate cultivado em estufa plástica na primavera em 2005, nos subperíodos Transplante-Início da Floração (T-IF), Início da Floração-Início da Colheita (IF-IC) e durante a Colheita (C). Santa Maria, RS.....60

FIGURA 8 – Evapotranspiração máxima (*ETm*) e evaporação diária medida no evaporímetro de Piche (*Epi*), em função dos dias após transplante (DAT) (a), e relação entre a *ETm* e a *Epi* (b), para o tomate cultivado na primavera de 2005 em estufa plástica. Santa Maria, RS.....61

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO A** – Desenho esquemático ilustrando a construção e o funcionamento do lisímetro de drenagem, em corte longitudinal (A) e transversal (B).....77
- ANEXO B** – Precipitação diária (mm) medida na Estação Meteorológica em função dos dias após o transplante (DAT) da cultura do pimentão, Santa Maria, RS, 2005.....78
- ANEXO C** – Modelos de regressão para estimativa da *ET_m* do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera em 2005. Santa Maria, RS. (Utilizando os DAT pares da série de dados).....79
- ANEXO D** – Avaliação dos modelos de regressão para estimativa da *ET_m* do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera em 2005, através da regressão entre valores observados e estimados pelos modelos. Santa Maria, RS. (Utilizando os DAT ímpares da série de dados).....80

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Variável	Descrição	Unidade
Variáveis fenométricas		
<i>IAF</i>	Índice de área foliar	$m^2 m^{-2}$
<i>AP</i>	Altura de plantas	m
<i>NF</i>	Número de folhas por planta	un
<i>DAT</i>	Dias após transplante	Dias
Variáveis meteorológicas medidas no interior da estufa		
<i>Rg</i>	Radiação solar global incidente	$MJ m^{-2} dia^{-1}$
<i>Tm</i>	Temperatura média do ar	$^{\circ}C$
<i>Tmin</i>	Temperatura mínima do ar	$^{\circ}C$
<i>Tmax</i>	Temperatura máxima do ar	$^{\circ}C$
<i>AT</i>	Amplitude térmica diária do ar	$^{\circ}C$
<i>T9</i>	Temperatura do ar às 9 h	$^{\circ}C$
<i>T15</i>	Temperatura do ar às 15 h	$^{\circ}C$
<i>T21</i>	Temperatura do ar às 21 h	$^{\circ}C$
<i>UR9</i>	Umidade relativa do ar às 9 h	%
<i>UR15</i>	Umidade relativa do ar às 15 h	%
<i>UR21</i>	Umidade relativa do ar às 21 h	%
<i>URm</i>	Umidade relativa média do ar	%
<i>D</i>	Déficit de saturação do ar	hPa
<i>D9</i>	Déficit de saturação do ar às 9 h	hPa
<i>D15</i>	Déficit de saturação do ar às 15 h	hPa
<i>D21</i>	Déficit de saturação do ar às 21 h	hPa
<i>ETm</i>	Evapotranspiração máxima da cultura	$mm dia^{-1}$
<i>Epi</i>	Evaporação no Evaporímetro de Piche	$mm dia^{-1}$
Variáveis meteorológicas externas à estufa (Estação Meteorológica Principal)		
<i>Rge</i>	Radiação solar global incidente	$MJ m^{-2} dia^{-1}$
<i>Rne</i>	Saldo de radiação	$MJ m^{-2} dia^{-1}$
<i>Tme</i>	Temperatura média do ar	$^{\circ}C$
<i>Tmine</i>	Temperatura mínima do ar	$^{\circ}C$
<i>Tmaxe</i>	Temperatura máxima do ar	$^{\circ}C$
<i>URme</i>	Umidade relativa média do ar	%
<i>De</i>	Déficit de saturação do ar	hPa
<i>ETo</i>	Evapotranspiração de referência	$mm dia^{-1}$

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 Cultivo do tomate e do pimentão.....	20
2.2 Ambientes protegidos.....	21
2.3 Evapotranspiração em ambientes protegidos.....	25
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1 Área experimental.....	30
3.2 Produção das mudas e manejo na estufa plástica.....	30
3.3 Determinação da evapotranspiração máxima.....	33
3.4 Manejo das culturas no interior da estufa plástica.....	36
3.5 Determinação das variáveis meteorológicas no interior da estufa plástica.....	37
3.6 Estimativa da evapotranspiração máxima.....	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1 Condições meteorológicas durante o período experimental.....	40
4.2 Evapotranspiração máxima ao longo do período experimental.....	42

4.3 Evapotranspiração máxima do pimentão em função da evaporação no Piche e parâmetros de crescimento das plantas em estufa plástica.....	45
4.4 Modelos para estimativa da evapotranspiração do pimentão.....	50
4.5 Modelos com substituição de <i>E_p</i> por <i>AT</i> para estimativa da <i>ET_m</i> do pimentão.....	52
4.6 Evapotranspiração máxima do tomateiro em estufa plástica em função da evaporação no evaporímetro de piche e parâmetros fenométricos.....	58
4.7 Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima do tomateiro....	62
5. CONCLUSÕES.....	67
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
7. ANEXOS.....	77

EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA DO TOMATE E DO PIMENTÃO EM ESTUFA PLÁSTICA EM FUNÇÃO DA EVAPORAÇÃO NO “PICHE” E OUTRAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E FENOMÉTRICAS

1. INTRODUÇÃO

O cultivo sob estufas plásticas constitui-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. Essa técnica recebeu um grande impulso no Brasil durante a década de 70, quando da introdução do plástico na agricultura. Nesses primórdios, a plasticultura era basicamente utilizada na produção de flores, e de forma ainda incipiente fazia-se o cultivo de hortaliças. No entanto, pelo fato de obter-se altas produtividades e rentabilidade em pequenas áreas com o cultivo em estufas plásticas, esta técnica difundiu-se pelas mais diversas regiões do país, a exemplo de países mais avançados neste segmento econômico como, Israel, Holanda, Japão, Estados Unidos, Inglaterra, Itália e Espanha, sendo seu uso basicamente determinado e adaptado às condições meteorológicas reinantes em cada local e estação do ano.

Nas condições subtropicais úmidas, como é o caso da região fisiográfica da Depressão Central do Rio Grande do Sul, em estufas plásticas manejadas adequadamente são obtidas condições favoráveis ao cultivo de hortaliças típicas de verão em todo o período de entressafra da época mais fria do ano, porém Buriol et al. (2005) demonstraram que há limitação de radiação solar, principalmente nos meses de junho e julho, em que são muito freqüentes os dias com densidade de fluxo de radiação solar menor que o nível trófico mínimo para solanáceas e cucurbitáceas. Por isso e considerando que os maiores preços para essas hortaliças no mercado regional são praticados nos períodos de março a maio e de setembro a novembro tem-se maior

vantagem técnica e financeira quando são realizados dois cultivos, sendo um no outono (fevereiro a início de junho) e outro na primavera (início de agosto à meados de dezembro).

As principais vantagens relacionadas ao cultivo em estufas plásticas são devidas à maior proteção quanto aos fenômenos meteorológicos adversos, tais como, geadas, chuvas intensas ou em excesso, queda acentuada de temperatura durante a noite, proteção do solo contra a lixiviação de nutrientes, além da redução dos custos com fertilizantes e defensivos. Além disso, as colheitas nesses ambientes excedem às que se obtêm a céu aberto (OLIVEIRA, 1995) e, devido a maior disponibilidade de calor, tem-se maior precocidade.

A barreira física da cobertura plástica, o tipo de material que a constitui e o manejo de abertura e fechamento da mesma, são os principais fatores responsáveis pelas alterações meteorológicas nesses ambientes. Neste sentido, os elementos meteorológicos mais afetados pela cobertura plástica são: a radiação solar, velocidade do vento e temperatura e umidade relativa do ar, sendo que da interação entre o grau de variação dessas variáveis é que resulta a formação de um microclima diferenciado do ambiente externo. Devido a essas alterações físicas, os parâmetros que se encontram determinados para cultivos das mesmas espécies a céu aberto, principalmente para o suprimento hídrico, passam a não ser adequados quando aplicados aos cultivos protegidos, uma vez que o manejo deverá ser diferenciado, pois ocorre uma significativa redução na demanda hídrica atmosférica (PRADOS, 1986; FARIAS et al., 1994; BURIOL et al., 2001; HELDWEIN et al., 2001a).

O principal fator de manejo diretamente afetado é o suprimento hídrico as plantas, ou seja, de que maneira e em que quantidade deverá ser fornecida a água as plantas. Como a evapotranspiração é diretamente afetada pela demanda hídrica atmosférica, no interior das estufas ela é conseqüentemente menor do que no ambiente externo e a água a ser repostada via irrigação deverá também ser quantificada para atender essa menor demanda hídrica. Desta forma, nesses ambientes, o fornecimento adequado e no momento em que as plantas necessitam de água é o ponto determinante para evitar condições de estresse aos cultivos, seja por excesso ou deficiência hídrica, os quais levariam ao comprometimento no crescimento e desenvolvimento das plantas e, como

conseqüência, à redução da produtividade e qualidade esperadas. Com uma adequada condição hídrica, melhoram as condições de aeração do solo, contribuindo para o desenvolvimento do sistema radicular e a manutenção da condição de dinâmica da água no solo favorável às plantas. A irrigação adequada, em regiões onde o cultivo em estufas envolve gastos de energia, na medida em que a irrigação é controlada, de acordo com as reais necessidades do cultivo, torna possível evitar desperdício de energia com a possível irrigação em excesso. Além do que, a negligência no manejo da irrigação pode acarretar alguns problemas em função do excesso ou falta de água no solo. Condições que contribuem para o aumento da umidade relativa do ar, favorecendo a incidência e a proliferação de patógenos, bem como a contaminação do lençol freático pela lixiviação de moléculas orgânicas de defensivos químicos e nutrientes e prejuízos à produtividade e qualidade dos frutos, visto que a água é o principal constituinte da célula vegetal. Devido a ausência de precipitação no interior das estufas, torna-se comum o acúmulo de sais na superfície do solo, constituindo-se no fenômeno da salinização. Uma vez que, a irrigação adequada evita o desperdício de água e energia, desde que a irrigação seja realizada de forma racional de acordo com as exigências das plantas em cada fase do ciclo da cultura.

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 cultivadas em estufas plásticas. No entanto, há deficiência de técnicas de fácil determinação da evapotranspiração das culturas em estufa plástica, principalmente daquelas que produtores menos instruídos possam utilizar, tais como tabelas ou modelos gerados com variáveis de simples observação. 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. Geralmente o que se encontra na literatura em relação a modelagem da evapotranspiração, são referências a inclusão de variáveis como a radiação solar e déficit de saturação do ar nos modelos de estimativa. Porém em nível de agricultores, principalmente os familiares, a obtenção destes dados é

pouco viável, devido ao custo destes equipamentos e necessidade de mão-de-obra treinada para realizar a coleta contínua dos dados. Diante disso, uma alternativa que vem sendo estudada é o uso de um único ou no máximo dois equipamentos, que sejam de baixo custo e manejo. O evaporímetro de Piche foi o que melhor se adequou a essas exigências, quando instalado de forma a ficar exposto ao sol nas mesmas condições que a parte superior das plantas cultivadas (HELDWEIN et al., 2001b). A evaporação medida neste evaporímetro, é uma variável que poderá viabilizar a estimativa da ET_m em modelos matemáticos simples ou tabelas por eles geradas, a serem utilizados para os diferentes cultivos no interior de uma estufa.

O objetivo no presente trabalho foi estimar a evapotranspiração máxima das culturas do pimentão e do tomate cultivados em estufa plástica, em função da evaporação medida no evaporímetro de Piche exposto à radiação solar, com e sem a inclusão de outras variáveis meteorológicas, medidas em horários fixos, e das plantas, de fácil mensuração, no período de primavera em Santa Maria - RS.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cultivo do tomate e pimentão

As principais espécies cultivadas em estufas são hortaliças como o pimentão (*Capsicum annuum* L.) e o tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.). O pimentão é uma planta anual herbácea da família das solanáceas, com sistema radicular vigoroso que atinge profundidade razoável (CERMEÑO, 1978). O centro de origem desta espécie se encontra no México e na América Central, mas seu cultivo se expandiu por diversas regiões tropicais e temperadas (CASALI et al., 1984). O desenvolvimento vegetativo é considerado ótimo sob temperaturas do ar entre 20 °C e 25 °C durante o dia e entre 16 °C e 18 °C à noite (CERMEÑO, 1978). A média ideal de temperatura oscila entre 18 °C e 22 °C e a temperatura mínima de -1 °C provoca o congelamento da planta. Requer alta luminosidade durante todo seu ciclo, especialmente durante o período de floração (CERMEÑO, 1978).

Os solos arenosos são os mais adequados ao cultivo do pimentão por apresentarem uma boa drenagem, evitando que as plantas sofram estresse por excesso de umidade no solo (CERMEÑO, 1978). A adequada suplementação hídrica desta cultura exigente em água, constitui um fator de aumento na produtividade e qualidade dos frutos, sendo fundamental que a mesma seja feita de acordo com critérios técnicos para evitar perdas. O número de flores e frutos, o tamanho do fruto e a acumulação de massa de matéria seca são menores quando a quantidade de água disponível é baixa (CAIXETA, 1984). No cultivo do pimentão em estufa plástica podem ocorrer algumas modificações no crescimento da planta. Segundo Andriolo et al. (1991), o crescimento da parte aérea e o número de frutos são maiores nesses ambientes, havendo uma antecipação no início da floração, permitindo antecipar o início da colheita dos frutos. Também pode ocorrer uma maior altura de plantas conforme resultados encontrados por Santos et al. (1999) e, conseqüentemente, essas alterações no crescimento podem acarretar reflexos em outras variáveis como a evapotranspiração da cultura.

O tomateiro em função da sua importância econômica, constitui-se na espécie mais cultivada em ambientes parcialmente protegidos (POERSCHKE, 1995). É uma planta anual, herbácea, pertencente a família das solanáceas, que produz frutos ricos em sais minerais e vitaminas, principalmente C e do complexo B.

A temperatura é o elemento meteorológico de maior influência no desenvolvimento vegetativo, floração e frutificação desta cultura. O valor ótimo da temperatura média do ar para o desenvolvimento está situado entre 16 e 27°C. Atinge o congelamento da planta a -2°C e não tolera solos encharcados ou com deficiência hídrica (CERMEÑO, 1978). Em condições em que as temperaturas noturnas são altas, o crescimento vegetativo é acelerado, porém a floração e frutificação podem ser prejudicadas (ROBLEDO & MARTIN, 1981). É indiferente ao fotoperíodo, porém exige uma densidade de fluxo de radiação solar mínima de 8,4 MJ m⁻² dia⁻¹ e é altamente exigente em água, sendo uma disponibilidade hídrica no solo próxima a capacidade de campo a condição ideal para seu desenvolvimento (FILGUEIRA, 1982). Sua produtividade em estufa plástica na região sul do Brasil pode ser mais do que duplicada em relação ao ambiente externo (MARTINS, 1992), alcançando valores acima de 100 t ha⁻¹ (SCHMIDT et al., 2000).

2.2 Ambientes protegidos

O cultivo em estufas é praticado de longa data, verificando-se os primeiros registros sobre proteção com vidro no século XVI. Após a segunda guerra mundial, com o surgimento do plástico e sua introdução na agricultura, esta técnica teve grande expansão, difundindo-se mundialmente (BUGALHO SEMEDO, 1978). O objetivo de cultivar plantas em ambientes parcialmente protegidos e modificados como nas estufas plásticas, provém da necessidade de produzir determinadas espécies vegetais em regiões que oferecem algum impedimento, principalmente devido às temperaturas baixas e suas conseqüências, como as geadas no sul do Brasil no período de outono/inverno. Também é usado com o intuito de proteger os cultivos de adversidades meteorológicas como granizo, chuvas em excesso, vento e de insetos.

As estufas plásticas constituem um agrossistema auto-sustentável que relaciona o adequado suprimento energético e hídrico ao bom desenvolvimento das espécies vegetais neles cultivadas. A maioria dos produtores que fazem uso desta técnica utiliza estufas cobertas com filme de polietileno de baixa densidade (PEBD) (PRADOS, 1986). O uso dessa cobertura provoca alterações nos elementos meteorológicos em seu interior, devido a ser este um material que apresenta boa transparência à radiação solar, permitindo a passagem de cerca de 70 a 90% da radiação de onda curta incidente (ROBLEDO e MARTIN, 1981; GONZALES, 1985; BURIOL et al., 1993). O efeito estufa nesse ambiente proporciona o ganho energético que permite modificar o ambiente interno, tornando-o mais adequado ao cultivo de hortaliças, plantas condimentares, medicinais e ornamentais.

Ao interagir com o PEBD, parte da radiação solar global incidente ($\approx 10\%$) é absorvida pelo filme plástico e usada para o próprio aquecimento; outra fração é refletida e perdida para a atmosfera ($\approx 10\%$) e o restante é transmitida para dentro da estufa como radiação de onda curta difusa e direta (TAPIA, 1981). A transmissividade do filme plástico irá depender principalmente das condições meteorológicas da atmosfera, do ângulo de incidência dos raios solares, da idade do PEBD, da presença de impurezas sobre sua superfície e de condensação de água na face interna do filme (SEEMAN, 1979; MONTERO et al, 1985; KURATA, 1990). Neste sentido, a reflexão poderá variar em função da posição do sol, da inclinação da cobertura, da forma e da orientação da estrutura. A estrutura interna da estufa e todos constituintes deste ambiente também emitem energia térmica na forma de radiação de onda longa, para a qual o PEBD é apenas parcialmente opaco, isto é, apresenta uma elevada transmissividade à radiação de onda longa, que é em torno de 80% (TAPIA, 1981).

Em determinadas condições de temperatura e umidade do ar, no interior da estufa, ocorre condensação de vapor d'água sob a face interna da cobertura (ROBLEDO & MARTIN, 1981). A aderência de gotas de água sobre o filme plástico reduz a transmissividade deste material à radiação de onda longa, sendo o coeficiente de transmissividade de uma película de água de 0,01 mm em torno de 0,35, para o comprimento de onda de 7 μm , diminuindo ainda mais com o aumento do comprimento de onda e não transmitindo radiação com valores superiores a 12 μm (FARIAS, et al.,

1993). Essa camada de água condensada na superfície interior do filme de polietileno aumenta consideravelmente a interceptação de radiação de ondas longas, quando comparado com filme com ausência, e em conseqüência, pode-se obter maior conservação de calor (TANAKA & GENTA, 1982), fundamental em noites com formação de geada. Esta característica, embora sendo vantajosa durante a noite, não é desejável durante o dia, pois diminui a entrada da radiação solar incidente, reduzindo a fotossíntese e afetando negativamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas cultivadas. Por essa razão é recomendado abrir as estufas o quanto mais cedo possível.

A constatação de que as estufas plásticas são ambientes benéficos ao desenvolvimento das plantas, seja no período normal de cultivo das espécies ou na entressafra, é atribuída principalmente à atenuação das variações extremas dos elementos meteorológicas, que seriam desfavoráveis a essas culturas no ambiente externo (ROBLEDO & MARTIN, 1981). Dentre os benefícios estão a proteção das culturas contra precipitações em excesso ou muito intensas, granizo e ocorrência de geada, fenômeno comum no inverno do sul do Brasil. Além disso, proporciona maior disponibilidade de radiação solar difusa. Devido às suas características óticas a cobertura plástica atua como um meio dispersante da radiação solar, podendo aumentar a fração da radiação difusa no interior da estufa. Em média, 45% da radiação solar global observada internamente corresponde à radiação solar difusa, que pode alcançar valores superiores a 60% dentro da estufa em dias normais (MARTINEZ GARCIA, 1978), variando de 31 a 100% em condições extremas. Externamente a fração de radiação difusa varia de 5 a 100%, sendo a média menor 24%, demonstrando o efeito dispersante do filme plástico, no incremento da fração da radiação difusa (FARIAS et al., 1993).

Da alteração no balanço energético resulta o aumento da temperatura do ar (HELDWEIN et al., 2001a), com efeito mais significativo nas temperaturas mínimas, que em média, no interior da estufa são 1,0 a 3,0°C superiores ao ambiente externo (DE VILLELE, 1972). Esta diferença na variação do aquecimento, não só é devido ao plástico ser parcialmente opaco à radiação de onda longa, mas deve-se principalmente ao menor volume de ar a ser aquecido e a estagnidade do ar (ALPI & TOGNONI, 1978,

ROBLEDO & MARTIN, 1981). Conforme Buriol et al. (1989), o ganho térmico durante o período diurno é elevado, aumentando a soma térmica disponível às culturas e encurtando seu ciclo. As temperaturas máximas do ar no interior da estufa são sempre superiores às do ambiente externo, podendo ocorrer aumentos dos valores médios superiores a 4 °C.

A temperatura do solo também é aumentada pelo efeito da cobertura plástica. Em média os valores sempre se mostram mais elevados no interior das estufas de polietileno transparente de baixa densidade, independente da profundidade de medida, ano e horário de observação, com oscilação da diferença de temperatura do solo no interior e exterior da estufa entre 1,7 e 6,3 °C (SCHNEIDER et al., 1993a).

Quanto à umidade relativa do ar, em geral durante o período diurno, com o aumento da temperatura, a umidade relativa diminui no interior da estufa, tornando-se pouco inferior à verificada externamente. Porém, nos períodos de resfriamento, principalmente durante a noite, a umidade relativa do ar aumenta consideravelmente, alcançando quase sempre valores próximos a 100% logo antes do nascer do sol (FARIAS et al, 1993), devido à redução acentuada da temperatura, resultando em condensação do vapor d'água na face interior do filme plástico que recobre a estufa. Ao nascer do sol, com o aquecimento do polietileno pela radiação solar, ocorre a evaporação da camada de água condensada na superfície interna do filme de polietileno, fato que contribui para a elevação da umidade relativa do ar, embora com o aumento da temperatura (BURIOL et al., 2000).

Outro fator que se deve levar em conta ao planejar a instalação de uma estufa é a direção dos ventos predominantes na região, para que ocorra a remoção do ar quente e úmido, que do contrário irá se acumular no interior da estufa. A velocidade do vento no interior da estufa é muito reduzida em relação ao ambiente externo, devido ao efeito da barreira física imposta pelo polietileno, impedindo a livre movimentação do ar. CUNHA & ESCOBEDO (2003) encontraram valores médios de 0,11 e 2,10 m s⁻¹ para a velocidade do vento medida no interior e exterior da estufa, respectivamente. Esta redução proporciona condição favorável ao desenvolvimento das plantas (TAIZ & ZEIGER, 2004), as quais ficam menos sujeitas aos danos físicos do que no ambiente externo.

2.4 Evapotranspiração em ambientes protegidos

A água é o principal constituinte vegetal, perfazendo cerca de 90% da sua massa de matéria verde. No entanto, a maior parte da água absorvida pelas plantas é utilizada na transpiração, que é a perda de água através de sua parte aérea, na forma de vapor (FERRI, 1979; TAIZ & ZEIGER, 1991; ANGELOCCI, 2002). A evapotranspiração é o resultado do somatório da transpiração e evaporação (CARLESSO & ZIMMERMANN, 2000), sendo função da interação de vários fatores relacionados às plantas, ao solo e às condições meteorológicas (BERNARDO, 1989). É um processo de consumo energético, controlado por fatores atmosféricos e biológicos, que tem relevada importância no planejamento agrícola (ZHANG & LEMEUR, 1992) e ambiental. Depende fundamentalmente da quantidade de água disponível no solo, da demanda atmosférica, das características morfofisiológicas da espécie e da área foliar da cultura (CARON & HELDWEIN, 2000). A demanda atmosférica é condicionada, principalmente pela radiação solar, velocidade do vento, déficit de saturação e temperatura do ar.

No interior das estufas plásticas a radiação solar, o déficit de saturação e a movimentação do ar são os elementos que mais afetam a transpiração (JOLLIET & BAILEY, 1992). A formação deste microclima diferenciado do ambiente externo é que condiciona a ocorrência de evaporação e a evapotranspiração normalmente menores, devido à menor disponibilidade de energia solar e redução na velocidade do vento. Esta redução é maior quando a estufa permanece fechada, o que normalmente é feito em dias com velocidade do vento moderada e alta, devido aos danos causados à cobertura plástica quando as rajadas de vento atingem valores acima de 20 m s^{-1} (STRECK et al., 1998).

A evapotranspiração interna é em torno de 60 a 80% menor do que no ambiente exterior (PRADOS, 1986). A evaporação, em média, é 55 a 45% menor na estufa do que no ambiente externo, afetada pela ocupação do espaço aéreo da estufa, decorrente do crescimento vegetativo do cultivo, e pela época do ano (HELDWEIN et al., 2001a), bem como pelo tipo de estrutura, conforme evidenciam os resultados obtidos por

Menezes Jr. et al. (1999). Valores da evaporação determinados em Santa Maria, RS, foram em média 48,6% e 51,7% menores em estufa plástica do que no ambiente externo, quando medidos no tanque Classe A e no evaporímetro de Piche, respectivamente (BURIOL et al., 2001). Para a evapotranspiração de referência, estimada pelo método de Penman, a redução para as condições de estufa foi para cerca de 71% dos valores estimados para o ambiente externo (FARIAS et al., 1994).

A variação da *ETm* também ocorre ao longo do ano de acordo com a época de cultivo, apresentando valores de decréscimo no outono/inverno e acréscimos na primavera/verão. Em um trabalho realizado com tomateiro foi evidenciado que para o outono a estimativa da evapotranspiração é mais eficiente quando se considera a umidade relativa do ar, enquanto na primavera as variáveis meteorológicas são a radiação solar e a temperatura do ar (VALANDRO, 1999). Para a *ETm* da alface no interior da estufa os valores médios foram 27% e 34% inferiores aos do ambiente externo, nos cultivos de verão e inverno, respectivamente (REISSER Jr., 1991). A menor redução no verão ocorreu pelo fato da estufa permanecer aberta por mais tempo, inclusive à noite, devido à alta temperatura, sendo a diferença de *ETm* nessa época e condição basicamente condicionada pela diferença de radiação solar global incidente dentro e fora da estufa, resultando em menor redução da *ETm* no interior da estufa. Para o tomate cultivado no outono o consumo d'água foi 38% maior do que na primavera e 24% menor do que o consumo d'água dos cultivos a campo em regiões de clima úmido (DALSSASSO et al., 1997). Variação similar também foi verificada para a *ETm* do meloeiro (CARON & HELDWEIN, 2000). A tendência de *ETm* no período de outono aumenta com o aumento do *IAF*, até o momento em que a demanda atmosférica diminui, principalmente em função da diminuição da radiação solar, e, conseqüentemente, a *ETm* tende a diminuir mesmo com o aumento do *IAF* (DALSSASSO et al., 1997; VALANDRO, 1999; CARON & HELDWEIN, 2000; DALMAGO et al., 2003; RIGHI et al., 2002; STRECK et al., 2003). Já na primavera a tendência é de aumento da *ETm* durante quase todo o período, visto que além do *IAF* a demanda atmosférica também aumenta, conforme verificado por Tazzo et al. (2004) na cultura do pimentão.

Estabelecendo-se uma relação entre a *ETm* e alguns parâmetros de crescimento

das plantas, como índice de área foliar, número de folhas e altura de plantas e elementos meteorológicos, que podem ser medidos internamente ou externamente a estufa, é possível determinar as necessidades hídricas para cada estágio de desenvolvimento das espécies hortícolas. Isso é factível mediante modelagem, permitindo ampliar a aplicação dos resultados para uma região de abrangência maior, desde que envolvam elementos meteorológicos que tenham representatividade para áreas relativamente grandes. Dalsasso et al. (1997), Caron, (1999), Valandro et al. (1999), Righi et al. (2000), Dalmago, (2001) e Heldwein et al. (2004), geraram alguns modelos envolvendo a relação dessas variáveis para com a *ETm* do tomateiro, pepineiro, meloeiro e pimentão. A maioria desses modelos ainda não foram testados. Para a estimativa da evapotranspiração no interior de estufas os melhores modelos são os que incluem variáveis que representem o crescimento da cultura e meteorológicas medidas no interior da estufa. Com relação a modelagem para a determinação da evapotranspiração máxima dos cultivos, verificou-se uma boa relação do consumo d'água e da radiação solar incidente medida no ambiente externo, para o cultivo do tomateiro na primavera para as condições climáticas de Santa Maria, tanto no cultivo em solo (DALSSASSO et al., 1997), quanto no cultivo em substrato (VALANDRO, 1999). Essa mesma relação não foi encontrada para o cultivo no período de outono, na qual a variável que apresentou melhor correlação com a *ETm* foi o déficit de saturação do ar (RIGHI et al., 2002). Segundo esses autores, o menor período de tempo de abertura, nos dias frios ou com alta nebulosidade em que as estufas permaneceram fechadas, ocasiona menor ventilação no interior dessas e, conseqüentemente, ocorre aumento da concentração de vapor d'água, resultando em valores baixos de déficit de saturação do ar e em uma diminuição da *ETm*. O mesmo pode ocorrer com boa disponibilidade de radiação e temperaturas mais elevadas se a estufa estiver fechada, devido, principalmente a ocorrência de ventos fortes. Além disso, a ocorrência de nevoeiros e de ventos fortes de direções norte e sudeste nesse período interferem no manejo da estufa, independente da condição de radiação solar, como é comum ocorrer no início da primavera em Santa Maria, podem resultar em redução da *ETm*.

Para a cultura do pimentão cultivado no outono as variáveis meteorológicas que melhor estimaram a *ETm* foram o saldo de radiação e a evapotranspiração de

referência determinadas para o ambiente externo e o déficit de saturação do ar determinado para o ambiente interno (DALMAGO, 2001). Já para a cultura da abobrinha italiana, Heldwein et al. (2004) verificaram que a insolação e a evapotranspiração de referência (ET_o), obtidas no exterior da estufa, e a radiação solar e a evaporação d'água no interior da estufa, foram as variáveis que melhor estimaram a ET_m . Durante um experimento com tomateiro, a utilização de equipamentos de medida de evaporação para estimar a evapotranspiração, calculada pelo método de Penman-Monteith, demonstraram que o atmômetro modificado, seguido do evaporímetro de Piche são os equipamentos que melhor estimam a evapotranspiração da cultura, obtendo-se coeficientes de determinação de 0,91 e 0,90, respectivamente, e que o tanque reduzido e o tanque classe A, principalmente se instalados externamente a estufa, não representam bons resultados (BLANCO & FOLEGATTI, 2004).

Na maioria das vezes o que se encontra na literatura são referências à relação da ET_m com a radiação solar, como a forma mais utilizada para estimar as necessidades hídricas dos cultivos em estufas, porém os resultados são satisfatórios para manejo diário, não se adequando à reposição em escala horária bem como para valores diários em regiões similares. Para buscar outras hipóteses e simplificar esses modelos existentes e reduzir os custos de medição das variáveis meteorológicas, vem se realizando pesquisas, referentes a utilização de evaporímetros, que apresentam a vantagem de serem mais facilmente manejados pelos produtores. Alguns tipos, podem inclusive, serem mantidos acima do nível do dossel, possibilitando evitar o efeito do sombreamento pela cultura (DILLEY & HELMOND, 1973).

Comparando-se observações do tanque reduzido com as do tanque Classe A, ocorridas no interior da estufa plástica, observa-se que a correlação entre elas foi elevada ($R^2 = 0,79$ a $0,81$), indicando a possibilidade do uso do tanque reduzido, no interior da estufa, para estimar a evapotranspiração, ao invés do tanque Classe A, devido a menor área ocupada e contribuir menos para elevar a umidade relativa do ambiente, além de ter menor custo e de ser mais prático (FARIAS et al., 1994). A estimativa da ET_m do feijoeiro também foi possível utilizando-se somente a evaporação medida no Tanque Classe A e o índice de área foliar (VILLA NOVA et al., 2003). Porém, o Tanque Classe A no interior de estufas plásticas, torna-se um método de difícil

utilização, devido suas grandes dimensões, sendo um equipamento de difícil manejo e que pode facilmente ser sombreado pelas plantas cultivadas, embora, segundo a literatura consultada, também permite estimar de forma adequada a evapotranspiração das plantas. Para o morango cultivado em estufa plástica no Japão, a evaporação medida no Tanque Classe A foi utilizada como parâmetro para realizar a irrigação das plantas (YUAN et al., 2004). Dentre esses evaporímetros, o de Piche é um dos que possibilita simplificar a medida da evaporação e a estimativa da necessidade de água das culturas em estufa plástica, pois seu manejo é simples. Apresenta boa relação em nível diário com a ET_m do pimentão por índice de área foliar ($R^2 = 0,78$) no outono, quando fica exposto diretamente à radiação solar no interior da estufa (HELDWEIN et al., 2001b). Segundo esses autores, a mesma relação para valores horários de E_{pi} e de ET_m , medida em lisímetro de balança, pode apresentar elevado ajuste nessa época do ano ($R^2 = 0,94$).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área experimental

Os experimentos foram realizados na primavera, de 19/08 a 18/12/2005 e de 16/09 a 07/12/2006, em uma estufa com estrutura em madeira e cobertura em forma de arco, recoberta com filme de polietileno de baixa densidade (PEBD) de 150 μm de espessura, orientada no sentido Norte – Sul com 24 m de comprimento, 10m de largura e 2m de pé-direito lateral, localizada na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (29°42'S; 53°48'W; 95m). Nas laterais da estufa foi fixado filme de PEBD até 1,0 m acima do nível do solo (saia) e a partir desse nível foram instaladas cortinas móveis de PEBD, que se sobrepunham à saia quando fechadas. Nas duas extremidades Norte e Sul localizavam-se as portas, cada uma com dimensão de 2,0 x 2,0 m.

O clima da região é do tipo fundamental Cfa, subtropical úmido com verões quentes, conforme classificação de Köppen (MORENO, 1961). As temperaturas médias normais do ar variam de 12,9°C no mês de junho a 24,6°C no mês de janeiro (MORENO, 1961). A disponibilidade de radiação solar, geralmente é superior a 16,7 MJ m⁻² dia⁻¹ nos meses de verão (BURIOL et al., 1991), e nos meses de junho e julho, em média é inferior a 8,4 MJ m⁻² dia⁻¹ (ESTEFANEL et al., 1998). O solo pertence à Unidade de Mapeamento São Pedro (BRASIL, 1973), sendo classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico (EMBRAPA, 1999).

3.2 Produção das mudas e manejo na estufa plástica

A produção das mudas de pimentão (híbrido Priscila) e tomate (híbrido Max), foi realizada em bandejas de isopor com 128 células, preenchidas com substrato agrícola, marca comercial Plantmax®. Todas as bandejas foram previamente desinfetadas em solução de hipoclorito de sódio a 10%. No primeiro experimento a semeadura do pimentão foi realizada em 16/06/2005 e em 20/06/2006, e do tomate em 28/06/2005,

colocando-se uma semente em cada célula. Foram semeadas cerca de 30% de células além da quantidade de mudas necessárias para a instalação dos experimentos (233 plantas de cada espécie), para que fosse possível garantir homogeneidade e qualidade mudas no momento do transplante. Após a semeadura as bandejas foram colocadas no interior de uma casa de vegetação própria para a produção de mudas. Diariamente foi feito o monitoramento da umidade do solo, bem como a irrigação, para garantir uma disponibilidade adequada de água no substrato. A emergência foi considerada quando 60% das plântulas já haviam emergido. Durante o crescimento das mudas foi necessária apenas uma aplicação de fungicida e inseticida. O transplante das mudas de pimentão foi realizado em 09/08/2005 e em 13/09/2006 e do tomate em 18/08/2005, quando as mesmas apresentavam em média quatro folhas definitivas. Essa operação foi realizada no final da tarde para amenizar o estresse causado pelo transplante, sendo acompanhada de irrigação para homogeneizar a umidade do solo e facilitar o “pegamento” das mudas. Foram cultivadas dez plantas de cada espécie, em sacolas plásticas, para possibilitar sua reposição em caso de perda de alguma planta dos lisímetros ou seu entorno por dano mecânico ou ataque de pragas e doenças.

Ventilou-se a estufa através da abertura e fechamento das suas cortinas laterais e das portas, que eram controladas manualmente conforme a condição meteorológica no decorrer do dia. Sob condições de chuva e/ou ventos fortes, manteve-se apenas a porta da extremidade oposta ao vento aberta. O horário de abertura da estufa em dias normais foi realizado próximo das 07:30 horas e o fechamento a tarde, em torno das 17:00 na maior parte do período experimental, exceto próximo ao início da primavera. Nesses a diminuição da radiação solar e temperatura do ar fez com que o fechamento fosse progressivamente antecipado para possibilitar um maior armazenamento de energia, sendo este realizado entre 14:00, quando havia previsão de noites frias, e 16:00 horas. No final da primavera o fechamento foi realizado próximo das 20:00 horas.

O preparo do solo da estufa iniciou com a distribuição e incorporação da adubação orgânica, utilizando cama de aviário na dosagem de 40 t ha^{-1} , e posteriormente realizada a solarização deste solo, visando a inativação dos patógenos, conforme Schneider et al. (1993a), realizada de 17/12/2004 a 12/02/2005. Esta se constituiu do destorroamento do solo com a passagem da enxada rotativa, nivelamento

e umedecimento até a capacidade de campo e cobertura do solo com filme PEBD transparente de 50 μ m de espessura (SCHNEIDER et al., 1993a e 1993b), instalada desde meados de dezembro até início de fevereiro, quando foi retirado o filme plástico. Após este processo a área útil da estufa foi dividida em 2 blocos para o cultivo de cada uma das espécies. Em cada bloco foram alinhados 10 camalhões para o cultivo das plantas, espaçados em 1,0m, resultando em cinco em cada lado da estufa. O espaçamento entre as plantas na fileira foi de 0,30m para o pimentão e tomateiro.

A adubação química para cada espécie foi realizada com base nos resultados da análise do solo feita anteriormente à implantação do experimento, seguindo as recomendações oficiais da COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO RS E SC (2004). A incorporação do adubo foi efetuada nas fileiras de plantio com ajuda de uma enxada e posteriormente foram construídos os camalhões, com cerca de 10cm de altura e 30cm de largura. Cada camalhão, contendo as fileiras de plantas de bordadura dos lisímetros, foi recoberto com filme de polietileno de baixa densidade (PEBD) opaco preto com 30 μ m de espessura (mulching), esticado e fixado com o próprio solo nas extremidades e nas bases laterais do camalhão, para ajudar no controle de plantas invasoras e na redução da evaporação de água na superfície do solo.

Para a irrigação nestes camalhões foram utilizados tubos gotejadores autocompensados com vazão de 1,65 l h⁻¹ e pressão máxima de trabalho de 1000hPa, com espaçamento entre os emissores de 0,30m, instalados em um pequeno sulco que percorria toda a extensão central de cada camalhão, sendo os mesmos fixados com um grampo de metal diretamente no solo, sob o mulching plástico. Dessa forma, controlaram-se os fluxos preferenciais da água da irrigação para as bordas do camalhão (DALMAGO, 2001) e, conseqüentemente, o umedecimento indevido dos caminhos entre as fileiras de plantas, evitando-se assim contribuir para o aumento da umidade relativa do ar (BURIOL et al., 2000), que associada a temperatura do ar elevada, favoreceria o estabelecimento e propagação de doenças.

A água irrigada foi medida através de hidrômetros tipo unijato de baixa vazão mediante controle por registros de pressão. O dimensionamento da água a ser irrigada no solo dos camalhões foi efetuada em função do potencial matricial da água no solo medido diariamente com tensiômetros de cápsula porosa e manômetro de mercúrio, instalados

nas profundidades médias de 0,10 e 0,20 m.

Os tensiômetros constituíram-se de um tubo rígido de PVC de comprimento variável, em que numa das extremidades foi colocada uma cápsula porosa de porcelana e a extremidade oposta foi hermeticamente fechada com uma rolha de borracha. No interior do tensiômetro foi introduzido e colado um tubo de PVC flexível de pequeno diâmetro, do tipo “espaguete”, cuja extremidade externa foi conduzida até a cuba de mercúrio. Em cada bloco de cultivo foram instalados quatro tensiômetros, sempre dois no lado leste e dois no oeste da estufa, para cada profundidade do solo. A intervalos de três ou quatro dias, ou em casos de detecção de bolhas de ar no interior dos espaguetes e desvios muito acentuados nas medidas da altura da coluna de mercúrio, era realizada a fluxagem. Essa consistiu em injetar água fervida fria sob pressão, com o uso de uma bomba manual, expelindo dessa forma todo o ar do sistema. As leituras diárias das colunas foram realizadas pela manhã, cerca de meia hora após o nascer do sol, e, conforme as condições de demanda evaporativa da atmosfera e do potencial da água no solo, foi tomada a decisão de irrigar ou não.

3.3 Determinação da evapotranspiração máxima

Para determinar a evapotranspiração máxima das culturas (*ET_m*) foram empregados dois métodos. O primeiro método constou de seis repetições de lisímetros de drenagem com substrato, distribuídos em três repetições para cada cultura. Os lisímetros foram construídos com calhas de PVC com 0,20m de diâmetro e 1,5m de comprimento, as quais foram revestidas e impermeabilizadas com o mesmo PEBD opaco de cor preta que recobriu o solo nos camalhões nas fileiras cultivadas como bordadura, para evitar a perda da água drenada após as irrigações e evitar a evaporação na superfície do substrato. A calha foi instalada sobre os camalhões com um pequeno desnível, para um melhor escoamento da água drenada. Em uma das extremidades o plástico foi unido formando um ducto em forma de funil para a condução da solução drenada para o interior de um reservatório de coleta. Em cada calha foram acondicionadas cinco plantas, cultivadas em sacolas plásticas independentes com o mesmo espaçamento utilizado para as respectivas plantas na

bordadura. As sacolas foram perfuradas aleatoriamente e preenchidas com oito litros de substrato agrícola esterilizado, conforme descrito por Valandro et al. (1999), sendo a capacidade máxima de retenção de água do substrato da ordem de 65% do volume. Em cada calha, entre a base das sacolas e a superfície do filme plástico que revestia as calhas foi colocado uma mangueira plástica para evitar o contato direto das sacolas com a base do lisímetro, para desta forma facilitar a drenagem e o escoamento da solução até o reservatório de coleta. O excesso da água fornecida escoado em cada irrigação foi coletado como água drenada em um reservatório, instalado na base do lisímetro e quantificado com o auxílio de provetas. Os reservatórios de solução nutritiva destinada às irrigações foram instalados na parte central da estufa em cada bloco, com sua base cerca de 1,0 m acima do nível do solo. Sua capacidade média era de 32 litros de solução nutritiva ou água, suficiente para irrigar as três repetições de lisímetro de cada bloco. Na parte externa do reservatório foi colada uma régua com escala em milímetros para medir o volume de água irrigada pela diferença de nível, observado através de um tubo de plástico transparente de pequeno diâmetro, colado paralelo a régua e conectado ao reservatório pela sua base. O sistema de irrigação foi individualizado para cada lisímetro e a irrigação foi controlada por um registro de pressão instalado junto ao lisímetro, conectado ao reservatório por um tubo flexível de distribuição da água. No lisímetro a irrigação foi distribuída individualmente para cada uma das cinco sacolas com substrato, através de tubos flexíveis de pequeno diâmetro (0,002m), conforme o esquema apresentado no Anexo A.

A ET_m ocorrida em cada lisímetro foi calculada através da diferença entre a água fornecida e a água drenada no período subsequente, pois esta diferença representou a reposição da água retirada por evapotranspiração no período anterior a irrigação. Nos dois cultivos de primavera foram realizadas 3 irrigações diárias (07:30, 12:30 e 16:00h). Semanalmente foi feita uma fertirrigação com base na medida da condutividade elétrica da solução drenada em cada lisímetro para cada cultura, devido ao reduzido volume de substrato explorado pelas raízes nos mesmos, na dosagem recomendada para as culturas do pimentão e tomate (Tabela 1).

O segundo método para determinar a ET_m , foi o minilímetro de pesagem, instalado somente em uma repetição no cultivo do pimentão, o qual foi construído com

um galão retangular com dimensões de 0,3m de diâmetro na maior largura, 0,36m de altura e capacidade volumétrica de 20 litros, conforme descrito em Nied et al. (1998). A variação da umidade no solo foi monitorada por diferença de peso, através de uma balança eletrônica de bancada, com capacidade de 50 Kg e resolução de 0,005 Kg. No fundo do minilímetro foi instalado um extrator da água drenada construído com cápsula porosa e tubo de PVC em formato de “L”. Para a extração da água drenada foi aplicado vácuo parcial ao sistema, que após 10 minutos foi aberto para que a água drenada fosse pressionada pela pressão atmosférica através de um tubo indeformável desde o interior da cápsula porosa até um reservatório de vidro sob vácuo. No momento do preenchimento do minilímetro foi colocada uma camada de areia fina no fundo do galão com aproximadamente 0,01m de altura, e o restante do espaço preenchido com o próprio solo retirado do local de instalação do minilímetro, na ordem dos horizontes no momento da coleta. A utilização da camada de areia serviu para facilitar o fluxo da água de irrigação drenada até a cápsula porosa. As extrações do excesso de água depositada no fundo do minilímetro foram feitas duas vezes por semana, antes da irrigação do dia. Também foram instalados dois tensiômetros (com manômetro de mercúrio), um a 0,10 e o outro a 0,20 m de profundidade, para o controle do potencial matricial da água no solo. A determinação da ETm do dia “n”, em mm, foi obtida por diferença no balanço de massa:

$$ETm = [-\Delta A - D_{(n+1)}] S^{-1}, \quad (1)$$

em que: ΔA é a variação de armazenamento de água no lisímetro, obtida pela diferença de peso (Kg) medido imediatamente após a irrigação no dia “n” e pouco antes da irrigação no dia seguinte (“n+1”); D é a água drenada (em Kg) medida pouco antes da irrigação no dia seguinte (n+1); S é a superfície de abrangência das duas plantas de pimentão, espaçadas em 1 x 0,30 m, do lisímetro de balança ($S = 0,30 \text{ m}^2$). Nos dias sem medição de D este foi considerado igual a zero. Nos dias com valores de D medidos diferentes de zero (que foram poucos em função da quantidade controlada de água irrigada com base no potencial matricial de água no solo) os mesmos foram subdivididos para os dois dias anteriores, realizando-se nova extração (não programada) também no dia seguinte.

Tabela 1- Sais para a fertirrigação das culturas do pimentão e tomate na dosagem de produto comercial necessária para cada planta cultivada nos lisímetros de drenagem com substrato. Santa Maria, RS – 2005 e 2006.

SAIS *	1 PLANTA
Cloreto de Potássio – KCl	3g
Nitrato de Cálcio - Ca(NO ₃) ₂	6,3g
Sulfato de Magnésio - MgSO ₄	2,9g
Uréia - CO(NH ₂) ₂	1,2g
Super Fosfato Simples - P ₂ O ₅	1,5g
Solução de Micronutrientes*	0,66ml
Quelato de Ferro (5%)	0,13ml

* Molibdato de sódio = 0,7g L⁻¹; Ácido Bórico = 15,0 g L⁻¹; Sulfato de cobre = 2,5 g L⁻¹; Sulfato de Manganês = 20,0 g L⁻¹; Sulfato de Zinco = 10,0 g L⁻¹;
 Fontes: ANDRIOLO & POERSCHKE (1997); BARROS et al., 2006.

3.4 Manejo das culturas no interior da estufa plástica

A condução das plantas foi realizada através de fitas de ráfia enroladas helicoidalmente na vertical da haste principal de cada planta, que na parte superior foram sustentados por arames lisos de aço número 14, esticados e fixados na altura do pé-direito da estufa. Os tratamentos culturais, como desbrotas, podas, desfolhas e outros foram feitos de acordo com a espécie cultivada. As plantas de pimentão foram conduzidas em haste única, podendo-se manualmente as hastes laterais após a primeira bifurcação, deixando-se no mínimo sete folhas e o primeiro fruto. A haste principal foi considerada aquela que apresentava crescimento mais vigoroso e foi tutorada no fio de ráfia. A desbrota foi realizada nos ramos provenientes das axilas foliares abaixo da primeira bifurcação. O tomateiro também foi conduzido em haste única e teve todas as ramificações laterais retiradas. Ao atingir cerca de 2m de altura, ultrapassando o arame de sustentação, foi realizada a poda apical. O controle de pragas e doenças foi realizado quando necessário conforme a recomendação para cada cultura.

A colheita dos frutos de tomate e pimentão iniciou aos 95 e 98 dias após o

transplante (DAT), respectivamente, prosseguindo em intervalos semanais. Foram demarcadas aleatoriamente três parcelas de dez plantas cada uma e em cada cultura, nas quais avaliou-se a produtividade de cada cultura.

As medições fenométricas foram realizadas semanalmente para determinar o índice de área foliar (*IAF*), altura das plantas (*AP*) e número de folhas (*NF*) por planta em cada cultura. Para determinar a área foliar (*AF*, em cm^2) foram realizadas medidas lineares de todas as folhas das plantas marcadas aleatoriamente, sendo duas plantas em cada repetição nos lisímetros com substrato e as duas plantas de pimentão cultivadas no minilímetro de pesagem. Calculou-se a respectiva *AF* para cada cultura por meio de uma função potencial, sendo que no tomateiro foi medido o comprimento (*C*) e a largura (*L*), e *AF* calculada pela equação matemática: $AF = 0,3676 C \times L$ (STRECK et al., 1997). No pimentão foi medido o comprimento das folhas, em centímetros, e o cálculo de *AF* pela equação: $AF = 0,46432813 C^{1,837927}$ (DALMAGO, 2001). A partir desses dados, determinou-se *IAF* diário, obtido por interpolação a partir do ajuste de equações em função do número de dias após o transplante (DAT).

As determinações fenológicas, constaram da data de transplante (*T*), início da floração (*IF*) (no tomateiro a primeira flor aberta da 1ª ou 2ª inflorescência e no pimentão a abertura da 1ª flor), início da maturação dos frutos (*IM*) (considerado o primeiro fruto maduro do 1ª e do 2ª rácimo no pimentão e tomate) e o final de colheita (*C*). Para essas observações foram consideradas em função da data média da ocorrência em todas as plantas.

3.5 Determinação das variáveis meteorológicas no interior da estufa plástica

As variáveis meteorológicas medidas no interior da estufa foram a evaporação d'água, radiação solar, temperatura, umidade relativa e déficit de saturação do ar. A evaporação d'água foi medida através do evaporímetro de Piche (*Ep*), constituído por um tubo de vidro graduado, aberto numa das extremidades e fechado na outra. Enche-se o tubo de vidro com água e coloca-se um disco poroso de papel filtro com área de $13,2 \text{ cm}^2$, sobre a extremidade aberta prendendo-o com uma presilha metálica. Em seguida inverte-se o tubo e o disco poroso mantém-se úmido enquanto houver água no

tubo. A evaporação é medida por diferença do nível de água no tubo graduado em mm entre dias subseqüentes. A troca do papel filtro foi realizada antes que acumulassem resíduos ou em casos de danos mecânicos. No total foram instalados oito evaporímetros, nunca sombreados pelas culturas (expostos diretamente à radiação solar), dos quais três foram instalados acima de cada lisímetro de substrato nas repetições do pimentão e tomateiro, e dois instalados próximo ao primeiro e terceiro lisímetros de substrato no meloeiro, sendo necessário o uso de roldanas para suspendê-los a uma altura superior a 2m no caso do cultivo do tomate, quando as plantas atingiram esta altura, a qual se tornou igual ao suporte do evaporímetro.

A temperatura e a umidade relativa do ar, e a radiação solar no interior da estufa foram monitoradas por dois pares psicrométricos e um tubo solarímetro, respectivamente, instalados na área central da estufa, conectados a um datalogger com registro contínuo dos dados a cada dez minutos. Semanalmente era realizada a retirada dos dados para processamento, obtendo-se os valores de temperatura máxima (T_{max} , °C), temperatura mínima (T_{min} , °C), com os quais se calculou a temperatura média do ar (T_m , °C), e a amplitude térmica diária do ar (AT , °C) obtida pela diferença entre a temperatura máxima e mínima, e temperatura do ar das 9h (T_9 , °C), das 15h (T_{15} , °C) e das 21h (T_{21} , °C). A partir dos dados psicrométricos foram determinados os valores de umidade relativa do ar das 9h (UR_9 , %), das 15h (UR_{15} , %), das 21h (UR_{21} , %) e a média diária do ar (UR_m , %), o déficit de saturação do ar das 9h (D_9 , hPa), das 15h (D_{15} , hPa), das 21h (D_{21} , hPa) e médio diário (D , hPa), e a radiação solar global incidente [R_{gi} , MJ m⁻² (10min)⁻¹].

3.6 Estimativa da evapotranspiração máxima

Para a estimativa da ET_m (mm dia⁻¹) foram obtidos modelos de regressão múltipla trabalhando-se com todo o banco de dados do experimento da primavera de 2005 para o pimentão e com os dados dos dias pares da série de dados obtidos na primavera de 2005 para o tomateiro, uma vez que para essa cultura se dispunha apenas dos dados desse experimento. Esses dados coletados foram processados usando algoritmos específicos em planilhas eletrônicas. O programa de linguagem SAS (Statistical Analytical System), foi

usado para processar as variáveis meteorológicas e para gerar os modelos matemáticos para estimativa da *ETm* de cada cultura, bem como para proceder as análises estatísticas. A primeira seleção dos melhores modelos foi realizada com base no coeficiente de determinação (R^2) dos respectivos modelos de regressão obtidos para cada cultura, os quais deveriam apresentar parâmetros angulares significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro e $R^2 > 0,80$.

O teste dos modelos selecionados foi efetuado com os dados obtidos na primavera de 2006 para o pimentão e com os dados dos dias ímpares da série de dados coletados na primavera de 2005 para o tomateiro. O teste constou da análise de regressão entre os valores observados dessas respectivas séries e os estimados com os modelos, considerando-se os desvios dos parâmetros linear (a) e angular (b) em relação aos da linha 1:1, a raiz do quadrado médio do erro (RMSE) e seus valores sistemáticos (MSEs) e não sistemático (MSEns), bem como, 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" (CAMARGO & SENTELHAS, 1997), apresentado na tabela 2.

Tabela 2 – Intervalos de valores do Índice de confiança "c" utilizados para a interpretação do desempenho dos modelos de estimativa da evapotranspiração máxima do pimentão e tomateiro, em cultivo protegido por estufa plástica na época de primavera em Santa Maria. RS.

Valor de "c"	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

Fonte: CAMARGO & SENTELHAS (1997)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Condições meteorológicas durante o período experimental

Durante o período experimental ocorreu um aumento gradativo da densidade do fluxo de radiação solar global incidente no ambiente externo a estufa (R_{ge}), alcançando aproximadamente $24 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ no período final do experimento (Figura 1a). No interior da estufa plástica a densidade de fluxo de radiação solar global (R_g) foi menor do que no exterior (Figura 1a), em função da refletância e absorvância do material de cobertura (Buriol et al., 2005). O plástico utilizado em estufas e túneis na Região Sul do Brasil geralmente é o polietileno de baixa densidade (PEBD), material que apresenta transmissividade em torno de 70 % a 90% à radiação solar (ALPI & TOGNONI, 1984). Ao longo do experimento na primavera de 2005, em conformidade com o aumento da R_{gi} , a tendência também foi de aumento da temperatura média do ar (T_m) e do déficit de saturação do ar (D) (Figura 1b). Essas condições meteorológicas são consideradas normais para esta época do ano, uma vez que ocorre diminuição da inclinação dos raios solares em relação a superfície terrestre e progressivo aumento do comprimento dos dias e diminuição da frequência das entradas das frentes frias (ESTEFANEL et al., 1990), na medida em que se aproxima o solstício do verão. Para médias diárias em todo o período experimental as temperaturas internas da estufa foram geralmente superiores às encontradas no ambiente externo, sendo que esta diferença variou de 0,38 a 6,19 °C (Figura 1b). Os maiores valores de temperatura média diária do ar ocorreram aos 106 DAT (23/11/2005) e foram de 30,56 °C e 28,96 °C para o interior e exterior da estufa, respectivamente. Atribuiu-se essa maior elevação da temperatura do ar, ao fato de que no interior da estufa há um menor volume de ar para ser aquecido, bem como, há redução da ação do vento na renovação desse ar. Essa menor ventilação da estufa depende da área, localização, manejo das aberturas laterais e portas e da velocidade de troca do ar com o ambiente externo (BURIOL et al., 1993). FARIAS et al. (1993) observaram que a média das temperaturas em escala diária no

interior da estufa foi mais elevada do que no exterior em 0,5 a 9,0 °C, com as maiores diferenças observadas nos horários em que a temperatura do ar estava mais elevada, isto é, no período entre 12 e 16 horas.

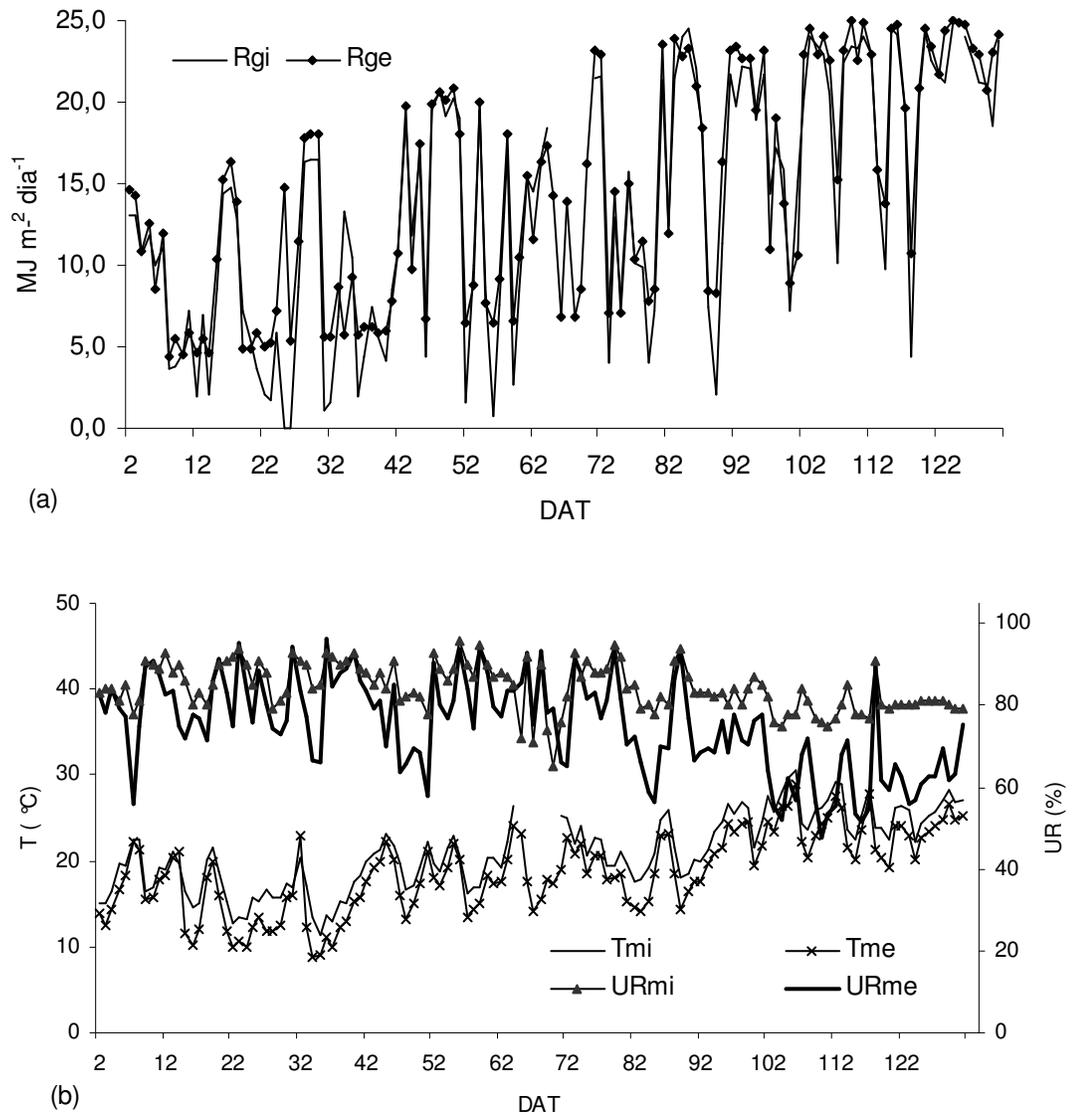


Figura 1. Densidade do fluxo de radiação solar global incidente (a) no ambiente externo (*Rge*, MJ m⁻² dia⁻¹) e interno (*Rgi*, MJ m⁻² dia⁻¹) e (b) temperatura média do ar interna (*Tm*, °C) e externa (*Tme*, °C) e umidade relativa do ar interna (*URm*, %) e externa (*URme*, %) em função dos dias após o transplante (DAT) na primavera de 2005, em Santa Maria, RS.

Os valores mais elevados umidade de relativa do ar foram geralmente verificados no ambiente interno (Figura 1b), principalmente nos dias em que a *UR* foi menor, o que ocorreu com maior frequência após os 77 DAT. Nos dias mais úmidos, em que a *UR* média diária foi maior do que 90%, seus valores internos e externos tenderam a ser semelhantes. Conforme Buriol et al. (2000), no interior das estufas os valores de umidade relativa são muito variáveis e estão intimamente relacionados aos valores da temperatura do ar e ventilação da estufa. Desta forma, para um mesmo conteúdo de vapor d'água no ar, a *UR* é inversamente proporcional à temperatura (PRADOS, 1986). Os maiores valores de umidade relativa média do ar foram de 96% no interior e de 94% no exterior da estufa, ocorridos aos 56 DAT (04/10/2005). Os menores valores ocorreram no período final do experimento com a elevação da temperatura e radiação solar (Figura 1b). Essa condição contribuiu para as maiores diferenças de déficit de saturação do vapor d'água nos dois ambientes, sendo os menores valores de déficit de saturação do ar encontrados no ambiente interno para este período.

4.2 Evapotranspiração máxima ao longo do período experimental

Em uma superfície vegetada a evapotranspiração compreende simultaneamente os processos de evaporação e transpiração, processos estes controlados pelo suprimento de água do solo às plantas e pela disponibilidade de energia e demais variáveis que condicionam a demanda atmosférica (PEREIRA et al., 1997). A transpiração é um processo ecofisiológico das plantas como forma de dissipar energia e manter o metabolismo para o crescimento e o desenvolvimento. Neste contexto, os elementos meteorológicos mais importantes e que melhor determinam a evapotranspiração de um cultivo no interior das estufas, são a radiação solar global incidente, ou saldo de radiação e o déficit de saturação do ar, conforme os resultados com pimentão obtidos por Dalmago (2001). Considerando os resultados obtidos em 2005, no interior da estufa a *ETm* apresentou boa relação com a radiação solar global interna (Figura 2a), principalmente depois dos 60 DAT, quando as plantas apresentavam um maior crescimento, que pode ser constatado pelos incrementos no *IAF* que ocorreram após esse período (Figura 3a). Quando o *IAF* foi maior do que 0,5 a

relação da ETm com o saldo de radiação foi melhor ($R^2=0,60$), enquanto que com o IAF menor do que 0,5 a relação foi pior ($R^2 = 0,56$) (Figura 2d). Segundo Dalmago (2001) essa maior relação após um IAF superior a 0,5 pode ser explicada pelo fato de que no início do cultivo a radiação solar esta tendendo a elevação o que provavelmente determinou uma alta demanda hídrica pela atmosfera. Porém nesta fase do ciclo as plantas apresentavam um IAF baixo, além do que a superfície seca do solo no espaço entre as linhas, não contribuiu para a evaporação, determinando dessa forma uma menor ETm e, portanto, o erro relativo em relação ao valor absoluto de ETm foi maior.

Outras variáveis que apresentaram estreita relação com a ETm foram o déficit de saturação do ar (Figuras 2a e 2d) e a temperatura média do ar no interior da estufa (Figuras 2c e 2e). Esses resultados estão de acordo com os de Righi et al. (2002), que verificaram no período de outono-inverno que o déficit de saturação do ar foi a variável meteorológica que apresentou melhor correlação com a transpiração do tomateiro ($R^2 = 0,92$). Em função de que a primavera de 2005 se caracterizou por um período chuvoso (Anexo B), pode-se inferir que o déficit de saturação do ar pode ter sido a variável que mais influenciou na ETm (Figura 2d), uma vez que a correlação entre essas duas variáveis resultou em um bom ajuste ($R^2= 0,72$), quando comparado com os valores de r^2 das equações de regressão linear referentes a temperatura média do ar e radiação solar (Figuras 2e e 2f). Esse maior ajuste dos dados pelo déficit de saturação do ar na demanda hídrica pelas plantas pode ser em razão de que as estufas permaneceram fechadas em algum período do dia, ou durante todo o dia, em períodos com precipitação. A temperatura média do ar também apresentou bom ajuste ($R^2= 0,65$) e afetou positivamente a ETm da cultura do pimentão (Figuras 2b e 2e).

Relacionando a ETm por unidade de índice de área foliar ($ETmf$) com a temperatura média diária do ar interna em um cultivo de outono com pimentão em estufa plástica, Dalmago (2001) encontrou baixo ajuste do modelo aos dados ($R^2= 0,45$), inferindo que o efeito direto da temperatura do ar na ETm foi mascarada por outras variáveis. Nessa mesma época, para o tomateiro de habito de crescimento determinado, Righi (2000) verificou que o ajuste dos dados entre a $ETmf$ e a temperatura média do ar no interior da estufa, apresentou o melhor ajuste, para toda a gama de variação dos dados, quando obtidas funções exponenciais ($R^2 = 0,56$), por explicarem melhor a variação da

ETmf, porém, obteve coeficientes de determinação mais elevados com as funções lineares ($R^2 = 0,66$). Para o tomateiro de hábito de crescimento indeterminado cultivado na primavera, Valandro et al. (2007) obtiveram o melhor ajuste com regressão quadrática ($R^2 = 0,69$), enquanto que Streck et al. (2003) em trabalho realizado com abóbora italiana, também encontraram boa correlação da *ETmf* com a temperatura média diária do ar, sendo o melhor ajuste obtido com uma função exponencial ($R^2 = 0,74$), evidenciando o efeito positivo da temperatura do ar na *ETm* das plantas.

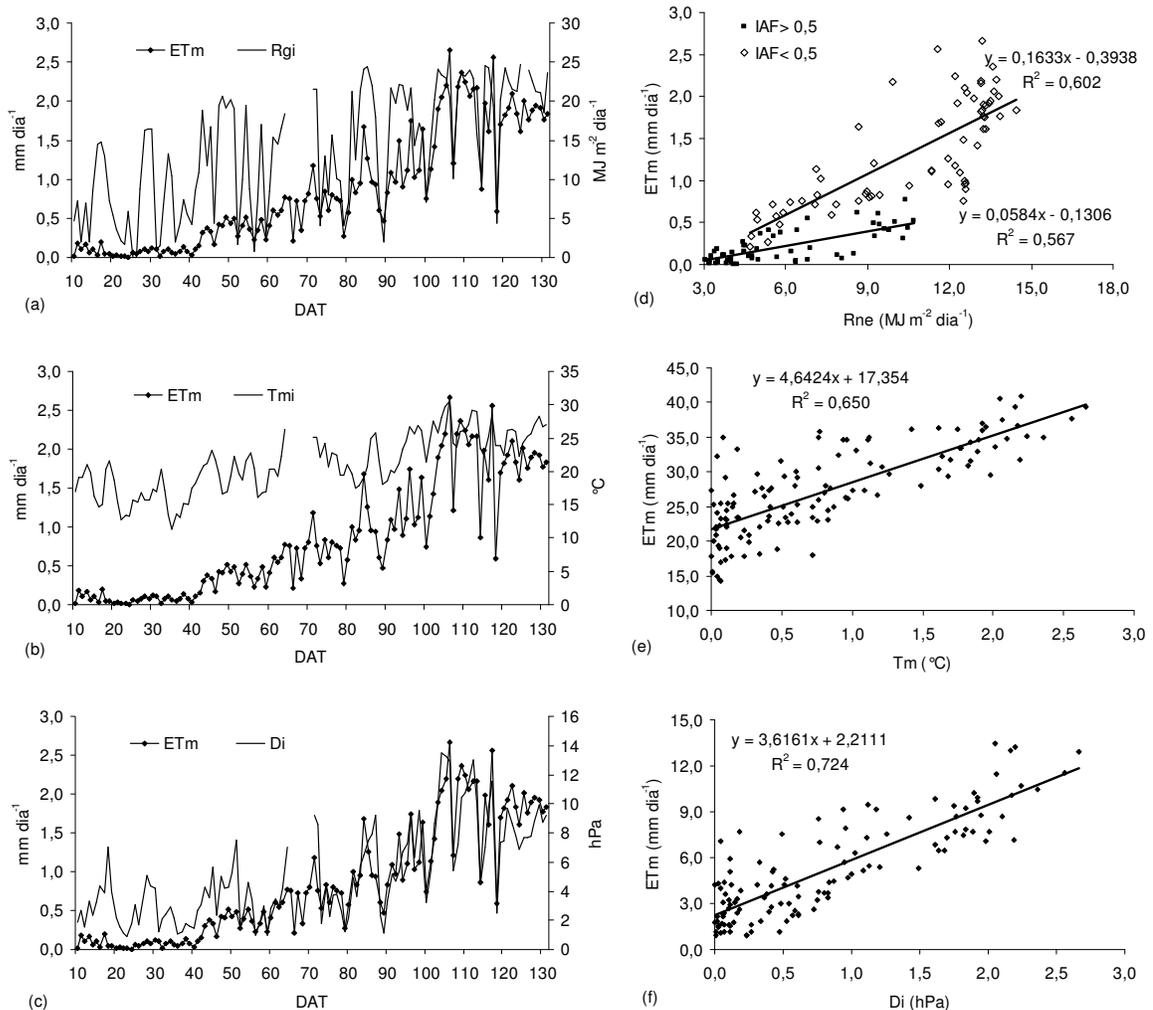


Figura 2. Evapotranspiração máxima (ETm , mm dia^{-1}) associada radiação solar global interna (R_g , $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) (a), a temperatura média do ar (T_m , $^{\circ}\text{C}$) (b), ao déficit de saturação do ar (D , hPa), (c) e sua correlação com o saldo de radiação externo à estufa (R_{ne} , $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) (d), com a temperatura média do ar (T_m , $^{\circ}\text{C}$) (e), e com déficit de saturação do ar (D , hPa) (f), em função dos dias após o transplante (DAT) para o pimentão cultivado em estufa plástica na primavera. Santa Maria, RS, 2005.

Tendo em vista a busca pela simplificação no manejo agrícola, para a adequada reposição da água perdida pelas plantas através da ET_m , deve-se dispor de um método que seja simples e que determine de forma satisfatória essa reposição. As correlações com as médias das variáveis meteorológicas citadas anteriormente, são consideradas equações de uso complexas, não sendo facilmente adotadas em nível de produtor, por exigirem medidas contínuas, por vezes com equipamentos automatizados. Assim, é necessário simplificar ainda mais a estimativa do consumo d'água pelas plantas. Foi por essa razão que a temperatura média diária do ar (T_m) e a amplitude térmica diária do ar (AT) utilizadas no atual trabalho, foram obtidas a partir dos valores diários de temperatura máxima (T_{max}) e mínima (T_{min}) do ar, as quais podem ser medidas em um único horário de leitura.

4.3 Evapotranspiração máxima do pimentão em função da evaporação no Piche e parâmetros de crescimento das plantas em estufa plástica

No decorrer do experimento, que foi conduzido por 131 dias na primavera de 2005, a ET_m total acumulada do pimentão foi de 101,5 mm, com uma média diária de 0,81 mm dia⁻¹. Esse valor de ET_m pode ser considerado baixo se comparado com os dados obtidos por Tazzo et al. (2004), que verificaram valores médios diários de ET_m de 1,28 e 1,48 mm dia⁻¹ para o pimentão cultivado na primavera de 2000 e 2001, respectivamente, e de Dalmago et al. (2003) para o pimentão cultivado no outono com valores médios diários para a ET_m de 1,21 mm dia⁻¹ e um IAF máximo de 2,5. O IAF médio no experimento de 2005 foi de 0,7, alcançando um valor máximo de 1,5 somente no final do experimento (Figura 3a), valores esses menores do que os encontrados na literatura, o que, conseqüentemente, acarretou uma menor ET_m nesse experimento. Possivelmente o menor IAF seja decorrente do período experimental ter sido relativamente curto, comparado ao ciclo normal da cultura do pimentão, que nessas condições pode chegar a oito meses. A equação de regressão de melhor ajuste entre a ET_m e o IAF foi linear para todo o período experimental com um bom ajuste ($R^2 = 0,80$) (Figura 3b) e refletiu a condição que ocorreu na estufa com

as plantas, mostrando que a transpiração depende simultaneamente da radiação solar e do crescimento da cultura.

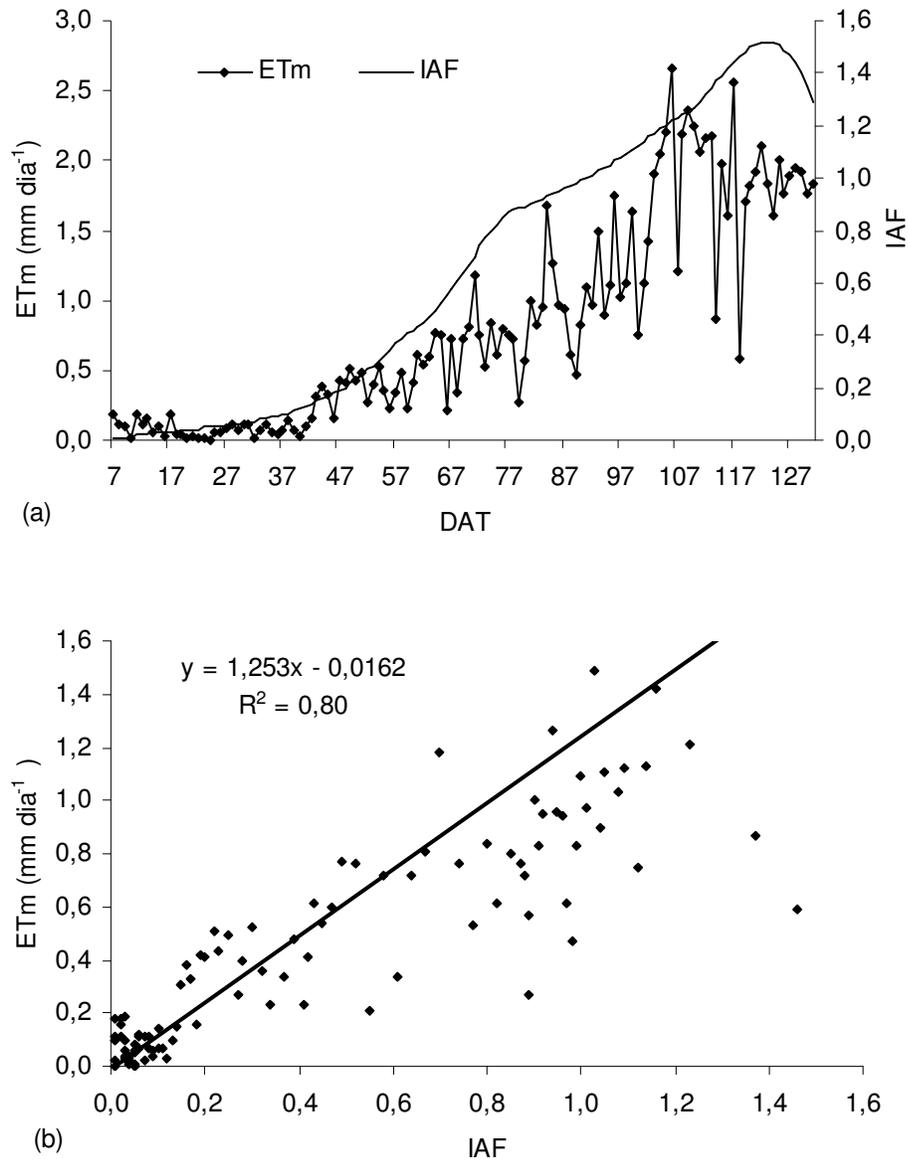


Figura 3. Evapotranspiração máxima (*ETm*) e índice de área foliar do pimentão (*IAF*) em função do número de dias após o transplante (DAT) (a) e regressão entre *ETm* e o *IAF* (b) para essa cultura cultivada na primavera de 2005 em estufa plástica. Santa Maria, RS.

Até os 60 DAT, a *ETm* foi inferior a 0,5 mm dia⁻¹ (Figura 3a), provavelmente devido ao predomínio de dias chuvosos e nublados nesse período (Anexo B), fato que alterou o manejo de abertura e fechamento da estufa, permanecendo por mais

tempo fechada. Como conseqüência, ocorreu redução da densidade do fluxo de radiação solar global incidente no ambiente externo e no interior da estufa (Figura 1a). A cobertura do solo com o "mulching" plástico também contribuiu para a redução da evaporação na superfície do solo, a qual juntamente com a reduzida área foliar transpirante das plantas ($IAF < 0,5$) determinaram os menores valores de ETm para este período. Após os 60 DAT verificou-se um aumento mais intenso na ETm , devido, principalmente, ao aumento progressivo da densidade do fluxo de radiação solar global incidente e o aumento do comprimento dos dias. Essas condições ambientais permitiram manter as cortinas laterais e portas da estufa abertas por um maior espaço de tempo, facilitando a retirada do vapor d'água do seu interior, conforme verificado por Dalmago et al. (2003) e Streck et al. (2003). O valor máximo de $ETm = 2,66$ mm ocorreu aos 106 DAT, quando o IAF era de 2,4, coincidindo com os valores mais elevados de radiação solar e velocidade do vento, a qual a 2 m de altura atingiu $6,3 \text{ m s}^{-1}$, intensificando a renovação do ar no interior da estufa e, conseqüentemente, aumentando o déficit de saturação de vapor d'água nesse ambiente. Esse aumento na velocidade do vento também contribuiu para a redução da resistência aerodinâmica, aumentando desta forma, a transpiração.

Ao dividir o período experimental em subperíodos, verifica-se que a ETm total foi de 7,5, 34,2 e 60,0 mm para os subperíodos T-IF (54 dias), IF-IC (44 dias) e C (33 dias), respectivamente. No subperíodo colheita (C), a ETm foi mais elevada devido ao maior IAF , aos dias mais longos e, da densidade de fluxo de radiação solar global incidente, ocasionando um contínuo aumento na transpiração das plantas na medida que aumentou a idade da cultura, mesmo sendo este o subperíodo com menor duração (Figura 4a).

Analisando conjuntamente a ETm com todas as variáveis fenométricas da cultura é possível inferir que a ETm respondeu ao aumento do IAF (Figura 4a) da altura de plantas (Figura 4b) e do número de folhas (Figura 4c). As variáveis, altura de plantas e número de folhas, são importantes na obtenção de modelos para a estimativa da ETm , já que são variáveis com maior facilidade de determinação por parte do produtor, se comparadas com o método de obtenção do IAF .

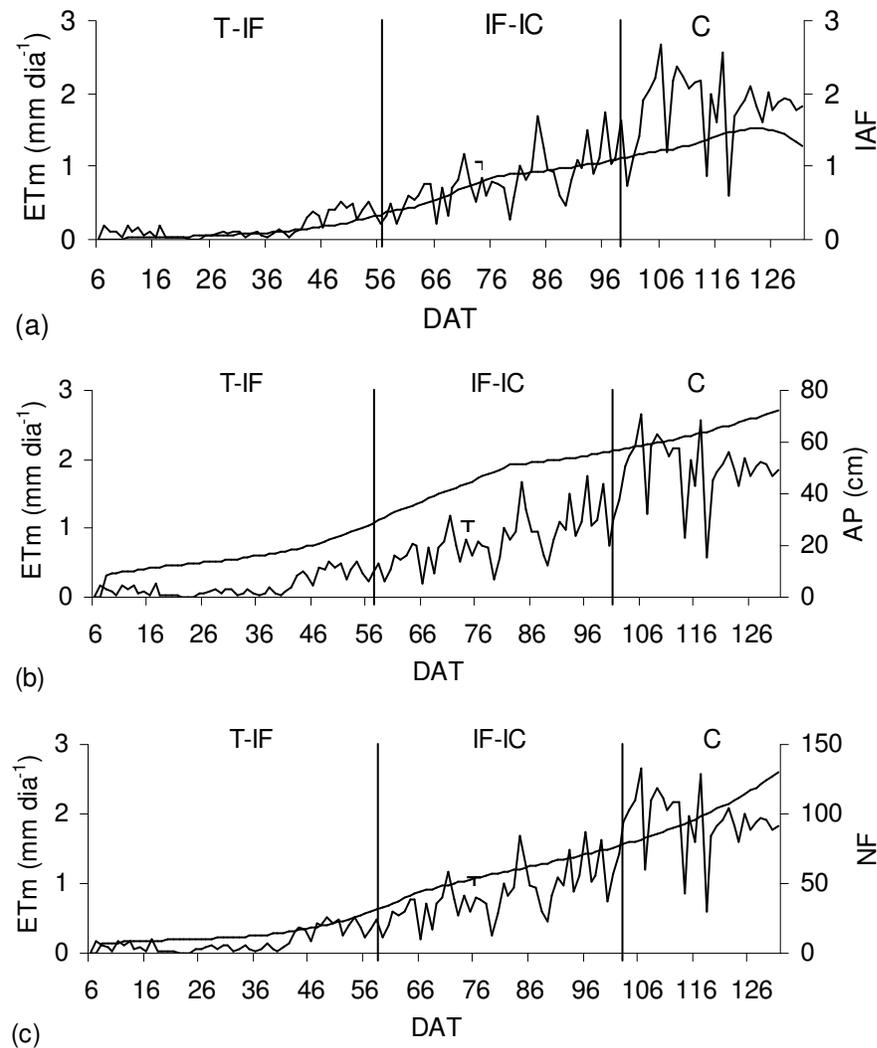


Figura 4. Evapotranspiração máxima (ET_m) e índice de área foliar (IAF) (a), altura de plantas (AP) (b) e número de folhas (NF) (c) em função dos dias após o transplante (DAT) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, nos subperíodos Transplante-Início da Floração (T-IF), Início da Floração-Início da Colheita (IF-IC) e Colheita (C). Santa Maria, RS, 2005.

Para a evaporação medida no evaporímetro de Piche, o valor total acumulado durante o ciclo foi de 353,8mm com uma média diária de 2,80mm. O valor máximo de E_{pi} de 6,62 mm ocorreu aos 106 DAT , valor que coincide com a maior ET_m , no mesmo dia (Figura 5a), demonstrando a concordância na tendência dessas duas variáveis

entre si. Até os 85 DAT, quando as plantas encontravam-se com um *IAF* menor do que 1,0, o ajuste entre os dados de *ETm* e *Epi* não foi satisfatória ($R^2 = 0,27$) (Figura 5b). Neste período, as condições ambientais favoreceram a elevação da demanda hídrica atmosférica e, desta forma, a maior evaporação, já que esta é basicamente condicionada pelo poder evaporativo do ar. Porém, as plantas, pela pequena área transpirante nesta fase do ciclo, não alcançaram a magnitude da *Ep*, visto que o Piche permaneceu instalado sempre acima do dossel de plantas e livre de sombreamento.

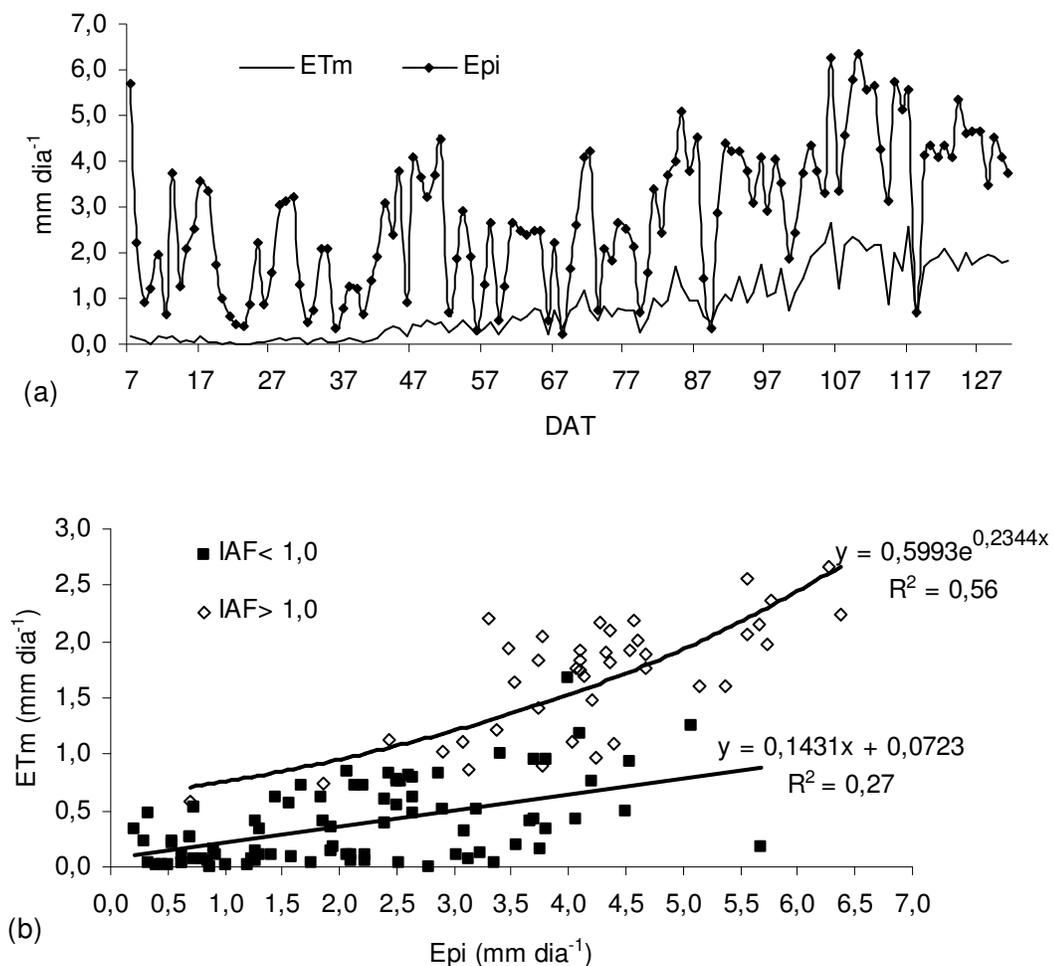


Figura 5. Evapotranspiração máxima (*ETm*) do pimentão e da evaporação diária medida no evaporímetro de Piche (*Epi*), em função dos dias após transplante (DAT) (a), e relação entre a *ETm* e a *Epi* (b), para o pimentão cultivado na primavera de 2005 em estufa plástica. Santa Maria, RS.

4.4 Modelos para estimativa da evapotranspiração do pimentão

Na Tabela 3 são apresentados os modelos de regressão linear múltipla obtidos para estimativa da ETm com os seus respectivos coeficientes de determinação (R^2). Nela constam os 43 melhores modelos, selecionados inicialmente por apresentarem, todos os seus coeficientes angulares significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro, coeficiente de determinação (R^2) maior do que 0,80 e incluírem a evaporação medida no evaporímetro de Piche (Epi) como principal variável independente.

Os resultados indicam que é possível estimar a ETm da cultura do pimentão a partir de diferentes variáveis fenométricas e da Epi , com ou sem a inclusão de uma variável meteorológica medida no interior da estufa em algum momento pré-determinado do dia. Verifica-se que em todos os modelos foi incluído Epi e um parâmetro fenométrico, isto é, uma variável que representasse a condição de crescimento da planta. Nos modelos 19 (IAF), 22 (NF) e 27 (AP), observa-se que a não inclusão de uma terceira variável independente resulta em valores similares de R^2 para os modelos obtidos com essas três variáveis fenométricas. Deve ser lembrado que esses são os modelos mais simples e que a AP é a variável fenométrica de mais fácil determinação pelo produtor rural.

A inclusão de uma variável meteorológica adicional medida pontualmente além de Epi em geral proporcionou um pequeno aumento no valor de R^2 , sendo D9, D15 e T9 as variáveis que mais melhoraram o ajuste do respectivo modelo (modelos 1 a 8, exceto o modelo 17), seguidos na ordem pelas variáveis T15, Tm, Tmax e Tmin. A inclusão da amplitude térmica diária (AT), ao manter a variável Epi , não proporcionou melhora de ajuste dos modelos, conforme valores de R^2 comparados entre si dos modelos 19 e 20, 22 e 23, bem como 26 e 27. A AT não melhorou as estimativas quando incluída juntamente com Epi , provavelmente por sua dependência de Rg e por que ambas, têm correlação com o déficit de saturação do ar (D), sendo também Rg e D as duas variáveis que mais afetam a evaporação (HELDWEIN et al., 2001) e a ETm em estufas (STANGHELLINI, 1989; DE VILLÈLE, 1972; JOLLIET & BAILEY, 1992). Portanto, seria lógico esperar que um modelo que incluía somente a variável AT, ao invés de Epi , possa também ser suficientemente preciso para estimar a ETm , mas, provavelmente, em um mesmo modelo não poderia ser utilizada essas duas variáveis juntas (AT e Epi).

A computação da ETm por unidade de AP , $AP^{0,5}$, NF , $NF^{0,5}$, IAF ou $IAF^{0,5}$, também não melhorou o R^2 (modelos 28 a 43), muito pelo contrário, na grande maioria dos modelos houve diminuição do valor do R^2 , resultando inclusive na eliminação de um grande número dos mesmos por não alcançarem valor de $R^2 > 0,80$. Os modelos 28 a 43 apenas foram mantidos porque esse tipo de modelo em um teste preliminar (Anexo C), feito com dados da primavera de 2005, em geral mostraram-se mais consistentes quando testados com dados diferentes (dados de dias ímpares) daqueles utilizados na sua geração (dados de dias pares).

Na Tabela 4 são apresentadas as estatísticas do teste dos modelos feito com os dados coletados no experimento de 2006, isto é, diferentes daqueles de 2005 utilizados na obtenção dos modelos. Verifica-se que a utilização do IAF resulta em maior estabilidade dos modelos, visto que os 12 maiores valores, de índice de confiança “c” foram obtidos com modelos que incluem essa variável (39, 43, 40, 42, 41, 9, 12, 1, 20, 8, 4 e 19), sendo o desempenho classificado como muito bom, conforme a escala de Camargo & Sentelhas (1997). Em contrapartida o número de folhas como variável fenométrica, em geral, resultou nos menores valores de “c”, sendo a maioria apenas classificados como bons. A utilização da altura de planta, associada ou não a IAF ou a NF , em geral resultou em um desempenho intermediário ao proporcionado pelo IAF e NF , porém todos integraram a classe de modelos muito bons.

Ao utilizar Epi e IAF , sem transformação por unidade de raiz quadrada, a inclusão de uma variável meteorológica adicional, como $T15$, $Tmax$, $D9$, AT , $T9$ e $D15$, pela ordem, aumentou o índice de confiança “c” em no máximo 0,02. Aumento de “c” em 0,029 e 0,058, respectivamente, somente foi obtido quando se utilizaram a ETm por unidade de raiz quadrada do IAF ($ETm IAF^{-0,5}$), NF e Tm (modelo 40) ou $ETm IAF^{-0,5}$, NF e $Tmin$ (modelo 41). Incremento similar foi obtido quando nos modelos se utilizou $ETm IAF^{-0,5}$ e AP , além de $D9$ (modelo 39), $Tmin$ (modelo 42) ou Tm (modelo 43).

A inclusão apenas de Tm além de IAF (sem transformação) e Epi (modelo 10), diminuiu o valor de c em 0,052, ficando este no limite inferior da classe de desempenho “Muito bom”, enquanto que a inclusão de $Tmin$ resultou em uma diminuição de 0,012 no valor do índice de confiança “c”. Portanto, quando se dispõe de evaporímetro de Piche e termômetros de máxima e de mínima, ao utilizar o IAF como única variável fenométrica,

deve-se optar preferencialmente pelo modelo 12.

Quando AP foi utilizado como variável fenométrica simples, isto é, sem transformação raiz quadrada, além de *Epi* (modelo 27), a inclusão de *T15* proporcionou melhora de 0,026 no valor de *c*, enquanto a inclusão de *Tmax* (modelo 24), *D9* (modelo 2), *Tm* (modelo 18) e *AT* apenas proporcionaram uma pequena melhora no valor do índice de confiança “*c*”. A inclusão de *Tmin* ou *D15* piorou o desempenho no teste dos modelos 25 e 5, respectivamente, em relação ao modelo 27. Para a resposta inversa àquela obtida com o modelo 4 (*D15* associado ao *IAF*), não foi possível encontrar uma explicação, exceto a constatação de que a relação numérica entre AP e *IAF* com a *ETm* até aproximadamente os 80 DAT, quando *D15* foi relativamente diferente do que no restante do ciclo. A inclusão da *Tmin* associada a *AP*, confirmando a resposta negativa apresentada quando da utilização de *IAF* e considerando que também não ocorreu melhora quando associada a variável fenométrica *NF*, permite inferir que *Tmin* deve ser utilizada apenas quando os modelos incluem valores transformados das variáveis fenométricas ($IAF^{0,5}$, $AP^{0,5}$, $NF^{0,5}$)

A utilização do déficit de saturação de vapor do ar, conforme modelos 1 a 6, mostrou-se eficiente apenas quando associado a *IAF* (modelos 1 e 4) ou a *AP*. Nesse caso, para as duas variáveis fenométricas, a utilização de *D9* mostrou-se mais adequada do que *D15*, possivelmente por que em dias frios, principalmente naqueles com previsão de geada, a estufa foi fechada antes das 15 horas para armazenar calor latente e sensível, o que alterou o valor de *D15* em relação a média diária do déficit de saturação do ar, cujo efeito sobre a *ETm* é mais real do que o valor pontual das 15 horas “*D15*”.

4.5 Modelos com substituição de *Epi* por *AT* para estimativa da *ETm* do pimentão

Considerando uma situação de simples substituição da *Epi* pela amplitude térmica diária (*AT*), também foi possível obter alguns modelos que se ajustassem aos dados com um R^2 maior do que 0,80 (Tabela 5). Os modelos que além de *AT* também incluíram *D9* e *T9*, pela ordem, apresentaram os melhores ajustes, com aumento em R^2 maior ou igual a 0,030. A inclusão da *Tmin*, *Tmax* e *Tm* apenas resultou em uma melhora pequena e similar no valor de R^2 (0,008) nos modelos que incluíram *AT* e *IAF*. Da mesma forma, a inclusão de *Tmin*, *Tm* e *T15* para os modelos que incluem *AT*, *NF*

ou *AT* e *AP*, não melhorou significativamente os valores de R^2 .

Na tabela 6 verifica-se que no teste os modelos 1, 4 a 8, 11, 14, 15 e 16, apresentaram índice de confiança “c” maior do que 0,77, sendo, portanto, classificados como “Muito bons”, conforme critérios de Camargo & Sentelhas (1997), enquanto que os modelos 2, 3, 9, 10, 12 e 13, com um índice de confiança “c” menor do que 0,76 foram classificados como “Bons”. O modelo 4, em que se utilizam *NF*, *AT* e *T9*, apresentou melhor desempenho no teste, seguido do modelo 6, que utiliza *AP*, *AT* e *T9*. Os modelos 7 (*IAF*, *AT* e *Tmax*) e 8 (*IAF*, *AT* e *Tmin*) apresentaram o mesmo desempenho que o modelo 6, porém, incluem a variável *IAF*, que é de mensuração mais difícil do que *AP* e *NF*. Dos modelos que utilizam apenas *AT* e uma variável fenométrica (Modelos 12, 13 e 16), o modelo 16 foi o que apresentou maior índice de confiança “c”. Porém, ao incluir a variável *T15* (Modelo 14), *Tmin* (modelo 15) ou *D9* (modelo 2), o índice de confiança “c” piorou em relação ao modelo 16. Portanto, considerando as tabelas 5 e 6, não há uma distinção ordenada conforme as variáveis meteorológicas incluídas. No entanto, de acordo com os valores de R^2 dos modelos de regressão (Tabela 5) e as estatísticas dos testes dos modelos (Tabela 6), verifica-se que os modelos 1, 4, 5, 6, 7 e 8 seriam os mais adequados para a estimativa da *ETm*. Considerando uma opção por medidas que incluam variáveis de fácil mensuração, poderiam ser utilizados os modelos 4 e 6, em que a *Tmax* e *Tmin* para o cálculo da *AT* poderiam ser observadas nos respectivos termômetros às nove horas juntamente com a leitura da temperatura do momento (*T9*), medida em um termômetro comum ou no nível do menisco de álcool no termômetro de mínima nesse horário.

O uso de *AT* com apenas uma variável fenométrica, conforme indicam os resultados do teste dos modelos, não se mostrou satisfatória para *NF* (modelo 13) e *IAF* (modelo 12). Nessa configuração o único modelo que apresentou desempenho “Muito bom” foi o modelo 16 (“c”= 0,794), embora na obtenção do modelo de regressão tenha sido o de menor R^2 dos 16 modelos selecionados (Tabela 5) e, portanto, esse modelo deve ser utilizado com cautela.

Tabela 3 - Modelos de regressão para estimativa da evapotranspiração máxima (ET_m) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera em 2005. Santa Maria, RS.

N ^o	Modelos de regressão	R ²
1	$ET_m = -0,29744 + 0,82366IAF + 0,10708 Epi + 0,05733 D9$	0,918
2	$ET_m = -0,56911 + 0,02077AP + 0,10623 Epi + 0,06284D9$	0,917
3	$ET_m = -0,35326 + 0,01206NF + 0,11522 Epi + 0,05414D9$	0,913
4	$ET_m = -0,31905 + 0,85739IAF + 0,1164Epi + 0,01902D15$	0,907
5	$ET_m = -0,60319 + 0,02157AP + 0,11799Epi + 0,02082D15$	0,903
6	$ET_m = -0,37622 + 0,01255NF + 0,13070Epi + 0,01642D15$	0,899
7	$ET_m = -0,79051 + 0,01108NF + 0,14259Epi + 0,03038T9$	0,896
8	$ET_m = -0,71074 + 0,75993IAF + 0,14540Epi + 0,02824T9$	0,895
9	$ET_m = -0,66911 + 0,83638IAF + 0,14507Epi + 0,01898T15$	0,892
10	$ET_m = -0,76200 + 0,79019IAF + 0,16794Epi + 0,02622Tm$	0,892
11	$ET_m = -0,81037 + 0,01163NF + 0,17001Epi + 0,02596Tm$	0,891
12	$ET_m = -0,68034 + 0,08425IAF + 0,14947Epi + 0,01776Tmax$	0,891
13	$ET_m = -0,62082 + 0,79467IAF + 0,20232Epi + 0,02217Tmin$	0,890
14	$ET_m = -0,71827 + 0,01231NF + 0,147897Epi + 0,01862 T15$	0,890
15	$ET_m = -0,73425 + 0,01239NF + 0,15160Epi + 0,01765 Tmax$	0,889
16	$ET_m = -0,66876 + 0,01170NF + 0,20397Epi + 0,02179Tmin$	0,888
17	$ET_m = -0,96339 + 0,01855AP + 0,15529Epi + 0,02857T9$	0,885
18	$ET_m = -1,03757 + 0,01960AP + 0,17723Epi + 0,02726 Tm$	0,884
19	$ET_m = -0,32562 + 0,91560IAF + 0,18827Epi$	0,883
20	$ET_m = -0,36964 + 0,92447IAF + 0,16965Epi + 0,00661AT$	0,883
21	$ET_m = -0,95469 + 0,02086AP + 0,15407Epi + 0,01958T15$	0,883
22	$ET_m = -0,38667 + 0,01347NF + 0,19021Epi$	0,882
23	$ET_m = -0,43273 + 0,01360NF + 0,17097Epi + 0,00682AT$	0,882
24	$ET_m = -0,96524 + 0,02103AP + 0,15911Epi + 0,01815 Tmax$	0,881
25	$ET_m = -0,89767 + 0,01966AP + 0,21325Epi + 0,02351 Tmin$	0,881
26	$ET_m = -0,67250 + 0,02317AP + 0,18172Epi + 0,00622AT$	0,881
27	$ET_m = -0,62825 + 0,02296AP + 0,19919Epi$	0,881

*Todos os coeficientes angulares são significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro; r^2 = coeficiente de determinação, Epi = evaporação no evaporímetro de Piche (mm); AP = altura de plantas; IAF = índice de área foliar; NF = número de folhas; $D9$, $D15$ = déficit de saturação do ar interno (hPa) das 9 e 15 h respectivamente; Tm , $Tmin$, $Tmax$ = temperatura média, mínima e máxima do ar (°C) respectivamente; $T9$, $T15$ = temperatura do ar das 9 e 15 h (°C) respectivamente.

Tabela 3 (Continuação)- Modelos de regressão para estimativa da evapotranspiração máxima (ET_m) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera em 2005. Santa Maria, RS.

Nº	Modelos de regressão	R ²
28	$ET_m = AP^{0,5}(-0,02893 + 0,00129NF + 0,02065Epi + 0,00485D9)$	0,880
29	$ET_m = AP^{0,5}(-0,09712 + 0,00111NF + 0,02431Epi + 0,00403Tm)$	0,880
30	$ET_m = AP^{0,5}(-0,02844 + 0,00127NF + 0,02037Epi + 0,00192D15)$	0,874
31	$ET_m = AP^{0,5}(-0,08132 + 0,00108NF + 0,02990Epi + 0,00387Tmin)$	0,873
32	$ET_m = AP^{0,5}(-0,08035 + 0,00124NF + 0,02187Epi + 0,00251Tmax)$	0,872
33	$ET_m = AP^{0,5}(-0,03296 + 0,00139NF + 0,02599Epi + 0,00045906AT)$	0,861
34	$ET_m = AP^{0,5}(-0,02985 + 0,00138NF + 0,02729Epi)$	0,859
35	$ET_m = NF^{0,5}(-0,07001 + 0,00131AP + 0,02599Epi + 0,00316Tmin)$	0,856
36	$ET_m = NF^{0,5}(-0,07119 + 0,00153AP + 0,01953Epi + 0,00204Tmax)$	0,852
37	$ET_m = NF^{0,5}(-0,03226 + 0,00173AP + 0,02400Epi)$	0,842
38	$ET_m = NF^{0,5}(-0,03466 + 0,00174AP + 0,02305Epi + 0,00033474AT)$	0,841
39	$ET_m = IAF^{0,5}(-0,07999 + 0,00877AP + 0,1674Epi + 0,04310D9)$	0,819
40	$ET_m = IAF^{0,5}(-0,61415 + 0,00297NF + 0,19116Epi + 0,03997Tm)$	0,818
41	$ET_m = IAF^{0,5}(-0,45077 + 0,00321NF + 0,24407Epi + 0,03391Tmin)$	0,812
42	$ET_m = IAF^{0,5}(-0,51094 + 0,0055AP + 0,24587Epi + 0,03407Tmin)$	0,812
43	$ET_m = IAF^{0,5}(-0,60405 + 0,00631AP + 0,19956Epi + 0,0322Tm)$	0,810

*Todos os coeficientes angulares são significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro; r^2 = coeficiente de determinação, Epi = evaporação no evaporímetro de Piche (mm); AP = altura de plantas; IAF = índice de área foliar; NF = número de folhas; $D9$, $D15$ = déficit de saturação do ar interno (hPa) das 9 e 15 h respectivamente; Tm , $Tmin$, $Tmax$ = temperatura média, mínima e máxima do ar (°C) respectivamente; $T9$, $T15$ = temperatura do ar das 9 e 15 h (°C) respectivamente.

Tabela 4 - Avaliação dos modelos de regressão para estimativa da *ETm* do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera em 2005, através da regressão entre valores observados e estimados pelos modelos. Santa Maria, RS. (Utilizando os dados da primavera de 2006).

Nº	RMSE	r ²	r	d	c	Desempenho*
1	0,2370	0,836	0,903	0,918	0,828	MB
2	0,2459	0,789	0,877	0,914	0,802	MB
3	0,3165	0,764	0,863	0,831	0,717	B
4	0,2379	0,818	0,893	0,918	0,819	MB
5	0,3051	0,783	0,874	0,868	0,759	B
6	0,3142	0,741	0,850	0,834	0,709	B
7	0,2881	0,758	0,860	0,863	0,742	B
8	0,2334	0,817	0,892	0,921	0,822	MB
9	0,2262	0,831	0,900	0,926	0,834	MB
10	0,2833	0,762	0,862	0,885	0,762	MB
11	0,2883	0,749	0,854	0,863	0,738	B
12	0,2281	0,824	0,896	0,925	0,829	MB
13	0,2426	0,787	0,876	0,916	0,802	MB
14	0,2884	0,779	0,871	0,861	0,751	B
15	0,2881	0,769	0,866	0,862	0,747	B
16	0,2971	0,716	0,836	0,856	0,715	B
17	0,2469	0,776	0,870	0,912	0,794	MB
18	0,2449	0,780	0,872	0,915	0,798	MB
19	0,2353	0,801	0,884	0,921	0,814	MB
20	0,2307	0,813	0,890	0,924	0,823	MB
21	0,2365	0,797	0,882	0,921	0,812	MB
22	0,3040	0,732	0,845	0,847	0,715	B
23	0,3006	0,751	0,856	0,849	0,727	B
24	0,2387	0,792	0,878	0,920	0,808	MB
25	0,2547	0,753	0,857	0,909	0,778	MB
26	0,2446	0,770	0,866	0,917	0,795	MB
27	0,2494	0,758	0,860	0,914	0,786	MB
28	0,2889	0,841	0,902	0,861	0,777	MB
29	0,2583	0,827	0,894	0,895	0,800	MB
30	0,2910	0,822	0,891	0,860	0,767	MB
31	0,2651	0,800	0,879	0,890	0,782	MB
32	0,2629	0,840	0,901	0,889	0,801	MB
33	0,2790	0,820	0,890	0,873	0,777	MB
34	0,2803	0,814	0,887	0,872	0,773	MB
35	0,2685	0,831	0,896	0,887	0,795	MB
36	0,2632	0,856	0,909	0,891	0,810	MB
37	0,2707	0,838	0,900	0,884	0,796	MB
38	0,2701	0,842	0,902	0,885	0,798	MB
39	0,2096	0,874	0,923	0,945	0,872	O
40	0,2087	0,853	0,912	0,946	0,862	O
41	0,2280	0,834	0,902	0,935	0,843	MB
42	0,2118	0,839	0,904	0,946	0,856	MB
43	0,2011	0,858	0,915	0,951	0,870	O

* Desempenho conforme CAMARGO & SENTELHAS (1997).

Obs: 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 índice de confiança de Camargo & Sentelhas (1997).

Tabela 5 - Modelos de regressão para estimativa da *ETm* do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera em 2005 com a *AT*. Santa Maria, RS. (Utilizando todo o banco de dados)

Nº	Modelos de regressão	R ²
1	$ETm = -0,33624 + 0,90346IAF + 0,01705AT + 0,06944D9$	0,908
2	$ETm = -0,63134 + 0,02277AP + 0,01664 AT + 0,07554D9$	0,906
3	$ETm = -0,40031 + 0,01331NF + 0,01844 AT + 0,06708D9$	0,901
4	$ETm = -1,02617 + 0,01211NF + 0,02380 AT + 0,04253T9$	0,879
5	$ETm = -0,94547 + 0,83017IAF + 0,02414AT + 0,04070T9$	0,876
6	$ETm = -1,24340 + 0,02053AP + 0,02536 AT + 0,04282T9$	0,863
7	$ETm = -0,81837 + 0,98458IAF + 0,04208 AT + 0,02664Tmin$	0,855
8	$ETm = -0,81837 + 0,98458IAF + 0,01544 AT + 0,02664Tmax$	0,855
9	$ETm = -0,81837 + 0,98458IAF + 0,02876AT + 0,02664Tm$	0,855
10	$ETm = -0,87997 + 0,01453NF + 0,04250 AT + 0,02623Tmin$	0,854
11	$ETm = -0,87997 + 0,01453NF + 0,02939 AT + 0,02623Tm$	0,854
12	$ETm = -0,42317 + 1,12206IAF + 0,03603 AT$	0,847
13	$ETm = -0,50031 + 0,01653NF + 0,03658 AT$	0,846
14	$ETm = -1,15937 + 0,02407AP + 0,01330 AT + 0,03192T15$	0,846
15	$ETm = -1,17322 + 0,02469AP + 0,04452 AT + 0,02857Tmin$	0,841
16	$ETm = -0,80023 + 0,02851AP + 0,03821 AT$	0,832

Tabela 6 - Estatísticas de avaliação entre valores de *ETm* observados na primavera de 2005 e valores estimados com dados de 2006 utilizando modelos gerados com dados fenométricos e meteorológicos medidos na primavera de 2005, em que a evaporação de Piche (*E_p*) foi substituída pela amplitude térmica diária (*AT*).

Nº	RMSE	r ²	r	d	c	Desempenho*
1	0,2591	0,787	0,876	0,904	0,792	MB
2	0,3435	0,815	0,891	0,794	0,708	B
3	0,3037	0,790	0,877	0,844	0,740	B
4	0,2410	0,808	0,888	0,915	0,812	MB
5	0,2491	0,772	0,868	0,911	0,790	MB
6	0,2493	0,785	0,875	0,911	0,797	MB
7	0,2493	0,785	0,875	0,911	0,797	MB
8	0,2493	0,785	0,875	0,911	0,797	MB
9	0,3225	0,798	0,882	0,820	0,724	B
10	0,3225	0,798	0,882	0,820	0,724	B
11	0,2565	0,774	0,868	0,908	0,789	MB
12	0,3448	0,791	0,878	0,793	0,697	B
13	0,2884	0,779	0,871	0,861	0,751	MB
14	0,2588	0,748	0,854	0,907	0,774	MB
15	0,2536	0,757	0,859	0,910	0,782	MB
16	0,2469	0,776	0,870	0,912	0,794	MB

* Desempenho conforme CAMARGO & SENTELHAS (1997).

Obs: 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 índice de precisão ou coeficiente de correlação; d é o índice concordância de Willmott e c o índice de confiança de Camargo & Sentelhas (1997).

4.6 Evapotranspiração máxima do tomateiro em estufa plástica em função da evaporação no evaporímetro de piche e parâmetros fenométricos

A ET_m do tomateiro, durante o período de 117 dias de realização do experimento na primavera de 2005, totalizou 254,5mm, com uma média diária de 2,2mm. No decorrer deste período, a ET_m aumentou progressivamente, sendo fortemente influenciada pelas variáveis meteorológicas e de crescimento das plantas. Na Figura 6a verifica-se que ET_m seguiu a tendência de aumento de IAF , estabelecendo-se uma boa correlação entre ambas, o que resultou em um coeficiente de determinação $R^2 = 0,80$

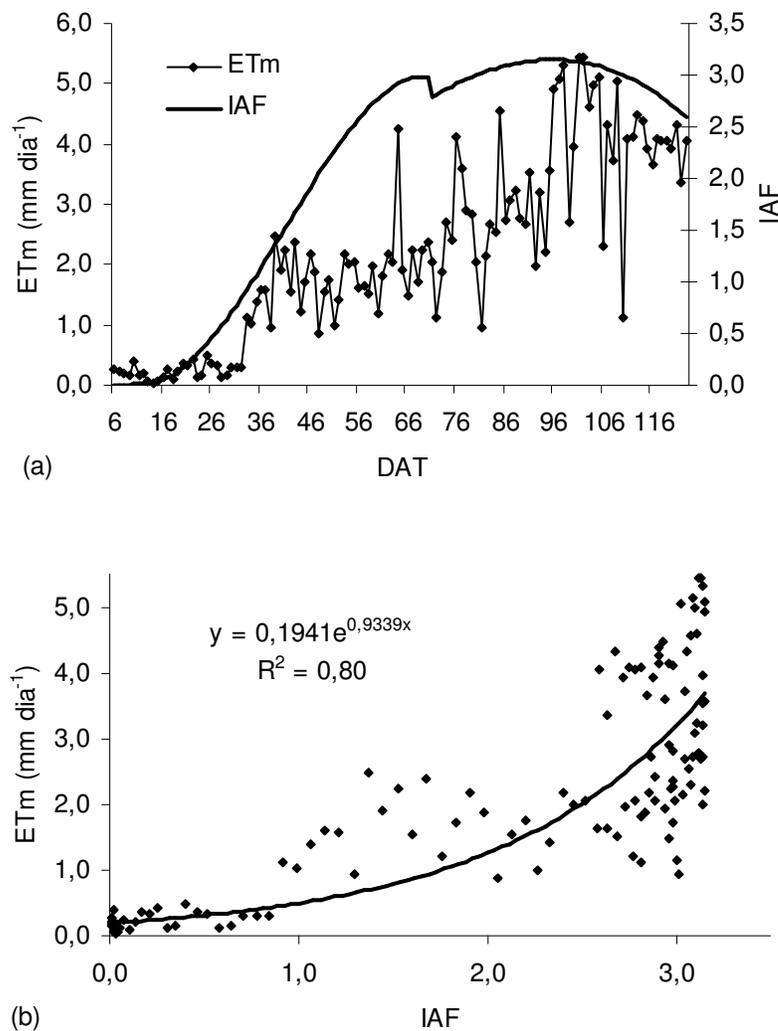


Figura 6. Evapotranspiração máxima (ET_m) e índice de área foliar do tomate (IAF) em função do número de dias após o transplante (DAT) (a) e regressão entre ET_m e o IAF (b) para essa cultura cultivada na primavera de 2005 em estufa plástica. Santa Maria, RS.

quando estabelecida uma regressão exponencial entre essas variáveis (Figura 6b). Os desvios em relação à função exponencial são, provavelmente, causados pela variação diária dos elementos meteorológicos que tem influência direta sobre o processo da *ETm*.

Subdividindo-se o período experimental nos subperíodos T-IF (36 dias), IF-IC (55 dias) e C (26 dias), a *ETm* totalizou 20,5, 126,4 e 107,8 mm, respectivamente. No subperíodo T-IF o principal fator determinante dos menores valores de *ETm*, foi o *IAF*, que inicialmente era pequeno. Na medida em que o *IAF* foi aumentando, tendendo aos valores máximos nos subperíodos subseqüentes, juntamente com a progressiva elevação da demanda hídrica atmosférica devido ao aumento do comprimento dos dias e da densidade de fluxo de radiação solar global incidente com a proximidade do verão, a *ETm* também foi crescente (Figura 7a). Analisando conjuntamente *ETm* e as três variáveis fenométricas, é possível inferir que a *ETm* também acompanhou o aumento da altura (Figura 7b) e do número de folhas (Figura 7c) das plantas.

Na Figura 8a a variação diária de *ETm*, de *Epi* e de *IAF* do tomateiro permite verificar que no início do ciclo, até aproximadamente os 44 DAT, *Epi* foi muito superior a *ETm*. Nesta fase inicial as plantas estavam com uma pequena área foliar, limitando a perda d'água por transpiração, uma vez que a evaporação na superfície foi limitada pela cobertura de "mulching" plástico. No entanto, o evaporímetro de Piche, instalado fora do abrigo meteorológico, exposto as mesmas condições de demanda hídrica atmosférica que as plantas, apresentou evaporação continuada, regida pela demanda, sem a possível limitação ecofisiológica apresentada pelas plantas. Após os 44 DAT, quando o *IAF* alcançou valores superiores a 1,5, a relação entre *ETm* e *Epi* manteve-se similar até o final do ciclo (Figura 8a).

Os valores de *Epi* somaram 291,3 mm durante o período experimental no ciclo da cultura e uma média diária de 2,5 mm. No início do ciclo, quando as plantas se encontravam com *IAF* menor que 2,0, a correlação entre *ETm* e *Epi* não foi satisfatória ($R^2 = 0,30$, Figura 8b). Após os 44 DAT, quando o *IAF* atingiu valores superiores a 2,0 a correlação foi melhor ($R^2 = 0,74$). Neste período as condições ambientais favoreceram a elevação da demanda hídrica atmosférica e, desta forma, também a maior evaporação. Porém, devido à pequena área transpirante, os valores de *ETm* não alcançaram a

magnitude de *Epi*. A *ETm* varia de acordo com a espécie, época e local de cultivo, alcançando geralmente valores diários superiores na primavera aos encontrados para o outono (VALANDRO et al., 2007), enquanto a evaporação é condicionada pelo poder evaporativo do ar.

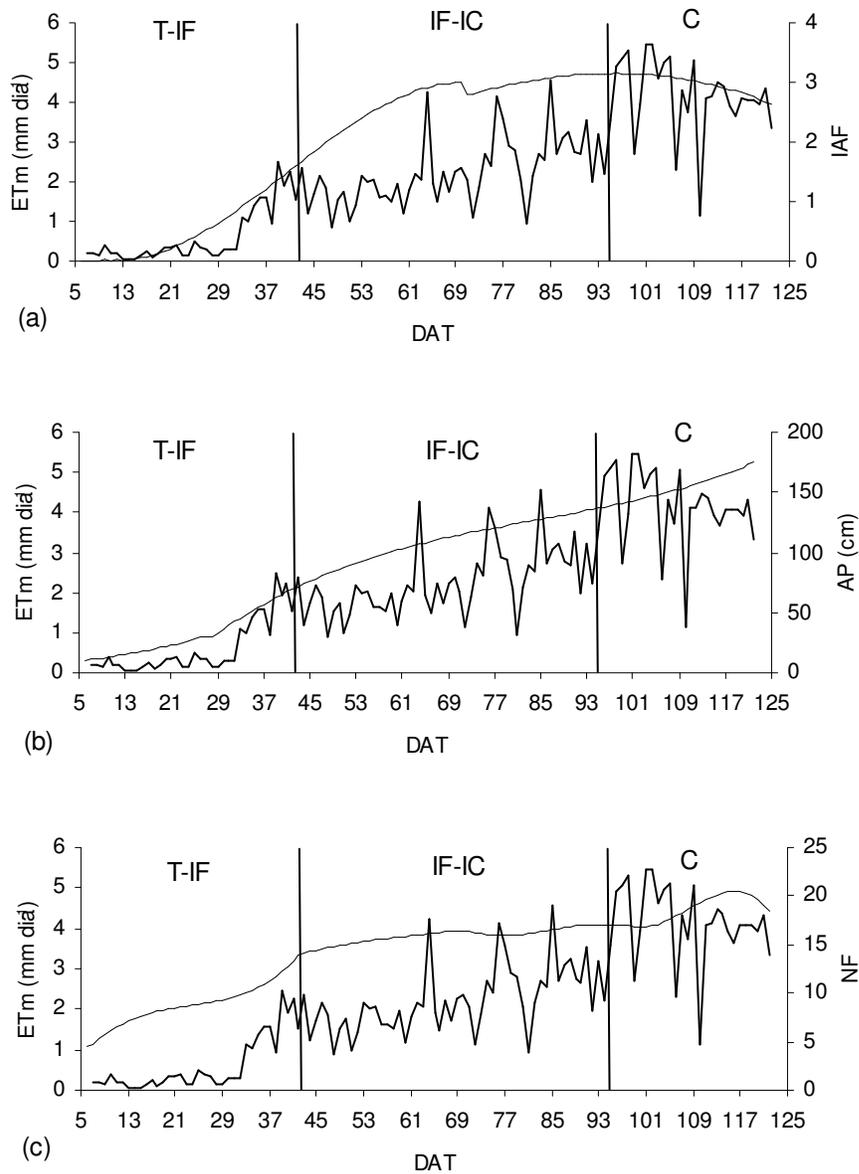


Figura 7. Evapotranspiração máxima (*ETm*) e índice de área foliar (*IAF*) (a), altura de plantas (*AP*) (b) e número de folhas (*NF*) (c) em função dos dias após o transplante (*DAT*) do tomate cultivado em estufa plástica na primavera em 2005, nos subperíodos Transplante-Início da Floração (T-IF), Início da Floração-Início da Colheita (IF-IC) e durante a Colheita (C). Santa Maria, RS.

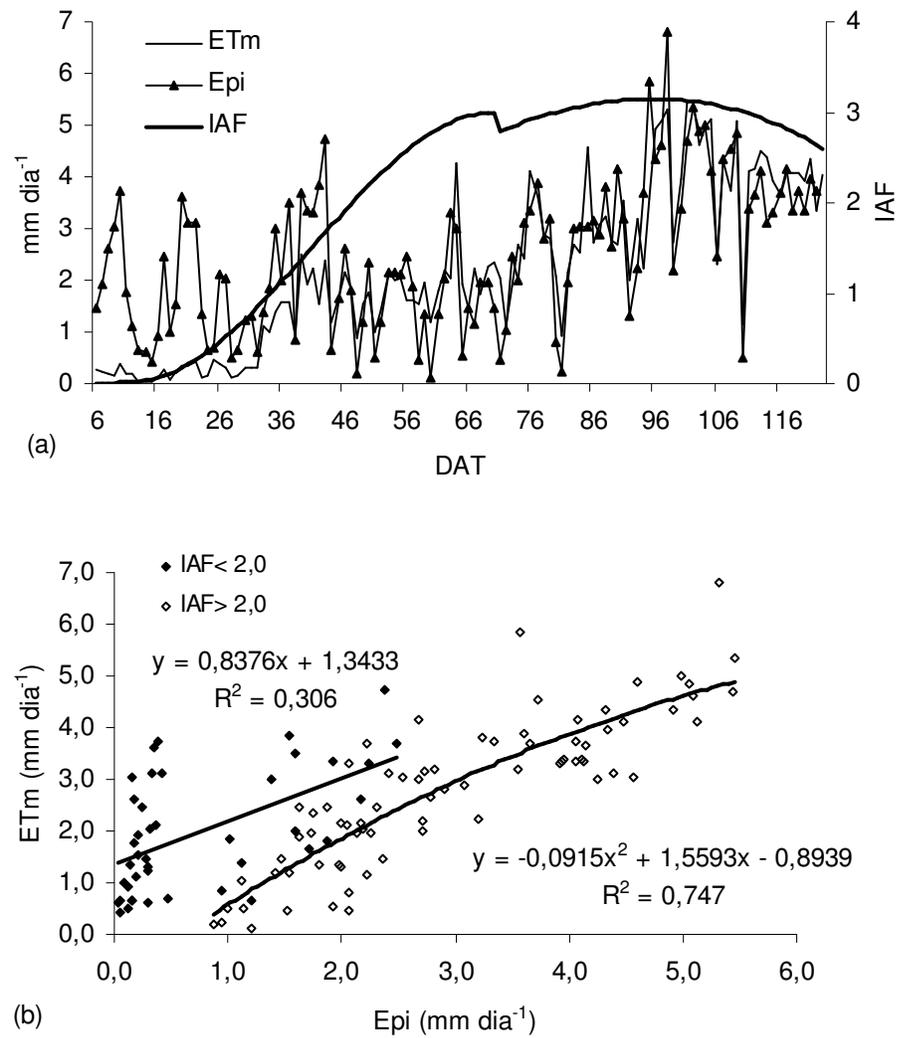


Figura 8. Evapotranspiração máxima (ETm) e evaporação diária medida no evaporímetro de Piche (Epi), em função dos dias após transplante (DAT) (a), e relação entre a ETm e a Epi (b), para o tomate cultivado na primavera de 2005 em estufa plástica. Santa Maria, RS.

4.7 Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima do tomateiro

A análise de regressão permitiu selecionar 38 modelos para estimar ET_m do tomateiro, que apresentaram R^2 maior do que 0,80 e todos os seus coeficientes angulares significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro. Na Tabela 7 são apresentados os modelos de regressão linear obtidos para estimativa de ET_m com os respectivos R^2 , indicando que a ET_m para o tomateiro pode ser estimada a partir de determinações simples e pontuais de variáveis meteorológicas e fenométricas medidas no interior da estufa. Verifica-se que em todos os modelos foi incluída a variável Epi e um parâmetro que representasse o crescimento das plantas, tais como IAF , AP , e NF . Além disso, o uso de outras variáveis meteorológicas pontuais medidas no interior da estufa permitiu obter um ajuste relativamente melhor aos dados.

A utilização da variável fenométrica AP , associada a Epi (modelo 5) e a inclusão de outras variáveis meteorológicas medidas pontualmente (modelos 1, 2 e 3), resultou em um ajuste dos dados muito bom ($R^2 > 0,905$). Isso também foi comprovado pelo teste dos modelos (Tabela 8), pelo menos no que se refere aos modelos 1, 2 e 5, todos com um índice de confiança “c” $> 0,86$. O modelo 1 (AP , Epi e $D9$) foi o melhor modelo em função do maior valor de “c” em relação aos demais 37 modelos obtidos. A inclusão de $D15$ (modelo 2) e $Tmin$ (modelo 3) em relação a AP e Epi (modelo 5) não melhoraram de forma apreciável o ajuste (R^2) e o respectivo desempenho no teste do modelo, com um índice de confiança “c” com aumento de apenas 0,0012 para o modelo 2 e decréscimo de 0,0064 para o modelo 3.

Quando foram associadas as variáveis Epi , $Tmin$, NF e AP , sendo uma dessas variáveis fenométricas transformadas em raiz quadrada (modelos 13 e 23), obteve-se o pior desempenho no teste, sendo o índice de confiança “c” mesmo assim ainda classificado como “Bom”, com valores praticamente no limite da classe “Muito bom”. A classificação como desempenho “Muito bom”, “c” $> 0,76$, dos demais 36 modelos se deve em parte a utilização dos dados dos dias após o transplante (DAT) ímpares da série de dados do mesmo experimento utilizado para a geração dos modelos, que foi com os DAT pares da série. Mesmo assim, pode-se afirmar que pelo menos alguns

modelos, principalmente aqueles em que não houve transformação pela raiz quadrada de uma variável fenométrica utilizada, se mostraram adequados e suficientemente precisos para a estimativa da *ETm* em estufa plástica em Santa Maria. No entanto, os resultados aqui obtidos não devem ser considerados como definitivos para o tomateiro, uma vez que um segundo experimento realizado na mesma época em um ano diferente pode resultar em alteração significativa dos índices de confiança “c”. Esta recomendação se baseia no fato de que uma análise similar, ou seja, a geração de modelos com dados dos dias pares e teste dos modelos com os dados dos dias ímpares da primavera de 2005, realizada para a cultura do pimentão (Anexo D) mostrou que nesse caso o índice de desempenho “c” em geral é maior do que o resultado obtido com o teste feito com os dados de um ano diferente, como, da primavera de 2006 (Tabela 5). Em contra partida, na geração dos modelos com todos os dados da cultura do pimentão (Tabela 4), os valores de R^2 em geral foram maiores do que aqueles obtidos com os modelos gerados com apenas os dados dos DAT pares da primavera de 2005 (Anexo C), embora não houvesse mudanças substanciais nos valores dos coeficientes angulares dos modelos.

No caso do uso de IAF apenas dois modelos (4 e 14) foram enquadrados entre os 16 modelos de melhor ajuste, os quais incluem *D9* e *D15* respectivamente. No entanto, estes dois modelos mantiveram-se consistentes quando do teste, aparecendo em segundo e nono lugar em termos de valores de índice de confiança “c”. Portanto, ao utilizar a variável fenométrica IAF, juntamente com *Epi*, deve-se dar preferência a inclusão de *D9* e de *D15* em relação a outras possíveis variáveis meteorológicas medidas pontualmente. Contudo, a variável déficit de saturação do ar é de mensuração mais difícil do que *Tmin* e *Tmax*. Considerando o modelo 19, que inclui IAF, *Epi* e *Tm*, calculada a partir da *Tmax* e *Tmin*, ou o modelo 21, mais simples, com um índice de confiança “c” apenas 0,0150 e 0,038 menores do que os modelos 4 e 14, respectivamente, espera-se que a utilização dos modelos de aplicação prática mais simples, nesse caso os modelos 19 e 21, não resulte em diferenças significativas nos valores de *ETm* estimados sob as mesmas condições meteorológicas.

Na tabela 7 verifica-se que dentre os treze modelos com melhor ajuste ($R^2 > 0,89$), oito modelos incluem a variável fenométrica *NF* (Modelos 6 a 13), seis modelos incluem

AP (Modelos 1, 2, 3, 5, 6 e 13) e apenas um (modelo 4) inclui a variável fenométrica *IAF*. Na geração dos modelos o *IAF* do tomateiro não se mostrou o mais adequado como era de se esperar teoricamente, e como ocorreu com os modelos gerados para o pimentão. Apenas nos modelos em que foi incluído o déficit de saturação do ar (*D9* e *D15*) além de *Epi*, houve resposta satisfatória no teste dos modelos (4 e 14), com aumento do índice de confiança “c”. Esse ajuste, em geral menor em relação aos modelos que utilizam *AP* e *NF* para o tomateiro, possivelmente está associado a um maior erro na estimativa da área foliar do tomateiro em relação ao pimentão, em função das folhas do tomateiro serem fendilhadas.

A transformação em raiz quadrada das variáveis fenométricas (modelos 6, 13, 16 e 22 a 38) em geral piorou o ajuste dos modelos (R^2 menor) em relação aqueles gerados com variáveis similares e respectiva variável fenométrica não transformada, exceto para o *NF* ($NF^{0,5}$) associada a *AP*, o que pode ser verificado da relação dos modelos 6, 13 e 16, com o modelo 17. Esse resultado parece ser apenas um casual capricho da estatística, visto que esses três modelos foram classificados entre aqueles de pior desempenho (Tabela 8) com valores de índice de confiança “c” entre 0,7777 e 0,7546, isto é, no limite entre os desempenhos “Bom” e “Muito bom”. Portanto, no caso do tomateiro, pelo menos quando se geram os modelos com os dados dos DAT pares e se testam os mesmos com os dados dos DAT ímpares, a partir de dados de um mesmo experimento, não é recomendável a transformação em raiz quadrada das variáveis fenométricas, isto é, não é recomendável considerar *ETm* por unidade de $NF^{0,5}$, $AP^{0,5}$ e $IAF^{0,5}$. Da mesma forma também não é adequado estimar *ETm* por unidade de *IAF* ($ETm IAF^{-1}$), visto que nenhum modelo gerado com essa transformação de dados apresentou $R^2 > 0,80$, e portanto não foram incluídos na tabela dos modelos gerados para o tomateiro (Tabela 7).

Tabela 7 - Modelos de regressão para estimativa da *ETm* do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera em 2005. Santa Maria, RS.

Nº	Modelos de regressão	R ²
1	$ETm = -0,85012 + 0,02086AP + 0,26319Epi + 0,10873D9$	0,924
2	$ETm = -0,98820 + 0,02179AP + 0,34540Epi + 0,02721D15$	0,910
3	$ETm = -1,60628 + 0,01963AP + 0,49020Epi + 0,05209Tmin$	0,910
4	$ETm = -0,79007 + 0,79817IAF + 0,29106Epi + 0,15027D9$	0,905
5	$ETm = -1,04509 + 0,02253AP + 0,47161Epi$	0,905
6	$ETm = NF^{0,5} (-0,15378 + 0,00452AP + 0,07318Epi + 0,0228D9)$	0,901
7	$ETm = -2,34962 + 0,23131NF + 0,31364Epi + 0,11902D9$	0,900
8	$ETm = -3,33409 + 0,23062NF + 0,40652Epi + 0,04757T15$	0,900
9	$ETm = -2,56762 + 0,224279NF + 0,36178Epi + 0,03858D15$	0,895
10	$ETm = -3,13575 + 0,220094NF + 0,39630Epi + 0,07164T9$	0,895
11	$ETm = -3,42802 + 0,20048NF + 0,44349Epi + 0,08205Tm$	0,894
12	$ETm = -3,17920 + 0,20735NF + 0,55985Epi + 0,07177Tmin$	0,893
13	$ETm = NF^{0,5} (-0,33761 + 0,00414AP + 0,12151Epi + 0,01327Tmin)$	0,893
14	$ETm = -0,95989 + 0,83920IAF + 0,35936Epi + 0,04843D15$	0,890
15	$ETm = -3,27243 + 0,23235NF + 0,43790Epi + 0,03924Tmax$	0,890
16	$ETm = NF^{0,5} (-0,19547 + 0,00487AP + 0,11685Epi)$	0,886
17	$ETm = -2,69635 + 0,25145NF + 0,54822Epi$	0,880
18	$ETm = -1,82249 + 0,67319IAF + 0,43454Epi + 0,07463T9$	0,880
19	$ETm = -2,19309 + 0,60564IAF + 0,47686Epi + 0,08954Tm$	0,880
20	$ETm = -1,84766 + 0,69629IAF + 0,60419Epi + 0,07601Tmin$	0,879
21	$ETm = -1,03423 + 0,86286IAF + 0,60053Epi$	0,870
22	$ETm = AP^{0,5} (-0,12969 + 0,01595NF + 0,03257Epi + 0,00726D9)$	0,870
23	$ETm = AP^{0,5} (-0,18492 + 0,01406NF + 0,04768Epi + 0,00507Tmin)$	0,867
24	$ETm = IAF^{0,5} (0,0134 + 0,00696AP + 0,21553Epi + 0,06222D9)$	0,866
25	$ETm = AP^{0,5} (-0,1994 + 0,01380NF + 0,03997Epi + 0,00544Tm)$	0,865
26	$ETm = IAF^{0,5} (-0,49197 + 0,07773NF + 0,23304Epi + 0,06502D9)$	0,860
27	$ETm = IAF^{0,5} (-0,51405 + 0,00540AP + 0,26173Epi + 0,03892T9)$	0,860
28	$ETm = IAF^{0,5} (-0,71193 + 0,00525AP + 0,28431Epi + 0,04731Tm)$	0,856
29	$ETm = AP^{0,5} (-0,15086 + 0,01717NF + 0,04689Epi)$	0,856
30	$ETm = IAF^{0,5} (-1,16242 + 0,05520NF + 0,29251Epi + 0,05393Tm)$	0,853
31	$ETm = IAF^{0,5} (-0,50286 + 0,00584AP + 0,34786Epi + 0,03757Tmin)$	0,853
32	$ETm = IAF^{0,5} (-0,97480 + 0,06194NF + 0,36827Epi + 0,04361Tmin)$	0,850
33	$ETm = IAF^{0,5} (-0,61312 + 0,08414NF + 0,26231Epi + 0,02096D15)$	0,850
34	$ETm = IAF^{0,5} (-0,09817 + 0,00792AP + 0,33465Epi)$	0,840
35	$ETm = IAF^{0,5} (-0,68140 + 0,08874NF + 0,36120Epi)$	0,830
36	$ETm = IAF^{0,5} (-1,22803 + 0,28138Epi + 0,09571Tm)$	0,821
37	$ETm = IAF^{0,5} (-0,86031 + 0,23154Epi + 0,08193T9)$	0,817
38	$ETm = IAF^{0,5} (-0,85701 + 0,42725Epi + 0,08391Tmin)$	0,802

*Modelos gerados com os dados dos dias com todos os coeficientes angulares são significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro; R² = coeficiente de determinação; *Epi* = evaporação no evaporímetro de Piche (mm); *AP* = altura de plantas (m); *IAF* = índice de área foliar; *NF* = número de folhas; *D9*, *D15* = déficit de saturação do ar interno (hPa) das 9 e 15 horas respectivamente; *Tm*, *Tmin*, *Tmax* = temperatura média, mínima e máxima do ar (°C), respectivamente; *T9*, *T15* = temperatura do ar das 9 e 15 h (°C) respectivamente;

Tabela 8 - Avaliação dos modelos de regressão para estimativa da *ETm* do tomate cultivado em estufa plástica na primavera em 2005, através da regressão entre valores observados e estimados pelos modelos. Santa Maria, RS. (Utilizando os DAT ímpares da série de dados).

Nº	RMSE	r ²	r	d	c	Desempenho*
1	0,3804	0,863	0,913	0,959	0,876	O
2	0,3953	0,852	0,907	0,957	0,868	O
3	0,4712	0,837	0,919	0,936	0,860	O
4	0,3829	0,860	0,911	0,959	0,874	O
5	0,3911	0,850	0,906	0,957	0,867	O
6	0,3815	0,818	0,828	0,946	0,783	MB
7	0,3799	0,860	0,911	0,958	0,873	O
8	0,3965	0,847	0,904	0,955	0,864	O
9	0,3831	0,845	0,903	0,957	0,864	O
10	0,4766	0,851	0,906	0,936	0,849	MB
11	0,4663	0,839	0,920	0,936	0,861	O
12	0,4765	0,828	0,914	0,933	0,853	O
13	0,4689	0,786	0,826	0,914	0,755	MB
14	0,4063	0,845	0,903	0,955	0,862	O
15	0,4574	0,849	0,925	0,939	0,868	O
16	0,3846	0,809	0,823	0,944	0,777	MB
17	0,3942	0,843	0,902	0,955	0,862	O
18	0,4535	0,817	0,888	0,943	0,838	MB
19	0,4577	0,834	0,917	0,937	0,859	O
20	0,4770	0,826	0,913	0,933	0,852	O
21	0,4000	0,839	0,900	0,954	0,859	O
22	0,3739	0,825	0,831	0,948	0,788	MB
23	0,4654	0,791	0,829	0,915	0,758	MB
24	0,3487	0,871	0,889	0,961	0,855	O
25	0,4514	0,809	0,838	0,921	0,771	MB
26	0,3446	0,872	0,889	0,961	0,855	O
27	0,3495	0,869	0,888	0,960	0,852	O
28	0,4372	0,852	0,898	0,936	0,841	MB
29	0,3740	0,819	0,828	0,947	0,784	MB
30	0,4378	0,849	0,896	0,935	0,838	MB
31	0,4476	0,840	0,891	0,933	0,831	MB
32	0,4488	0,836	0,889	0,931	0,828	MB
33	0,3539	0,868	0,888	0,960	0,852	O
34	0,3471	0,867	0,887	0,961	0,852	O
35	0,3414	0,869	0,888	0,961	0,853	O
36	0,4648	0,814	0,878	0,927	0,814	MB
37	0,3653	0,846	0,876	0,956	0,837	MB
38	0,4898	0,781	0,860	0,917	0,789	MB

* Desempenho conforme CAMARGO & SENTELHAS (1997).

Obs: RMSE é a raiz do quadrado médio do erro, r² é o coeficiente de determinação da reta entre valores observados e estimados; r é o coeficiente de correlação; d é o coeficiente de Willmott e c o índice de confiança de Camargo & Sentelhas (1997).

5 CONCLUSÕES

É possível estimar a evapotranspiração máxima (ET_m) das culturas do pimentão e do tomate, com precisão aceitável para quantificar a água a ser irrigada diariamente em estufa plástica, através de modelos que incluem a evaporação medida no evaporímetro de Piche exposto à radiação solar (E_{pi}) e de pelo menos uma variável fenométrica.

A utilização do “índice de área foliar” (IAF) resulta em maior estabilidade dos modelos de estimativa de ET_m do pimentão do que as variáveis fenométricas “número de folhas” (NF) e “altura de plantas” (AP).

A utilização da altura de planta, associada ou não a IAF ou a NF , em geral resulta em um desempenho intermediário ao proporcionado pelo IAF e NF , na estimativa de ET_m do pimentão.

Quando associado a IAF ou a AP , para o pimentão, a utilização de D_9 mostrou-se mais adequada do que D_{15} , principalmente nos dias mais frios e com previsão de geadas, em que estufa foi fechada antes das 15 horas para armazenar calor latente e sensível, o que alterou o valor de D_{15} em relação a média diária do déficit de saturação do ar, cujo efeito sobre a ET_m é mais real do que o valor pontual das 15 horas “ D_{15} ”.

A inclusão de uma variável meteorológica adicional, medida pontualmente, além de E_{pi} , em geral proporcionou uma pequena melhora no ajuste dos modelos de estimativa de ET_m do Pimentão aos dados e no desempenho dos modelos.

Para estimar a evapotranspiração máxima do tomateiro, deve ser dada preferência aos modelos que incluem a variável fenométrica “altura de planta” (AP).

A inclusão do déficit de saturação medido às 9 horas (D_9) melhora a estimativa de ET_m do tomateiro efetuada com a utilização de modelos que incluem também a E_{pi} como variável independente, qualquer que seja a variável fenométrica utilizada (AP ou NF ou IAF).

Considerando uma situação especial em que o produtor só dispõe de um termômetro de máxima e de mínima, também é possível estimar a ET_m do pimentão com a amplitude térmica diária (AT) e a temperatura das 9 horas, observada no menisco de

álcool do termômetro de mínima nesse horário, com a inclusão da *AP* ou *NF* como variável fenométrica.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALPI, A.; TOGNONI, F. **El cultivo en invernadero**. Lisboa, Ed. Presença, 1984. 196 p.

ANDRIOLO, J. L. et al. Influência da proteção ambiental com estufa de polietileno transparente sobre o crescimento e desenvolvimento do pimentão. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, v.21, n.2, p.191-204, 1991.

ANDRIOLO, J. L.; POERSCHKE, P. R. C. **Cultivo de tomateiro em substrato**. Santa Maria: UFSM – Centro de Ciências Rurais, 1997. 12 p. (Informe Técnico; n. 2).

ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas energéticas com a atmosfera: Introdução ao tratamento biofísico**. Piracicaba. Ed. do Autor: 268 p. 2002.

BARROS et al. **Sistema hidropônico com subirrigação para produção de hortaliças folhosas**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2006. (Informe Técnico; n. 7)

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 4. ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1989. 488 p.

BLANCO, F. F. ; FOLEGATTI, M. V. Evaluation of evaporation-measuring equipments for estimating evapotranspiration within a greenhouse. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**. v.8, n.2-3, p.184-188, 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973. 431 p. DNPEA. (Boletim Técnico; n. 30)

BUGALHO SEMEDO, C. M. **A intensificação da produção hortícola**. Portugal: Europa-América, 1978, 191 p.

BURIOL, G. A. et al. Análise das temperaturas mínimas do ar registradas em Santa Maria – RS. III – Caracterização do comportamento das temperaturas mínimas diárias do ar ao longo do ano. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, v.19, n. 112, p.93-111, 1989.

BURIOL, G. A. et al. Insolação e radiação solar na região de Santa Maria, RS. II – Disponibilidade e Variabilidade. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, v.21, n. 2, p. 205-223, 1991.

BURIOL, G.A. et al. Modificação na temperatura mínima do ar causada por estufas de polietileno transparente de baixa densidade. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.1, p.43-49, 1993.

BURIOL, G. A. et al. Transmissividade a radiação solar do polietileno de baixa densidade utilizado em estufa. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, v.25, n.1, p.1-4, 1995.

BURIOL, G. A. et al. Modificação da umidade relativa do ar pelo uso e manejo da estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 8, n.1, p.11-18, 2000.

BURIOL, G.A. et al. Evaporação d'água em estufas plásticas e sua relação com o ambiente externo: 2 – avaliação do uso do tanque classe A e do evaporímetro de Piche. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.1, p. 35-41, 2001.

BURIOL, G. A. et al. Disponibilidade de radiação solar para hortaliças cultivadas em ambiente protegido no período invernal no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 1, p. 21-26, 2005.

CAIXETA, T. J. Irrigação nas culturas de pimentão e pimenta. **Informe Agropecuário**, v.10, n.113, p.35-37, 1984.

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**, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CARLESSO, R., ZIMMERMAN, F. L. **Água no solo**: Parâmetros para dimensionamento de sistemas de irrigação. Santa Maria: UFSM – Centro de Ciências Rurais, 2000. 88 p. (Caderno didático; n. 3).

CARON, B.O. **Consumo d'água e coeficiente de cultura do meloeiro cultivado em estufa plástica**. 1999. 71 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade

Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1999.

CARON, B. O. & HELDWEIN, A. B. Consumo d'água e coeficiente de cultura para o meloeiro cultivado em estufa plástica na primavera. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.8, n.1, p.19-25, 2000.

CASALI, V. W. D., COUTO, F. A. A. Origem e botânica de *Capsicum*. **Informe Agropecuário**, v.10, n.113, p.8-11, 1984.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO RS E SC. **Recomendação de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Passo Fundo: SBCS/EMBRAPA-CNPT, 2004.

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

DALMAGO, G. A. **Evapotranspiração máxima e coeficiente da cultura do pimentão em estufa plástica**. 2001. 165 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

DALMAGO, G.A. et al. Avaliação de métodos para determinação da evapotranspiração máxima da cultura do pimentão em estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.2, p.201-211, 2001.

DALMAGO, G.A. et al. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura do pimentão em estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.11, n.1, p.33-41, 2003.

DALSASSO, L.C.M., et al. Consumo d'água do tomateiro tipo salada em estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, 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**, v.35, p.123-129, 1972.

DILLEY, A. C., HELMOND, I. The estimation of net radiation and potential evapotranspiration using atmometer measurements. **Agricultural Meteorology**, v.12 p.1-11, 1973.

ESTEFANEL, V. et al. Insolação e radiação solar de Santa Maria, RS: I – Estimativa da radiação solar global incidente a partir dos dados de insolação. **Revista Centro de Ciências Rurais**, v.20, n.3-4, p.203-218, 1990.

FARIAS, J. R. B., BERGAMASCHI, H., MARTINS, S. R., et al. Efeito da Cobertura plástica de estufa sobre a radiação solar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.1, n.1, p.31-36, 1993.

FARIAS, J.R.B. et al. Evapotranspiração no interior de estufas plásticas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.2, n.1, p.17-22, 1994.

FERRI, M. G. **Fisiologia Vegetal**, São Paulo: EPU; Ed. Da Universidade de São Paulo, 1979, 350 p. v.1.

GALVANI, E. et al. Parâmetros meteorológicos em cultura de alface (*Lactuca sativa* L) cultivada em casas de vegetação com orientação leste-oeste, norte-sul e condições externas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v.6, n.2, p. 157-163, 1998.

GONZALES, A.M. Ahorro energetico y materiales de cobertura para cultivos horticolas. **In: CURSO INTERNACIONAL DE HORTICULTURA INTENSIVA (COMESTIBLE Y ORNAMENTAL) EN CLIMAS ARIDOS**, 4., 1985. Murcia, Apostilas... Murcia: Ministerio de Agricultura, Instituto Nacional de Investigaciones Agrárias, p.1985. v.2

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**, v.9, n.1, p.43-49, 2001a.

HELDWEIN, A.B. et al. Utilização do evaporímetro de Piche exposto a radiação solar para estimar a evapotranspiração máxima do pimentão em estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.2, p.213-217, 2001b.

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

JOLLIET, O., BAILEY, B.J. The effect of climate on tomato transpiration in greenhouses: measurements and models comparasion. **Agricultural and Forest Meteorology**. v.58, p.43-62, 1992.

KURATA ,K. Role of reflection in light transmissivity of greenhouses. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.52, p.319-331, 1990.

MARTINEZ GARCIA,P.F. **Características climáticas de los invernaderos de plástico**. Madrid: INIA,1978. 43 p. (Hoja Técnica; n. 19)

MARTINS, G. **Uso de casa de vegetação com cobertura plástica na tomaticultura de verão**. 1992. 65 f. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 1992.

MONTERO,J.I., et al. Climate under plastic in the Almeria. **Acta Horticulturae**, v.170, p.227-234,1985.

MENEZES Jr. et al. Estimativa de evapotranspiração em ambiente protegido mediante a utilização de diferentes evaporímetros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEORO-LOGIA 11., 1999, Florianópolis. **Anais...**, Florianópolis. Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1999. 1 CD ROM.

MORENO J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, 1961. 46 p.

NIED, A. H., et al. Informe preliminar sobre dois métodos de determinação do consumo d'água pelo tomateiro cultivado em estufa plástica. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA e VII FEIRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 10., 1998, Porto Alegre. **Livro de Resumos...**, Porto Alegre, UFRGS/PROPESQ, 1998. 503 p. p.106.

OLIVEIRA, M.R.V. O emprego de casas de vegetação no Brasil: Vantagens e desvantagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, n.8, p.1049-60, 1995.

PEREIRA, A. R.; NOVA, N. A. V.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(trans)ração**. Piracicaba: ESALQ, 1997.183 p.

POERSCHKE, P. R. **Comportamento do tomateiro sob diferentes sistemas de poda, em estufa de polietileno**. 1995. 71 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1995.

PRADOS, N. C. **Contribución al estudio de los cultivos enarenados en Almeria: necesidades hídricas y extracción del nutrientes del cultivo de tomate de crecimiento indeterminado en abrigo de polietileno**. 1986.1950 p. Tesis (Doutorado em Fitotecnia), Caja Rural Principal, Almeria, 1986.

REISSER Jr., C. **Evapotranspiração da alface (*Lactuca sativa* L.) em estufa plástica e ambiente natural**. 1991. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1991.

RIGHI, E. Z. **Consumo hídrico do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado em estufa plástica e sua relação com variáveis meteorológicas em Santa Maria, RS**. 2000. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz , Piracicaba, 2000.

RIGHI, E. Z., et al. Transpiração do tomateiro cultivado em estufa plástica e suas relações com a radiação solar e déficit de saturação do ar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.10, n.1, p.9-18, 2002.

ROSEMBERG, N.J. **Microclimate: the biological environment**. New York: John Willey, 1974. 315 p.

ROBLEDO, F.P., MARTIN, L.V. **Aplicación de los plásticos en la agricultura**. Madrid: Mundi-Prensa, 1981. 552 p.

ROSENBERG,N.J; MCKENNEY,M.S.; MARTIN,P. Evapotranspiration in a greenhouse-warmed world: a review and a simulation. **Agricultural and Forest Meteorology**. v.47, p.303-320, 1989.

SANTOS, R. F., et al. Comportamento de altura de dois híbridos de pimentão cultivado na estufa e à campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 11., 1999, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1999. 1 CD ROM.

SCHMIDT, D. et al. Potencial produtivo de tomate cultivado com alta densidade em hidroponia. **Horticultura Brasileira**, v.18, p.273-274, 2000. Suplemento.

SCHNEIDER et al. Modificação na temperatura do solo causada por estufas de polietileno de baixa densidade em Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.1, n.1, p.37-42, 1993a.

SCHNEIDER, F.M. et al. Modificações físicas causadas pela solarização do solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.1, n.1, p.149-157, 1993b.

SEEMAN, J. Greenhouse climate. In: SEEMAN, J. et al., **Agrometeorology**. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 1979. p.165-178.

STANGHELLINI, G. Crop transpiration: a greenhouse climate control parameter. **Acta Horticulturae**, v.245, p.384-388, 1989.

STRECK, N. A et al. Estimativa da área foliar do tomateiro (*Lycopersicon esculentum*) híbrido Monte Carlo a partir do comprimento e largura da folha. In: JORNADA INTEGRADA DE PESQUISA, EXTENSÃO E ENSINO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, 4., 1997, Santa Maria, **Anais...** Santa Maria: Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da UFSM, 1997.

STRECK, N.A., et al. Danos físicos em estufas plásticas causados pelo vento em Santa Maria RS. **Ciência Rural**, v. 28, n. 1, p. 137-139,1998.

STRECK, L. **Determinação e modelização da evapotranspiração máxima e do coeficiente de cultura da abóbora italiana em estufa plástica**. Santa Maria, RS, 2002. 92 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

STRECK, L. et al. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura da abóbora italiana em estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.11, n.1, p.43-52, 2003.

TAIZ, L. ; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. California: Benjamin/Cummings, Redwood, 1991. 559 p.

TAIZ, L. ; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3 ed. Porto Alegre. ARTMED 2004. 719 p.

TANAKA, M. ; GENTA, H. **Control del medio ambiente bajo invernadero y tunel plastico**. Salto: Uruguay: Estación Experimental de Citricultura, 1982. 61 p.

TAZZO, I. F. et al. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura para o pimentão cultivado em estufa plástica na primavera. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, RS, v.12, n.2, p. 275-281, 2004.

VALANDRO, J., et al. Dispositivo lisimétrico simples para determinar a transpiração das hortaliças cultivadas fora do solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, n.2, p.189-193, 1999.

VALANDRO, J. et al. Transpiração do tomateiro cultivado fora do solo em estufa plástica e sua relação com os elementos meteorológicos. **Ciência Rural**, (Aprovado para publicação: v. 37, 2007)

VILLA NOVA, N. A., et al. Evapotranspiração máxima do feijoeiro, cv. Goiano Precoce, em função do índice de área foliar e da evaporação do tanque classe A. **Publicatio-Universidade Estadual de Ponta Grossa**, v.9, n.2, p.41- 45, 2003.

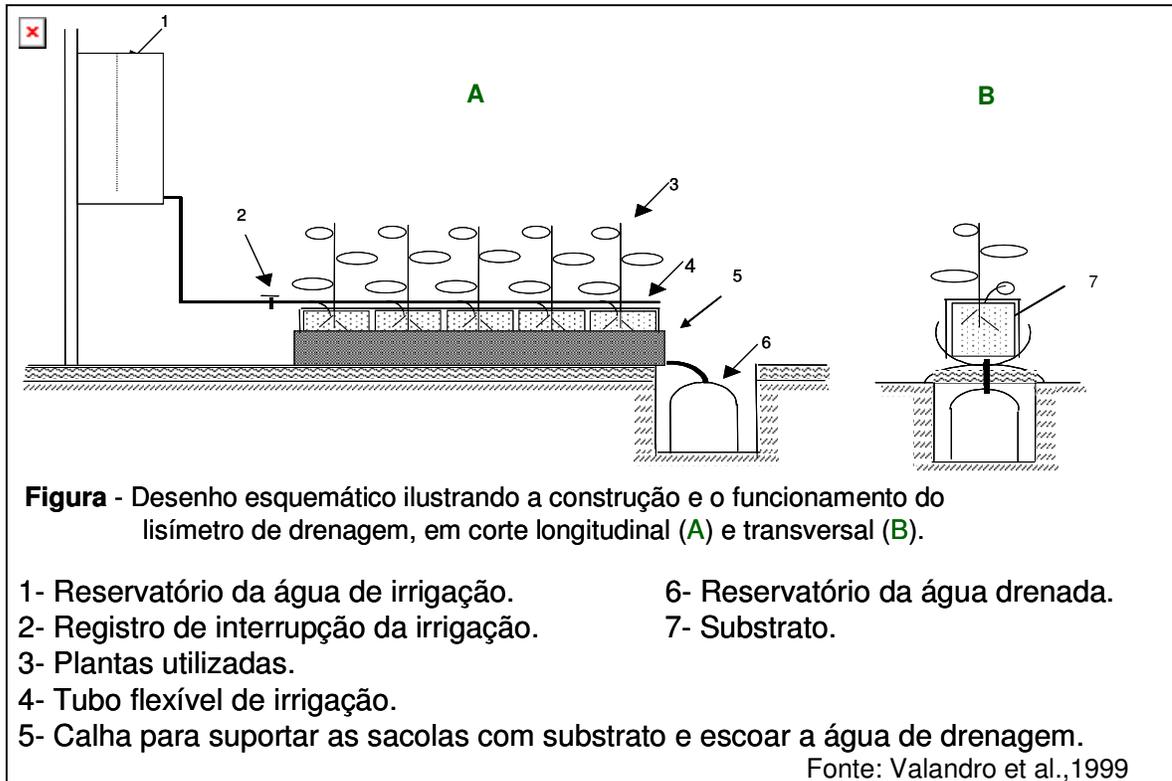
WILLMOTT, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. **American Meteorological Society**, v.3, n.11, p.1309-1313, 1982.

YUAN, B. Z. et al. Effect of Drip Irrigation on Strawberry Growth and Yield inside a Plastic Greenhouse. **Biosystems Engineering**. v.87, n.2, p.237–245, 2004.

ZHANG L. & LEMEUR R. Effect of aerodynamic resistance on energy balance and Penman-Monteith estimates of evapotranspiration in greenhouse conditions. In: **Agricultural and Forest Meteorology**, v.58, p.209 -228, 1992.

7. ANEXOS

ANEXO A



ANEXO B

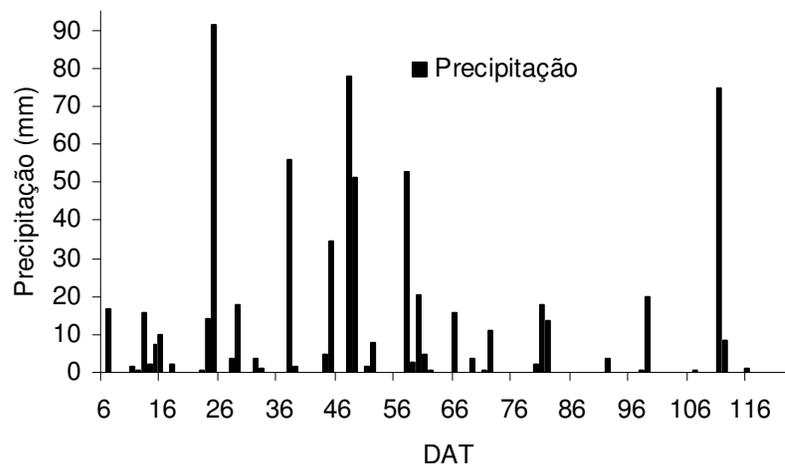


Figura - Precipitação diária (mm) medida na Estação Meteorológica em função dos dias após o transplante (DAT) da cultura do pimentão, Santa Maria, RS, 2005.

ANEXO C

Tabela - Modelos de regressão para estimativa da *ETm* do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera em 2005. Santa Maria, RS. (Utilizando os DAT pares da série de dados)

Nº	Modelos de regressão	R ²
1	$ETm = -0,56428 + 0,01935AP + 0,12319 Epi + 0,05825 D9$	0,89
2	$ETm = -0,30570 + 0,74048IAF + 0,12881 Epi + 0,05333D9$	0,88
3	$ETm = -0,35920 + 0,01094NF + 0,13296Epi + 0,05263D9$	0,88
4	$ETm = -0,58019 + 0,02046AP + 0,12172 Epi + 0,019662D15$	0,88
5	$ETm = -0,87863 + 0,00930NF + 0,15768Epi + 0,03578T9$	0,88
6	$ETm = -0,30689 + 0,78602IAF + 0,12408Epi + 0,01830D15$	0,87
7	$ETm = -0,79003 + 0,73079IAF + 0,16280Epi + 0,03278T9$	0,87
8	$ETm = -0,36500 + 0,01151NF + 0,14040Epi + 0,01593D15$	0,87
9	$ETm = -0,88473 + 0,00948NF + 0,18908Epi + 0,03267Tm$	0,87
10	$ETm = -0,99128 + 0,01633AP + 0,17007Epi + 0,03155T9$	0,87
11	$ETm = -0,82712 + 0,64157IAF + 0,18786Epi + 0,03195Tm$	0,87
12	$ETm = -0,70747 + 0,72543IAF + 0,16129Epi + 0,02070T15$	0,87
13	$ETm = -0,76905 + 0,00929NF + 0,23875Epi + 0,02907Tmin$	0,87
14	$ETm = -0,72859 + 0,62625IAF + 0,23665Epi + 0,02942Tmin$	0,87
15	$ETm = -0,38677 + 0,01186NF + 0,21404Epi$	0,87
16	$ETm = -0,81522 + 0,01080NF + 0,16576Epi + 0,02112Tmax$	0,87
17	$ETm = -0,76873 + 0,72967IAF + 0,16229Epi + 0,02142Tmax$	0,86
18	$ETm = -0,75981 + 0,01074NF + 0,16389Epi + 0,02070T15$	0,86
19	$ETm = -0,93412 + 0,01623AP + 0,24092Epi + 0,02854Tmin$	0,86
20	$ETm = -0,60674 + 0,02071AP + 0,21664Epi$	0,86
21	$ETm = -0,32894 + 0,80186IAF + 0,21113Epi$	0,86
22	$ETm = IAF^{0,5}(-0,54918 + 0,00643AP + 0,24586Epi + 0,03155Tmin)$	0,82
23	$ETm = IAF^{0,5}(-0,16831 + 0,01120AP + 0,15100Epi + 0,01406D15)$	0,82
24	$ETm = IAF^{0,5}(-0,51326 + 0,00492NF + 0,1737Epi + 0,02227Tmax)$	0,80
25	$ETm = IAF^{0,5}(-0,18734 + 0,01139AP + 0,21902Epi)$	0,80

*Todos os coeficientes angulares são significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro. R²= coeficiente de determinação do teste, *Epi*= evaporação no evaporímetro de Piche em mm; *AP*= altura de plantas; *IAF*= índice de área foliar; *NF*= número de folhas; *D9*, *D15*= déficit de saturação do ar interno (hPa) das 9 e 15 horas respectivamente; *Tm*, *Tmin*, *Tmax*= temperatura média, mínima e máxima do ar (°C) respectivamente; *T9*, *T15*= temperatura do ar das 9 e 15 horas (°C) respectivamente;

ANEXO D

Tabela - Avaliação dos modelos de regressão para estimativa da *ETm* do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera em 2005, através da regressão entre valores observados e estimados pelos modelos. Santa Maria, RS. (Utilizando os DAT ímpares da série de dados).

Nº	RMSE	r^2	r	d	c	Desempenho*
1	0,20126	0,93	0,95	0,98	0,93	O
2	0,19719	0,94	0,95	0,98	0,93	O
3	0,20560	0,93	0,95	0,98	0,93	O
4	0,21912	0,92	0,95	0,98	0,92	O
5	0,23095	0,91	0,94	0,97	0,91	O
6	0,21218	0,93	0,95	0,98	0,93	O
7	0,22133	0,91	0,94	0,98	0,92	O
8	0,22021	0,92	0,94	0,98	0,92	O
9	0,23257	0,91	0,94	0,97	0,91	O
10	0,24460	0,9	0,93	0,97	0,9	O
11	0,23176	0,91	0,94	0,97	0,91	O
12	0,23093	0,91	0,94	0,97	0,91	O
13	0,24600	0,9	0,93	0,97	0,9	O
14	0,24476	0,9	0,93	0,97	0,9	O
15	0,24010	0,9	0,93	0,97	0,91	O
16	0,23752	0,91	0,94	0,97	0,91	O
17	0,23662	0,91	0,94	0,97	0,91	O
18	0,23225	0,91	0,94	0,97	0,91	O
19	0,25345	0,89	0,93	0,97	0,9	O
20	0,23956	0,9	0,94	0,97	0,91	O
21	0,15702	0,96	0,97	0,99	0,95	O
22	0,18310	0,95	0,96	0,98	0,94	O
23	0,18724	0,94	0,95	0,98	0,94	O
24	0,18149	0,95	0,96	0,98	0,94	O
25	0,18022	0,95	0,96	0,98	0,94	O

* Desempenho conforme CAMARGO & SENTELHAS (1997).

Obs: RMSE é a raiz do quadrado médio do erro, r^2 é o coeficiente de determinação da reta entre valores observados e estimados; r é o coeficiente de correlação; d é o coeficiente de Willmott e c índice de confiança de Camargo & Sentelhas (1997).