

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

**MODELAGEM DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA
PARA AS CULTURAS DO PIMENTÃO E DO
TOMATEIRO EM ESTUFA PLÁSTICA NA
PRIMAVERA**

TESE DE DOUTORADO

Ivonete Fátima Tazzo

Santa Maria, RS – Brasil

2008

MODELAGEM DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA PARA AS CULTURAS DO PIMENTÃO E DO TOMATEIRO EM ESTUFA PLÁSTICA NA PRIMAVERA

por

Ivonete Fátima Tazzo

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Área de Concentração em Produção Vegetal, do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria (RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de
DOUTOR EM AGRONOMIA.

Orientador: Prof. Arno Bernardo Heldwein

**Santa Maria - RS, Brasil
2008**

Tazzo, Ivonete Fátima

T348m

Modelagem da evapotranspiração máxima para as culturas do pimentão e do tomateiro em estufa plástica na primavera / por Ivonete Fátima Tazzo ; orientador Arno Bernardo Heldwein. – Santa Maria, 2008.

185 f. ; il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, RS, 2008.

1. Agronomia 2. Consumo hídrico 3. *Capsicum annuum*
4. *Lycopersicon esculentum* 5. Modelos 6. Primavera I.
Heldwein, Arno Bernardo, orient. II. Título

CDU: 631.589

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 Tese de Doutorado

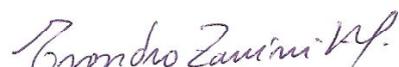
**MODELAGEM DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA
PARA AS CULTURAS DO PIMENTÃO E DO
TOMATEIRO EM ESTUFA PLÁSTICA NA
PRIMAVERA**

Elaborada por
IVONETE FÁTIMA TAZZO

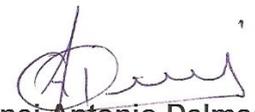
Como requisito parcial para obtenção do grau de
DOUTOR EM AGRONOMIA

COMISSÃO EXAMINADORA


Arno Bernardo Helgwein, Prof. Dr.
(Presidente/Orientador)


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


Nereu Augusto Streck, Prof. PhD.
(UFSM)


Genei Antonio Dalmago, Dr.
(EMBRAPA-Passo Fundo/RS)


**Sandro Luis Petter Medeiros, Prof.
Dr. (UFSM)**

Santa Maria, 12 de Setembro de 2008

À minha família, principalmente aos meus
pais José e Lúcia Tazzo.

Exemplos de amor e carinho

Pelo incentivo hoje e sempre

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Deus que guia cada passo de minha vida.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Centro de Ciências Rurais pelos conhecimentos adquiridos durante a minha formação acadêmica e de Pós-Graduação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia e ao CNPq pela concessão de bolsa e pela possibilidade de realização do Curso de Doutorado.

Ao Prof. Arno Bernardo Heldwein, agradeço pela orientação, pelo apoio, amizade e pelos conhecimentos transmitidos.

Ao Prof. Galileo Adeli Buriol, pela sua colaboração e exemplo.

Ao Prof. Nereu Augusto Streck pelo apoio e amizade.

Aos meus pais José e Lúcia Tazzo pelo exemplo de vida, pelo amor, dedicação e apoio incondicional em todos os momentos de minha vida.

As minhas irmãs Izonete e Eliane e ao meu irmão Claudécir pela dedicação e amizade.

Aos meus amigos: Elis, Jana, Janaina, Lenise, Ivana, Marciano, Luciano, Gustavo, Edenir, Leosane, Carina e Joel pelo companheirismo, convivência e pela amizade.

Aos bolsistas e colegas do Setor de Climatologia pela ajuda nos trabalhos realizados.

A todos os professores da Universidade Federal de Santa Maria que contribuíram para a minha formação.

A todos que de alguma forma, colaboraram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

*“Pensamos demasiadamente
Sentimos muito pouco
Necessitamos mais de humildade
Que de máquinas.
Mais de bondade e ternura
Que de inteligência.
Sem isso,
A vida se tornará violenta e
Tudo se perderá.”*

Charles Chaplin

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

MODELAGEM DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA PARA AS CULTURAS DO PIMENTÃO E DO TOMATEIRO EM ESTUFA PLÁSTICA NA PRIMAVERA

AUTORA: Ivonete Fátima Tazzo

ORIENTADOR: Arno Bernardo Heldwein

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 12 de Setembro de 2008.

O cultivo em ambiente protegido é utilizado na região Sul do Brasil, com o intuito de aumentar a produtividade e a qualidade de olerícolas e principalmente para diminuir a sazonalidade de produção, devido a uma estação fria. O pimentão é uma alternativa de rotação de culturas economicamente viável para o cultivo em estufas, devido à sua adaptação e o tomateiro é a olerícola mais cultivada nesses ambientes no Brasil. O cultivo na primavera no interior de estufas é usado para aproveitar a estrutura já montada e da área, pois a maioria das propriedades é de pequeno porte. Além disso, a grande vantagem é a qualidade e a precocidade das culturas nesses ambientes. Para se atingir esses objetivos é necessária a irrigação para atender a demanda hídrica das culturas e dessa forma atingir o potencial produtivo. A irrigação inadequada, em excesso e ou por escassez, além de comprometer o rendimento da cultura pode causar problemas de doenças e ao ambiente devido à lixiviação de íons, principalmente, de nitratos. Com o objetivo de gerar, testar e avaliar modelos de regressão para determinar a evapotranspiração máxima em função de variáveis meteorológicas e fenométricas das culturas do tomateiro e do pimentão cultivados em estufa plástica na primavera, foi realizado um experimento na primavera de 2005 e um na primavera de 2006, em uma estufa plástica do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria. A evapotranspiração máxima (ET_m) do

pimentão (*Capsicum annuum* L) e do Tomateiro (*Lycopersicon esculentum*, Mill), foi determinada com 3 lisímetros de drenagem com substrato para cada cultura, sendo a ETm (em mm) obtida pela diferença entre a água irrigada e drenada. Os modelos de regressão para a estimativa da ETm foram gerados utilizando o banco de dados experimentais obtidos na primavera de 2005, sendo selecionados apenas os que apresentaram parâmetros angulares significativos pelo teste t ($p < 0,05$) e coeficiente de determinação (R^2) maior do que 0,60. Os testes dos modelos de estimativa da ETm selecionados foram efetuados com os dados experimentais obtidos na primavera de 2006, para o que se utilizaram os valores das estatísticas: raiz do quadrado médio do erro (RMSE), coeficientes de determinação (R^2), de correlação (r), de exatidão ou concordância (d) e de confiança (c). A análise do desempenho dos modelos foi realizada através dos valores do coeficiente de confiança e do “somatório dos valores das posições ordinais” das estatísticas de avaliação (ΣPO). Verificou-se que o índice de área foliar e a altura de plantas são as variáveis fenométricas que propiciam melhor desempenho dos modelos de estimativa da ETm do pimentão e do tomateiro cultivados em estufa na primavera. Os modelos que incluem a divisão da ETm do pimentão e do tomateiro pela raiz quadrada do índice de área foliar mostram desempenho classificado como Bom quando testados, embora na sua geração nem sempre sejam os melhores. O déficit de saturação do ar e a radiação solar global incidente no interior da estufa, e o déficit de saturação do ar, a radiação solar global, o saldo de radiação e a evapotranspiração de referência no exterior da estufa, são as variáveis meteorológicas que apresentaram os melhores resultados na estimativa da ETm do pimentão e do tomateiro cultivados na primavera em estufa plástica.

Palavras chave: Consumo hídrico, *Capsicum annuum*, *Lycopersicon esculentum*, modelos, primavera.

ABSTRACT

Doctoral Thesis
Graduate Program in Agronomy
Federal University of Santa Maria

MODELS OF THE MAXIMUM EVAPOTRANSPIRATION IN PLASTIC GREENHOUSE FOR SWEET PEPPER AND TOMATO DURING THE SPRING

AUTHOR: Ivonete Fátima Tazzo
ADVISER: Arno Bernardo Heldwein
Local and date of defense: Santa Maria, 12 de Setembro de 2008.

Growing crops in protected environment aiming to increase productivity and quality of vegetables is commonly used in Southern Brazil, mainly to reduce the seasonality of production caused by a winter cold season. Sweet pepper is an alternative profitable crop to rotate with other crops inside greenhouse, because of their adaptation and tomato is the most cultivated crop in these environments in Brazil. The cultivation during the Spring inside plastic greenhouses is used to take advantage of a previous area and structure already assembled, as most growers are small farmers. Moreover, an important advantage is the quality and earliness of crops grown in these environments. In order to achieve these goals and reach the potential yield, water demand has to be met through irrigation. An inadequate irrigation, both surplus and shortage, may not only decrease yield, but also may lead to diseases and leaching of ions, mainly nitrates. Aiming to develop, test and evaluate regression models to calculate maximum evapotranspiration based upon meteorological and crop variables for sweet pepper (*Capsicum annuum* L) and tomato (*Lycopersicon esculentum*, Mill) grown in plastic greenhouse during the Spring, an experiment was conducted during the Spring of the 2005 and during of the 2006, in a plastic greenhouse in the Crop Production Department of the Federal University of Santa Maria. Maximum evapotranspiration (ET_m) of sweet pepper and tomato was determined with three drainage lysimeters filled with substrate for each crop. The ET_m (in mm) was

obtained from the difference between irrigated and drained water. Regression models to estimate the ET_m were generated using the experimental data measured during the Spring of 2005, being selected only those with the slope parameters significant by the t test ($p < 0.05$) and with coefficient of determination (R^2) greater than 0.60. The performance of the selected models was evaluated using the experimental data collected during the Spring 2006. Statistics used for models evaluation were: mean square root error (RMSE), coefficient of determination (R^2), coefficient of correlation (r), coefficient of accuracy or agreement (d) and coefficient of confidence (c) and models were ranked based upon the coefficient of confidence and the "sum of the values of the ordinary positions" of all the statistics (åPO). Results showed that leaf area index and plant height are the crop variables that result in the best performance of the model to estimate ET_m of sweet pepper and tomato grown in greenhouses during the Spring. Models that consider ET_m divided by the root square of leaf area index showed good performance, although in their generation they were not always the best ones. Air vapor pressure deficit and incoming solar radiation measured inside greenhouses, and air vapor pressure deficit, incoming solar radiation, net radiation and reference evapotranspiration measured outside the greenhouse, are the meteorological variables that presented the best ET_m estimation for sweet pepper and tomato grown in plastic greenhouse during the spring.

Key words: water use, *Capsicum annuum*, *Lycopersicon esculentum*, models, spring.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Croqui de distribuição das culturas dentro da estufa plástica. Santa Maria, RS, 2005 e 2006.....	40
FIGURA 2. Evapotranspiração máxima (ET _m) e índice de área foliar (IAF) (a, b), altura de plantas (AP) (c, d) e número de folhas (NF) (e, f) do pimentão cultivado em estufa plástica, em função dos dias após o transplante (DAT) nas primaveras de 2005 (a, c, e) e 2006 (b, d, f) em Santa Maria, RS.	52
FIGURA 3. Evapotranspiração máxima (ET _m) do pimentão cultivado em estufa plástica, em função do índice de área foliar (IAF) (a, b), da altura de plantas (AP) (c, d) e do número de folhas (NF) (e, f) na primavera de 2005 (a, c, e) e 2006 (b, d, f) em Santa Maria, RS.	54
FIGURA 4. Evapotranspiração máxima (ET _m) do pimentão cultivado em estufa plástica, em função da radiação solar global interna (R _{g_i}) (a, b) e da radiação solar global externa (R _{g_e}) (c, d), na primavera de 2005 (a, c) e 2006 (b, d), em Santa Maria, RS.....	56
FIGURA 5. Evapotranspiração máxima (ET _m) do pimentão cultivado em estufa plástica, em função da radiação solar global interna (R _{g_i}) (a, b) e da radiação solar global externa (R _{g_e}) (c, d), em duas faixas de IAF, na primavera de 2005 (a, c) e 2006 (b, d), em Santa Maria, RS.	57
FIGURA 6. Evapotranspiração máxima (ET _m) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera de 2005 (a) e 2006 (b) em função do saldo de radiação externo a estufa plástica (R _{n_e}), em Santa Maria, RS.	58

FIGURA 7. Evapotranspiração máxima (ETm) do pimentão cultivado em estufa plástica, em função da temperatura média do ar interna (t_{mi}) (a, b) e da temperatura média do ar externa (t_{me}) (c, d), na primavera de 2005 (a, c) e 2006 (b, d), em Santa Maria, RS.....	59
FIGURA 8. Evapotranspiração máxima (ETm) em função do déficit de saturação do ar no ambiente interno (d_i) (a e c) e no ambiente externo (d_e) (c e d), do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera de 2005 (a, c) e 2006 (b, d), em Santa Maria, RS.....	61
FIGURA 9. Transpiração da cultura do pimentão em função do evaporímetro de Piche (a) e da relação do evaporímetro de Piche e a resistência estomática, medida no porômetro nos dias 10, 11 e 12/11. Santa Maria, RS, 2006.....	63
FIGURA 10. Resistência estomática da cultura do pimentão ($s\ m^{-1}$) em função da radiação solar (R_g , em $MJ\ m^{-2}\ h^{-1}$) (a), da temperatura do ar (t em $^{\circ}C$) (b), da umidade relativa do ar (UR em %) (c) e do déficit de saturação do ar (d em hPa) (d), medida no porômetro das 07:00 às 20:00 horas, nos dias 10, 11 e 12/11. Santa Maria, RS, 2006.....	64
FIGURA 11. Evapotranspiração máxima do pimentão (ETm em mm, medida no minilímetro de pesagem), em função da radiação solar (R_g em $MJ\ m^{-2}$) (a), da temperatura (t em $^{\circ}C$) (b), da umidade relativa do ar (UR em %) (c) e do déficit de saturação do ar (d em hPa), medida na porômetro das 07:00 às 20:00 horas, nos dias 10, 11 e 12/11. Santa Maria, RS, 2006.....	65
FIGURA 12. Déficit de saturação do ar no ambiente interno (d_i) em função da radiação solar global interna (R_{g_i}), do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera de 2005 (a) e 2006 (b). Santa Maria, RS.....	72
FIGURA 13. Evapotranspiração máxima (ETm) e índice de área foliar (IAF) (a, b), altura de plantas (AP) (c, d) e número de folhas (NF) (e, f) em função dos dias após o transplante (DAT) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera de 2005 (a, c, e) e 2006 (b, d, f). Santa Maria, RS.....	111
FIGURA 14. Evapotranspiração máxima (ETm) do tomateiro cultivado em estufa plástica em função do índice de área foliar (IAF) (a, b), da altura de plantas (AP) (c,	

d) e do número de folhas (NF) (e, f) na primavera de 2005 (a, d, e) e de 2006 (b, d, f) em Santa Maria, RS. 113

FIGURA 15. Evapotranspiração máxima (ETm) do tomateiro cultivado em estufa plástica, em função da radiação solar global interna (R_{g_i}) (a, b) e da radiação solar global externa (R_{g_e}) (c, d), na primavera de 2005 (a, c) e 2006 (b, d), em Santa Maria, RS..... 115

FIGURA 16. Evapotranspiração máxima (ETm) do tomateiro cultivado em estufa plástica, em função da radiação solar global interna (R_{g_i}) (a, b) e da radiação solar global externa (R_{g_e}) (c, d), em duas classes de índice de área foliar (IAF), na primavera de 2005 (a, c) e 2006 (b, d), em Santa Maria, RS. 116

FIGURA 17. Evapotranspiração máxima (ETm) do tomateiro cultivado em estufa plástica, em função da radiação solar global interna (R_{g_i}) (a, b) e da radiação solar global externa (R_{g_e}) (c, d), para diferentes intervalos de temperatura média diária do ar no interior da estufa (t_{mi}) na primavera de 2005 (a, c) e 2006 (b, d), em Santa Maria, RS..... 119

FIGURA 18. Evapotranspiração máxima (ETm) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera em função do saldo de radiação medido no exterior da estufa (R_{n_e}), na primavera de 2005 (a) e 2006 (b), em Santa Maria, RS..... 119

FIGURA 19. Evapotranspiração máxima (ETm) do tomateiro cultivado em estufa plástica, em função da temperatura do ar interna (t_{mi}) (a, b) e da temperatura do ar externa (t_{me}) (c, d), na primavera de 2005 (a, c) e 2006 (b, d), em Santa Maria, RS. 121

FIGURA 20. Evapotranspiração máxima (ETm) do tomateiro cultivado em estufa plástica em função do déficit de saturação do ar no ambiente interno (d_i) (a, b) e no ambiente externo (d_e) (c, d), na primavera de 2005 (a, c) e 2006 (b, d), em Santa Maria, RS..... 122

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Quantidade de sais aplicados semanalmente na solução nutritiva para uma planta de tomate e pimentão dos lisímetros de drenagem. Santa Maria, RS – 2005 e 2006.....	41
TABELA 2. Coeficiente de confiança (c) e respectivos critérios utilizados para avaliar o desempenho dos modelos.....	47
TABELA 3. Somatório dos valores das posições ordinais (ΣPO) das estatísticas de avaliação de modelos de estimativa da evapotranspiração máxima do tomateiro e do pimentão em estufa plástica e respectivas classes e símbolos de desempenho dos modelos.	48
TABELA 4. Intervalos de valores utilizados para a geração dos modelos de estimativa da ETm das culturas do pimentão e do tomateiro cultivados em estufa plástica na primavera de 2005 e 2006. Santa Maria, RS.....	49
TABELA 5. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i). Santa Maria, RS, 2005.....	67
TABELA 6. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006.....	70
TABELA 7. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do índice de área foliar ($IAF^{0,5}$) do pimentão cultivado em estufa plástica	

na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i). Santa Maria, RS, 2005..... 72

TABELA 8. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do índice de área foliar ($IAF^{0,5}$) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006..... 74

TABELA 9. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do número de folhas ($NF^{0,5}$) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i). Santa Maria, RS, 2005..... 76

TABELA 10. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do número de folhas ($NF^{0,5}$) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006..... 79

TABELA 11. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada da altura de plantas ($AP^{0,5}$) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i). Santa Maria, RS, 2005..... 80

TABELA 12. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada da altura de plantas ($AP^{0,5}$) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006..... 83

TABELA 13. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima do pimentão (ETm) cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e). Santa Maria, RS, 2005..... 86

TABELA 14. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis

meteorológicas medidas no seu exterior (e), considerando a relação entre valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006.....	90
TABELA 15. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do índice de área foliar ($IAF^{0,5}$) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e). Santa Maria, RS, 2005.....	92
TABELA 16. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do índice de área foliar ($IAF^{0,5}$) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006.....	95
TABELA 17. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do número de folhas ($NF^{0,5}$) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e). Santa Maria, RS, 2005.....	97
TABELA 18. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do número de folhas ($NF^{0,5}$) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006.....	100
TABELA 19. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada da altura de plantas ($AP^{0,5}$) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e). Santa Maria, RS, 2005.....	102
TABELA 20. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada da altura de plantas ($AP^{0,5}$) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006.....	106

TABELA 21. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis medidas no seu interior (i). Santa Maria, RS, 2005.....	124
TABELA 22. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006.....	129
TABELA 23. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do índice de área foliar ($IAF^{0,5}$) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i). Santa Maria, RS, 2005.....	131
TABELA 24. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do índice de área foliar ($IAF^{0,5}$) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006.....	134
TABELA 25. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do número de folhas ($NF^{0,5}$) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i). Santa Maria, RS, 2005.....	137
TABELA 26. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do número de folhas ($NF^{0,5}$) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006.....	140
TABELA 27. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada da altura de plantas ($AP^{0,5}$) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i). Santa Maria, RS, 2005.....	142

TABELA 28. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada da altura de plantas ($AP^{0,5}$) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006.....	144
TABELA 29. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e). Santa Maria, RS, 2005.....	147
TABELA 30. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006.....	149
TABELA 31. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do índice de área foliar ($IAF^{0,5}$) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e). Santa Maria, RS, 2005.....	151
TABELA 32. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrado do índice de área foliar ($IAF^{0,5}$) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006.....	154
TABELA 33. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do número de folhas ($NF^{0,5}$) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e). Santa Maria, RS, 2005.....	157
TABELA 34. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do número de folhas ($NF^{0,5}$) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006.....	159

TABELA 35. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada da altura de plantas ($AP^{0,5}$) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e). Santa Maria, RS, 2005..... 161

TABELA 36. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrado da altura de plantas ($AP^{0,5}$) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006..... 164

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.

Variável	Descrição da variável	Unidade
ETm	Evapotranspiração máxima da cultura	mm dia ⁻¹
Tae	Tempo de abertura da estufa	horas
Variáveis fenométricas		
IAF	Índice de área foliar	cm ² cm ⁻²
AP	Altura de plantas	cm
NF	Número de folhas por planta	-
Variáveis meteorológicas medidas no interior da estufa		
Rg _i	Radiação solar global incidente	MJ m ² dia ⁻¹
t _{mi}	Temperatura média do ar	°C
t _{mini}	Temperatura mínima do ar	°C
t _{máxi}	Temperatura máxima do ar	°C
t _{i9}	Temperatura do ar às 9 h	°C
t _{i15}	Temperatura do ar às 15 h	°C
t _{i21}	Temperatura do ar às 21 h	°C
UR _{i9}	Umidade relativa do ar às 9 h	%
UR _{i15}	Umidade relativa do ar às 15 h	%
UR _{i21}	Umidade relativa do ar às 21 h	%
UR _{mi}	Umidade relativa média do ar	%
d _i	Déficit de saturação médio do ar	hPa
d _{i9}	Déficit de saturação do ar às 9 h	hPa
d _{i15}	Déficit de saturação do ar às 15 h	hPa
d _{i21}	Déficit de saturação do ar às 21 h	hPa
Variáveis meteorológicas medidas no exterior da estufa (Estação Meteorológica)		
Rg _e	Radiação solar global incidente	MJ m ² dia ⁻¹
Rn _e	Saldo de radiação	MJ m ² dia ⁻¹
n	Insolação	h dia ⁻¹
t _{me}	Temperatura média do ar	°C
t _{mine}	Temperatura mínima do ar	°C
t _{máxe}	Temperatura máxima do ar	°C
t _{e9}	Temperatura do ar às 9 h	°C
t _{e15}	Temperatura do ar às 15 h	°C
t _{e21}	Temperatura do ar às 21 h	°C
UR _{e9}	Umidade relativa do ar às 9 h	%
UR _{e15}	Umidade relativa do ar às 15 h	%
UR _{e21}	Umidade relativa do ar às 21 h	%
UR _{me}	Umidade relativa média do ar	%
d _e	Déficit de saturação médio do ar	hPa
U ₂	Velocidade do vento a 2 m de altura	m s ⁻¹
Prec	Precipitação pluvial média diária	mm dia ⁻¹
ETo	Evapotranspiração de referência	mm dia ⁻¹

LISTA DE APÊNDICES

- APÊNDICE A. Precipitação diária (mm) medida na Estação Meteorológica nos diferentes dias após o transplante (DAT) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera de 2005 (a) e 2006 (b). Santa Maria, RS..... 179
- APÊNDICE B. Valores médios diários da densidade do fluxo de radiação solar global incidente (R_g) estimado para o exterior (e) e interior (i) da estufa plástica cultivada com pimentão, em função dos dias após o transplante (DAT) na primavera de 2005 (a) e de 2006 (b). Santa Maria, RS..... 179
- APÊNDICE C. Temperatura média diária do ar no exterior (t_{me}) e interior (t_{mi}) da estufa plástica cultivada com pimentão, em função dos dias após o transplante (DAT) na primavera de 2005 (a) e de 2006 (b). Santa Maria, RS. 180
- APÊNDICE D. Umidade relativa média do ar no exterior (UR_{me}) e interior (UR_{mi}) da estufa plástica cultivada com pimentão, em função dos dias após o transplante (DAT) na primavera de 2005 (a) e de 2006 (b). Santa Maria, RS. 180
- APÊNDICE E. Valores médios diários do déficit de saturação do ar no exterior (d_e) e interior (d_i) da estufa plástica cultivada com pimentão, em função dos dias após o transplante (DAT) na primavera de 2005 (a) e de 2006 (b). Santa Maria, RS..... 181
- APÊNDICE F. Tempo médio diário em que as cortinas laterais (Leste -Oeste) e as portas (Norte - Sul) da estufa permaneceram abertas (DAT = dias após o transplante), cultivada com pimentão na primavera de 2005 (a) e de 2006 (b).. Santa Maria, RS..... 181

APÊNDICE G. Precipitação diária (mm) medida na Estação Meteorológica em função dos dias após o transplante (DAT) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera de 2005 (a) e de 2006 (b). Santa Maria, RS.....	182
APÊNDICE H. Valores médios diários da densidade do fluxo de radiação solar global incidente (R_g) e do saldo de radiação (R_n) estimado para o exterior (e) e interior (i) da estufa plástica cultivada com tomateiro, em função dos dias após o transplante (DAT) na primavera de 2005 (a) e de 2006 (b). Santa Maria, RS.	182
APÊNDICE I. Temperatura média diária do ar no exterior (t_{me}) e interior (t_{mi}) da estufa plástica cultivada com tomateiro, em função dos dias após o transplante (DAT) na primavera de 2005 (a) e de 2006 (b). Santa Maria, RS.	183
APÊNDICE J. Umidade relativa média do ar no exterior (UR_{me}) e interior (UR_{mi}) da estufa plástica cultivada com tomateiro, em função dos dias após o transplante (DAT) na primavera de 2005 (a) e de 2006 (b). Santa Maria, RS.	183
APÊNDICE K. Valores médios diários do déficit de saturação do ar no exterior (d_e) e interior (d_i) da estufa plástica cultivada com tomateiro, em função dos dias após o transplante (DAT) na primavera de 2005 (a) e de 2006 (b). Santa Maria, RS.....	184
APÊNDICE L. Tempo médio diário em que as cortinas laterais (Leste -Oeste) e as portas (Norte - Sul) da estufa permaneceram abertas (DAT = dias após o transplante), cultivada com tomateiro na primavera de 2005 (a) e de 2006 (b).. Santa Maria, RS.....	184
APÊNDICE M. Valores máximos diários da temperatura do ar no interior (a, b), do déficit de saturação do ar no interior (c e d) e da radiação solar global incidente no interior da estufa plástica (e e f) cultivada com tomateiro, em função dos dias após o transplante (DAT) na primavera de 2005 (a, c e e) e de 2006 (b, d e f). Santa Maria, RS.....	185

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	25
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	27
2.1 A cultura do pimentão.....	27
2.2 A cultura do tomateiro	28
2.3 Alterações físicas causadas pelas estufas plásticas.....	29
2.4 Evapotranspiração máxima em ambientes protegidos	32
2.4 Modelagem da evapotranspiração máxima em ambientes protegidos.....	34
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	38
3.1 Área experimental.....	38
3.2 Produção das mudas e manejo da cultura na estufa plástica.....	38
3.3 Determinação da evapotranspiração máxima (ET _m).....	41
3.4 Determinação das variáveis de crescimento e desenvolvimento	42
3.5 Determinação das variáveis meteorológicas	43
3.6 Estimativa da evapotranspiração máxima e avaliação dos modelos.....	44
3.6.1 Raiz do quadrado médio do erro (RMSE)	45
3.6.2 Coeficiente de correlação (r) (Camargo & Sentelhas, 1997).....	45
3.6.3 Coeficiente de exatidão ou de concordância (d) (Willmott, 1985).....	46
3.6.4 Coeficiente de confiança (c) (Camargo & Sentelhas, 1997).....	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.1 Cultura do Pimentão	50
4.1.1 Evapotranspiração máxima (ET _m) do pimentão	50
4.1.2 Evapotranspiração máxima do pimentão e sua relação com as variáveis meteorológicas.....	55
4.1.3 Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima do pimentão utilizando variáveis meteorológicas medidas no interior da estufa.....	65
4.1.4 Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima do pimentão utilizando variáveis meteorológicas medidas no exterior da estufa	85
4.2 Cultura do tomateiro	110
4.2.1 Evapotranspiração máxima (ET _m) do tomateiro cultivado na primavera em estufa plástica.....	110
4.2.2 Evapotranspiração máxima do tomateiro e sua relação com as variáveis meteorológicas	114
4.2.3 Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima do tomateiro utilizando variáveis meteorológicas medidas no interior da estufa.....	122
4.2.4 Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima do tomateiro utilizando variáveis meteorológicas medidas no exterior da estufa	146
5 CONCLUSÕES	169
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	171

MODELAGEM DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA PARA AS CULTURAS DO PIMENTÃO E DO TOMATEIRO EM ESTUFA PLÁSTICA NA PRIMAVERA

1 INTRODUÇÃO

A evapotranspiração das espécies vegetais é resultante da interação entre a área foliar da cultura, da disponibilidade hídrica e das condições de demanda hídrica atmosférica. Em regiões subtropicais, de todos os recursos necessários para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, a água é o recurso mais limitante.

O cultivo em ambiente protegido é amplamente utilizado na região Sul do Brasil, visando diminuir a sazonalidade da produção, devido à ocorrência de uma época fria no ano, e também para aumentar a produção e a qualidade de hortaliças.

Nesses ambientes, é necessária a irrigação para atender a demanda hídrica das culturas, devido à barreira formada pelo plástico da estufa, impedindo a entrada da água advinda da precipitação pluvial. O fornecimento adequado de água implica em atingir o potencial produtivo da cultura, além de que o fornecimento inadequado, ou seja, excesso e ou escassez, compromete o rendimento da cultura e poderá causar problemas de epifitias e problemas ao ambiente devido à lixiviação, principalmente, de nitratos.

A maioria dos produtores irriga em excesso e adota um manejo inadequado de abertura e fechamento das estufas e por isso geralmente tem sérios problemas com doenças, recorrendo ao uso freqüente de fungicidas, o que poderia ser evitado. Além disso, a água um bem cada vez mais escasso, poderá ser utilizada com maior sustentabilidade nesse sistema de produção. Afora isso, a obtenção de modelos que permitam estimar a ET_m dos cultivos em estufas com variáveis meteorológicas medidas em estações da rede poderá dar um impulso na informação a distância ao produtor sobre a necessidade de irrigação nos seus cultivos em estufas.

Na primavera, o cultivo de olerícolas no interior de estufas é feito em razão da estrutura já montada e para o aproveitamento da área, já que a maioria das

propriedades produtoras no Sul do Brasil é de porte pequeno a médio. Além disso, ainda se tem maior precocidade das culturas, podendo o produtor trabalhar melhor o escalonamento da safra na propriedade. Dessa forma o produtor disponibiliza produtos praticamente o ano todo, e também consegue um preço maior pelos produtos na entressafra.

No entanto, o manejo das culturas e da sua irrigação é diferente nesses ambientes em relação ao cultivo à campo. Devido às alterações das variáveis meteorológicas no interior de estufas plásticas (menor radiação solar global incidente, maior temperatura média e umidade relativa média do ar e menor velocidade do vento), tem-se a necessidade de determinar parâmetros para a irrigação dos cultivos nesses ambientes.

A utilização de modelos para determinar a necessidade hídrica das culturas em ambientes protegidos vem sendo estudada na última década no sul do Brasil, verificando-se que os modelos devem ser determinados para cada época de cultivo e para cada cultura, levando em consideração suas variáveis de crescimento (índice de área foliar, número de folhas e altura de plantas) e as variáveis meteorológicas usadas nos modelos podem ser medidas tanto no interior como no exterior da estufa.

O pimentão e o tomateiro são amplamente cultivados em estufas no Brasil, devido a sua adaptação e apresentam bom retorno econômico para o produtor. Para o cultivo de outono já foram determinados alguns parâmetros para o manejo da irrigação nesses cultivos. No entanto, para os cultivos de primavera ainda faltam parâmetros para a determinação da necessidade hídrica dessas culturas em estufa plástica na região de Santa Maria, RS.

Estudos realizados até o momento tem demonstrado que em cultivos de outono, a radiação solar e o déficit de saturação do ar são as variáveis que melhor estimam a evapotranspiração máxima das culturas. Para os cultivos de primavera a hipótese é que essas duas variáveis meteorológicas medidas no interior e no exterior da estufa, atreladas a uma variável que represente o crescimento do pimentão e do tomateiro, melhor estimam a evapotranspiração máxima dessas culturas.

Em razão do exposto os objetivos desse trabalho foram: Gerar e avaliar modelos de regressão para determinar a evapotranspiração máxima em função de variáveis meteorológicas e fenométricas das culturas do pimentão e do tomateiro cultivados em estufa plástica na primavera na região de Santa Maria, RS.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do pimentão

O pimentão (*Capsicum annuum* L.) é uma planta herbácea e perene, no entanto é cultivada como anual, pertencente à família das solanáceas, tendo origem no Continente Americano (FILGUEIRA 2003a e 2003b). Quando utilizado imaturo é a hortaliça que apresenta maior teor de vitamina C, sendo que em 100 gramas de massa fresca existem 420 unidades internacionais (UI) e em frutos maduros 7000 UI. Além disso, é fonte das vitaminas B1, B2 e Niacina e Sais Minerais, principalmente Fósforo e Ferro (FILGUEIRA 2003b).

O pimentão está entre as dez hortaliças mais consumidas no Brasil e no mundo. Estima-se que dos 13 mil ha de área cultivada no Brasil, 1.000 ha sejam destinados ao cultivo protegido. A distribuição do plantio concentra-se na região Sudeste, sendo que o estado de São Paulo destaca-se como o maior produtor, com 8.291 ha, produzindo 70 mil toneladas e gerando 4.543 empregos (CEASA, 2005; Cnph, 2001 apud BLAT et al., 2007).

As exigências térmicas do pimentão são superiores às do tomateiro, sendo temperaturas inferiores a 15°C limitantes ao crescimento e desenvolvimento da planta e temperaturas superiores a 35°C provocam queda de flores (FILGUEIRA, 2003a e 2003b). Assim como a cultura do tomateiro, o pimentão apresenta termoperiodicidade, sendo que as temperaturas ótimas diurnas se encontram na faixa de 20 a 25°C e as noturnas na faixa de 16 a 18°C (Maroto Borrego, 1983 apud FILGUEIRA, 2003a). Segundo Chang (1974) apud FILGUEIRA (2003b), o pimentão é uma planta de “dia curto facultativo”, ou seja, o florescimento se inicia mais cedo e é mais abundante sob dias mais curtos em relação a dias longos.

Essa cultura exige em torno de 80% ou mais de água útil no solo, ao longo do ciclo, principalmente durante o subperíodo frutificação-colheita. No entanto, deve-se evitar o excesso de água no solo para o não favorecimento da podridão do colo (FILGUEIRA, 2003a).

2.2 A cultura do tomateiro

O tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill) é uma planta dicotiledônea pertencente à família das Solanáceas. O centro de origem é a região andina, sendo introduzida na Europa pelos Espanhóis. É uma planta perene de porte arbustivo, de caule inflexível, cultivada anualmente. Desenvolve-se de forma rasteira, semi-ereta ou ereta e possui variedades de crescimento determinado e indeterminado. O tomateiro requer temperaturas diurnas amenas (21-28°C) e noturnas menores que as diurnas, com diferença de 6 a 8°C entre elas (FILGUEIRA, 2003a e 2003b).

O tomate é um dos produtos de maior importância econômica do grupo das hortaliças, pelo volume e valor de produção. O tomateiro é uma das espécies de hortaliças mais cultivada em casas de vegetação no mundo, sendo a segunda no Brasil, onde o pimentão ocupa o primeiro lugar (MEDEIROS et al., 2005). A produção brasileira em 2006 foi de 3.362.655 ton, em uma área plantada de 59.027 ha, com produtividade média de 57.097 kg ha⁻¹. Nesse ano o Rio Grande do Sul produziu 99.694 ton, em uma área de 2.379 ha, com produtividade média de 42.082 kg ha⁻¹. O Estado de Goiás lidera o ranking de produção de tomate no Brasil. Em 2005, produziu quase 780 mil toneladas (tomate de mesa e industrial), ou 22% da produção brasileira, mantendo a posição de maior produtor nacional desde 1999 (IBGE, 2008).

O tomate até poucos anos não era considerado um alimento rico em nutrientes essenciais à saúde, sendo que o fruto maduro contém 94% de água, e somente 6% de matéria seca, na qual se encontram açúcares, proteínas, substâncias pécnicas, hemicelulose e celulose, ácidos cítrico e málico, minerais e vitaminas (FILGUEIRA, 2003b). No entanto, os altos teores de licopeno que possuem ação antioxidante, contribuindo na prevenção de doenças degenerativas, cardiovasculares e de certos tipos de câncer (CARVALHO et al., 2005), tornam essa hortaliça de grande importância na alimentação humana. Os frutos verdes contêm solanina, um glicoalcalóide que pode tornar-se tóxico. No entanto seu teor se reduz à medida que o fruto amadurece (FILGUEIRA, 2003b).

A temperatura ideal para o desenvolvimento do tomateiro é de 18 a 24°C (FAO, 1990; NAIKA et al., 2006) e o seu limite trófico tem sido considerado como 8,4 MJ m⁻² dia⁻¹ (FAO, 1990). Apresenta termoperiodicidade, ou seja, temperaturas

noturnas mais amenas são ideais para o crescimento, sendo que no Brasil, sob alta luminosidade, as temperaturas ótimas diurnas são de 21 a 28°C, e as temperaturas ótimas noturnas são de 15 a 20°C (FILGUEIRA, 2003a e 2003b).

O tomateiro é exigente em água, mas não tolera excesso da mesma no solo. Irrigações excessivas durante o período de floração aumentam a queda das flores e redução no estabelecimento de frutos, podendo também causar crescimento vegetativo excessivo e atraso na maturação. O período mais crítico é o da floração e da frutificação (Alvarenga, 2000 apud SÁ et al., 2005; NAIKA et al., 2006), quando a deficiência hídrica determina redução na produtividade de frutos comerciais, devido à redução do tamanho e do número de frutos e redução da qualidade dos frutos (SÁ et al., 2005), e também má qualidade dos frutos, principalmente em função do surgimento de uma série de distúrbios fisiológicos, tais como podridão apical e frutos rachados (FILGUEIRA, 2003a, SÁ et al., 2005). A alternância de períodos curtos de deficiência hídrica com disponibilidade adequada também é prejudicial, resulta em maior número de frutos com ruptura do pericarpo, sendo a suscetibilidade dependente da cultivar (NAIKA et al., 2006).

2.3 Alterações físicas causadas pelas estufas plásticas

O ambiente protegido tem por finalidade principal proteger as plantas das baixas temperaturas (efeito estufa) e das chuvas (efeito guarda-chuva), além de proporcionar maiores produções comerciais em épocas desfavoráveis àquela cultura (MEDEIROS et al., 2005). A utilização de coberturas plásticas acarreta modificações nas variáveis meteorológicas, como radiação solar, temperatura, umidade relativa e déficit de saturação do ar e velocidade do vento. A variação destas variáveis depende do manejo da estufa, do material e idade da cobertura da estufa e das condições meteorológicas externas. O material mais utilizado na cobertura de estufas plásticas é o polietileno de baixa densidade (PEBD), o qual apresenta alta transparência à radiação solar incidente, porém sua transparência diminui com o envelhecimento e deposição de impurezas e de gotas oriundas da condensação do vapor d'água.

A radiação solar que incide no interior das estufas plásticas é inferior à externa (63% a 90%) com média de aproximadamente 83% (FARIAS et al., 1993; FOLEGATTI et al., 1997; CUNHA; ESCOBEDO, 2003). Dos fatores que influenciam os valores de transmitância, destacam-se a composição do material, espessura, tempo de exposição às condições do ambiente protegido, deposição de poeira, ângulo de incidência dos raios solares, orientação e arquitetura da construção (ALPI; TOGNONI, 1984). Segundo Caron et al. (2003), a quantidade e a qualidade de radiação solar incidente que atinge o dossel vegetativo, podem limitar o acúmulo de fitomassa nos frutos. É devido a essa série de componentes, associadas ao menor custo, que a grande maioria dos produtores utiliza o PEBD como material de cobertura, realizando a troca do mesmo a cada 18-24 meses de exposição à radiação solar e deposição de partículas sólidas.

O PEBD também apresenta elevada transmitância à radiação de onda longa, que em geral alcança 80%. Porém, a formação de uma camada de água resultado da condensação do vapor d'água na superfície interna do filme plástico aumenta a interceptação da radiação de onda longa e, desta forma, aumenta a conservação de calor (BURIOL et al., 1993). A perda de energia radiante no interior da estufa é menor se comparada com a condição exterior (PEZZOPANE et al., 1995).

O plástico tem efeito dispersante, o qual é demonstrado pelo aumento médio da radiação difusa no interior de estufas plásticas (FARIAS et al., 1993a; BURIOL et al., 1995; SILVA, et al., 2003; CUNHA; ESCOBEDO, 2003). Segundo Farias et al. (1993a), a radiação difusa é em média 33% menor no exterior de estufas plásticas. Esse efeito dispersante é benéfico às plantas, pois sendo multidirecional, a radiação difusa penetra melhor no dossel, favorecendo a fotossíntese nos níveis abaixo das folhas expostas à radiação direta.

Os valores médios de temperatura do ar são ligeiramente maiores no interior da estufa plástica (FARIAS, et al., 1993c; CUNHA; ESCOBEDO, 2003). Para a região de Santa Maria, RS, os valores médios de temperatura mínima do ar, verificados no interior de estufas plásticas, são em torno de 1°C a 3°C superiores aos observados em abrigo meteorológico de uma estação meteorológica convencional (DALMAGO et al., 1994). No entanto, podem ocorrer dias em que a temperatura interna é menor do que a externa (BURIOL et al., 1993). Nesse caso, não ocorrem problemas para as culturas, porque geralmente essa condição ocorre nos dias de vento forte com temperaturas mínimas elevadas, tanto no ambiente

interno quanto no externo, sendo que o efeito dos ambientes cobertos com PEBD sobre a temperatura mínima do ar é maior nos dias mais frios (BURIOL et al., 1993). As médias das temperaturas máximas do ar são maiores no interior da estufa do que as observadas externamente. Num dia claro as diferenças de temperatura máxima variaram de 0,5°C a 0,9°C (FARIAS et al, 1993b) até 6,4°C (CUNHA; ESCOBEDO, 2003). Segundo Heldwein et al. (2001b), sob qualquer condição, os gradientes verticais de temperatura do ar são menos acentuados no interior da estufa do que no perfil vertical externo.

A umidade relativa do ar dentro de estufas plásticas é variável. Segundo Tubelis; Nascimento (1988), a umidade relativa é inversamente proporcional à temperatura do ar. Portanto, durante o período diurno, com o aumento da temperatura do ar, a umidade relativa do ar diminui no interior da estufa. No final da tarde e a noite com o decréscimo da temperatura, a umidade relativa do ar aumenta. Em média, a umidade relativa do ar dentro de estufas plásticas, é mais elevada do que a do ambiente externo, apresentando maior amplitude no interior de ambientes protegidos (FARIAS et al., 1993b; BURIOL et al., 2000; CUNHA; ESCOBEDO, 2003). Porém, a umidade relativa mínima do ar é menor no interior da estufa plástica, apresentando diferenças diárias de até 14,9% entre os dois ambientes e a umidade relativa máxima do ar é praticamente similar nos dois ambientes, apresentando uma diferença de 0,7%, maior na estufa plástica (CUNHA; ESCOBEDO, 2003)

Devido à barreira física causada pelo plástico da estufa que altera o balanço de radiação e reduz a renovação do ar, devido a menor velocidade do vento no ambiente protegido, os valores de temperatura do solo são mais elevados no interior da estufa do que no ambiente externo (SCHNEIDER et al., 1993; CUNHA; ESCOBEDO, 2003). Cunha; Escobedo (2003), verificaram que a diferença média de temperatura do solo entre o interior e o exterior da estufa plástica é da ordem de 1,3°C a 0,10 m de profundidade e de 0,2°C a 0,20 m de profundidade, verificando-se maiores diferenças entre os dois ambientes nos dias mais frios.

2.4 Evapotranspiração máxima em ambientes protegidos

A evapotranspiração expressa a evaporação de água do solo e a transpiração das plantas, sendo esse termo utilizado primeiramente no início da década de 40, por Thornthwaite (PEREIRA et al., 1997). A evapotranspiração máxima das culturas (ET_m) expressa a perda máxima possível de água de uma cultura e depende de fatores relacionados à planta, ao solo e às condições meteorológicas (BERNARDO et al., 2006).

A água é o principal constituinte do vegetal, perfazendo 90% da sua matéria verde. No entanto, a maior parte da água absorvida pelas plantas é utilizada no processo de transpiração, que é a perda de água através de sua parte aérea, na forma de vapor (FERRI, 1979; TAIZ; ZEIGER, 2006; ANGELOCCI, 2002). Segundo Andriolo (1999), a transpiração é um mecanismo de “arrefecimento” da planta para atenuar o efeito de energia solar excedente.

A transpiração necessita de energia e de um gradiente de potencial entre a água da folha e o ar da camada limite. A radiação global incidente sobre o dossel da cultura fornece a energia que será transformada em calor latente de evaporação. O gradiente de potencial necessário para a ocorrência da transpiração, depende principalmente, da temperatura e da umidade relativa do ar na camada limite e, da velocidade do vento junto a esta camada. A demanda evaporativa da atmosfera é o fator que favorece o fluxo de água ascendente do solo até a atmosfera e determina a quantidade de água que as plantas necessitam absorver. Contrária a este fator está a resistência estomática, que é um mecanismo fisiológico que controla a perda de água pelas plantas. A sensibilidade da resistência estomática é diferente entre espécies de culturas e mesmo dentre as culturas (CARLESSO; ZIMMERMANN, 2000).

A demanda hídrica atmosférica é condicionada, principalmente pela radiação solar, velocidade do vento, temperatura e déficit de saturação do ar. No entanto, no interior de estufas plásticas, devido à geração de um microclima diferenciado, resultante das alterações físicas causadas pelo plástico e pela abertura e fechamento da estufa, os elementos meteorológicos que determinam a evapotranspiração máxima das culturas são: a radiação solar global incidente, o saldo de radiação e o déficit de saturação do ar (RIGHI, 2000).

No interior da estufa plástica, a evapotranspiração é menor que a verificada no ambiente externo, devido a maior eficiência do uso d'água pelas plantas, e principalmente, a menor quantidade de radiação solar incidente no interior deste ambiente (REISSER JR., 1991; BURIOL et al., 1993; FARIAS et al., 1994; FOLEGATTI et al., 1997), a menor velocidade do vento (FARIAS et al., 1994) e pelo uso de cobertura do solo com mulching de polietileno preto, o qual contribui para a diminuição da evaporação, devido a menor área exposta de solo, principalmente no período inicial do ciclo de crescimento das plantas, em que o solo fica quase que totalmente exposto.

Além disso, se verifica que essa maior eficiência no uso da água provavelmente ocorra, em razão de modificações morfológicas das plantas cultivadas nesses ambientes, dotando-as de características de plantas de sombra (REISSER JR et al., 2003). Segundo esses autores, a aclimatação das plantas ao ambiente com menor disponibilidade de luz pode ser uma das razões da manutenção das taxas fotossintéticas, através de variações na morfologia, principalmente na área foliar específica e espessura de folhas. Estas alterações proporcionam que as plantas de tomateiro mantenham a mesma produção de matéria seca, ou até maiores, em ambientes com reduções expressivas de radiação solar (REISSER JR et al., 2003). Resultados semelhantes foram obtidos por Andriolo et al. (1991) e Santos et al. (2003).

Em ambientes protegidos a evapotranspiração pode ser reduzida a cerca de 50% daquela observada no ambiente externo (BURIOL et al., 2001; HELDWEIN et al., 2001a). Além disso, se verificam diferenças da evapotranspiração máxima dos cultivos em função da época do ano em que as culturas são conduzidas (DALSASSO, 1997).

Para a cultura do pimentão cultivado em estufa plástica em Santa Maria, RS, na primavera de 2000 e 2001 a evapotranspiração máxima foi de $1,29 \text{ mm dia}^{-1}$ e de $1,51 \text{ mm dia}^{-1}$, para um ciclo de 123 e 117 dias, respectivamente (TAZZO et al., 2004). Valandro (1997) verificou que o consumo médio do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera em Santa Maria foi de $1,80 \text{ mm dia}^{-1}$ num ciclo de 19,6 semanas.

2.4 Modelagem da evapotranspiração máxima em ambientes protegidos

A determinação da evapotranspiração máxima das culturas tem recebido grande atenção por parte dos pesquisadores, com o intuito de propiciar um adequado suprimento de água para as plantas. A modelagem é muito utilizada na pesquisa e como ferramenta de manejo de culturas e na tomada de decisões. Segundo Ferreira (2005), os modelos podem ser obtidos a partir da análise do fenômeno, devendo a equação obtida corresponder aos dados experimentais, e a partir da formulação de um modelo matemático há uma melhor compreensão da relação entre as variáveis, podendo-se até fazer previsões acerca do fenômeno.

Segundo Andriolo (1999), o modelo proposto por De Villèle (1972), que mostra uma relação linear entre radiação solar e transpiração, é amplamente utilizado para determinar a necessidade de água das culturas em regiões relativamente estáveis, apresentando boa precisão. Para Stanghellini (1993, 1994, apud DALMAGO, 2001), essa relação linear ocorre devido ao aquecimento das folhas, pela absorção da radiação solar, aumentando o déficit de saturação de vapor entre o dossel das plantas e o ambiente, enquanto que a abertura estomática reduz a resistência ao fluxo de vapor. Esses dois fatores podem combinar com a forte relação da radiação solar com a temperatura e a umidade relativa do ar no interior da estufa, resultando na relação linear esperada.

No entanto, em regiões onde é freqüente o tempo instável, a estimativa da evapotranspiração baseada unicamente na radiação solar é menos precisa. O modelo proposto por Boulard et al. (1991, apud ANDRIOLO, 1999), incorpora o efeito da radiação solar e do déficit de saturação do ar. No entanto, devido à complexidade desse modelo torna difícil a sua aplicação prática. Em razão disso Boulard; Jemaa (1992) apud (ANDRIOLO, 1999) reformularam esse modelo e o tornaram mais simples utilizando apenas as variáveis radiação solar e déficit de saturação do ar.

Okuya; Okuya (1988) também verificaram que o déficit de saturação do ar (d) influencia significativamente na transpiração e desenvolveram um modelo que utiliza a radiação solar e o déficit de saturação do ar. No entanto, para algumas espécies ocorre um limite máximo de déficit de saturação do ar a partir do qual a evapotranspiração não é aumentada. Baille et al. (1994) verificaram que a taxa de

transpiração de roseiras, cultivadas em clima Mediterrâneo foi baixa se comparada com a taxa de radiação solar global incidente no dossel. Para esses autores a provável causa é o fechamento estomático com valores elevados de déficit de saturação de vapor d'água do ar. Um valor de 1,5 KPa parece ser o valor crítico acima do qual a resistência estomática aumenta significativamente, verificando que acima desse valor a relação entre transpiração e radiação solar não é linear. Além disso, altas temperaturas do substrato durante a tarde, podem limitar a absorção de água por parte das raízes. Segundo esses autores a condutância estomática diminui linearmente com o aumento do déficit de saturação do ar. No entanto, Monteiro et al. (2001) verificaram que não houve redução significativa da transpiração de gerânio cultivado em estufa na Espanha, com valores elevados de déficit de saturação do ar (1,4 a 3,4 KPa), e altas temperaturas (36°C). Além disso, verificaram que a transpiração diária dessa cultura pode ser estimada com um modelo simplificado utilizando a radiação solar, o déficit de saturação do ar medidos no interior da estufa e os dias após o transplante.

Modelos para a estimativa da evapotranspiração que utilizam variáveis medidas do exterior da estufa são interessantes, em razão de muitas estufas não estarem equipadas com sensores. Para a região de Santa Maria 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, tanto no cultivo em solo (DALSSASSO, 1997), como no cultivo em substrato (VALANDRO, 1999). Para a cultura do tomateiro cultivado no outono (RIGHI et al., 2002) e no outono e na primavera (VALANDRO et al., 2007), verificou-se que o déficit de saturação de vapor d'água medido no interior da estufa é a variável meteorológica que mais influenciou o consumo d'água dessa cultura.

Dalmago et al. (2006) também verificaram que o déficit de saturação do vapor d'água medido no interior da estufa e o saldo de radiação solar medido no exterior da estufa foram as variáveis meteorológicas que apresentaram melhor relação com a evapotranspiração máxima da cultura do pimentão cultivado em estufa plástica no período de outono. No entanto, para a cultura da abóbora italiana cultivada no outono, Streck (2002) verificou que a radiação solar não apresenta alta correlação com a evapotranspiração. Explica que provavelmente isso ocorre porque o déficit de saturação de vapor d'água do ar determinou uma maior ou menor ET_m para uma mesma condição de radiação solar incidente. Porém, nem sempre o déficit de

saturação do ar se sobressai como estimador em relação às demais variáveis meteorológicas. Para a cultura da abóbora italiana cultivada no outono em estufa plástica os melhores modelos incluem a evapotranspiração de referência, o saldo de radiação externa, a radiação solar interna e a temperatura do ar máxima, das 15 horas, e a temperatura média do período das 7 às 19 horas registradas no interior da estufa (STRECK, 2002). Pivetta (2007) verificou que a ET_m do pimentão e do tomateiro cultivados na primavera em estufa em Santa Maria, RS, pode ser estimada utilizando modelos simples que utilizam a evaporação do Evaporímetro de “Piche” exposto à radiação solar e pelo menos uma variável fenométrica.

A utilização das variáveis fenométricas índice de área foliar (IAF), número de folhas (NF) e altura de plantas (AP) nos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima das culturas é importante, visto que essas combinam o crescimento das plantas com as variáveis meteorológicas. Pivetta (2007) verificou que para a cultura do pimentão a utilização do IAF resultou em maior estabilidade dos modelos. No entanto, para a cultura do tomateiro se verificou que a altura de plantas foi a variável fenométrica que apresentou os modelos com melhor desempenho na estimativa da ET_m (PIVETTA, 2007). Valandro (1999) verificou relações significativas da área foliar e do número de folhas com a transpiração do tomateiro cultivado em estufa plástica. Porém o ajuste pode ser diferente ao longo do ciclo da cultura. A relação da ET_m do pimentão cultivado no outono com o IAF é linear até valores de $1,4 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ (DALMAGO, 2001). Acima desse valor, o IAF não apresenta uma relação definida com a ET_m. A causa provável é que no outono enquanto ocorre o aumento do IAF as condições da demanda hídrica atmosférica diminuem (DALMAGO, 2001).

Os modelos matemáticos para a estimativa da evapotranspiração máxima do pimentão e da abóbora italiana cultivadas em estufa plástica no período de outono são mais eficientes quando incluem a divisão da ET_m pelo IAF (DALMAGO, 2001) e ou pela raiz do IAF (STRECK, 2002; PIVETTA, 2007). Esse melhor ajuste ocorre, provavelmente, em razão da redução da transpiração quando a planta é maior, devido ao sombreamento das folhas inferiores, o que não é considerado sem a extração da raiz quadrada do IAF. Os modelos obtidos para a determinação da ET_m de outras culturas, podem ser melhorados se gerados com dados de ET_m divididos pela raiz quadrada das variáveis fenométricas (STRECK, 2002). Segundo Heldwein et al. (2004), outro ponto a considerar é que a duplicação do índice de área foliar

médio (IAFm) de uma área vegetada não implica na duplicação da sua ETm, principalmente com $IAF > 1$, devido ao aumento da proporção de área foliar sombreada. Portanto, o incremento da ETm em função do incremento de IAFm tende a zero quando o IAF alcança valores altos, em que a cobertura vegetal recobre densamente a superfície do solo.

Diferenças de ETm entre espécies para dosséis com um mesmo IAF podem estar associadas a aerodinâmica, formato, dimensão das folhas e resitência estomática. As folhas ou folíolos do tomateiro apresentam, por exemplo, menor dimensão e, portanto, uma menor camada limite, sendo mais eficientes para o transporte de calor sensível e calor latente do que as folhas do pimentão. Além disso, o formato mais recortado das folhas do tomateiro permite uma melhor penetração de radiação solar no dossel, e, portanto, uma maior absorção de energia solar pelo dossel. Esses dois aspectos associados às características das folhas do tomateiro, permitem inferir que para um mesmo índice de área foliar teoricamente espera-se que ocorra uma maior evapotranspiração máxima nessa cultura do que na cultura do pimentão, principalmente para índices de área foliar maiores, em que ocorre autosombreamento de parte da área foliar.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área experimental

Os experimentos foram conduzidos na primavera de 2005 e de 2006, na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (latitude: 29°42'S; longitude: 53°48'W; altitude: 95m). O solo pertence à Unidade de Mapeamento São Pedro, sendo classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico (EMBRAPA, 1999) e o clima da região é do tipo Cfa, subtropical úmido com verões quentes, conforme classificação de Köppen (MORENO, 1961).

Foi utilizada uma estufa do tipo “Arco-Panpeana”, com 24 m de comprimento no sentido Norte – Sul, e 10 m de largura e altura no centro de 3 m. O material de cobertura e fechamento das laterais era de filmes de polietileno de baixa densidade (PEBD), com espessura de 150µm.

3.2 Produção das mudas e manejo da cultura na estufa plástica

As espécies utilizadas nos dois experimentos foram: Pimentão (*Capsicum annuum*, L) e Tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill). As variedades de tomate usadas foram Max e Red Chief em 2005 e 2006, respectivamente e de pimentão foram usadas o Híbrido Vidi e a variedade Priscila, nos experimentos de 2005 e 2006 respectivamente. A utilização de variedades diferentes de tomate e pimentão, para os dois experimentos foi devida à falta de sementes disponíveis para a comercialização.

No experimento de 2005 a semeadura do pimentão foi realizada em 16/06 e do tomateiro em 28/06. O transplante do pimentão para a estufa foi realizado no dia 09/08 e do tomateiro no dia 08/08. O término do experimento ocorreu em 18/12/2005. Em 2006, a semeadura do pimentão foi realizada em 17/07 e do tomateiro em 24/07. O transplante das duas culturas ocorreu em 13/09 e o término do experimento foi em 07/12/2006.

Visando o controle de patógenos, foi feita solarização do solo das estufas no período de 20 de dezembro a início de fevereiro de 2005, com filme PEBD transparente de 75 μm de espessura colocado sobre o solo. O preparo do solo foi realizado em toda a área da estufa com uma enxada rotativa e a adubação e incorporação do adubo foi feita nas linhas de plantio antes da formação dos camaleões. A adubação química para as diferentes espécies cultivadas foi realizada nas linhas de plantio com base nos resultados da análise do solo, seguindo as recomendações oficiais da COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO RS E SC (2004). A adubação orgânica foi realizada antes da solarização, utilizando cama de aviário na dosagem de 40 t ha⁻¹.

A semeadura foi realizada em bandejas de isopor com 128 células, preenchidas com substrato agrícola comercial. As plantas foram transplantadas em camalhões com cerca de 0,10 m de altura e 0,40 m de largura, espaçados 1,00 m entre si, sobre os quais foi usado mulching com filme de PEBD opaco com 30 μm de espessura, para o controle de invasoras e redução da evaporação de água do solo. Sob o mulching preto foram instalados os tubos do sistema de irrigação por gotejamento, sendo os sistemas separados para cada cultura. A quantidade de água irrigada no solo foi controlada através de hidrômetros tipo unijato de baixa vazão.

Para a determinação do potencial matricial da água no solo e controlar o teor de umidade nas linhas de cultivo, foram utilizados tensiômetros de cápsula porosa instalados a 0,10 m e a 0,20 m de profundidade, sendo dois no lado Oeste e dois no lado Leste, para cada uma das duas culturas. A irrigação foi quantificada com base na umidade do solo e nas condições atmosféricas, quantificou-se a irrigação do dia para as plantas cultivadas no solo, que serviam de bordadura para as plantas dos lisímetros, que estavam alocadas no mesmo espaçamento.

A abertura e o fechamento das portas e das cortinas laterais foram realizados conforme condição meteorológica do dia. Nos dias com temperaturas elevadas a abertura foi realizada em torno das 06:30 horas da manhã e o seu fechamento ocorreu pouco antes do por do sol, em torno das 20:00 horas, hora local. Nos dias com temperaturas baixas, estas foram abertas em torno das 07:30 horas e fechadas em torno das 15:00 horas. Nos dias com chuva e ou com vento Norte, as cortinas permaneceram fechadas, sendo abertas somente as portas, quando não ocorreu vento forte.

O pimentão e o tomateiro foram implantados em fileiras com espaçamento de 1,0 x 0,3 m, em uma mesma estufa. A estufa foi dividida em três partes iguais, sendo que em duas partes foram transplantados o tomateiro e o pimentão, e na outra terça parte foi preenchida com a cultura do melão (Figura 1). Essa divisão da estufa para a implantação das culturas, se deu em razão do manejo da mesma. Não havendo nenhuma divisória física (tela ou filme plástico) que separasse o ambiente das tres culturas entre si. A localização das culturas no interior da estufa foi realizada levando-se em consideração a direção predominante do vento, Norte-Sul, para que houvesse uma maior ventilação na estufa, sendo implantada a cultura de porte mais baixa, o pimentão, no lado norte, seguida pelo tomateiro. Além disso, também se levou em consideração o sombreamento causado pelas culturas.

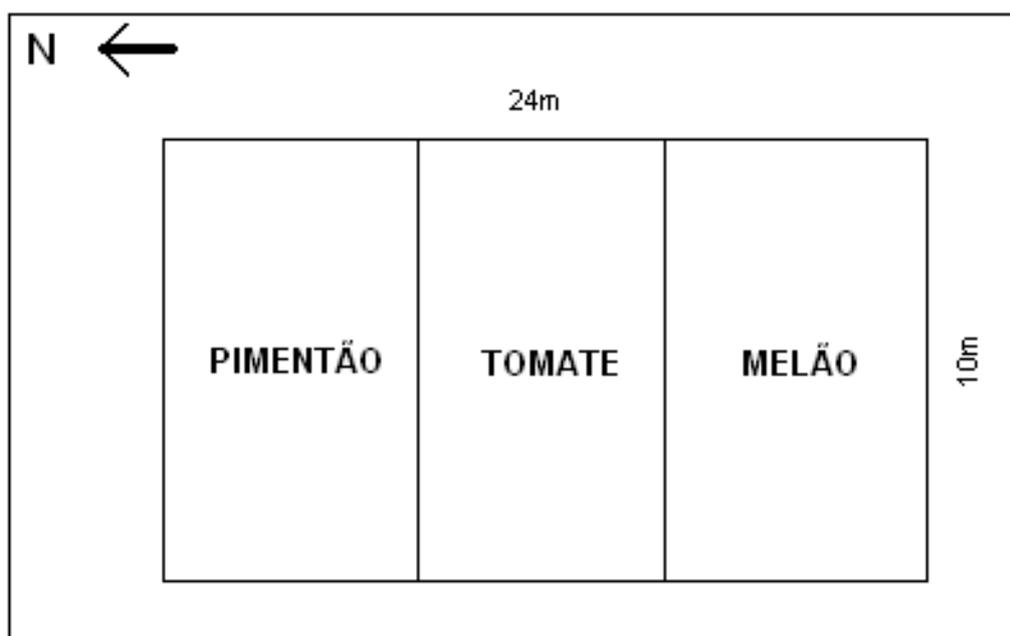


FIGURA 1. Croqui de distribuição das culturas dentro da estufa plástica. Santa Maria, RS, 2005 e 2006.

A condução das plantas foi feita através de fitas de rafia enroladas verticalmente na haste principal das mesmas e sustentados por arame liso de aço número 14, esticados e fixados na altura do pé-direito da estufa.

O tomateiro foi conduzido em haste única, retirando-se todas as ramificações laterais, e ao atingir cerca de 2 m de altura, foi realizada a poda apical. Na cultura do

pimentão as plantas após a primeira bifurcação, foram conduzidas em haste única, podendo-se as outras hastes, deixando-se no mínimo sete folhas nas mesmas e sendo desbrotados os ramos provenientes das axilas foliares.

3.3 Determinação da evapotranspiração máxima (ET_m)

Para a determinação da evapotranspiração máxima (ET_m) utilizou-se o método de lisímetros de drenagem com substrato, conforme metodologia proposta por Valandro et al. (1999), o qual constou de 3 repetições de lisímetros de drenagem com substrato para cada cultura, construídos com calhas de PVC, revestidas e impermeabilizadas. Cada lisímetro continha cinco plantas e cada planta era cultivada em uma sacola plástica perfurada, contendo oito litros de substrato agrícola esterilizado. A ET_m (em mm) foi obtida através da diferença entre a água fornecida e a água drenada:

$$ETm_{(n)} = (I_{(n)} - D_{(n+1)} / S) \quad (1)$$

em que I_(n) é a irrigação realizada no dia “n”, D é a água drenada medida no dia seguinte (n+1), S é a superfície de abrangência (S = 1,30 m² para o pimentão e o tomateiro).

Semanalmente foi monitorada a condutividade elétrica da solução drenada (Ec) através de um condutivímetro, e quando EC ficava abaixo de 1,0 mS cm⁻¹ foi feita uma fertirrigação na dosagem recomendada para cada cultura (Tabela 1).

TABELA 1. Quantidade de sais aplicados semanalmente na solução nutritiva para uma planta de tomate e pimentão dos lisímetros de drenagem. Santa Maria, RS – 2005 e 2006.

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

*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).

Na cultura do pimentão além da utilização dos lisímetros de drenagem foi utilizado um minilímetro de pesagem com substrato, construído com galão plástico cilíndrico com dimensões de 0,30 m de diâmetro na maior largura, 0,36 m de altura e capacidade volumétrica de 20 litros, contendo 2 plantas de pimentão. A variação de umidade no solo foi monitorada por variação de peso, através de uma balança eletrônica de bancada, com capacidade de 50 Kg e resolução de 0,005 Kg. A ET_m foi quantificada pela diferença de massa medida com a balança entre as leituras realizadas no dia em questão e no dia subsequente. As leituras foram realizadas diariamente em torno das 08:00 horas. O excesso de água drenado foi extraído com o auxílio de um extrator a vácuo, construído com tubo PVC e cápsula porosa.

Para avaliar os diferentes métodos de medição da ET_m da cultura do pimentão em estufa plástica, os valores medidos de evapotranspiração obtidos em cada lisímetro pelos diferentes métodos, foram ajustados para um mesmo índice de área foliar média para fins de comparação de forma padronizada. Para isso, conforme Dalmago (2001), os valores de evapotranspiração máxima obtidos em cada método foram divididos pela área foliar das respectivas plantas, e posteriormente foram multiplicados pela área foliar média do conjunto de todas as plantas cultivadas sob os diferentes métodos de determinação da evapotranspiração máxima.

3.4 Determinação das variáveis de crescimento e desenvolvimento

Semanalmente mediu-se com uma régua graduada (cm) todas as folhas em duas plantas por lisímetro de substrato e nas plantas do minilímetro de balança. Na cultura do pimentão foi medido o comprimento (C, em cm) e para o tomateiro foram feitas medidas de comprimento e largura (L), ambas em cm. A área de cada folha (AF) foi determinada através das equações:

$$AF_{\text{pimentão}} = 0,46432813 * C^{1,837927} \quad (02)$$

definida por Dalmago (2001).

$$AF_{\text{tomate}} = 0,3676 * (C * L) \quad (03)$$

definida por Streck et al. (1997), sendo a área foliar da planta obtida pela soma da AF de cada uma das suas folhas.

Nas duas culturas, a folha era contabilizada quando essa apresentava um comprimento em torno de 3 cm.

Semanalmente também foi medida a altura das plantas (AP, em cm) em todas as plantas marcadas.

Para as determinações fenológicas foram observadas a data de transplante e início da floração (abertura de 50% das flores).

3.5 Determinação das variáveis meteorológicas

A temperatura do ar e a temperatura do bulbo úmido foi medida através de 2 pares psicrométricos construídos com sensores Pt-100, instalados a 1,5 m de altura no interior da estufa. Para medir a radiação solar global incidente foram instalados longitudinalmente dois tubos solarímetros de 1,0 m de comprimento a 2,0 m de altura, um no lado Leste e o outro no lado Oeste da estufa. Esses sensores foram ligados a um sistema automático de aquisição de dados (datalogger), alimentado por uma bateria de 12V, sendo os dados armazenados a cada 10 minutos.

A partir dos dados de temperatura do ar (T_{ar} , °C) e da temperatura do termômetro do bulbo úmido (T_w , °C), obtidos nos pares psicrométricos, foram calculados os valores de pressão de saturação de vapor (e_s , hPa), pressão parcial de vapor (e , hPa), déficit de saturação do ar (d , hPa) e umidade relativa do ar (UR, %) no interior da estufa, utilizando, respectivamente, as seguintes equações:

$$e_s = 6,107 \exp\left(\frac{17,2694 T_{ar}}{237,3 + T_{ar}}\right) \quad (04)$$

$$e = 6,107 \exp\left(\frac{17,2694 T_w}{237,3 + T_w}\right) - \gamma (T_{ar} - T_w) \quad (05)$$

$$UR = \frac{e}{e_s} 100 \quad (06)$$

$$d = e_s - e \quad (07)$$

em que: $\gamma = 0,66 \text{ hPa } ^\circ\text{C}^{-1}$, é a constante psicrométrica para psicrômetro não aspirado.

Os elementos meteorológicos diários do ambiente externo (temperatura e umidade do ar das 9, 15 e 21 horas, e dados médios diários de insolação, precipitação pluvial e velocidade do vento) foram obtidos na estação meteorológica

da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, situada cerca de 100m do local dos experimentos.

A densidade do fluxo de radiação solar global no exterior da estufa (R_{g_e}) foi estimada a partir de dados de insolação registrados na estação meteorológica, através da equação de Ångström-Prezcott, com os coeficientes mensais ajustados para Santa Maria (ESTEFANEL et al., 1990). O saldo de radiação externo à estufa (R_{n_e}) foi calculado com a equação de Brunt-Penman (BERLATO; MOLION, 1981).

A evapotranspiração de referência foi calculada pelo método de Penman-Monteith, conforme PEREIRA et al. (1997), para as condições meteorológicas externas.

Nos dias 10, 11 e 12 de novembro de 2006, foram realizadas leituras horárias das 07:00 às 20:00 horas, com um porômetro (Li-Cor). As leituras foram realizadas em 2 plantas de cada lisímetro de drenagem (3 lisímetros) e nas duas plantas da balança, perfazendo 8 plantas. Além disso, essas leituras foram realizadas em 3 folhas de cada planta, sendo as folhas localizadas na parte inferior, no meio e na parte superior da planta. Para a apresentação dos dados, foram feitas as médias das leituras das folhas e também das plantas. Além disso, foram realizadas leituras horárias em 3 evaporímetros de Piche expostos à radiação solar, instalados a 1,5 m acima dos lisímetros de drenagem e também leituras do peso na balança para determinar a transpiração horária da cultura do pimentão nesses três dias.

3.6 Estimativa da evapotranspiração máxima e avaliação dos modelos

Para a estimativa da evapotranspiração máxima do pimentão e do tomateiro foram obtidos modelos de regressão linear múltipla utilizando todo o banco de dados do experimento da primavera de 2005. Para a geração dos modelos foi utilizado o software SAS (Statistical Analytical System). Os modelos primeiramente foram selecionados com base no coeficiente de determinação (R^2) dos respectivos modelos de regressão obtidos para cada cultura, com parâmetros angulares significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro e R^2 ajustado superior a 0,60.

Os testes dos modelos selecionados foram efetuados com os dados obtidos na primavera de 2006. A avaliação do desempenho dos modelos para a estimativa da ETm, foi realizada a partir dos valores das estatísticas:

3.6.1 Raiz do quadrado médio do erro (RMSE)

$$\text{RMSE} = \left(\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (o_t - \hat{E}_t)^2 \right)^{0,5} \quad (08)$$

em que: T é o número de determinações dos valores de ETm, o_t e \hat{E}_t são os valores observados e estimados de ETm, respectivamente.

$$\text{Em que: } \hat{E} = a + bO \quad (09)$$

Sendo a e b os coeficientes linear e angular da equação da reta de regressão linear obtidos por:

$$a = \bar{E} - b\bar{O} \quad (10)$$

$$b = \left[\sum_{t=1}^T (O_t - \bar{O})(E_t - \bar{E}) \right] \div \left[\sum_{t=1}^T (O_t - \bar{O})^2 \right] \quad (11)$$

3.6.2 Coeficiente de correlação (r) (Camargo; Sentelhas, 1997)

$$r = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (O_t - \bar{O})(E_t - \bar{E}) \div (\sigma_O \sigma_E) \quad (12)$$

em que:

$$\sigma_O = \left[\frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T (O_t - \bar{O})^2 \right]^{0,5} \quad (13)$$

$$\sigma_E = \left(\frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T (E_t - \bar{E})^2 \right)^{0,5} \quad (14)$$

Sendo, σ_O e σ_E os desvios padrões dos valores observados e estimados, respectivamente.

O coeficiente de correlação ou índice de precisão, representado pela letra r , foi utilizado como indicativo do grau de dispersão dos dados estimados em relação à média.

3.6.3 Coeficiente de exatidão ou de concordância (d) (Willmott, 1985)

O coeficiente de exatidão ou de concordância, também denominado de índice de Willmott (1985) foi utilizado para quantificar matematicamente o afastamento dos valores de ETm estimados em relação aos observados. Os valores do coeficiente de exatidão (d) variam de zero, para nenhuma concordância, a um, para uma concordância exata entre as observações e as estimativas. Sua determinação é obtida por:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{t=1}^T (E_t - O_t)^2}{\sum_{t=1}^T (|E_t - \bar{O}| + |E_t - O_t| |O_t - \bar{O}|)^2} \right] \quad (15)$$

3.6.4 Coeficiente de confiança (c) (Camargo; Sentelhas, 1997)

O coeficiente de confiança c reúne os valores das estatísticas r e d , sendo calculado pelo seu produto:

$$c = r * d \quad (16)$$

A interpretação dos modelos obtidos para as culturas do pimentão e do tomateiro foi utilizado os critérios propostos por Camargo; Sentelhas (1997), os quais são apresentados na Tabela 2.

TABELA 2. Coeficiente de confiança (c) e respectivos critérios utilizados para avaliar o desempenho dos modelos.

Valores do coeficiente c	Desempenho do modelo	Símbolo do desempenho (D')
>0,85	Ótimo	O
0,76 a 0,85	Muito Bom	MB
0,66 a 0,75	Bom	B
0,61 a 0,65	Mediano	M
0,51 a 0,60	Sufrível	S
0,41 a 0,50	Mau	Ma
≤0,40	Péssimo	P

Fonte: Camargo; Sentelhas (1997).

A diferenciação entre o desempenho dos modelos de estimativa, foi realizada a partir dos valores das estatísticas utilizadas na avaliação dos modelos e descritas anteriormente. As diferentes estatísticas de cada modelo foram dispostas em tabelas, sendo a identificação do modelo colocada na primeira coluna e os valores das suas estatísticas nas colunas subseqüentes.

Utilizando a metodologia proposta por Streck (2005), os modelos foram classificados com posições ordinais crescentes, partindo-se do valor 0,5 do melhor para o pior desempenho em cada estatística, computando-se então o somatório dos diferentes valores das posições ordinais ($\sum PO$) das estatísticas para cada modelo. Assim, os valores da coluna do coeficiente linear (a) foram ordenados sendo atribuída à posição ordinal 0,5 para o seu valor absoluto mais próximo de zero, a posição ordinal 1 para o segundo valor mais próximo de zero e assim subseqüentemente. Os valores das colunas do coeficiente angular (b) e dos coeficientes de determinação (R^2), de correlação (r), de exatidão (d) e de confiança (c) foram classificados considerando-se que os seus melhores valores devem ser iguais ou próximos a 1.

O modelo com a estatística RMSE de menor valor recebeu a posição ordinal 0,5, ou seja, mais próximo de zero, e assim foi procedido até serem classificados todos os modelos quanto a essa estatística.

Após a classificação dos modelos nas colunas das diferentes estatísticas, de acordo com a atribuição das posições ordinais crescentes para as estatísticas a, b,

RMSE, R^2 , r , d e c , realizou-se a soma dos valores das posições ordinais nas linhas. Assim, foi obtida uma última coluna nas tabelas, sendo esta composta pelo somatório dos valores das posições ordinais (ΣPO) das estatísticas de avaliação. O modelo de estimativa que apresentou o menor ΣPO das estatísticas de avaliação foi considerado o melhor, dentre aqueles avaliados na respectiva tabela.

Os critérios propostos para o ΣPO seguiu a mesma proposta de Camargo; Sentelhas (1997), para o coeficiente de confiança (c) (Tabela 2). No entanto, estes foram adaptados para esse item e são apresentados na Tabela 3.

Os modelos foram avaliados levando em consideração esses dois critérios, coeficiente de confiança (c) (Tabela 2) e ΣPO (Tabela 3). Quando dois modelos apresentaram mesmo desempenho nos testes a discussão era levada para a facilidade na obtenção das variáveis incluídas, sendo esta uma discussão de caráter subjetivo.

TABELA 3. Somatório dos valores das posições ordinais (ΣPO) das estatísticas de avaliação de modelos de estimativa da evapotranspiração máxima do tomateiro e do pimentão em estufa plástica e respectivas classes e símbolos de desempenho dos modelos.

Valores do ΣPO	Desempenho do modelo	Símbolo do desempenho (D")
≤ 40	Ótimo	O
40,5 a 50,0	Muito Bom	MB
50,5 a 60,0	Bom	B
60,5 a 65,0	Mediano	M
65,5 a 75,0	Sofrível	S
75,5 a 85,0	Ruim	R
$> 85,0$	Péssimo	P

TABELA 4. Intervalos de valores utilizados para a geração dos modelos de estimativa da ETm das culturas do pimentão e do tomateiro cultivados em estufa plástica na primavera de 2005 e 2006. Santa Maria, RS.

	Pimentão 2/2005	Pimentão 2/2006	Tomateiro 2/2005	Tomateiro 2/2006
Variável	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo
ETm	0,00 – 2,66	0,14 – 2,52	0,04 – 6,03	0,30 – 3,62
Tae	0,00 – 13,50	0,00 – 16,00	0,00 – 13,50	0,00 – 16,00
Variáveis fenométricas				
IAF	0,01 – 1,52	0,01 – 1,28	0,01 – 3,15	0,03 – 2,04
AP	8,48 – 72,29	7,10 – 58,49	10,75 – 177,05	11,72 – 120,37
NF	6,72 – 129,56	0,93 – 63,90	6,19 – 27,65	4,91 – 17,40
Variáveis meteorológicas medidas no interior da estufa				
Rg _i	0,0 – 24,73	1,65 – 22,90	0,0 – 24,73	1,65 – 22,90
t _{mi}	11,33 – 30,56	15,12 – 26,81	11,33 – 30,56	15,84 – 29,58
t _{mini}	6,04 – 21,79	6,54 – 21,44	6,04 – 21,79	6,54 – 21,44
t _{máxi}	15,59 – 42,35	20,84 – 42,0	15,59 – 42,35	20,84 – 42,0
t _{ig}	10,15 – 34,63	16,09 – 32,0	10,15 – 34,63	16,09 – 32,0
t _{i15}	14,20 – 40,99	17,72 – 41,15	14,20 – 40,99	17,72 – 41,15
t _{i21}	10,08 – 42,0	10,28 – 25,75	10,08 – 42,0	10,28 – 25,75
UR _{i9}	51 – 97	74 – 98	51 – 97	74 – 98
UR _{i15}	29 – 95	52 – 98	29 – 95	52 – 98
UR _{i21}	57 – 97	88 – 99	57 – 97	88 – 99
UR _{mi}	65 – 96	79 – 97	65 – 96	79 – 98
d _i	0,53 – 15,80	0,64 – 11,16	0,53 – 15,36	0,43 – 12,40
d _{i9}	0,92 – 38,87	0,37 – 11,76	0,92 – 38,87	0,37 – 11,76
d _{i15}	0,39 – 24,14	0,53 – 31,06	0,39 – 24,14	0,53 – 31,06
d _{i21}	0,16 – 13,48	0,29 – 3,55	0,16 – 13,48	0,29 – 3,55
Variáveis meteorológicas medidas no exterior da estufa (Estação Meteorológica)				
Rg _e	4,43 – 24,95	6,34 – 24,98	4,84 – 24,95	6,34 – 24,98
Rn _e	2,86 – 14,46	4,3 – 14,2	3,16 – 14,46	4,3 – 14,2
N	0,0 – 12,5	0,0 – 12,4	0,0 – 12,5	0,0 – 12,4
t _{me}	8,86 – 28,96	12,8 – 29,2	8,86 – 28,96	12,8 – 29,2
t _{mine}	3,0 – 21,0	5,0 – 23,0	3,0 – 21,0	5,0 – 23,0
t _{máxe}	11,6 – 37,0	18,4 – 36,2	11,6 – 37,0	18,4 – 36,2
t _{e9}	7,6 – 30,4	12,4 – 29,8	7,6 – 30,4	12,4 – 29,8
t _{e15}	9,6 – 36,6	17,2 – 35,6	9,6 – 36,6	17,2 – 35,6
t _{e21}	8,4 – 28,4	10,4 – 27,2	8,4 – 28,4	10,4 – 27,2
UR _{e9}	37 – 98	48 – 98	41 – 98	48 – 98
UR _{e15}	29 – 98	24 – 92	29 – 98	24 – 92
UR _{e21}	45 – 98	53 – 98	53 – 98	53 – 98
UR _{me}	48 – 96	52 – 94	48 – 96	52 – 94
d _e	0,50 – 17,28	1,2 – 16,5	0,50 – 17,28	1,2 – 16,5
U ₂	0,02 – 2,39	1,44 -1,93	0,02 – 2,39	1,44 -1,93
Prec	0,0 - 91	0,0 – 105,9	0,0 - 91	0,0 – 105,9
ETo	0,76 – 4,89	1,19 – 4,92	0,76 – 4,89	1,19 – 4,92

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Cultura do Pimentão

4.1.1 Evapotranspiração máxima (ET_m) do pimentão

A evapotranspiração máxima (ET_m) do pimentão no período experimental de 131 dias em 2005, foi de 101,5 mm, com uma média diária de 0,81 mm. No período experimental de 2006, a ET_m totalizou 82,2 mm em 85 dias com uma média diária de 1,04 mm (Figura 2). Esse valor é semelhante ao obtido por Saggin et al. (1999), que obtiveram um consumo de água de 138 mm em um período experimental de 132 dias (1,04 mm dia⁻¹). No entanto, esses valores de ET_m podem ser considerados baixos se comparados aos de Tazzo et al. (2004), que verificaram valores médios diários de ET_m de 1,29 e 1,51 mm para o pimentão cultivado na primavera de 2000 e 2001, respectivamente, e ao valor médio de 1,21 mm obtido por Dalmago et al. (2003) para o pimentão cultivado no outono.

O índice de área foliar (IAF) médio nos dois experimentos foi de 0,7 cm² cm⁻², alcançando valores máximos, de 1,5 em 2005 e apenas 1,28 cm² cm⁻² em 2006, no final dos experimentos, o que resultou em ET_m menores do que os encontrados por Dalmago et al. (2003) e Tazzo et al. (2004) (Figura 2). O baixo valor de IAF máximo em 2006 foi devido a problemas ocasionados por ácaros nas plantas, sendo o ataque concentrado principalmente nas folhas novas dos ápices, o que provocou a estagnação do crescimento e, conseqüentemente, na finalização do experimento antes do estágio previsto.

Na primavera de 2005, verificou-se que até os 60 dias após o transplante (DAT) a ET_m foi inferior a 0,5 mm dia⁻¹. Isso provavelmente ocorreu devido a um período chuvoso (Apêndice A) com conseqüente menor densidade do fluxo de radiação solar (APÊNDICE B) e maior UR no ambiente externo e interno (Apêndice D). Além disso, os baixos valores de IAF da cultura e a utilização de "mulching" plástico sobre a superfície do solo, reduziram sua respectiva contribuição de evaporação para a ET_m.

Após os 60 DAT verificou-se um incremento significativo na ET_m, devido ao aumento da disponibilidade de radiação solar e ao aumento do comprimento do dia. Isso implica em maior tempo em que a planta permanece com os estômatos abertos, transpirando. Além disso, a estufa permaneceu aberta por mais tempo, facilitando a remoção do vapor d'água do seu interior (Apêndices D, E e F), conforme já verificado por Righi et al. (2002), Dalmago et al. (2003), Streck et al. (2003) e Tazzo et al. (2004). O valor máximo de ET_m de 2,66 mm em 2005, ocorreu aos 106 DAT, quando se verificou valores elevados de radiação solar, aumentando dessa forma a energia disponível para o processo de transpiração e a alta velocidade de vento, favorecendo a retirada do vapor d'água e, conseqüentemente, aumentando também o déficit de saturação de vapor d'água nesse ambiente (Apêndice E).

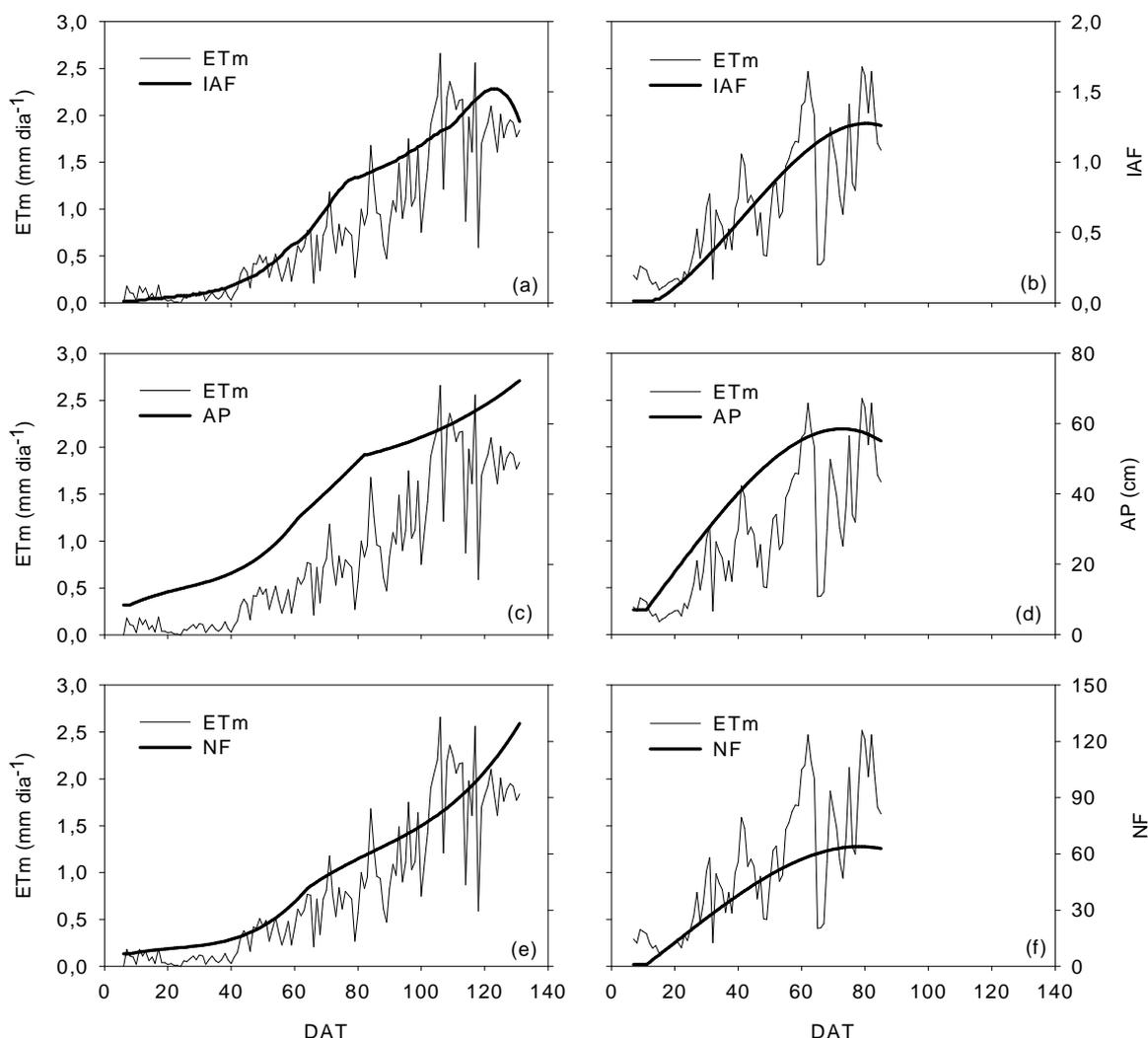


FIGURA 2. Evapotranspiração máxima (ETm) e índice de área foliar (IAF) (a, b), altura de plantas (AP) (c, d) e número de folhas (NF) (e, f) do pimentão cultivado em estufa plástica, em função dos dias após o transplante (DAT) nas primaveras de 2005 (a, c, e) e 2006 (b, d, f) em Santa Maria, RS.

Na Figura 3 observa-se que a ETm respondeu positivamente às variáveis fenométricas da cultura (IAF, AP e NF). O IAF, a AP e o NF apresentaram valores maiores em 2005 (Figuras 3a, 3c e 3e) do que em 2006 (Figuras 3b, 3d e 3f), principalmente a AP e o NF, decorrente do ataque de ácaros em 2006. Essa mesma tendência da ETm com as variáveis fenométricas, se deve ao incremento do IAF, do NF e da AP juntamente com o aumento da demanda evaporativa atmosférica que ocorre nesse período de inverno-primavera.

A ETm teve uma relação quadrática com o IAF durante todo o período experimental, sendo o valor do R^2 de 0,80 em 2005 (Figura 3a). Em 2006 (Figura 3b) apresentou um ajuste de 0,62. As diferenças estão associadas às variações da ETm

de dia para dia em função das mudanças das condições de demanda hídrica da atmosfera. Dalmago et al. (2003) verificaram relação linear da ET_m do pimentão cultivado no outono até IAF de 1,4 m² m⁻², e acima desse valor não houve relação definida. Tazzo et al. (2004) também verificaram maior relação da ET_m do pimentão cultivado na primavera com o IAF, quando IAF até 1,0 m² m⁻², em dois anos de cultivo (2000 e 2001).

No presente trabalho, a divisão em duas fases não resultou em melhora dos resultados (IAF ≤ 1,0 m² m⁻² (R²=0,74 e 0,62) e IAF > 1,0 m² m⁻² (R²=0,14 e 0,0002), para 2005 e 2006, respectivamente). No entanto, a tendência desses resultados foi a mesma obtida por Dalmago et al (2003) e Tazzo et al. (2004), sendo linear na primeira fase (IAF ≤ 1,0) e na segunda fase (IAF > 1,0) não houve relação definida da ET_m com o IAF.

Quando foi utilizada a variável AP, esta apresentou melhor ajuste estatístico com uma função quadrática com a ET_m, gerando um R² de 0,80 e 0,59 para 2005 e 2006 (Figuras 3c e 3d), respectivamente. Para a variável NF a relação apresentou melhor ajuste estatístico com uma função cúbica em 2005 e com uma função quadrática em 2006, apresentando um R² de 0,82 e 0,61, respectivamente (Figuras 3e e 3f). Valandro (1999) verificou uma elevada relação entre a transpiração acumulada e o NF do tomateiro, mostrando, dessa forma, grande dependência da transpiração com essa variável. Essas duas variáveis, AP e, principalmente, NF, são importantes na obtenção de modelos para a estimativa da ET_m, já que são de obtenção mais fácil por parte do produtor, se comparadas com o IAF.

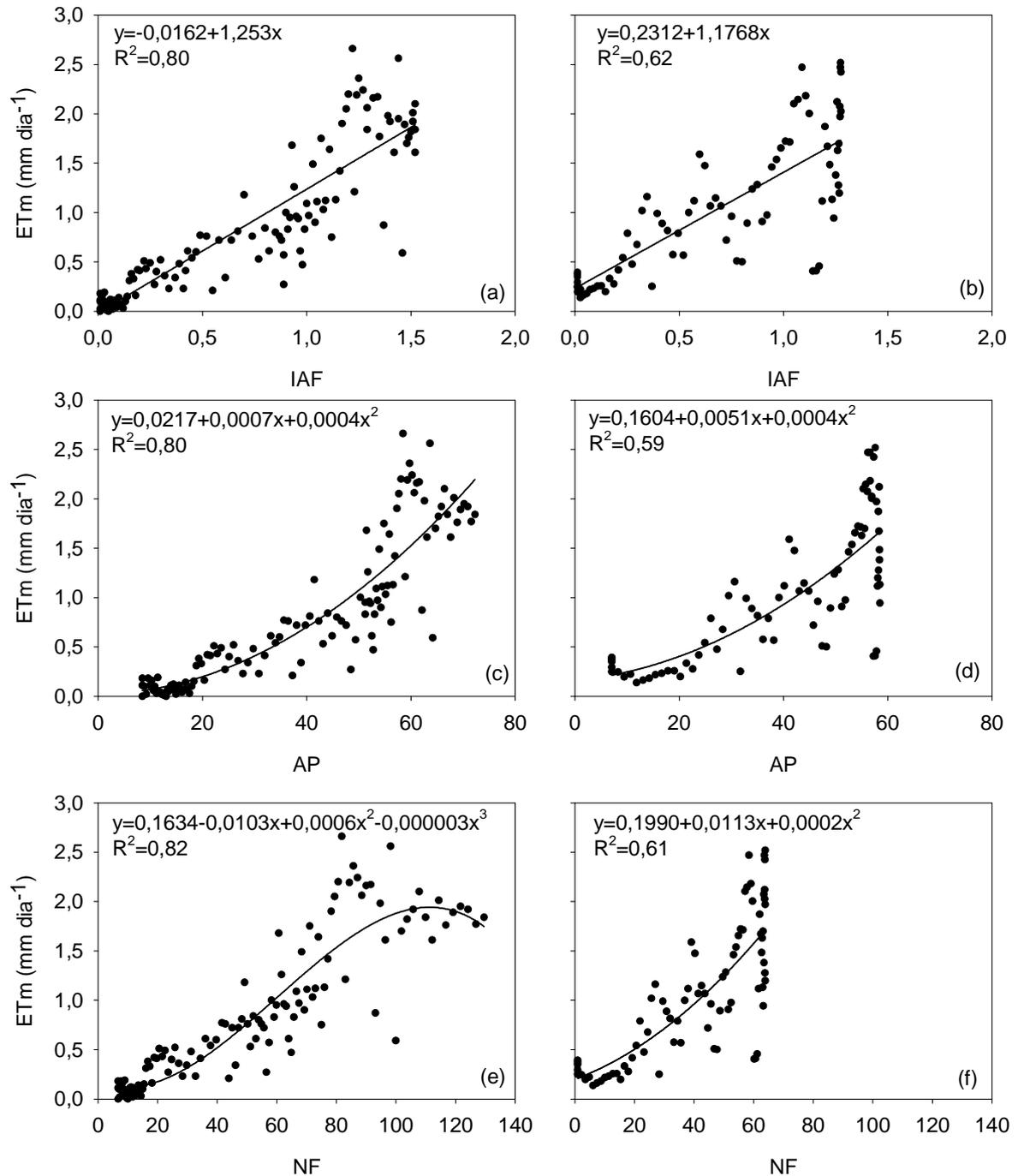


FIGURA 3. Evapotranspiração máxima (ETm) do pimentão cultivado em estufa plástica, em função do índice de área foliar (IAF) (a, b), da altura de plantas (AP) (c, d) e do número de folhas (NF) (e, f) na primavera de 2005 (a, c, e) e 2006 (b, d, f) em Santa Maria, RS.

Em geral, no experimento de 2006 nota-se que o ajuste dos dados da ETm com as variáveis fenométricas (IAF, NF e AP) foi inferior do que no experimento de 2005 (Figura 3). Esse menor ajuste provavelmente ocorreu devido ao estresse sofrido pelas plantas em razão do ataque de ácaros nesse período experimental, o

que poderia ocasionar o fechamento dos estômatos como forma de defesa da planta. Streck et al. (2003) também verificaram uma redução na ET_m devido a injúria mecânica causada pela retirada das folhas. Segundo Taiz e Zeiger (2006), além de fatores ambientais, os fatores bióticos como ervas daninhas, patógenos e ataque por insetos também provocam estresse e por consequência podem reduzir a transpiração. No entanto, não deve ser esquecido que uma maior oscilação da demanda atmosférica entre dias subseqüentes, afeta a variação da ET_m diária medida para um mesmo valor biométrico (Figura 2), o que piora seu ajuste aos dados das variáveis fenométricas (Figura 3). Além disso, esse pior ajuste em 2006 pode também estar relacionada com o menor IAF da cultura nesse ano.

4.1.2 Evapotranspiração máxima do pimentão e sua relação com as variáveis meteorológicas

A relação entre ET_m e a R_{g_i} ou a R_{g_e} foi linear (Figura 4). Embora apresentasse valores baixos de coeficientes de determinação, mostrou a contribuição dessa variável no processo da transpiração das culturas, devido a sua função na regulação estomática e ser a principal fonte de energia para o processo de mudança de fase da água no processo da ET_m (OKUYA; OKUYA, 1988; RIGHI, 2000).

A radiação solar medida no interior da estufa (R_{g_i}) mostrou a mesma tendência da R_{g_e}, sendo que em 2005 apresentou valores um pouco menores do que a apresentada no seu exterior (Figuras 4a e 4c). A correlação entre a ET_m e a radiação solar global no experimento de 2005 foi baixa, apresentando R² de 0,51 e de 0,60 para R_{g_i} e R_{g_e}, respectivamente (Figura 4a e 4c). No experimento de 2006 (Figura 4b e 4d), foi ainda pior do que no experimento de 2005, apresentando um R² menor (0,39 e 0,37 para R_{g_i} e R_{g_e}, respectivamente) (Figura 4b e 4d).

O coeficiente de determinação encontrado por Dalmago et al. (2006) para a relação entre a R_{g_e} e a ET_m do pimentão cultivado no outono em estufa foi de 0,71. Segundo esse autor altas temperaturas associadas à alta disponibilidade de radiação solar, o que é verificado nos dois períodos de primavera analisados, poderiam resultar em um aumento da resistência estomática e na redução da

transpiração nos momentos de elevada incidência de radiação solar associada a elevados níveis de déficit de saturação. Isso pode ser verificado na grande dispersão dos dados com alta disponibilidade de radiação solar, nos dois períodos experimentais analisados (Figura 4).

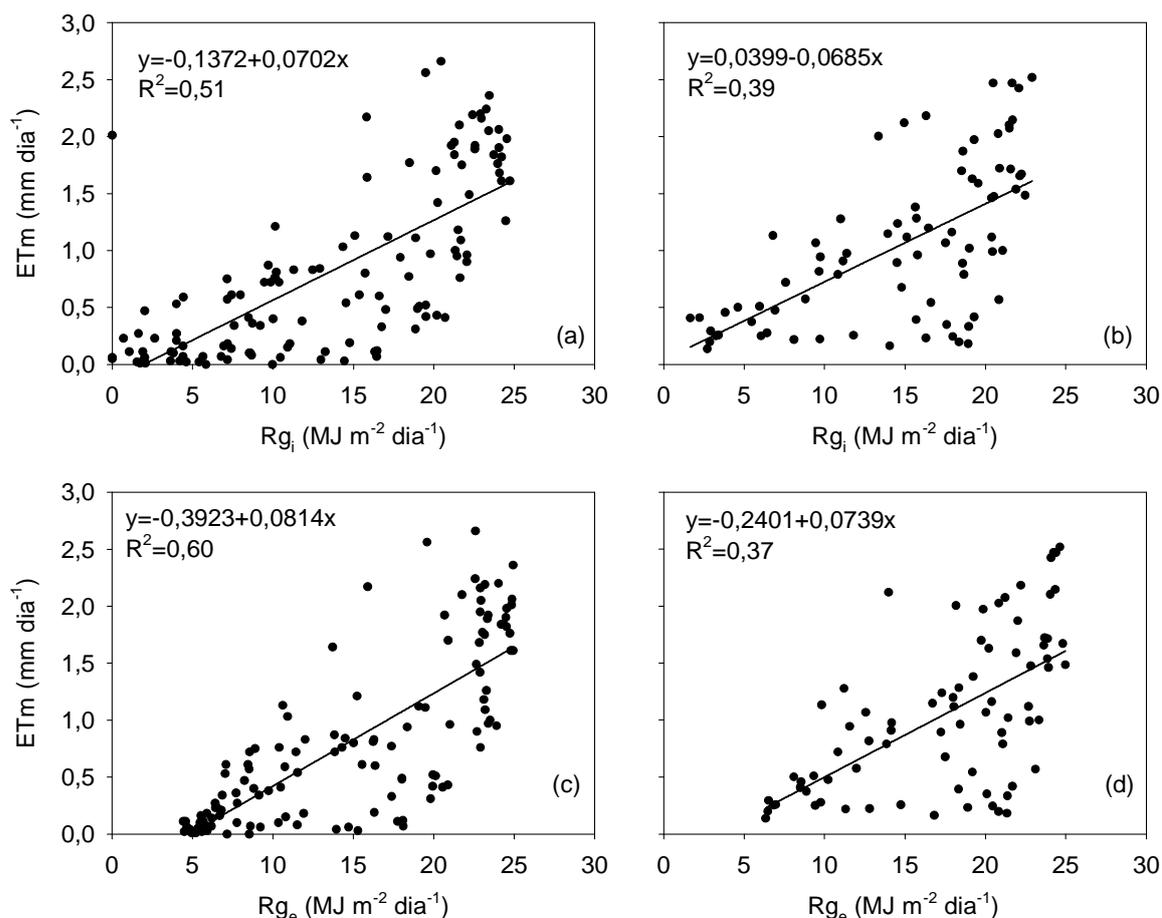


FIGURA 4. Evapotranspiração máxima (ETm) do pimentão cultivado em estufa plástica, em função da radiação solar global interna (Rg_i) (a, b) e da radiação solar global externa (Rg_e) (c, d), na primavera de 2005 (a, c) e 2006 (b, d), em Santa Maria, RS.

Ao verificar a relação entre a ETm e a radiação solar, dividindo-se o banco de dados em duas classes de IAF (IAF < 0,5 e IAF > 0,5), foi verificado que o ajuste entre ETm e Rg foi pequeno enquanto as plantas apresentavam IAF < 0,5, principalmente, no experimento da primavera de 2006 (Figura 5). Quando o IAF foi maior (IAF > 0,5) foi verificado um melhor ajuste entre essas variáveis, principalmente no experimento de 2006, se comparado com o ajuste obtido quando foram utilizados todos os dados

(Figuras 4c e 4d). A melhor relação entre R_g (medida no interior e no exterior da estufa) e ET_m em 2005 pode ser devida ao rápido incremento do IAF observado no período inicial de desenvolvimento da cultura, acompanhando dessa forma o aumento da disponibilidade da radiação solar da primavera em direção ao verão.

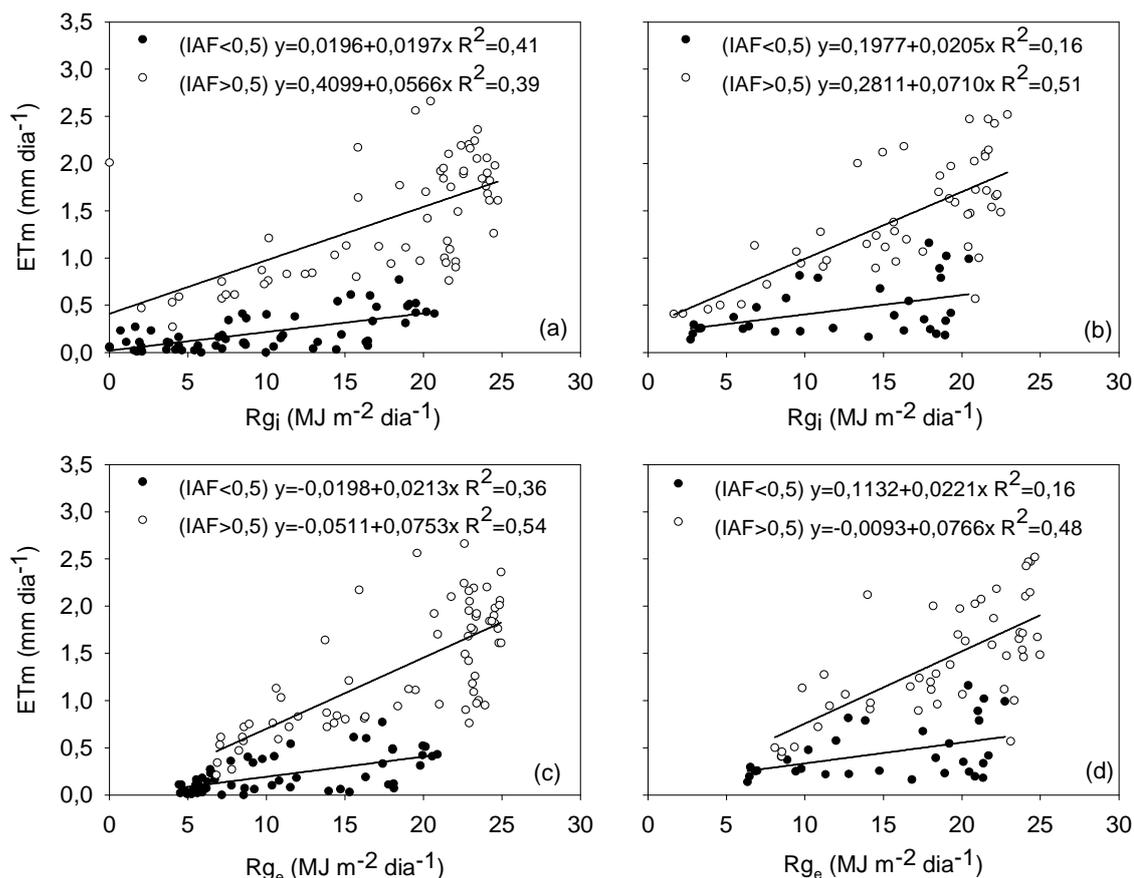


FIGURA 5. Evapotranspiração máxima (ET_m) do pimentão cultivado em estufa plástica, em função da radiação solar global interna (R_{g_i}) (a, b) e da radiação solar global externa (R_{g_e}) (c, d), em duas faixas de IAF, na primavera de 2005 (a, c) e 2006 (b, d), em Santa Maria, RS.

O saldo de radiação (R_{n_e}) apresentou relação linear e um melhor ajuste com a ET_m (R^2 de 0,73 e 0,51, em 2005 e 2006, respectivamente) (Figura 6), do que a R_{g_e} (Figura 4c e 4d). Em estudos realizados por Heldwein et al. (2004) e Dalmago et al. (2006) também foi verificado melhor ajuste da R_{n_e} com a ET_m do pimentão do que com a R_{g_e} .

A relação linear encontrada entre evapotranspiração e a radiação solar e o saldo de radiação também foi verificada por De Villele (1972); Streck et al. (2003) e

Dalmago et al. (2006). Essa tendência linear expressa a realidade física do processo e é lógica dentro da faixa de valores de Rn_e determinados nos dois períodos experimentais. Essa afirmação é confirmada pelo fato de que no método micrometeorológico do balanço de energia ou nos métodos dele derivados (Penman e Penman-Monteith) para estimar a evapotranspiração de referência, os valores de Rn_e tem efeito linear nos valores de ET_o . Considerando que nesses métodos de estimativa da evapotranspiração o efeito da temperatura é computado através da tangente à curva de saturação (na temperatura do ar), a qual é a derivada da equação de tetens, teoricamente também se espera um efeito linear da temperatura na ET_m das culturas.

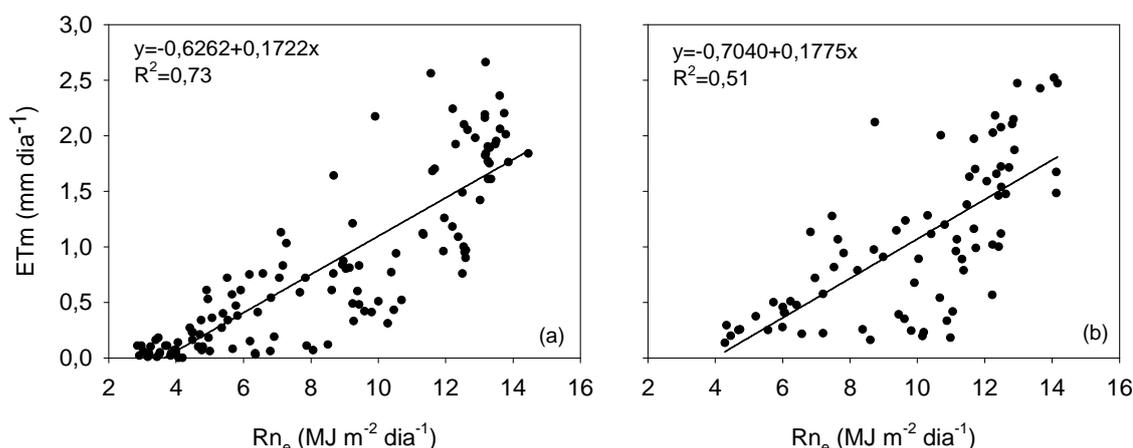


FIGURA 6. Evapotranspiração máxima (ET_m) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera de 2005 (a) e 2006 (b) em função do saldo de radiação externo a estufa plástica (Rn_e), em Santa Maria, RS.

A temperatura média diária do ar apresentou aumento ao longo do período experimental. Os maiores valores dessa variável em 2005 ocorreram aos 106 DAT (23/11/2005), alcançando 30,60°C e 28,96°C para o interior e exterior da estufa, respectivamente (Apêndice C). No período experimental da primavera de 2006 os maiores valores foram verificados aos 80 DAT (02/12/2006), com 29,58 e 29,20°C no interior e no exterior da estufa, respectivamente (Apêndice C).

A relação entre a ET_m do pimentão e a temperatura média do ar, tanto interna quanto externa à estufa, foi linear nos dois períodos experimentais (Figura 7),

confirmando a resposta teórica que se espera um efeito linear da temperatura e na ETm das culturas. Em 2005, o ajuste entre as duas variáveis foi melhor do que em 2006, o que também foi anteriormente verificado para a variável radiação solar. A menor correlação ocorreu com a temperatura média interna em 2006 ($R^2=0,38$).

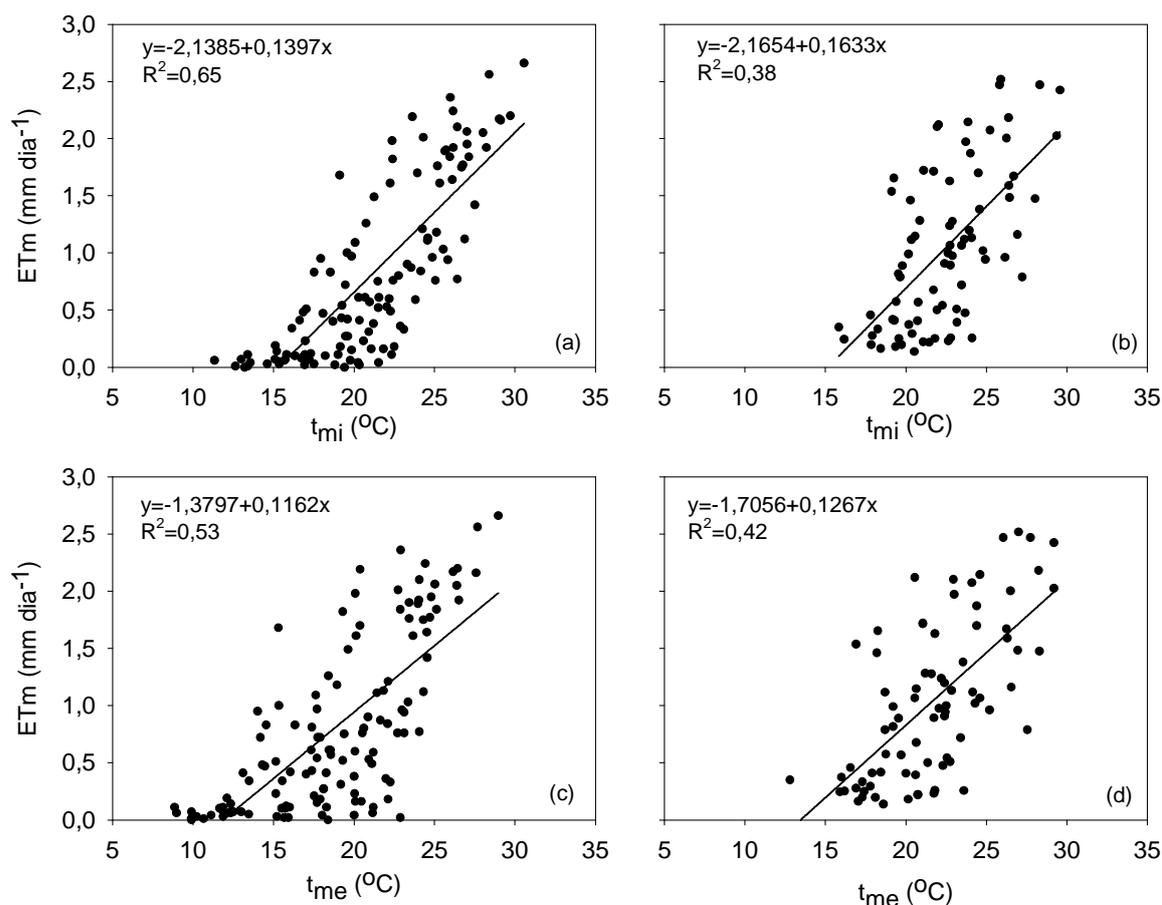


FIGURA 7. Evapotranspiração máxima (ETm) do pimentão cultivado em estufa plástica, em função da temperatura média do ar interna (t_{mi}) (a, b) e da temperatura média do ar externa (t_{me}) (c, d), na primavera de 2005 (a, c) e 2006 (b, d), em Santa Maria, RS.

Dalmago et al. (2006) também verificaram uma baixa correlação entre valores diários de evapotranspiração do pimentão e temperatura média do ar. Obtiveram maior correlação da temperatura interna com a ETm, quando utilizaram os valores pontuais de temperatura máxima e ou das 15 horas. Segundo esses autores, depois de atendida a quantidade de radiação solar necessária para a abertura estomática, é a temperatura do ar a variável que pode influenciar de forma mais significativa a

resistência estomática. Além disso, o aumento da temperatura no período diário tem também um efeito positivo indireto sobre a ET_m, por ser a causa principal do aumento do déficit de saturação do ar (d). Isso também explica por que o efeito da umidade do ar na ET_m em geral é explicado de forma mais precisa e consistente pela variável “déficit de saturação” do que pela variável umidade relativa do ar (UR).

A umidade do ar é uma variável meteorológica que pode causar redução da abertura estomática, ocasionando redução da evapotranspiração (BAILLE et al., 1993), o que também já foi verificado por Dalmago et al. (2006) para o pimentão cultivado no outono, mas provavelmente não ocorreu na maioria dos dias dos dois períodos experimentais, por causa da baixa frequência de ocorrência de alta umidade relativa do ar (Apêndice D).

Os maiores valores diários de umidade relativa média do ar (UR), no período experimental de 2005, foram de 96% no interior da estufa aos 56 DAT (04/10/2005) e de 96,25% no ambiente externo aos 36 DAT (14/09/2005), e os menores valores ocorreram no período final do experimento (Apêndice D). No período experimental de 2006, os maiores valores de UR foram de 98,33 e 94,5% aos 65 DAT no ambiente interno e externo, respectivamente (Apêndice D).

A umidade relativa média foi maior no interior da estufa plástica, e as maiores diferenças de umidade entre o ambiente interno e externo foram no período final dos dois períodos experimentais, provavelmente porque as plantas eram maiores e com uma área transpirante maior, ocasionando essa maior umidade relativa média do ar, mesmo a estufa permanecendo grande parte do período diurno aberta, permitindo a renovação do ar e a retirada de vapor d'água do seu interior (Apêndice F). Isso contribuiu para as maiores diferenças de déficit de saturação do vapor d'água nos dois ambientes, ou seja, os menores valores de déficit de saturação do ar foram encontrados no ambiente interno nesse período (Apêndice E).

No período experimental de 2005 (Figuras 8a e 8c), o déficit de saturação do ar medido no interior da estufa e no ambiente externo, apresentou um Bom ajuste com a ET_m. No entanto, em 2006 (Figuras 8b e 8d) esse Bom ajuste não se confirmou, principalmente com o déficit interno, que apresentou um R² de 0,39. Righi et al. (2002) e Dalmago et al. (2006) verificaram que no período de outono-inverno essa variável meteorológica apresentou a melhor correlação com a transpiração do tomateiro e do pimentão do que as demais variáveis. Como a primavera de 2005 apresentou um período chuvoso (Apêndice A), pode-se inferir que provavelmente o

déficit de saturação tenha grande influência sobre a ETm, em razão das estufas permanecerem fechadas em parte do período diurno. Enquanto que na primavera de 2006, isso não ocorreu por que nesse período não ocorreram períodos prolongados de chuva (Apêndice A).

É importante ressaltar que a ETm é função de um conjunto de variáveis meteorológicas, principalmente radiação solar ou saldo de radiação, déficit de saturação e temperatura do ar. Portanto, em muitas ocasiões, pode ocorrer elevada disponibilidade de radiação solar e alta temperatura, o que propicia uma condição favorável para o aumento da ETm das plantas. No entanto, valores baixos de déficit de saturação do ar, devido ao acúmulo de vapor d'água no interior da estufa, não favorecem o fluxo transpiratório.

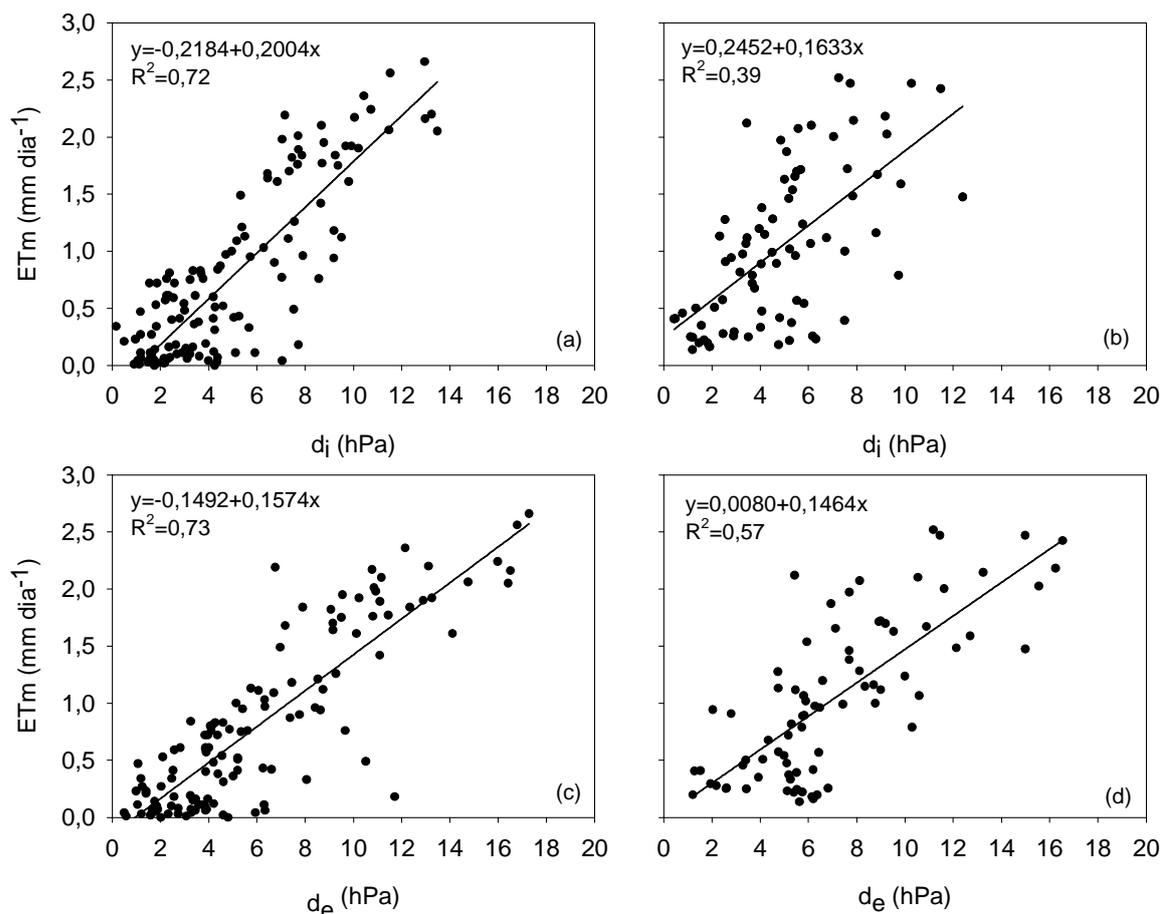


FIGURA 8. Evapotranspiração máxima (ETm) em função do déficit de saturação do ar no ambiente interno (d_i) (a e c) e no ambiente externo (d_e) (c e d), do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera de 2005 (a, c) e 2006 (b, d), em Santa Maria, RS.

Outro fato a ser considerado são os limites máximos de tolerância da cultura em relação, principalmente, à temperatura do ar, pois provavelmente com temperaturas muito elevadas a planta fecha os estômatos, parcial ou totalmente, como uma forma de defesa para a perda excessiva de água. Essa hipótese é levantada em razão da visualização do murchamento das plantas de pimentão cultivadas no interior de estufas em dias com temperaturas muito elevadas, mesmo com plena disponibilidade de água no substrato.

Para tentar elucidar algumas discrepâncias que ocorreram na relação da transpiração do pimentão com as variáveis meteorológicas, foram realizadas leituras horárias das 07:00 às 20:00 horas, com um porômetro nos dias 10, 11 e 12 de novembro de 2006. Quando a transpiração foi relacionada com os dados de leitura horária de Piche, que incorpora as variáveis meteorológicas (radiação solar, temperatura, umidade relativa e ou déficit de saturação do ar), não houve boa correlação ($R^2 = 0,38$) (Figura 9a). No entanto, quando se relacionou a transpiração da cultura do pimentão com os valores da evaporação medida no evaporímetro de piche e dividida pela resistência estomática (Piche/Res), a correlação melhorou ($R^2=0,81$) (Figura 9b). Isso mostra que além das variáveis meteorológicas, a resistência estomática (condicionada pela condição micrometeorológica) influencia na transpiração da cultura do pimentão, isto é, a transpiração aumenta com a diminuição da resistência estomática.

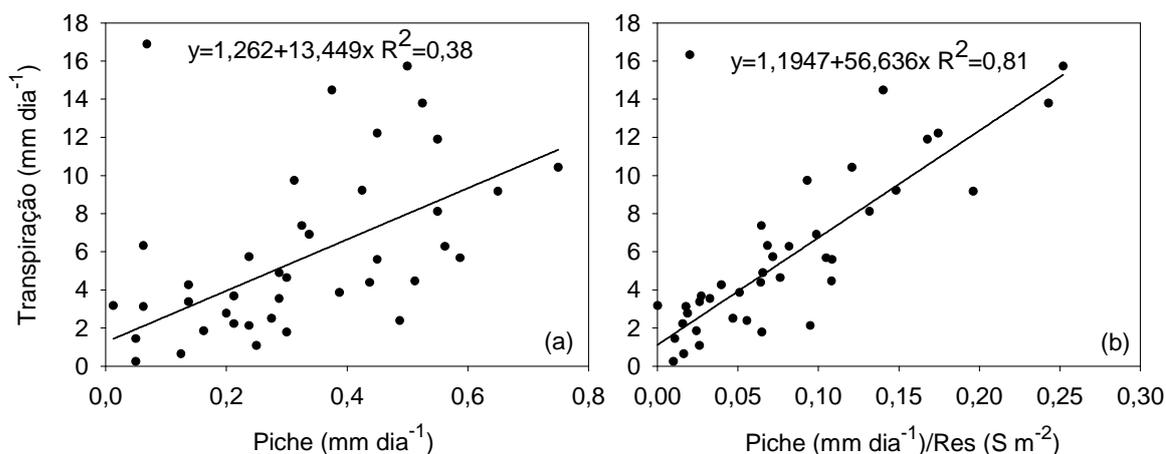


FIGURA 9. Transpiração da cultura do pimentão em função do evaporímetro de Piche (a) e da relação do evaporímetro de Piche e a resistência estomática, medida no porômetro nos dias 10, 11 e 12/11. Santa Maria, RS, 2006.

Okuya; Okuya (1988) e Baille et al. (1994) verificaram que a transpiração de algumas espécies não acompanha linearmente a variação da radiação solar. Evidencia-se assim uma estabilização dos valores de resistência estomática acima de certos valores elevados de déficit de saturação do ar e que o aumento do déficit de saturação e da temperatura do ar não aumenta linearmente a transpiração da cultura.

A relação da resistência estomática horária com as variáveis meteorológicas medidas no interior da estufa plástica é mostrada na Figura 10. Os intervalos de dados de R_g , temperatura, umidade relativa e déficit de saturação do ar foram de 0,0 a 3,0 MJ m⁻² h⁻¹, 17,4 a 32,6°C, 55,9 a 93,9 % e 1,1 a 22,3 hPa, respectivamente.

A variável que melhor se correlacionou com resistência estomática foi a radiação solar, obtendo-se um coeficiente de determinação de 0,51. Menores ajustes foram obtidos nas relações com as variáveis umidade relativa do ar ($R^2=0,34$), temperatura do ar ($R^2=0,31$) e déficit de saturação do ar ($R^2=0,28$), mas que entre si não apresentaram uma grande diferença. Montero et al. (2001), verificaram que a resistência estomática tornou-se mais estável com valores de déficit de saturação e temperatura do ar maior do que 15hPa e de 30°C, respectivamente. Na Figura 10b e 10d também pode ser visualizada a tendência de certa estabilidade dos dados de resistência estomática com valores mais elevados de déficit de saturação do ar (>15hPa) e de temperatura do ar (>30°C). Essa

estabilidade poderia ser melhor visualizada, se o déficit de saturação do ar e da temperatura tivessem apresentado valores mais elevados.

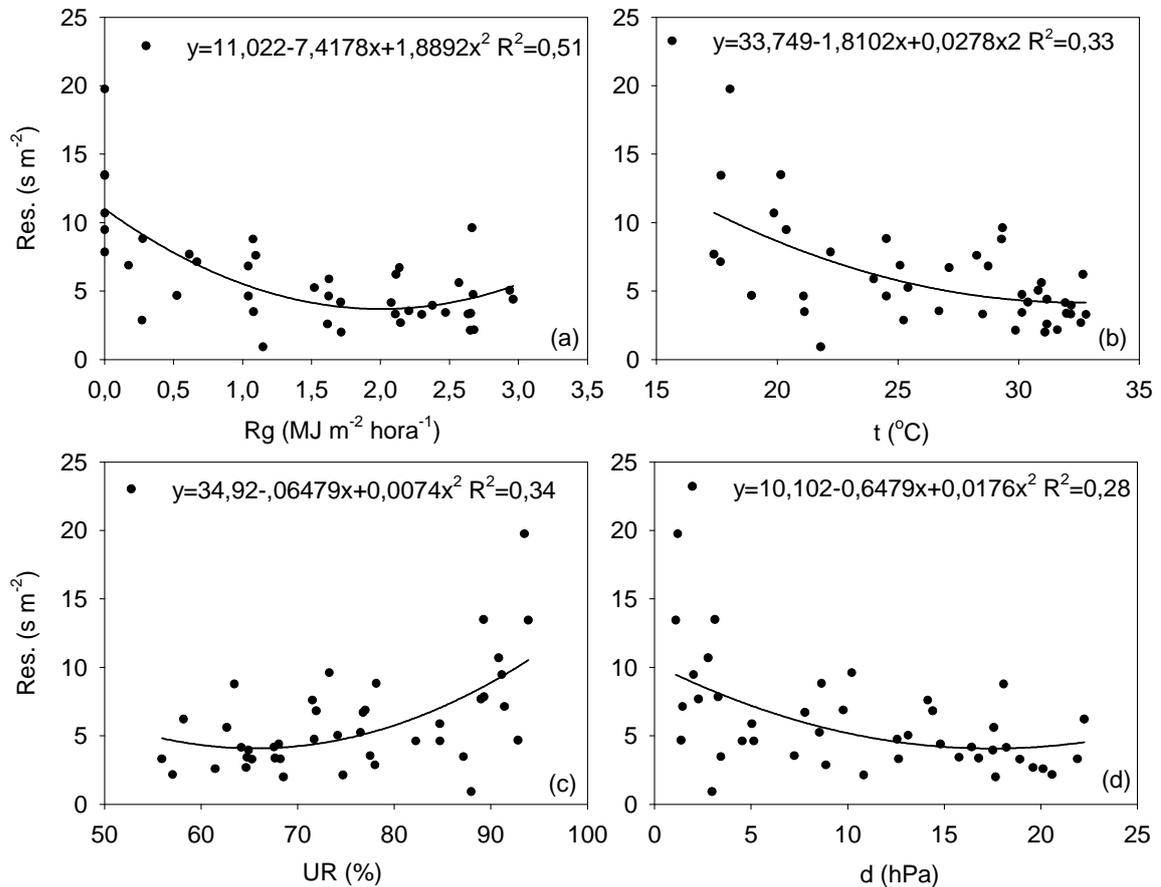


FIGURA 10. Resistência estomática da cultura do pimentão ($s m^{-1}$) em função da radiação solar (Rg, em $MJ m^{-2} h^{-1}$) (a), da temperatura do ar (t em $^{\circ}C$) (b), da umidade relativa do ar (UR em %) (c) e do déficit de saturação do ar (d em hPa) (d), medida no porômetro das 07:00 às 20:00 horas, nos dias 10, 11 e 12/11. Santa Maria, RS, 2006.

A transpiração horária (7:00 às 20:00 horas) da cultura do pimentão medida em um lisímetro de balança é apresentada na Figura 11. A transpiração das plantas de pimentão foi mais bem determinada pela temperatura do ar (R^2 de 0,84), seguida pelo déficit de saturação do ar ($R^2=0,77$), umidade relativa do ar ($R^2=0,75$) e por último pela radiação solar ($R^2=0,58$).

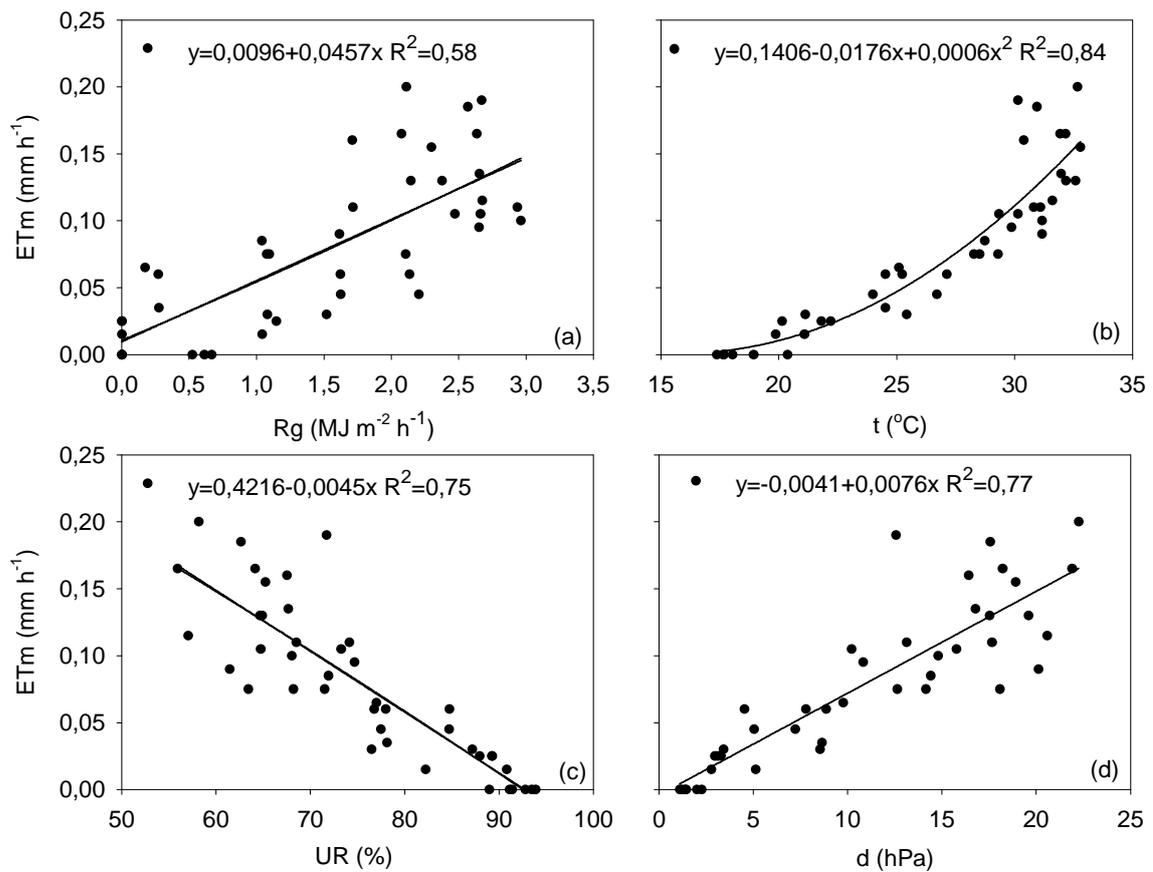


FIGURA 11. Evapotranspiração máxima do pimentão (ETm em mm, medida no minilímetro de pesagem), em função da radiação solar (Rg em MJ m⁻²) (a), da temperatura (t em °C) (b), da umidade relativa do ar (UR em %) (c) e do déficit de saturação do ar (d em hPa), medida na porômetro das 07:00 às 20:00 horas, nos dias 10, 11 e 12/11. Santa Maria, RS, 2006.

4.1.3 Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima do pimentão utilizando variáveis meteorológicas medidas no interior da estufa

Os modelos para a estimativa da evapotranspiração do pimentão foram gerados através da análise de regressão com todos os dados da primavera de 2005. Foi possível selecionar 169 modelos utilizando variáveis medidas no interior das estufas, os quais apresentaram um coeficiente de determinação ajustado (R^2) maior do que 0,60 na sua geração e todos os seus coeficientes angulares significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro (Tabelas 5, 7, 9 e 11). Partindo da premissa de que a evapotranspiração depende da dimensão da parte aérea das plantas, em todos os modelos selecionados utilizaram-se pelo menos uma variável

fenométrica (IAF, NF ou AP), com exceção do modelo 43i. Além disso, para uma mesma condição meteorológica, esperava-se que o aumento da dimensão da parte aérea resultaria em aumento da ETm. Assim, considerando esse efeito, a ETm por unidade de IAF, AF ou AP ou o seu valor transformado, deveria resultar em valores similares para uma mesma condição meteorológica. Os melhores resultados obtidos na obtenção de modelos nessa linha teórica, são apresentados nas Tabelas 7, 9 e 11, respectivamente, para os modelos em que se utilizou ETm $ETm/IAF^{0,5}$, $ETm/NF^{0,5}$ e $ETm/AP^{0,5}$ como variável dependente, juntamente com variáveis meteorológicas medidas no ambiente interno da estufa.

Os modelos utilizaram uma variável fenométrica (IAF, NF ou AP) como variável independente e ou a ETm por unidade de raiz quadrada do IAF, isto é, dividida pela $IAF^{0,5}$, juntamente com variáveis meteorológicas medidas no interior da estufa plástica (Tabelas 5 e 7). Os respectivos testes dos modelos são apresentados nas Tabelas 6 e 8, os modelos foram classificados em ordem crescente pelo “somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação” (ΣPO), para obter maior facilidade de visualização e discussão dos resultados obtidos. Os modelos foram analisados seguindo dois critérios de avaliação (Camargo e ΣPO).

Os resultados mostram que a ETm do pimentão cultivado na primavera pode ser estimada a partir de determinações simples e pontuais de variáveis meteorológicas medidas no interior da estufa, juntamente com uma variável que descreva o crescimento da planta. Na Tabela 5 verifica-se que os modelos que utilizam somente o déficit de saturação do ar, seja valor(es) médio(s) de um período e ou pontuais, associados a uma variável fenométrica, apresentaram valores de $R^2 > 0,90$ (modelos 1i a 9i). Esse resultado é importante devido à utilização de apenas uma variável meteorológica associada a uma variável de crescimento das plantas. Nesse caso seria necessário instalar apenas um psicrômetro no interior da estufa para a sua medição. Os modelos 11i, 14i e 18i utilizam o di_{15} como variável meteorológica, apresentando também um elevado valor de R^2 na sua geração. DALMAGO et al. (2006) verificaram que o déficit de saturação médio medido no interior da estufa foi a variável interna que apresentou melhor ajuste a ETm do pimentão no outono.

Ao utilizar a radiação solar interna (R_{gi}) (modelos 10i, 12i, 13i 19i, 22i, 24i, 26i, 30i, 31i, 32i, 33i, 34i, 35i 36i, 37i, 38i e 41i), os modelos apresentaram valores

considerados bons de coeficiente de determinação ($R^2 > 0,83$) na sua geração. No entanto, vale ressaltar que os maiores valores de coeficiente de determinação ($R^2 > 0,88$) foram obtidos quando a Rg_i foi associada ao déficit de saturação do ar (modelos 10i, 12i e 13i) (Tabela 5). Para a abóbora italiana os melhores modelos de estimativa obtidos por HELDWEIN et al. (2004) incluem a radiação solar e a evaporação d'água medida no interior da estufa.

Modelos que utilizam a temperatura (t) e a umidade relativa do ar (UR), tanto valores médios quanto pontuais, e temperaturas diárias máximas e mínimas, também mostraram valores elevados de coeficiente de determinação ($R^2 > 0,82$), sendo que dos 25 modelos que utilizaram essas variáveis, 13 não utilizaram a Rg_i , e o restante sempre esteve associada a essa variável.

Com relação as variáveis fenométricas, verifica-se que a utilização do IAF, do NF e da AP, apresentaram valores elevados de R^2 . É interessante obter modelos que utilizam o NF e a AP, devido à simplicidade e rapidez da coleta dessas duas variáveis, já que o produtor precisa apenas contar o NF e ou medir com uma régua graduada a altura das plantas.

Uma análise geral da Tabela 5, evidencia que todos os modelos apresentados poderiam estimar satisfatoriamente a ET_m do pimentão cultivado em estufa plástica, já que todos apresentam coeficientes de determinação elevados. No entanto, para ratificar ou desaprovar esses resultados, os modelos gerados por análise de regressão foram testados com outro banco de dados independente. Nesse caso, para a verificação da eficácia dos modelos gerados para a cultura do pimentão (Tabela 5), os resultados dos testes dos modelos, que foram realizados com dados experimentais coletados na primavera do ano seguinte (2006), são apresentados na Tabela 7.

TABELA 5. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ET_m) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i). Santa Maria, RS, 2005.

Mod	Modelo de regressão	R^2
1i	$ET_m = -0,27081 + 0,81325IAF + 0,02016d_{i9} + 0,08875d_i$	0,92
2i	$ET_m = -0,27307 + 0,80273IAF + 0,10951d_i$	0,92
3i	$ET_m = -0,25933 + 0,83791IAF + 0,04293d_{i9} + 0,02082d_{i15} + 0,01962d_{i21}$	0,92
4i	$ET_m = -0,53230 + 0,02048AP + 0,02800d_{i9} + 0,08503d_i$	0,92
5i	$ET_m = -0,32007 + 0,01225NF + 0,04461d_{i9} + 0,01987d_{i15} + 0,02487d_{i21}$	0,91
6i	$ET_m = -0,32305 + 0,02281NF + 0,10954d_i$	0,91

Mod	Modelo de regressão	R ²
7i	$ET_m = -0,52367 + 0,02036AP - 0,00973d_{i21} + 0,11641d_i$	0,91
8i	$ET_m = 0,52787 + 0,02118AP + 0,04824d_{i9} + 0,02063d_{i15} + 0,01716d_{i21}$	0,91
9i	$ET_m = -0,52711 + 0,01989AP + 0,11481d_i$	0,91
10i	$ET_m = -0,24443 + 0,90242IAF + 0,02380d_{i15} + 0,01271Rg_i$	0,90
11i	$ET_m = -0,17550 + 0,95468IAF + 0,02939d_{i15}$	0,89
12i	$ET_m = -0,30334 + 0,01326NF + 0,02162d_{i15} + 0,01496Rg_i$	0,89
13i	$ET_m = -0,51794 + 0,02271AP + 0,02722d_{i15} + 0,00998Rg_i$	0,89
14i	$ET_m = -0,48010 + 0,02387AP + 0,03151d_{i15}$	0,88
15i	$ET_m = 4,19110 + 0,99485IAF - 0,04745UR_{mi}$	0,88
16i	$ET_m = -0,80142 + 0,01355NF + 0,04546t_{i9} - 0,03617t_{mini} + 0,01757t_{máxi}$	0,88
17i	$ET_m = 3,46291 + 1,01483IAF - 0,01545UR_{i9} - 0,00940UR_{i15} - 0,01503UR_{i21}$	0,88
18i	$ET_m = -0,22430 + 0,01412NF + 0,02824d_{i15}$	0,88
19i	$ET_m = -0,86833 + 0,80462IAF + 0,03942t_{mi} + 0,02378Rg_i$	0,87
20i	$ET_m = 4,06613 + 0,01470NF - 0,04674UR_{mi}$	0,87
21i	$ET_m = 3,39507 + 0,01497NF - 0,01737UR_{i9} - 0,00864UR_{i15} - 0,01391UR_{i21}$	0,87
22i	$ET_m = -0,74199 + 0,88053IAF + 0,00275t_{i15} + 0,01659Rg_i$	0,87
23i	$ET_m = -0,76540 + 0,91428IAF + 0,04041t_{i9} - 0,03241t_{mini} + 0,02029t_{máxi}$	0,87
24i	$ET_m = -0,92928 + 0,01183NF + 0,03980t_{mi} + 0,02403Rg_i$	0,87
25i	$ET_m = -0,97767 + 0,01250NF + 0,03818t_{i9} + 0,02839t_{i15} - 0,02257t_{i21}$	0,87
26i	$ET_m = -0,799337 + 0,01298NF + 0,02742t_{i15} + 0,01700Rg_i$	0,87
27i	$ET_m = 4,15233 + 0,02493AP - 0,05044UR_{mi}$	0,87
28i	$ET_m = 3,52231 + 0,02554AP - 0,01794UR_{i9} - 0,00884UR_{i15} - 0,01714UR_{i21}$	0,86
29i	$ET_m = -1,09840 + 0,02257AP + 0,04263t_{i9} - 0,03305t_{mini} + 0,02162t_{máxi}$	0,86
30i	$ET_m = 0,60028 + 1,01904IAF - 0,00936UR_{i15} + 0,01403Rg_i$	0,86
31i	$ET_m = -0,52749 + 0,90199IAF + 0,02155t_{mini} + 0,03098Rg_i$	0,86
32i	$ET_m = -0,57903 + 0,01334NF + 0,02081t_{mini} + 0,03124Rg_i$	0,86
33i	$ET_m = -0,41909 + 0,01498NF + 0,02742t_{i15} + 0,01700Rg_i$	0,86
34i	$ET_m = -1,19073 + 0,01932AP + 0,04520t_{mi} + 0,03188Rg_i$	0,86
35i	$ET_m = -1,07669 + 0,02167AP + 0,03173t_{i15} + 0,01496Rg_i$	0,86
36i	$ET_m = -0,23153 + 1,01495IAF + 0,02789Rg_i$	0,86
37i	$ET_m = -0,30097 + 0,01497NF + 0,02824Rg_i$	0,85
38i	$ET_m = -0,83536 + 0,02207AP + 0,02493t_{mini} + 0,03188Rg_i$	0,84
39i	$ET_m = -0,88942 + 0,93277IAF + 0,05169t_{mi}$	0,84
40i	$ET_m = -0,96223 + 0,01372NF + 0,05240t_{mi}$	0,84
41i	$ET_m = -0,53465 + 0,02951AP + 0,02806Rg_i$	0,83
42i	$ET_m = -1,24366 + 0,02284AP + 0,05647t_{mi}$	0,82
43i	$ET_m = -0,21342 + 0,20238d_i$	0,74

*Todos os coeficientes angulares são significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro. Mod é o número do modelo. O R² é o coeficiente de determinação na geração do modelo. O índice "i" significa que os modelos foram obtidos com variáveis medidas no interior da estufa plástica.

Na Tabela 6 são apresentados os testes de avaliação dos modelos em que utilizam as variáveis internas, apresentados na Tabela 5. Os primeiros 22 modelos (primeira coluna) tiveram o melhor desempenho, sendo considerado Ótimo conforme os valores de ΣPO em relação aos critérios de classificação (Tabela 3). Se considerados os critérios de Camargo e Sentelhas (1997) (Tabela 2), e os índices de confiança (c) esses modelos apresentaram um desempenho classificado como Muito Bom, exceto o modelo 27i, que nesse caso foi classificado apenas como Bom. A diferença entre as duas classificações reside em que o coeficiente de confiança (c) é

uma medida absoluta resultante do produto entre r e d , enquanto que o ΣPO é uma medida relativa resultante da classificação dos diferentes modelos entre si, embora se utilizem mais estatísticas na sua composição.

Nos modelos considerados Ótimos pelo ΣPO , verifica-se que o IAF e a AP foram as variáveis fenométricas utilizadas, com exceção do modelo 6i. As variáveis meteorológicas mais utilizadas por esses modelos foram o déficit de saturação de vapor d'água do ar e ou a radiação solar global, com exceção dos modelos 15i, 17i, 27i e 28i que utilizam apenas UR, geralmente no lugar de d , e o modelo 23i, que utiliza apenas temperatura do ar (t_{i9} , t_{mini} , $t_{\text{máxi}}$). Em razão disso, pode-se inferir que Rg_i e d_i são as duas variáveis meteorológicas determinantes da ETm do pimentão cultivado em estufa plástica, o que já foi constatado por OKUYA; OKUYA (1988) e RIGHI et al. (2002), HELDWEIN et al. (2004) e DALMAGO et al. (2006), para as culturas do tomateiro, abóbora italiana e pimentão, respectivamente, quando cultivadas no outono.

Os modelos 29i e 14i foram classificados como muito bons nos dois sistemas de classificação e utilizam AP como variável fenométrica, mas divergem na utilização das variáveis meteorológicas (t_{i9} , t_{mini} , $t_{\text{máxi}}$, e d_{i15} , respectivamente). Seis modelos (34i, 24i, 32i, 39i, 26i e 37i), apresentaram desempenho Muito Bom, pelo ΣPO e desempenho Bom, considerando o índice de confiança (c). Esses modelos utilizaram basicamente o NF como variável fenométrica, exceto os modelos 34i (AP) e 39i (IAF), e uma variável de temperatura do ar (t) e ou a radiação solar global (Rg).

Nove modelos (20i, 12i, 22i, 21i, 16i, 5i, 25i, 42i e 18i), apresentaram desempenho Bom, dos quais em sete modelos é utilizada a variável fenométrica NF e apenas os modelos 22i e 42i utilizam IAF e AP, respectivamente. Considerando o índice c os modelos 12i, 16i, 25i, 42i e 18i também apresentaram desempenho igual ao da classificação por ΣPO . Dos demais modelos, os de números 20i e 21i apresentaram desempenho Sofrível, o modelo 33i obteve desempenho Ruim, os modelos 22i e 8i foram classificados como Péssimos e o modelo 5i como Mediano. Esses modelos utilizaram o déficit de saturação (d_{i9} , d_{i15} , d_{i21}), e ou radiação solar global (Rg_i), ou dados de temperatura do ar (t_i). O modelo 40i apresentou desempenho Mediano segundo o índice c , o que mostra que a temperatura média diária do ar não é a variável mais apropriada para a estimativa da ETm do pimentão cultivado em estufa na primavera. O modelo 43i que apresentou Mau desempenho

segundo o índice c , é o exemplo típico de que na estimativa da ET_m não se pode deixar de incluir uma variável fenométrica, principalmente, porque o desenvolvimento e o crescimento podem ser diferentes de ano para ano, em função das condições meteorológicas, mesmo que a época de cultivo não seja diferente. Provavelmente o seu valor de coeficiente de determinação satisfatório para seleção ($R^2=0,74$), obtido na geração do modelo, deve-se ao acaso estatístico, semelhante ao verificado por Dalmago (2001). Considerando que os modelos com desempenho igual ou inferior a Bom, pelo índice c , utilizam o NF como variável fenométrica, pode-se inferir que essa variável não é a mais apropriada para a estimativa da ET_m do pimentão.

TABELA 6. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ET_m) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006.

Or m	Mod	Coeficientes da Equação da Reta		RMSE	R ²	r	d	c	D'	ΣPO	D''	Variáveis
		Linear (a)	Angular (b)									
1	2i	0,092	0,691869	0,27	0,83	0,9	0,9	0,81	MB	13,5	O	IAF, d _i
2	1i	0,105	0,685219	0,27	0,84	0,91	0,9	0,81	MB	14,5	O	IAF, d _{i9} , d _i
3	6i	0,252	0,827932	0,22	0,81	0,89	0,94	0,84	MB	20,0	O	NF, d _i
4	15i	-0,008	0,68997	0,33	0,83	0,9	0,85	0,77	MB	20,0	O	IAF, UR _{mi}
5	7i	0,135	0,684127	0,27	0,79	0,88	0,9	0,79	MB	21,0	O	AP, d _{i21} , d _i
6	31i	0,163	0,689835	0,26	0,79	0,88	0,91	0,8	MB	21,5	O	IAF, t _{mini} , Rg _i
7	9i	0,130	0,671872	0,28	0,79	0,88	0,89	0,78	MB	22,5	O	AP, d _i
8	36i	0,147	0,698671	0,27	0,77	0,87	0,9	0,78	MB	22,5	O	IAF, Rg _i
9	10i	0,199	0,660044	0,25	0,83	0,9	0,91	0,82	MB	24,0	O	IAF, d _{i15} , Rg _i
10	19i	0,220	0,670225	0,24	0,82	0,89	0,92	0,82	MB	24,0	O	IAF, t _{mi} , Rg _i
11	4i	0,146	0,664219	0,28	0,8	0,88	0,89	0,79	MB	25,5	O	AP, d _{i9} , d _i
12	3i	0,184	0,622266	0,27	0,85	0,91	0,89	0,81	MB	28,0	O	IAF, d _{i9} , d _{i15}
13	30i	0,169	0,655125	0,27	0,8	0,88	0,89	0,79	MB	29,0	O	IAF, UR _{i15} , Rg _i
14	17i	0,143	0,609827	0,3	0,84	0,9	0,86	0,78	MB	30,5	O	IAF, UR _{i9} , UR _{i15} , UR _{i21}
15	23i	0,275	0,668382	0,24	0,81	0,89	0,92	0,82	MB	30,5	O	IAF, t _{i9} , t _{mini} , t _{máxi}
16	11i	0,215	0,639617	0,26	0,81	0,89	0,9	0,8	MB	31,0	O	IAF, d _{i15}
17	27i	0,031	0,664982	0,34	0,77	0,87	0,84	0,73	B	31,5	O	AP, UR _{mi}
18	38i	0,219	0,65773	0,27	0,76	0,86	0,9	0,78	MB	35,0	O	AP, t _{mini} , Rg _i
19	13i	0,253	0,62975	0,26	0,81	0,89	0,9	0,8	MB	35,5	O	AP, d _{i15} , Rg _i
20	41i	0,283	0,743951	0,26	0,73	0,84	0,92	0,77	MB	35,5	O	AP, Rg _i
21	35i	0,297	0,643591	0,25	0,78	0,87	0,91	0,79	MB	39,5	O	AP, t _{i15} , Rg _i
22	28i	0,188	0,580198	0,31	0,81	0,89	0,85	0,76	MB	40,0	O	AP, UR _{i9} , UR _{i15} , UR _{i21}
23	29i	0,331	0,641997	0,25	0,78	0,87	0,91	0,8	MB	41,0	MB	AP, t _{i9} , t _{mini} , t _{máxi}
24	14i	0,266	0,614395	0,27	0,79	0,88	0,89	0,78	MB	42,0	MB	AP, d _{i15}
25	34i	0,723	0,750032	0,4	0,83	0,9	0,8	0,72	B	43,5	MB	AP, t _{mi} , Rg _i
26	24i	0,224	0,537767	0,32	0,82	0,89	0,83	0,74	B	46,5	MB	NF, t _{mi} , Rg _i
27	32i	0,167	0,540871	0,35	0,79	0,88	0,8	0,7	B	46,5	MB	NF, t _{mini} , Rg _i

Or m	Mod	Equação da Reta		RMSE	R ²	r	d	c	D'	ΣPO	D''	Variáveis
		Linear (a)	Angular (b)									
28	39i	0,253	0,633431	0,29	0,7	0,82	0,88	0,73	B	47,5	MB	IAF, t _{mini}
29	26i	0,239	0,529948	0,32	0,8	0,89	0,83	0,73	B	49,5	MB	NF, t _{i15} , Rg _i
30	37i	0,151	0,531662	0,37	0,78	0,87	0,78	0,68	B	49,5	MB	NF, Rg _i
31	12i	0,202	0,511578	0,35	0,82	0,89	0,79	0,7	B	52,0	B	NF, d _{i15} , Rg _i
32	20i	0,001	0,522484	0,45	0,8	0,88	0,66	0,58	S	52,0	B	NF, UR _{mi}
33	16i	0,275	0,519744	0,32	0,8	0,88	0,83	0,73	B	54,5	B	NF, t _{i9} , t _{mini} , t _{máxi}
34	22i	-0,408	0,573357	0,67	0,75	0,86	0,3	0,26	P	55,0	B	IAF, t _{i15} , Rg _i
35	5i	0,182	0,479385	0,38	0,81	0,89	0,73	0,65	M	56,0	B	NF, d _i
36	21i	0,139	0,444251	0,43	0,84	0,9	0,64	0,58	S	56,0	B	NF, UR _{i9} , UR _{i15} , UR _{i21}
37	25i	0,306	0,517702	0,31	0,79	0,88	0,84	0,74	B	56,0	B	NF, t _{i9} , t _{i15} , t _{i21}
38	42i	0,311	0,602747	0,3	0,67	0,81	0,87	0,71	B	58,0	B	AP, t _{mi}
39	18i	0,223	0,476314	0,37	0,81	0,89	0,76	0,67	B	59,5	B	NF, d _{i15}
40	40i	0,259	0,479071	0,37	0,69	0,82	0,77	0,63	M	70,0	S	NF, t _{mi}
41	43i	0,258	0,493638	0,44	0,4	0,62	0,72	0,45	Ma	77,5	S	d _i
42	33i	0,892	0,355656	0,42	0,41	0,63	0,69	0,43	Ma	84,5	R	NF, t _{i15} , Rg _i
43	8i	1,365	0,516476	0,73	0,45	0,66	0,25	0,17	P	86,0	P	AP, d _{i9} , d _{i15} , d _{i21}

Obs - O índice "i" significa que os modelos foram obtidos com variáveis medidas no interior da estufa plástica. Mod é o número do modelo; RMSE = raiz quadrada do quadrado médio do erro; R² = coeficiente de determinação da regressão entre valores estimados e observados; r, d e c = coeficiente de correlação, exatidão e de confiança, respectivamente; ΣPO = somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação; D' = Desempenho do modelo segundo o índice de confiança (c); D'' = desempenho do modelo segundo o ΣPO.

Na Tabela 7 são apresentados os 38 modelos selecionados que utilizaram a raiz quadrada do IAF como divisor da variável dependente (ETm/IAF^{0,5}), mostrando valores menores de R², se comparados com os modelos que não utilizaram a raiz do IAF como divisor (Tabela 5). Os modelos que apresentaram os maiores coeficientes de determinação (R²) na sua geração, foram os que também utilizaram uma variável fenométrica independente (NF e ou AP), exceto os modelos 8i, 9i e 14i.

O déficit de saturação do ar, tanto na forma de valores médios ou mesmo pontuais, novamente foi a variável utilizada em um grande número de modelos melhor classificados, principalmente os cinco primeiros (R²>0,78). A Rg_i também é utilizada em um grande número de modelos, só que associada a outras variáveis meteorológicas, com exceção dos modelos 25i e 29i. No entanto, o R² obtido é bastante variável (0,60 a 0,76), dependendo das demais variáveis incluídas no modelo além da Rg_i. Também constata-se que ao utilizar a Rg_i, em geral, o déficit de saturação do ar (d_i) deixa de ser incluído, exceto nos modelos 10i, 12i e 34i, que utilizam d_{i15}. Isso pode estar associado ao fato de que o aumento do déficit de saturação diário depende da disponibilidade de energia solar e está também relacionado ao aumento da temperatura, havendo correlação entre essas variáveis

(Figura 12) e, portanto, a inclusão de uma variável sobrepõe pelo menos em parte o efeito da outra.

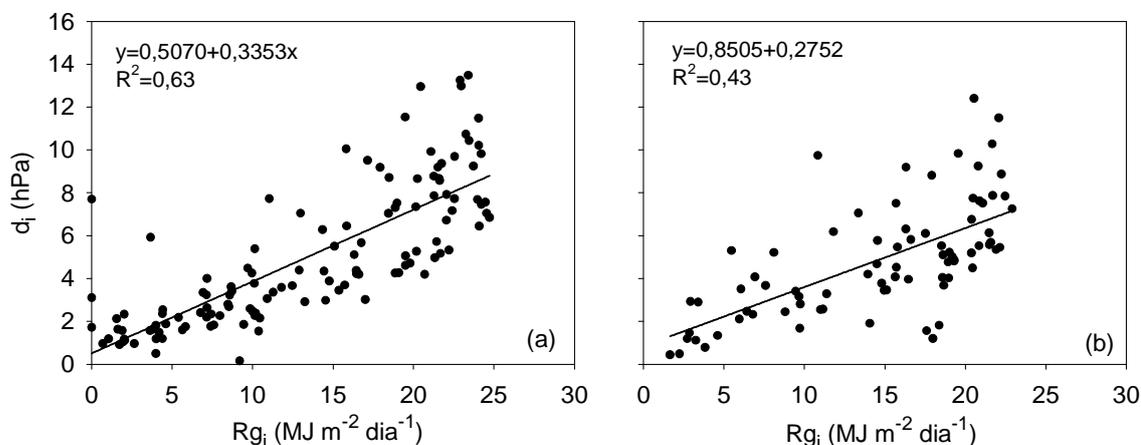


FIGURA 12. Déficit de saturação do ar no ambiente interno (d_i) em função da radiação solar global interna (Rg_i), do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera de 2005 (a) e 2006 (b). Santa Maria, RS.

A temperatura e a umidade relativa do ar, tanto na forma de valores médios quanto pontuais, e temperaturas diárias máximas e mínimas, foram utilizadas em 23 modelos, sendo que em 10 deles essas variáveis estiveram associadas à Rg_i .

TABELA 7. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do índice de área foliar ($IAF^{0,5}$) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i). Santa Maria, RS, 2005.

Mod	Modelo de regressão	R ²
1i	$ETm = IAF^{0,5}(0,01543 + 0,00850AP + 0,02343d_{i9} + 0,09153d_i)$	0,79
2i	$ETm = IAF^{0,5}(0,01978 + 0,00800AP + 0,11645d_i)$	0,78
3i	$ETm = IAF^{0,5}(0,10258 + 0,00468NF + 0,11490d_i)$	0,78
4i	$ETm = IAF^{0,5}(0,01554 + 0,00904AP + 0,05254d_{i9} + 0,01895d_{i15} + 0,02418d_{i21})$	0,78
5i	$ETm = IAF^{0,5}(0,10454 + 0,00521NF + 0,05104d_{i9} + 0,01868d_{i15} + 0,02753d_{i21})$	0,78
6i	$ETm = IAF^{0,5}(-0,73264 + 0,00333NF + 0,05243t_{mi} + 0,02826Rg_i)$	0,76
7i	$ETm = IAF^{0,5}(-0,83007 + 0,00473AP + 0,05606t_{mi} + 0,02860 Rg_i)$	0,76
8i	$ETm = IAF^{0,5}(-0,98733 + 0,07003t_{mi} + 0,03179 Rg_i)$	0,75
9i	$ETm = IAF^{0,5}(0,09954 + 0,12772d_i + 0,01246 Rg_i)$	0,74
10i	$ETm = IAF^{0,5}(0,09308 + 0,00600NF + 0,01847d_{i15} + 0,02246 Rg_i)$	0,74
11i	$ETm = IAF^{0,5}(-0,56592 + 0,00553NF + 0,05252t_{i9} - 0,03218t_{mini} + 0,01915t_{máxi})$	0,74
12i	$ETm = IAF^{0,5}(-0,00342 + 0,01024AP + 0,02103d_{i15} + 0,02025 Rg_i)$	0,74
13i	$ETm = IAF^{0,5}(-0,44553 + 0,00531NF + 0,02974t_{i15} + 0,02162 Rg_i)$	0,74
14i	$ETm = IAF^{0,5}(0,14603 + 0,15169d_i)$	0,74
15i	$ETm = IAF^{0,5}(-0,56460 + 0,00852AP + 0,03209t_{i15} + 0,02098 Rg_i)$	0,73
16i	$ETm = IAF^{0,5}(-0,37244 + 0,00472NF + 0,03499t_{mini} + 0,03886 Rg_i)$	0,73
Mod	Modelo de regressão	R²

17i	$ETm = IAF^{0,5}(5,03135 + 0,01272AP - 0,05410UR_{mi})$	0,73
18i	$ETm = IAF^{0,5}(5,01473 + 0,00743NF - 0,05249UR_{mi})$	0,73
19i	$ETm = IAF^{0,5}(4,23124 + 0,00772NF - 0,02040UR_{i9} - 0,00936UR_{i15} - 0,01471UR_{i21})$	0,73
20i	$ETm = IAF^{0,5}(4,29211 + 0,01319AP - 0,02068UR_{i9} - 0,00945UR_{i15} - 0,01637UR_{i21})$	0,72
21i	$ETm = IAF^{0,5}(0,16182 + 0,06057d_{i9} + 0,02861d_{i15} + 0,03807d_{i21})$	0,72
22i	$ETm = IAF^{0,5}(-0,48206 + 0,00707AP + 0,03860t_{mini} + 0,04014 Rg_i)$	0,72
23i	$ETm = IAF^{0,5}(0,07337 + 0,01261AP + 0,02975d_{i15})$	0,71
24i	$ETm = IAF^{0,5}(-0,66813 + 0,00656NF + 0,03022t_{i21} - 0,02779t_{mini} + 0,03842t_{máxi})$	0,70
25i	$ETm = IAF^{0,5}(0,09511 + 0,00746NF + 0,03380 Rg_i)$	0,70
26i	$ETm = IAF^{0,5}(0,21174 + 0,00730NF + 0,02841d_{i15})$	0,70
27i	$ETm = IAF^{0,5}(-0,66163 + 0,05916t_{mini} + 0,05021 Rg_i)$	0,69
28i	$ETm = IAF^{0,5}(3,08953 + 0,04491t_{i15} - 0,03994UR_{mi})$	0,69
29i	$ETm = IAF^{0,5}(-0,01633 + 0,01240AP + 0,03423 Rg_i)$	0,68
30i	$ETm = IAF^{0,5}(-0,70873 + 0,04689t_{i15} + 0,02586 Rg_i)$	0,68
31i	$ETm = IAF^{0,5}(-0,77139 + 0,00555NF + 0,06726t_{mi})$	0,67
32i	$ETm = IAF^{0,5}(-0,89441 + 0,00900AP + 0,06977t_{mi})$	0,66
33i	$ETm = IAF^{0,5}(-1,23853 + 0,03838t_{i15} + 0,05280t_{mi})$	0,66
34i	$ETm = IAF^{0,5}(0,15515 + 0,02750d_{i15} + 0,03159 Rg_i)$	0,66
35i	$ETm = IAF^{0,5}(-1,24419 - 0,04605t_{i21} + 0,14422t_{mi})$	0,63
36i	$ETm = IAF^{0,5}(-0,98198 + 0,06976t_{i15})$	0,63
37i	$ETm = IAF^{0,5}(-1,24298 + 0,10262t_{mi})$	0,62
38i	$ETm = IAF^{0,5}(4,67740 - 0,04835UR_{mi} + 0,02606 Rg_i)$	0,61

*Todos os coeficientes angulares são significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro. Mod é o número do modelo. O R^2 é o coeficiente de determinação na geração do modelo. O índice "i" significa que os modelos foram obtidos com variáveis medidas no interior da estufa plástica.

As estatísticas de avaliação e o desempenho dos modelos de estimativa da ETm do pimentão (Tabela 7), obtidas com base no banco de dados do ano seguinte (primavera de 2006), são apresentadas na Tabela 8.

Os melhores modelos são aqueles que apresentam os menores somatórios dos valores das posições ordinais (ΣPO) e maiores valores do índice de confiança (c) (Tabela 8). Dos 23 melhores modelos, classificados como Ótimos com base no ΣPO , 22 modelos foram classificados como muito bons utilizando o índice de confiança (Camargo; Sentelhas, 1997), e apenas o modelo 14i foi classificado como Bom. Considerando o ΣPO , dos 38 modelos apresentados na Tabela 8, 23 modelos foram considerados Ótimos, 10 foram considerados muito bons e apenas 5 considerados bons, sendo esta a pior classificação. Da mesma forma considerando o índice c, a maioria dos modelos obteve o desempenho classificado como Muito Bom, com exceção dos modelos 14i, 17i, 5i, 38i, 18i, 19i, 21i, 32i, 26i, 37i e 31i que obtiveram desempenho Bom. A comparação dos resultados da Tabela 8 com os resultados apresentados na Tabela 6, mostra que a estabilidade dos modelos está claramente associada à relação da ETm com a raiz quadrada do índice de área foliar ($IAF^{0,5}$), embora a utilização da relação $ETm/IAF^{0,5}$ como variável dependente tenha

resultado em modelos com menor coeficiente de determinação na sua geração (Tabelas 5 e 7). Resultados semelhantes foram obtidos por Righi (2000), Dalmago (2001) e Heldwein et al. (2004), os quais obtiveram modelos que estimam melhor a ETm quando utilizaram a ETm por unidade de área foliar, por IAF e pela raiz quadrada do IAF, respectivamente, principalmente com relação à aproximação dos dados de ETm à reta 1:1 gerada entre valores observados e estimados e os coeficientes da regressão de comparação. Segundo Heldwein et al. (2004) a provável razão é a de que a ETm não aumenta linearmente com o IAF, a AP e o NF, principalmente quando o $IAF > 1$, em razão do sombreamento das folhas do interior do dossel de plantas, as quais transpiram menos por unidade de AF. Essa relação de não linearidade não é considerada nos modelos em que as variáveis fenométricas são incluídas sem a extração da raiz quadrada dos seus valores.

Dos 23 modelos que apresentaram desempenho Ótimo, considerando o ΣPO , apenas os modelos 11i, 28i, 36i e 23i não utilizaram o d_i ou a Rg_i como variável meteorológica independente. Esses resultados reforçam a premissa teórica de que a transpiração é mais dependente dessas duas variáveis meteorológicas do que de qualquer outra, o que já foi verificado anteriormente. Novamente se verifica que os modelos que apresentam menores desempenhos (Bom) não utilizam valores diários de d_i e/ou Rg_i , mas apenas temperatura média diária (t_{mi}) ou o valor pontual do déficit de saturação das 15 horas (d_{i15}).

TABELA 8. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do índice de área foliar ($IAF^{0,5}$) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006.

Ordem	Mod	Coeficientes da equação da reta		RMSE	R ²	r	d	c	D'	ΣPO	D''	Variáveis
		Linear (a)	Angular (b)									
1	2i	0,050	0,682413	0,29	0,87	0,92	0,88	0,81	MB	19,5	O	AP, d_i
2	12i	0,097	0,696061	0,26	0,86	0,91	0,91	0,83	MB	20,0	O	AP, d_{i15} , Rg_i
3	1i	0,058	0,679708	0,29	0,87	0,92	0,88	0,82	MB	20,5	O	AP, d_{i9} , d_i
4	8i	0,112	0,706538	0,25	0,86	0,91	0,92	0,84	MB	21,0	O	t_{mi} , Rg_i
5	7i	0,115	0,712687	0,25	0,85	0,91	0,92	0,84	MB	22,0	O	AP, t_{mi} , Rg_i
6	30i	0,112	0,716826	0,25	0,84	0,9	0,92	0,83	MB	22,5	O	t_{i15} , Rg_i
7	15i	0,118	0,727125	0,24	0,83	0,9	0,92	0,83	MB	23,5	O	AP, t_{i15} , Rg_i
8	9i	0,023	0,670292	0,32	0,85	0,91	0,86	0,78	MB	25,0	O	d_i , Rg_i
9	22i	0,110	0,697194	0,26	0,83	0,9	0,91	0,82	MB	25,0	O	AP, t_{mini} , Rg_i
10	27i	0,103	0,683075	0,27	0,84	0,91	0,9	0,81	MB	26,0	O	t_{mini} , Rg_i
11	6i	0,107	0,68052	0,27	0,85	0,91	0,9	0,82	MB	27,0	O	NF, t_{mi} , Rg_i

Ordem	Mod	Coeficientes da equação da reta		RMSE	R ²	r	d	c	D'	ΣPO	D''	Variáveis
		Linear (a)	Angular (b)									
12	11i	0,204	0,84088	0,22	0,81	0,89	0,95	0,84	MB	28,0	O	NF, t _{i9} , t _{mini} , t _{máxi}
13	34i	0,081	0,66022	0,29	0,85	0,91	0,88	0,8	MB	28,0	O	d _{i15} , Rg _i
14	13i	0,105	0,67382	0,28	0,84	0,91	0,89	0,81	MB	30,0	O	NF, t _{i15} , Rg _i
15	29i	0,115	0,693728	0,27	0,81	0,89	0,9	0,8	MB	31,5	O	AP, Rg _i
16	28i	0,066	0,644189	0,31	0,84	0,91	0,86	0,78	MB	32,0	O	t _{i15} , UR _{mi}
17	4i	0,087	0,639024	0,3	0,87	0,92	0,87	0,8	MB	32,5	O	AP, d _{i9} , d _{i15} , d _{i21}
18	3i	0,042	0,633187	0,33	0,87	0,92	0,84	0,77	MB	33,0	O	NF, d _i
19	14i	0,026	0,65089	0,33	0,83	0,9	0,84	0,75	B	33,0	O	d _i
20	10i	0,084	0,635907	0,31	0,87	0,92	0,86	0,79	MB	33,5	O	NF, d _{i15} , Rg _i
21	16i	0,100	0,652532	0,29	0,84	0,9	0,88	0,79	MB	34,0	O	NF, t _{mini} , Rg _i
22	36i	0,164	0,689009	0,27	0,77	0,87	0,91	0,79	MB	36,5	O	t _{i15}
23	23i	0,130	0,661818	0,28	0,82	0,89	0,89	0,8	MB	38,0	O	AP, t _{i15}
24	20i	0,087	0,601659	0,33	0,87	0,92	0,83	0,77	MB	40,5	MB	AP, UR _{i9} , UR _{i15} , UR _{i21}
25	33i	0,174	0,677031	0,27	0,77	0,87	0,9	0,78	MB	40,5	MB	t _{i15} , t _{mi}
26	17i	0,086	0,584705	0,34	0,88	0,93	0,81	0,75	B	42,5	MB	AP, UR _{mi}
27	25i	0,097	0,622006	0,32	0,83	0,9	0,85	0,76	MB	43,0	MB	NF, Rg _i
28	5i	0,076	0,580399	0,35	0,87	0,92	0,8	0,74	B	44,5	MB	NF, d _{i9} , d _{i15} , d _{i21}
29	38i	0,031	0,584865	0,38	0,84	0,91	0,78	0,7	B	45,0	MB	UR _{mi} , Rg _i
30	18i	0,031	0,53942	0,41	0,89	0,93	0,72	0,67	B	46,5	MB	NF, UR _{mi}
31	24i	0,138	0,640506	0,29	0,8	0,88	0,87	0,77	MB	46,5	MB	NF, t _{i21} , t _{mini} , t _{máxi}
32	35i	0,199	0,655669	0,28	0,75	0,85	0,89	0,76	MB	47,5	MB	t _{i21} , t _{mi}
33	19i	0,072	0,524914	0,4	0,89	0,93	0,73	0,68	B	48,5	MB	NF, UR _{i9} , UR _{i15} , UR _{i21}
34	21i	0,072	0,580257	0,36	0,82	0,89	0,79	0,71	B	50,5	B	d _{i9} , d _{i15} , d _{i21}
35	32i	0,191	0,650909	0,29	0,72	0,84	0,88	0,74	B	51,0	B	AP, t _{mi}
36	26i	0,119	0,58152	0,34	0,83	0,9	0,82	0,74	B	54,5	B	NF, d _{i15}
37	37i	0,202	0,623679	0,3	0,71	0,83	0,87	0,73	B	58,0	B	t _{mi}
38	31i	0,178	0,59562	0,32	0,72	0,84	0,84	0,71	B	60,0	B	NF, t _{mi}

Obs - O índice "i" significa que os modelos foram obtidos com variáveis medidas no interior da estufa plástica. Mod é o número do modelo; RMSE = raiz quadrada do quadrado médio do erro; R² = coeficiente de determinação da regressão entre valores estimados e observados; r, d e c = coeficiente de correlação, exatidão e de confiança; ΣPO = somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação; D' = Desempenho do modelo segundo o índice de confiança (c); D'' = desempenho do modelo segundo o ΣPO.

Considerando os resultados apresentados na Tabela 8, pode-se inferir que todos os modelos são adequados e suficientemente precisos para estimar a ETm do pimentão cultivado na primavera em estufa plástica. A escolha do modelo dependerá então dos dados fenométricos e meteorológicos disponíveis. Nesse sentido, considerando a praticidade na obtenção dos dados e o valor do coeficiente de confiança obtido, podem ser recomendados, pela ordem, os modelos 17i, 8i, 30i, 11i, 7i e 1i.

Na Tabela 9 são apresentados os 44 modelos selecionados que utilizaram a raiz do NF como divisor da variável dependente (ETm/NF^{0,5}), mostrando valores

menores de R^2 , se comparados com os modelos que não utilizaram a raiz do IAF como divisor (Tabelas 5). No entanto, esses valores são maiores se comparados com os modelos que utilizaram a raiz do IAF como divisor (Tabela 8). Os modelos que apresentaram os maiores coeficientes de determinação (R^2), na sua geração, foram os que utilizaram também uma outra variável fenométrica independente (IAF ou AP).

O déficit de saturação do ar, tanto valores médios ou mesmo pontuais, e a radiação solar global (Rg_i), novamente foram as variáveis utilizadas em um grande número dos modelos que foram mais bem classificados, principalmente os 15 primeiros ($R^2 > 0,82$). A Rg_i utilizada em um grande número de modelos vem associada a outras variáveis meteorológicas, com exceção dos modelos 23i e 26i. No entanto, o R^2 obtido é bastante variável (0,61 a 0,86), dependendo das demais variáveis incluídas no modelo. Também se constata que dos 20 modelos que utilizam a Rg_i , em geral, o déficit de saturação do ar (d) deixa de ser incluído, exceto nos modelos 1i, 2i, 9i, 10i, 32i e 40i que utilizam d_i e ou d_{i15} .

A temperatura e a umidade relativa do ar, tanto na forma de valores médios quanto pontuais, e temperaturas diárias máximas e mínimas, foram utilizadas em 26 modelos, sendo que em 11 deles essas variáveis estiveram associadas à Rg_i .

TABELA 9. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do número de folhas ($NF^{0,5}$) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i). Santa Maria, RS, 2005.

Mod	Modelo de regressão	R^2
1i	$ETm = NF^{0,5}(-0,02716+0,00152AP+0,01024d_i+0,00132Rg_i)$	0,86
2i	$ETm = NF^{0,5}(-0,00869+0,05995IAF+0,00948d_i+0,00158Rg_i)$	0,86
3i	$ETm = NF^{0,5}(-0,02354+0,00164AP+0,00514d_{i9}+0,00227d_{i15}+0,00305d_{i21})$	0,86
4i	$ETm = NF^{0,5}(-0,02339+0,00159AP+0,01244d_i)$	0,86
5i	$ETm = NF^{0,5}(-0,00298+0,06251IAF+0,01221d_i)$	0,85
6i	$ETm = NF^{0,5}(-0,00272+0,06396IAF+0,00484d_{i9}+0,00228d_{i15}+0,00327d_{i21})$	0,85
7i	$ETm = NF^{0,5}(-0,08332+0,05240IAF+0,00490t_{mi}+0,00342Rg_i)$	0,84
8i	$ETm = NF^{0,5}(-0,10378+0,00127AP+0,00524t_{mi}+0,00339Rg_i)$	0,84
9i	$ETm = NF^{0,5}(-0,00521+0,06978IAF+0,00187d_{i15}+0,00273Rg_i)$	0,84
10i	$ETm = NF^{0,5}(-0,02646+0,00177AP+0,00217d_{i15}+0,00249Rg_i)$	0,83
11i	$ETm = NF^{0,5}(-0,05565+0,06514IAF+0,00278t_{i15}+0,00279Rg_i)$	0,83
12i	$ETm = NF^{0,5}(-0,08028+0,00162AP+0,00307t_{i15}+0,00264Rg_i)$	0,82
13i	$ETm = NF^{0,5}(-0,04905+0,06068IAF+0,00330t_{mini}+0,00441Rg_i)$	0,82
14i	$ETm = NF^{0,5}(0,29910+0,07645IAF-0,00326UR_{mi}+0,00210Rg_i)$	0,82
15i	$ETm = NF^{0,5}(0,34762+0,00196AP-0,00403UR_{mi}+0,00158Rg_i)$	0,82
16i	$ETm = NF^{0,5}(0,43361+0,00212AP-0,00205UR_{i9}-0,00113UR_{i15}-0,00179UR_{i21})$	0,82
17i	$ETm = NF^{0,5}(0,42853+0,08311IAF-0,00191UR_{i9}-0,00118UR_{i15}-0,00155UR_{i21})$	0,82
18i	$ETm = NF^{0,5}(0,50472+0,00210AP-0,00569UR_{mi})$	0,82
19i	$ETm = NF^{0,5}(-0,06764+0,06872IAF+0,00536t_{i9}-0,00386t_{mini}+0,00224t_{maxi})$	0,81
20i	$ETm = NF^{0,5}(-0,06955+0,00148AP+0,00352t_{mini}+0,00447Rg_i)$	0,81

Mod	Modelo de regressão	R ²
21i	ETm = NF ^{0,5} (-0,09146+0,00174AP+0,00539t _{i9} -0,00394t _{mini} +0,00237t _{maxi})	0,81
22i	ETm = NF ^{0,5} (0,51300+0,08263IAF-0,00549UR _{mi})	0,81
23i	ETm = NF ^{0,5} (-0,00358+0,07771IAF+0,00395Rg _i)	0,81
24i	ETm = NF ^{0,5} (-0,01723+0,00207AP+0,00319d _{i15})	0,80
25i	ETm = NF ^{0,5} (0,00949+0,08162IAF+0,00304d _{i15})	0,80
26i	ETm = NF ^{0,5} (-0,02665+0,00196AP+0,00395Rg _i)	0,80
27i	ETm = NF ^{0,5} (-0,07456+0,07803IAF+0,00376t _{i21} -0,00390t _{mini} +0,00385t _{maxi})	0,79
28i	ETm = NF ^{0,5} (-0,10176+0,00197AP+0,00365t _{i21} -0,00390t _{mini} +0,00405t _{maxi})	0,79
29i	ETm = NF ^{0,5} (-0,14629+0,00895t _{mi} +0,00429Rg _i)	0,78
30i	ETm = NF ^{0,5} (-0,08647+0,07068IAF+0,00668t _{mi})	0,76
31i	ETm = NF ^{0,5} (-0,11174+0,00177AP+0,00690t _{mi})	0,76
32i	ETm = NF ^{0,5} (-0,00707+0,01501d _i +0,00227Rg _i)	0,75
33i	ETm = NF ^{0,5} (-0,10860+0,00787t _{mini} +0,00661Rg _i)	0,74
34i	ETm = NF ^{0,5} (-0,00062599-0,00178d _{i15} +0,02403d _i)	0,74
35i	ETm = NF ^{0,5} (0,00139+0,01934d _i)	0,73
36i	ETm = NF ^{0,5} (0,00252+0,00720d _{i9} +0,00376d _{i15} +0,00555d _{i21})	0,72
37i	ETm = NF ^{0,5} (-0,10462+0,00564t _{i15} +0,00376Rg _i)	0,71
38i	ETm = NF ^{0,5} (-0,18057+0,00449t _{i15} +0,00751t _{mi})	0,68
39i	ETm = NF ^{0,5} (-0,00029841+0,00309d _{i15} +0,00463Rg _i)	0,67
40i	ETm = NF ^{0,5} (0,28108+0,00633t _{i15} -0,00417UR _{mi})	0,67
41i	ETm = NF ^{0,5} (-0,18107-0,00552t _{i21} +0,01833t _{mi})	0,65
42i	ETm = NF ^{0,5} (-0,18092+0,01335t _{mi})	0,64
43i	ETm = NF ^{0,5} (-0,14379+0,00894t _{i15})	0,63
44i	ETm = NF ^{0,5} (0,36970-0,00395UR _{mi} +0,00488Rg _i)	0,61

*Todos os coeficientes angulares são significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro. Mod é o número do modelo. O R² é o coeficiente de determinação na geração do modelo. O índice "i" significa que os modelos foram obtidos com variáveis medidas no interior da estufa plástica.

As estatísticas de avaliação e o desempenho dos modelos de estimativa da ETm do pimentão (Tabela 9), obtidas com base no banco de dados do ano seguinte (primavera de 2006), são apresentadas na Tabela 10.

Os melhores modelos são aqueles que apresentam os menores somatórios dos valores das posições ordinais (ΣPO) e maiores valores do índice de confiança (c) (Tabela 10). Considerando o ΣPO , dos 44 modelos apresentados na Tabela 9, 27 modelos foram considerados Ótimos, 5 foram considerados muito bons, 2 bons, 3 com desempenho Mediano, 5 com desempenho Sofrível e o modelo 41i foi considerado regular. Dos 27 melhores modelos, classificados como Ótimos com base no ΣPO , apenas os modelos 9i, 11i, 19i, 12i e 21i foram classificados como muito bons utilizando o índice de confiança (Camargo; Sentelhas, 1997), sendo os demais modelos classificados como bons. Dos 5 modelos considerados muito bons pelo ΣPO apenas o modelo 18i obteve desempenho Mediano, considerando o índice c, o qual utiliza apenas a umidade relativa média do ar (UR_{mi}) como variável meteorológica, não sendo esta considerada uma variável que demonstre uma boa

relação com a ETm. Considerando o índice c , a maioria dos modelos obteve desempenho classificado como Bom, com exceção dos modelos 18i, 29i e 40i, que foram Medianos, dos modelos 32i, 44i, 30i, 31i e 38 classificados como sofríveis, dos modelos 34i, 35i e 36i, considerados Maus e do modelo 41i que foi considerado o pior modelo com desempenho Péssimo. A comparação dos resultados da Tabela 10 com os resultados apresentados na Tabela 8, mostra que a estabilidade dos modelos está melhor associada à relação da ETm com a raiz quadrada do índice de área foliar ($IAF^{0,5}$) do que com a relação da ETm com a raiz quadrada no número de folhas ($NF^{0,5}$), embora a utilização da relação $ETm/IAF^{0,5}$ como variável dependente tenha resultado em modelos com menor coeficiente de determinação na sua geração (Tabelas 7 e 9).

O modelo 42i (Tabela 10) não foi incluído na classificação e não se recomenda o seu uso por que seus valores de ETm estimados resultam em grandes desvios em relação aos observados.

Dos 27 modelos que apresentaram desempenho Ótimo, considerando o ΣPO , apenas os modelos 19i, 21i, 17i, 43i, 27i, 22i e 28i não utilizaram o d_i ou a Rg_i como variável meteorológica independente. Esses resultados novamente reforçam a premissa teórica de que a evapotranspiração é mais dependente dessas duas variáveis meteorológicas do que de qualquer outra. Novamente se verifica também que os modelos que apresentam desempenhos classificados de Bom não utilizam valores diários de d_i e ou Rg_i , mas apenas temperatura média diária e ou seus valores pontuais medidos em algum momento do dia.

Analisando a Tabela 10, se verifica que os modelos que utilizaram também o IAF ou a AP como variável fenométrica independente, apresentaram os melhores desempenhos nas classificações por ΣPO e por índice c .

Considerando os resultados apresentados na Tabela 10 pode-se inferir que, a exceção dos modelos 18i, 29i, 32i, 44i, 36i, 40i, 30i, 31i, 35i, 38i, 34i e 41i, todos os modelos são adequados e suficientemente precisos para estimar a ETm do pimentão, levando em consideração o índice c (Camargo; Sentelhas, 1997). A escolha do modelo dependerá então dos dados fenométricos e meteorológicos disponíveis. Nesse sentido, considerando a praticidade na obtenção dos dados e o valor do coeficiente de confiança obtido, o modelo 43i pode ser considerado para a estimativa da ETm do pimentão pela sua praticidade, pois utiliza apenas a

temperatura das 15 horas (t_{i15}), sendo necessário para isso apenas um termômetro corretamente instalado e apenas uma leitura de temperatura às 15 horas.

TABELA 10. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do número de folhas ($NF^{0,5}$) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006.

Ordem	Mod	Coeficientes da equação da reta		RMSE	R ²	r	d	c	D'	ΣPO	D''	Variáveis
		Linear (a)	Angular (b)									
1	9i	0,084	0,606596	0,33	0,85	0,91	0,83	0,76	MB	13,0	O	IAF, d_{i15} , Rg_i
2	11i	0,104	0,622831	0,31	0,83	0,90	0,85	0,77	MB	13,5	O	IAF, t_{i15} , Rg_i
3	23i	0,089	0,610174	0,33	0,81	0,89	0,83	0,74	B	16,5	O	IAF, Rg_i
4	13i	0,097	0,605449	0,33	0,82	0,90	0,83	0,75	B	17,0	O	IAF, t_{mini} , Rg_i
5	2i	0,079	0,562613	0,36	0,88	0,92	0,78	0,72	B	22,0	O	IAF, d_i , Rg_i
6	14i	0,072	0,565509	0,37	0,86	0,91	0,78	0,71	B	23,0	O	IAF, UR_{mi} , Rg_i
7	19i	0,134	0,61988	0,31	0,81	0,89	0,86	0,77	MB	24,5	O	IAF, t_{i9} , t_{mini} , t_{maxi}
8	10i	0,117	0,587973	0,33	0,85	0,91	0,83	0,75	B	25,0	O	AP, d_{i15} , Rg_i
9	7i	0,099	0,56914	0,36	0,83	0,90	0,80	0,72	B	26,0	O	IAF, t_{mi} , Rg_i
10	12i	0,137	0,603571	0,31	0,83	0,90	0,85	0,76	MB	27,5	O	AP, t_{i15} , Rg_i
11	6i	0,079	0,548977	0,38	0,86	0,92	0,76	0,70	B	28,0	O	IAF, d_{i9} , d_{i15} , d_{i21}
12	21i	0,166	0,603956	0,30	0,81	0,89	0,86	0,76	MB	29,5	O	AP, t_{i9} , t_{mini} , t_{maxi}
13	20i	0,126	0,585095	0,33	0,82	0,90	0,83	0,74	B	30,0	O	AP, t_{mini} , Rg_i
14	17i	0,070	0,535561	0,39	0,86	0,92	0,74	0,68	B	31,0	O	IAF, UR_{i9} , UR_{i15} , UR_{i21}
15	25i	0,110	0,574899	0,35	0,80	0,89	0,81	0,72	B	31,0	O	IAF, d_{i15}
16	26i	0,127	0,586023	0,33	0,81	0,89	0,83	0,73	B	31,5	O	AP, Rg_i
17	43i	0,211	0,536962	0,35	0,72	0,84	0,81	0,68	B	31,5	O	t_{i15}
18	1i	0,107	0,542275	0,37	0,87	0,92	0,78	0,71	B	32,0	O	AP, d_i , Rg_i
19	27i	0,133	0,603599	0,33	0,78	0,87	0,84	0,73	B	32,5	O	IAF, t_{i21} , t_{mini} , t_{maxi}
20	5i	0,090	0,535521	0,38	0,86	0,91	0,75	0,69	B	33,0	O	IAF, d_i
21	15i	0,105	0,531928	0,38	0,86	0,91	0,76	0,69	B	36,5	O	AP, UR_{mi} , Rg_i
22	22i	0,072	0,522503	0,40	0,86	0,91	0,72	0,66	B	36,5	O	IAF, UR_{mi}
23	3i	0,107	0,535426	0,37	0,85	0,91	0,76	0,70	B	37,0	O	AP, d_{i9} , d_{i15} , d_{i21}
24	33i	0,128	0,556337	0,35	0,83	0,90	0,80	0,72	B	37,0	O	t_{mini} , Rg_i
25	8i	0,125	0,549908	0,36	0,83	0,90	0,79	0,71	B	37,5	O	AP, t_{mi} , Rg_i
26	37i	0,147	0,572864	0,33	0,80	0,88	0,82	0,73	B	38,0	O	t_{i15} , Rg_i
27	28i	0,168	0,584505	0,32	0,78	0,87	0,84	0,73	B	38,5	O	AP, t_{i21} , t_{mini} , t_{maxi}
28	24i	0,144	0,555555	0,35	0,80	0,88	0,81	0,71	B	42,0	MB	AP, d_{i15}
29	16i	0,106	0,512853	0,39	0,85	0,91	0,73	0,67	B	42,5	MB	AP, UR_{i9} , UR_{i15} , UR_{i21}
30	4i	0,117	0,519347	0,38	0,85	0,91	0,75	0,68	B	44,0	MB	AP, d_i
31	18i	0,107	0,500013	0,40	0,85	0,91	0,71	0,65	M	47,5	MB	AP, UR_{mi}
32	39i	0,115	0,52832	0,39	0,78	0,87	0,75	0,66	B	48,5	MB	d_{i15} , Rg_i
33	29i	0,125	0,497886	0,40	0,82	0,90	0,72	0,65	M	53,5	B	t_{mi} , Rg_i
34	32i	0,101	0,476837	0,43	0,76	0,86	0,66	0,57	S	54,5	B	d_i , Rg_i
35	44i	0,107	0,464779	0,44	0,76	0,86	0,65	0,56	S	61,0	M	UR_{mi} , Rg_i
36	36i	0,103	0,444593	0,46	0,71	0,83	0,60	0,50	Ma	61,5	M	d_{i9} , d_{i15} , d_{i21}
37	40i	0,152	0,487933	0,40	0,76	0,86	0,72	0,62	M	63,5	M	t_{i15} , UR_{mi}
38	30i	0,152	0,505507	0,40	0,65	0,80	0,73	0,59	S	65,5	S	IAF, t_{mi}
39	31i	0,184	0,484288	0,40	0,65	0,80	0,73	0,58	S	70,0	S	AP, t_{mi}

Ordem	Mod	Coeficientes da equação da reta		RMSE	R ²	r	d	c	D'	ΣPO	D''	Variáveis
		Linear (a)	Angular (b)									
40	35i	0,118	0,431535	0,47	0,70	0,83	0,59	0,49	Ma	70,5	S	d _i
41	38i	0,201	0,465879	0,40	0,70	0,83	0,72	0,59	S	70,5	S	t _{i15} , t _{mi}
42	34i	0,115	0,415154	0,48	0,70	0,82	0,56	0,46	Ma	71,0	S	d _{i15} , d _i
43	41i	0,199	0,361121	0,49	0,57	0,75	0,52	0,39	P	85,0	R	t _{i21} , t _{mi}
44	42i	0,042	0,155892	0,76	0,17	0,41						t _{mi}

Obs - O índice "i" significa que os modelos foram obtidos com variáveis medidas no interior da estufa plástica. Mod é o número do modelo; RMSE = raiz quadrada do quadrado médio do erro; R² = coeficiente de determinação da regressão entre valores estimados e observados; r, d e c = coeficiente de correlação, exatidão e de confiança; ΣPO = somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação; D' = Desempenho do modelo segundo o índice de confiança (c); D'' = desempenho do modelo segundo o ΣPO.

Na Tabela 11 são apresentados os 44 modelos selecionados nos quais se utilizaram a raiz quadrada da altura de plantas como divisor da variável dependente evapotranspiração (ETm/AP^{0,5}). Os valores de R² também são menores se comparados aos dos modelos que não utilizaram a transformação raiz quadrada dos valores de qualquer variável fenométrica (IAF, NF, AP) (Tabela 5) ou aos modelos em que se utilizaram a raiz quadrada do IAF como divisor (Tabela 7). Os modelos que apresentaram o maior coeficiente de determinação (R²) na sua geração foram os que utilizaram também uma variável fenométrica independente (IAF ou NF).

TABELA 11. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada da altura de plantas (AP^{0,5}) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i). Santa Maria, RS, 2005.

Mod	Modelo de regressão	R ²
1i	ETm = AP ^{0,5} (-0,02112+0,08563IAF+0,01231d _i +0,00119Rg _i)	0,89
2i	ETm = AP ^{0,5} (-0,01651+0,08809IAF+0,00237d _{i9} +0,01203d _i)	0,89
3i	ETm = AP ^{0,5} (-0,01683+0,08755IAF+0,01437d _i)	0,89
4i	ETm = AP ^{0,5} (-0,01559+0,0904IAF+0,00586d _{i9} +0,00267d _{i15} +0,00309d _{i21})	0,89
5i	ETm = AP ^{0,5} (-0,02663+0,00122NF+0,01236d _i +0,00132Rg _i)	0,88
6i	ETm = AP ^{0,5} (-0,02185+0,00129NF+0,00613d _{i9} +0,00261d _{i15} +0,00371d _{i21})	0,88
7i	ETm = AP ^{0,5} (-0,02197+0,00125NF+0,01466d _i)	0,88
8i	ETm = AP ^{0,5} (-0,01681+0,09743IAF+0,00266d _{i15} +0,00253Rg _i)	0,87
9i	ETm = AP ^{0,5} (-0,10740+0,07919IAF+0,00571t _{mi} +0,00365Rg _i)	0,87
10i	ETm = AP ^{0,5} (-0,07905+0,09310IAF+0,00344t _{i15} +0,00282Rg _i)	0,86
11i	ETm = AP ^{0,5} (-0,11708+0,00112NF+0,00600t _{mi} +0,00373Rg _i)	0,86
12i	ETm = AP ^{0,5} (0,41134+0,10692IAF-0,00459UR _{mi} +0,00166Rg _i)	0,86
13i	ETm = AP ^{0,5} (-0,02288+0,00140NF+0,00247d _{i15} +0,00284Rg _i)	0,85
14i	ETm = AP ^{0,5} (0,58059+0,11180IAF-0,00636UR _{mi})	0,85
15i	ETm = AP ^{0,5} (-0,00315+0,10842IAF+0,00374d _{i15})	0,85
16i	ETm = AP ^{0,5} (0,48606+0,11307IAF-0,00220UR _{i9} -0,00129UR _{i15} -0,00189UR _{i21})	0,85
17i	ETm = AP ^{0,5} (-0,09115+0,09650IAF+0,00584t _{i9} -0,00424t _{mini} +0,00273t _{maxi})	0,85
18i	ETm = AP ^{0,5} (-0,06514+0,08971IAF+0,00367t _{mini} +0,00478Rg _i)	0,85
19i	ETm = AP ^{0,5} (-0,08668+0,00134NF+0,00353t _{i15} +0,00291Rg _i)	0,85

Mod	Modelo de regressão	R ²
20i	ETm = AP ^{0,5} (-0,09795+0,00139NF+0,00649t _{ig} -0,00456t _{mini} + 0,00249t _{maxi})	0,84
21i	ETm = AP ^{0,5} (0,36926+0,00154NF-0,00421UR _{mi} +0,00202Rg _i)	0,84
22i	ETm = AP ^{0,5} (0,48491+0,00164NF-0,00245UR _{ig} -0,00123UR _{i15} -0,00176UR _{i21})	0,84
23i	ETm = AP ^{0,5} (-0,07348+0,00128NF+0,00386t _{mini} +0,00493Rg _i)	0,84
24i	ETm = AP ^{0,5} (-0,01449+0,10868IAF+0,00426Rg _i)	0,84
25i	ETm = AP ^{0,5} (0,57627+0,00162NF-0,00637UR _{mi})	0,83
26i	ETm = AP ^{0,5} (-0,09857+0,10672IAF+0,00395t _{i21} -0,00418t _{mini} +0,00452t _{maxi})	0,83
27i	ETm = AP ^{0,5} (-0,00806+0,00157NF+0,00369d _{i15})	0,83
28i	ETm = AP ^{0,5} (-0,02169+0,00157NF+0,00438Rg _i)	0,82
29i	ETm = AP ^{0,5} (-0,10817+0,00154NF+0,00417t _{i21} -0,00432t _{mini} +0,00460t _{maxi})	0,82
30i	ETm = AP ^{0,5} (-0,11076+0,09869IAF+0,00760t _{mi})	0,81
31i	ETm = AP ^{0,5} (-0,12225+0,00141NF+0,00796t _{mi})	0,80
32i	ETm = AP ^{0,5} (-0,20256+0,01183t _{mi} +0,00497Rg _i)	0,78
33i	ETm = AP ^{0,5} (-0,01881+0,02020d _i +0,00218Rg _i)	0,75
34i	ETm = AP ^{0,5} (-0,01071+0,02436d _i)	0,74
35i	ETm = AP ^{0,5} (-0,15318+0,01043t _{mini} +0,00803Rg _i)	0,73
36i	ETm = AP ^{0,5} (-0,00819+0,00921d _{ig} +0,00477d _{i15} +0,00630d _{i21})	0,72
37i	ETm = AP ^{0,5} (-0,14903+0,00754t _{i15} +0,00422Rg _i)	0,70
38i	ETm = AP ^{0,5} (-0,24224+0,00527t _{i15} +0,01007t _{mi})	0,69
39i	ETm = AP ^{0,5} (-0,21218+0,00852t _{ig} +0,00665t _{mi})	0,69
40i	ETm = AP ^{0,5} (-0,24281-0,00720t _{i21} +0,02342t _{mi})	0,67
41i	ETm = AP ^{0,5} (-0,00995+0,00436d _{i15} +0,00519Rg _i)	0,67
42i	ETm = AP ^{0,5} (-0,24265+0,01692t _{mi})	0,66
43i	ETm = AP ^{0,5} (-0,19296+0,01123t _{i15})	0,64
44i	ETm = AP ^{0,5} (-0,23632+0,00342t _{mini} +0,01027t _{maxi})	0,62

*Todos os coeficientes angulares são significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro. Mod é o número do modelo. O R² é o coeficiente de determinação na geração do modelo. O índice "i" significa que os modelos foram obtidos com variáveis medidas no interior da estufa plástica.

O déficit de saturação do ar, tanto os valores médios ou mesmo pontuais, e a radiação solar global (Rg_i), novamente foram as variáveis utilizadas em um grande número dos modelos melhores classificados, principalmente os 15 primeiros (R²>0,85). A Rg_i utilizada em um grande número de modelos vem associada a outras variáveis meteorológicas, com exceção dos modelos 24i e 28i. No entanto, o R² obtido é bastante variável (0,66 a 0,89), dependendo das demais variáveis incluídas no modelo. Novamente se constata que dos 19 modelos que utilizam a Rg_i, em geral, o déficit de saturação do ar (d) deixa de ser incluído, exceto nos modelos 1i, 5i, 8i, 13i, 33i e 41i que utilizam d_i e ou d_{i15} (Tabela 11).

A temperatura e a umidade relativa do ar, tanto na forma de valores médios quanto pontuais, e temperaturas diárias máximas e mínimas, foram utilizadas em 26 modelos, sendo que em 11 deles essas variáveis estiveram associadas à Rg_i, seguindo a mesma tendência obtida nas análises anteriores (Tabela 11).

As estatísticas de avaliação e o desempenho dos modelos de estimativa da ETm do pimentão (Tabela 11), obtidas com base no banco de dados do ano seguinte (primavera de 2006), são apresentadas na Tabela 12.

Os melhores modelos são aqueles que apresentam os menores somatórios dos valores das posições ordinais (ΣPO) e maiores valores do índice de confiança (c) (Tabela 12). Considerando o ΣPO , dos 44 modelos selecionados na geração (Tabela 11), 18 modelos foram considerados Ótimos, 11 foram considerados Muito Bom, 7 bons, 3 com desempenho Mediano, 2 com desempenho Sofrível e os modelos 34i, 40i e 42i obtiveram classificação de desempenho Ruim. Dos 18 melhores modelos, classificados como Ótimos com base no ΣPO , todos foram classificados como muito bons pelo índice de confiança (Camargo; Sentelhas, 1997), com exceção dos modelos 23i, 37i e 28i considerados bons. Dos 11 modelos considerados muito bons pelo ΣPO , apenas os modelos 16i e 19i obtiveram o mesmo desempenho como índice c, sendo os demais classificados como bons (modelos 14i, 29i, 27i, 44i, 32i, 13i, 43i e 41i) ou Mediano (modelo 30i) com base no índice c.

O modelo 22i utiliza a umidade relativa do ar das 9, 15 e 21 horas como variável meteorológica, acompanhada da variável fenométrica NF. Ao comparar esse modelo com o modelo 14i se verifica que quando utilizado o IAF o modelo é um pouco melhor obtendo-se desempenho Mediano e Bom, considerando o índice c, respectivamente, e Bom e Muito Bom, considerando o ΣPO , respectivamente.

Dos 7 modelos considerados bons, considerando o ΣPO , a maioria dos modelos obteve classificação de desempenho Bom, considerando o índice c, com exceção dos modelos 22i e 25i, que obtiveram desempenho Mediano e Sofrível, respectivamente.

Os modelos 39i, 33i, 38i, 36i, 31i, 34i, 42i e 40i obtiveram baixo desempenho, considerando os dois índices de avaliação, sendo estes modelos não recomendados para a estimativa da ETm do pimentão.

A comparação dos resultados da Tabela 12 com os resultados apresentados na Tabela 8, mostra que a estabilidade dos modelos está melhor associada à relação da ETm com a raiz quadrada do índice de área foliar ($IAF^{0,5}$) do que com a relação da ETm com a raiz quadrada da altura de plantas ($AP^{0,5}$), embora a

utilização da relação $ET_m/IAF^{0,5}$ como variável dependente tenha resultado em modelos com menor coeficiente de determinação na sua geração (Tabelas 7 e 11).

Dos 18 modelos que apresentaram desempenho Ótimo, considerando o ΣPO , apenas os modelos 26i, 17i e 20i não utilizaram o d_i ou a Rg_i como variável meteorológica independente, reforçando a idéia que são essas duas variáveis meteorológicas as mais determinantes da ET_m do Pimentão na primavera do que de qualquer outra.

TABELA 12. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ET_m) por raiz quadrada da altura de plantas ($AP^{0,5}$) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006.

Ordem	Mod	Coeficientes da equação da reta		RMSE	R ²	r	d	c	D'	ΣPO	D''	Variáveis
		Linear (a)	Angular (b)									
1	1i	0,117	0,626805	0,29	0,87	0,92	0,87	0,80	MB	15,5	O	IAF, d_i , Rg_i
2	24i	0,118	0,692181	0,27	0,80	0,88	0,90	0,79	MB	15,5	O	IAF, Rg_i
3	26i	0,177	0,681988	0,27	0,77	0,87	0,90	0,78	MB	21,0	O	IAF, t_{i21} , t_{mini} , t_{maxi}
4	8i	0,492	0,682185	0,26	0,85	0,91	0,90	0,82	MB	22,5	O	IAF, d_{i15} , Rg_i
5	17i	0,611	0,69602	0,24	0,81	0,89	0,92	0,82	MB	26,0	O	IAF, t_{i9} , t_{mini} , t_{maxi}
6	10i	0,644	0,698913	0,25	0,82	0,89	0,92	0,82	MB	28,0	O	IAF, t_{i15} , Rg_i
7	4i	0,607	0,630243	0,30	0,86	0,92	0,87	0,80	MB	30,5	O	IAF, d_{i9} , d_{i15} , d_{i21}
8	23i	0,141	0,573345	0,33	0,84	0,90	0,83	0,75	B	31,0	O	NF, t_{mini} , Rg_i
9	35i	0,199	0,601039	0,29	0,81	0,89	0,87	0,77	MB	31,0	O	t_{mini} , Rg_i
10	15i	0,595	0,653227	0,28	0,81	0,89	0,89	0,79	MB	31,5	O	IAF, d_{i15}
11	12i	0,544	0,628924	0,31	0,85	0,91	0,86	0,78	MB	32,5	O	IAF, UR_{mi} , Rg_i
12	18i	0,696	0,685897	0,27	0,81	0,89	0,90	0,80	MB	34,0	O	IAF, t_{mini} , Rg_i
13	20i	0,197	0,574818	0,31	0,82	0,89	0,85	0,76	MB	34,0	O	NF, t_{i9} , t_{mini}
14	2i	0,627	0,61484	0,30	0,86	0,92	0,86	0,79	MB	34,5	O	IAF, d_{i9} , d_i
15	37i	0,255	0,606695	0,28	0,75	0,86	0,88	0,75	B	35,0	O	t_{i15} , Rg_i
16	3i	0,615	0,60673	0,31	0,86	0,92	0,85	0,78	MB	36,5	O	IAF, d_i
17	9i	0,682	0,644209	0,29	0,82	0,89	0,88	0,78	MB	37,5	O	IAF, t_{mi} , Rg_i
18	28i	0,131	0,552875	0,35	0,82	0,89	0,80	0,71	B	38,5	O	NF, Rg_i
19	14i	0,559	0,595049	0,33	0,85	0,91	0,83	0,75	B	40,5	MB	IAF, UR_{mi}
20	16i	0,653	0,611472	0,32	0,85	0,91	0,84	0,77	MB	41,0	MB	IAF, UR_{i9} , UR_{i15} , UR_{i21}
21	29i	0,192	0,544931	0,33	0,79	0,88	0,82	0,72	B	42,0	MB	NF, t_{i21} , t_{mini} , t_{maxi}
22	27i	0,162	0,508664	0,37	0,83	0,90	0,76	0,69	B	44,5	MB	NF, d_{i15}
23	19i	0,686	0,582412	0,31	0,84	0,90	0,85	0,76	MB	45,0	MB	NF, t_{i15} , Rg_i
24	44i	0,345	0,562674	0,29	0,70	0,83	0,87	0,71	B	45,0	MB	t_{mini} , t_{maxi}
25	32i	0,193	0,527761	0,35	0,80	0,88	0,80	0,70	B	46,0	MB	t_{mi} , Rg_i
26	30i	0,180	0,580702	0,35	0,65	0,80	0,82	0,65	M	46,5	MB	IAF, t_{mi}
27	13i	0,629	0,558527	0,34	0,86	0,92	0,81	0,74	B	48,0	MB	NF, d_{i15} , Rg_i
28	43i	0,334	0,559311	0,31	0,67	0,81	0,86	0,69	B	48,5	MB	t_{i15}
29	41i	0,205	0,553794	0,34	0,70	0,83	0,82	0,67	B	50,0	MB	d_{i15} , Rg_i
30	22i	0,113	0,466614	0,42	0,87	0,92	0,66	0,61	M	50,5	B	NF, UR_{i9} , UR_{i15} , UR_{i21}

Ordem	Mod	Coeficientes da equação da reta		RMSE	R ²	r	d	c	D'	ΣPO	D''	Variáveis
		Linear (a)	Angular (b)									
31	25i	0,114	0,448997	0,44	0,88	0,93	0,63	0,59	S	53,5	B	NF, UR _{mi}
32	6i	0,517	0,508756	0,39	0,86	0,91	0,74	0,68	B	55,0	B	NF, d _{i9} , d _{i15} , d _{i21}
33	5i	0,630	0,517093	0,38	0,87	0,92	0,76	0,70	B	56,0	B	NF, d _i , Rg _i
34	21i	0,367	0,497719	0,40	0,87	0,92	0,72	0,66	B	56,5	B	NF, UR _{mi} , Rg _i
35	11i	0,699	0,543625	0,35	0,84	0,90	0,80	0,72	B	57,0	B	NF, t _{mi} , Rg _i
36	7i	0,509	0,492153	0,39	0,85	0,91	0,72	0,66	B	59,0	B	NF, d _i
37	39i	0,300	0,498485	0,34	0,66	0,80	0,80	0,64	M	61,0	M	t _{i9} , t _{mi}
38	33i	0,182	0,489181	0,40	0,65	0,80	0,73	0,58	S	63,5	M	d _i , Rg _i
39	38i	0,296	0,482103	0,36	0,66	0,80	0,78	0,63	M	64,5	M	t _{i15} , t _{mi}
40	36i	0,182	0,468148	0,42	0,61	0,77	0,69	0,53	S	69,0	S	d _{i9} , d _{i15} , d _{i21}
41	31i	0,195	0,452876	0,42	0,65	0,79	0,69	0,55	S	70,0	S	NF, t _{mi}
42	34i	0,199	0,445637	0,43	0,59	0,76	0,67	0,51	S	76,0	R	d _i
43	42i	0,286	0,390493	0,44	0,51	0,71	0,65	0,46	Ma	83,5	R	t _{mi}
44	40i	0,273	0,37188	0,45	0,52	0,71	0,61	0,43	Ma	84,0	R	t _{i21} , t _{mi}

Obs - O índice "i" significa que os modelos foram obtidos com variáveis medidas no interior da estufa plástica. Mod é o número do modelo; RMSE = raiz quadrada do quadrado médio do erro; R² = coeficiente de determinação da regressão entre valores estimados e observados; r, d e c = coeficiente de correlação, exatidão e de confiança; ΣPO = somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação; D' = Desempenho do modelo segundo o índice de confiança (c); D'' = desempenho do modelo segundo o ΣPO.

Analisando a Tabela 12, se verifica que os modelos que utilizaram o IAF como variável fenométrica independente adicional, apresentaram os melhores desempenhos nas classificações por ΣPO e por índice c.

Considerando os resultados apresentados na Tabela 12 pode-se inferir que, a exceção dos modelos 30i, 22i, 25i, 39i, 33i, 38i, 36i, 31i, 34i, 42i e 40i todos os modelos são adequados e suficientemente precisos para estimar a ETm do pimentão. Novamente se ressalta que a escolha do modelo dependerá então dos dados fenométricos e meteorológicos disponíveis. Nesse sentido, considerando a praticidade na obtenção dos dados e o valor do coeficiente de confiança obtido, o modelo 43i pode ser considerado para a estimativa da ETm do pimentão pela sua praticidade, pois utiliza apenas a temperatura das 15 horas (t_{i15}), sendo necessário para isso apenas um termômetro comum e apenas uma leitura de temperatura às 15 horas.

4.1.4 Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima do pimentão utilizando variáveis meteorológicas medidas no exterior da estufa

Foram selecionados 226 modelos utilizando variáveis externas que na sua geração apresentaram coeficiente de determinação (R^2) maior do que 0,60 e que também apresentaram todos os seus coeficientes angulares significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro (Tabelas 13, 15, 17 e 19). Na quase absoluta maioria desses modelos utilizou-se uma variável fenométrica (IAF, NF ou AP), sendo ETm a variável dependente (Tabela 13). Modelos obtidos em que a ETm dividida pela raiz quadrada do IAF ($ETm/IAF^{0,5}$), ou a ETm dividida pela raiz quadrada do NF ($ETm/NF^{0,5}$), ou ainda a ETm dividida pela AP ($ETm/AP^{0,5}$) foi considerada como variável dependente (Tabelas 15, 17 e 19), juntamente com variáveis meteorológicas medidas no ambiente externo às estufas em uma estação meteorológica (estação A803 do Instituto Nacional de Meteorologia), instalada a 100 m das estufas.

Os modelos que apresentaram maior valor de R^2 utilizaram o valor médio diário do déficit de saturação do ar (d_e), associado ao saldo de radiação e , ou a radiação solar global (1e, 2e e 3e). Os modelos 4e, 5e e 6e utilizam apenas valores médios diários de déficit de saturação do ar, e mesmo assim, também apresentaram um valor de $R^2 > 0,90$ (Tabela 13). Na comparação desses seis modelos verifica-se que o ganho no coeficiente de determinação (R^2) dos modelos 1e a 3e devido ao acréscimo de uma variável relacionada ao fluxo de radiação (R_{n_e} ou R_{g_e}) é muito pequeno. Nesse caso, sem a realização de um teste que comprove a obtenção de uma melhor estabilidade do modelo com modelos com menor número de variáveis, mesmo apresentando um menor R^2 no teste, apresentam uma aplicação mais prática, por utilizarem um menor número de variáveis meteorológicas.

Os modelos 7e a 12e também apresentaram valores elevados de R^2 (Tabela 13), sendo que estes utilizam uma variável fenométrica e a ETo juntamente com uma variável relacionada à disponibilidade de energia (R_{g_e} , R_{n_e} ou n). Os modelos 13e, 15e e 20e, que utilizam apenas a ETo e uma variável fenométrica, também apresentam valores elevados de coeficiente de determinação ($R^2 > 0,87$), principalmente se a variável fenométrica for o IAF.

Em uma avaliação geral dos 57 modelos, as variáveis relacionadas à disponibilidade de energia (R_{g_e} , R_{n_e} ou n) estiveram presentes em 32. Na maioria

dos modelos essas variáveis vêm acompanhadas com d , ET_o , UR e ou t (Tabela 13).

A umidade relativa e a temperatura do ar, seja em valores médios e ou pontuais, também apresentaram R^2 alto o suficiente para a classificação de muitos modelos (34 modelos). No entanto, em 16 modelos essas variáveis estiveram associadas a uma variável relacionada à disponibilidade de energia, seja Rg_e , Rn_e ou n .

Dalmago et al. (2006), verificaram que o saldo de radiação externo foi a variável meteorológica que apresentou maior relação com a ET_m do pimentão cultivado no outono. No entanto, no atual trabalho essa tendência não ficou comprovada. Todos os modelos selecionados em que apenas foi incluída a variável meteorológica Rg_e ou a Rn_e , com (43e, 44e, 45e, 51e e 52e) ou sem a inclusão de uma variável fenométrica (57e), apresentaram R^2 menor do que modelos similares com a inclusão exclusiva do déficit de saturação do ar com ou sem variável fenométrica (4e, 5e, 6e e 56e). Isso pode ser explicado pelo fato de que o déficit de saturação do ar é dependente da radiação solar global incidente e do saldo de radiação, portanto ele representaria melhor as duas variáveis (d_e e Rg_e ou d_e e Rn_e). Essa também pode ser a explicação do porque os modelos 1e e 2e não apresentaram R^2 melhor do que o modelo 4e. A outra diferença entre os dois trabalhos foi a de que Dalmago et al. (2006), compararam Rg_e e Rn_e com o déficit de saturação medida no interior da estufa, o que não é o caso no presente trabalho.

TABELA 13. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima do pimentão (ET_m) cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e). Santa Maria, RS, 2005.

Mod	Modelo de regressão	R^2
1e	$ET_m = -0,33630 + 0,68282IAF + 0,07868d_e + 0,02621Rn_e$	0,92
2e	$ET_m = -0,29871 + 0,72796IAF + 0,08086d_e + 0,00937Rg_e$	0,92
3e	$ET_m = -0,37870 + 0,01001NF + 0,07922d_e + 0,02602Rn_e$	0,92
4e	$ET_m = -0,23893 + 0,76065IAF + 0,09036d_e$	0,92
5e	$ET_m = -0,48579 + 0,01886AP + 0,09545d_e$	0,91
6e	$ET_m = -0,28726 + 0,01118NF + 0,09062d_e$	0,91
7e	$ET_m = -0,29784 + 0,66799IAF - 0,09601Rn_e + 0,57428ET_o$	0,90
8e	$ET_m = -0,38239 + 0,56919IAF - 0,03378Rg_e + 0,51445ET_o$	0,90
9e	$ET_m = -0,51897 + 0,52081IAF - 0,03438n + 0,46513ET_o$	0,89
10e	$ET_m = -0,41798 + 0,00814NF - 0,03403Rg_e + 0,52053ET_o$	0,89
11e	$ET_m = -0,34580 + 0,00964NF - 0,08983Rn_e + 0,56020ET_o$	0,89
12e	$ET_m = -0,56443 + 0,00724NF - 0,03869n + 0,48832ET_o$	0,89
13e	$ET_m = -0,40106 + 0,68114IAF + 0,29789ET_o$	0,89
14e	$ET_m = 1,34891 + 0,01508NF + 0,01809UR_{e21} - 0,03643UR_{me}$	0,88

Mod	Modelo de regressão	R ²
15e	ETm = -0,44198 + 0,00993NF + 0,29918ETo	0,88
16e	ETm = 1,11255 + 0,84985IAF - 0,01566UR _{me} + 0,03677Rn _e	0,88
17e	ETm = 1,82996 + 0,01437NF - 0,00644UR _{e9} - 0,01629UR _{me}	0,88
18e	ETm = 1,14806 + 0,01266NF - 0,01656UR _{me} + 0,03333Rn _e	0,88
19e	ETm = 1,55011 + 0,99656IAF + 0,01157UR _{e21} - 0,03105UR _{me}	0,88
20e	ETm = -0,61353 + 0,01617AP + 0,31599ETo	0,88
21e	ETm = -0,79808 + 0,82482IAF + 0,02862t _{e15} + 0,02076Rg _e	0,88
22e	ETm = -0,79910 + 0,75822IAF + 0,03425t _{me} + 0,03165Rg _e	0,88
23e	ETm = 1,77509 + 0,97196IAF - 0,02149UR _{me}	0,87
24e	ETm = 1,73703 + 0,01433NF - 0,02180UR _{me}	0,87
25e	ETm = -0,76911 + 0,01214NF + 0,02935t _{e15} + 0,02018Rg _e	0,87
26e	ETm = -0,60751 + 0,01455NF + 0,04236t _{e9} - 0,05376t _{mine} + 0,02791t _{máxe}	0,87
27e	ETm = -0,57751 + 0,97717IAF + 0,03354t _{e9} - 0,04825t _{mine} + 0,03292t _{máxe}	0,87
28e	ETm = -0,84921 + 0,01112NF + 0,03454t _{me} + 0,03160Rg _e	0,87
29e	ETm = 1,71892 + 0,02430AP - 0,00609UR _{e9} - 0,01811UR _{me}	0,87
30e	ETm = 1,40064 + 0,02487AP + 0,01148UR _{e21} - 0,03282UR _{me}	0,87
31e	ETm = 0,27102 + 0,01370NF - 0,00762UR _{e15} + 0,03950Rn _e	0,87
32e	ETm = 0,17616 + 0,89451IAF - 0,00605UR _{e15} + 0,04928Rn _e	0,87
33e	ETm = -0,65160 + 0,98570IAF - 0,03176t _{mine} + 0,05123t _{máxe}	0,87
34e	ETm = 1,62872 + 0,02425AP - 0,02330UR _{me}	0,87
35e	ETm = -0,69157 + 0,01388NF + 0,01964t _{e9} + 0,05477t _{e15} - 0,04406t _{e21}	0,87
36e	ETm = -0,70751 + 0,01460NF - 0,03284t _{mine} + 0,05143t _{máxe}	0,86
37e	ETm = -0,65461 + 0,79193IAF + 0,02552t _{mine} + 0,03974Rg _e	0,86
38e	ETm = 0,28805 + 0,99091IAF - 0,00654UR _{e15} + 0,01799Rg _e	0,86
39e	ETm = -1,07842 + 0,01818AP + 0,03814t _{me} + 0,03265Rg _e	0,86
40e	ETm = -0,98993 + 0,02019AP + 0,03099t _{e15} + 0,02085Rg _e	0,86
41e	ETm = -0,69736 + 0,01167NF + 0,02512t _{mine} + 0,03963Rg _e	0,86
42e	ETm = -0,91000 + 0,02430AP + 0,03836t _{e9} - 0,05071t _{mine} + 0,03288t _{máxe}	0,86
43e	ETm = -0,39019 + 0,83194IAF + 0,07821Rn _e	0,86
44e	ETm = -0,44179 + 0,01225NF + 0,07814Rn _e	0,85
45e	ETm = -0,30293 + 0,96045IAF + 0,03259Rg _e	0,85
46e	ETm = -0,99983 + 0,02446AP - 0,03180t _{mine} + 0,05402t _{máxe}	0,85
47e	ETm = 0,00192 + 0,02264AP - 0,00716UR _{e15} + 0,04569Rn _e	0,85
48e	ETm = -0,36107 + 0,01420NF + 0,03228Rg _e	0,85
49e	ETm = -0,93841 + 0,01890AP + 0,02928t _{mine} + 0,04208Rg _e	0,85
50e	ETm = 0,10776 + 0,02519AP - 0,00794UR _{e15} + 0,01531Rg _e	0,85
51e	ETm = -0,64516 + 0,02025AP + 0,08221Rn _e	0,84
52e	ETm = -0,59573 + 0,02394AP + 0,03366Rg _e	0,83
53e	ETm = -0,54763 + 1,03121IAF + 0,03635t _{me}	0,83
54e	ETm = -0,60958 + 0,01525NF + 0,03604t _{me}	0,82
55e	ETm = -0,91066 + 0,02554AP + 0,04017t _{me}	0,81
56e	ETm = -0,18082 + 0,16349d _e	0,77
57e	ETm = -0,634887 + 0,17306Rn _e	0,72

*Todos os coeficientes angulares são significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro. Mod é o número do modelo. O R² é o coeficiente de determinação na geração do modelo. O índice "e" significa que as variáveis meteorológicas foram medidas no exterior da estufa plástica para a obtenção dos modelos.

Com relação às variáveis fenométricas, o IAF e o NF estiveram presentes em um maior número de modelos selecionados (20 modelos cada um) e a AP esteve presente em 15 modelos. Dos modelos com R²>0,88 a variável AP aparece em apenas um, o que permite inferir que também na associação com variáveis externas a AP é a variável fenométrica menos adequada (Tabela 13).

Considerando o Σ PO, dos 57 modelos, o ranqueamento da avaliação resultou em, 19 modelos considerados Ótimos, 13 Muito Bons, 10 Bons, 3 Medianos, 9 obtiveram desempenho Sofrível, o modelo 56e foi considerado Ruim e os modelos 54e e 57e obtiveram desempenho Péssimo (Tabela 14).

Dos 19 melhores modelos, classificados como Ótimos com base no Σ PO, 12 modelos foram classificados como Muito Bons, e os modelos 1e, 2e, 4e, 7e, 8e, 9e e 13e foram considerados Ótimos, utilizando o índice de confiança (Camargo; Sentelhas, 1997). Nesses modelos considerados Ótimos tanto pelo índice c quanto pelo Σ PO, o IAF é a variável fenométrica mais presente e como variável meteorológica os modelos utilizam o d_e , ou uma variável relacionada à disponibilidade de energia (Rg_e , Rn_e ou n) ou a ETo.

Dos 13 modelos considerados Muito Bom pelo Σ PO todos obtiveram o mesmo desempenho, considerando o índice c, com exceção dos modelos 14e e 17e que apresentaram desempenho Bom. Esses dois modelos utilizam como variável meteorológica somente a umidade relativa do ar média ou pontual. Dos 10 modelos considerados bons, no ranqueamento por Σ PO, todos obtiveram o desempenho Muito Bom, com exceção dos modelos 18e, 24e, 31e e 53e obtiveram o desempenho de Bom, considerando o índice c.

Novamente se verifica que a umidade relativa do ar diminui a desempenho do modelo, pois esteve presente em três dos quatro modelos considerados bons (modelos 18e, 24e e 31e), considerando o índice c. Os modelos 40e, 46e e 51e apresentaram desempenho Mediano pelo Σ PO. No entanto considerando o índice c esses modelos obtiveram o desempenho de Muito Bom. Dos 9 modelos que obtiveram desempenho Sofrível pelo Σ PO, todos apresentaram desempenho Bom, com exceção do modelo 28e, que utiliza a t_{me} e a Rg_e como variáveis meteorológicas e classificado como Muito Bom quando considerando o índice c. O modelo 56e foi considerado Ruim, provavelmente por não incluir uma variável fenométrica, embora utilize o d_e e os modelos 54e e 57e foram considerados Péssimos, não sendo aconselhada a sua aplicação na estimativa da ETm do pimentão.

Nos modelos que foram considerados Ótimos pelos testes de avaliação, se verifica que o IAF esteve presente em 14 modelos, a AP em 4 e o NF em apenas 1 modelo. Analisando os modelos que tiveram desempenho Ótimo se verifica que em apenas 5 (13e, 19e, 23e, 27e, 29e, 30e e 34e) uma variável relacionada à

disponibilidade de energia (R_{g_e} , R_{n_e} , n) ou o déficit de saturação do ar não estão presentes. Dalmago (2001) verificou que, para o pimentão cultivado no outono, as variáveis externas, E_{To} e saldo de radiação, apresentaram os modelos com melhor desempenho para a estimativa da ET_m dessa cultura. Heldwein et al. (2004) verificaram que os modelos que apresentaram melhores desempenhos na estimativa da ET_m da abóbora italiana utilizaram a E_{To} e a insolação medida no exterior da estufa.

Novamente se verifica nos modelos a grande dependência da transpiração das plantas com a radiação e também com o déficit de saturação do vapor d'água (OKUYA; OKUYA, 1988; RIGHI et al., 2002; HELDWEIN et al., 2004; DALMAGO et al., 2006 e VALANDRO et al., 2007), mesmo que essas variáveis sejam medidas no exterior da estufa. Os modelos 4e, 5e e 6e, por utilizarem somente o déficit de saturação do ar juntamente com uma variável fenométrica, são modelos que apresentaram Ótimos desempenhos (Tabela 14), além disso são simples e de fácil aplicabilidade, em razão da necessidade de coleta de apenas uma variável meteorológica.

A utilização da E_{To} também resultou em desempenhos Ótimo, Muito Bom e Bom, considerando o ΣPO . No entanto, essa variável na maioria dos modelos esteve associada a uma variável relacionada à disponibilidade de energia, com exceção dos modelos 13e, 15e e 20e. HELDWEIN et al. (2004) também obtiveram modelos que apresentaram bons desempenhos utilizando essa variável. No entanto, ela é mais complexa para sua determinação, pois necessita da medição de quatro diferentes elementos meteorológicos.

Nos modelos que foram considerados com desempenho Sofrível se verifica que todos com exceção do modelo 55e utilizaram o NF como variável fenométrica. Novamente evidencia-se que a utilização dessa variável nos modelos de estimativa da ET_m do pimentão também não é a mais apropriada. Analisando a Tabela 15, se verifica que os modelos que utilizaram o IAF variável fenométrica independente, apresentaram os melhores desempenhos do ΣPO e do índice c .

Considerando os resultados do índice c apresentados na Tabela 14 pode-se inferir que, a exceção dos modelos 54e, 56e e 57e, todos os modelos são adequados e suficientemente precisos para estimar a ET_m do pimentão. Novamente se ressalta que a escolha do modelo dependerá então dos dados fenométricos e

meteorológicos disponíveis. Nesse sentido, considerando a praticidade na obtenção dos dados e o valor do coeficiente de confiança obtido, os modelos 27e, 33e, 42e, 53e, 46e, 26e e 55e podem ser considerados para a estimativa da ET_m do pimentão pela sua praticidade, pois utilizam apenas a temperatura média e ou outro valor pontual e ou as temperaturas máximas e mínimas, sendo necessário para isso apenas um termômetro comum e ou um termômetro de máxima e um de mínima.

TABELA 14. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ET_m) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e), considerando a relação entre valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006.

Ordem	Mod	Coeficientes da equação da reta		RMSE	R ²	r	d	c	D'	ΣPO	D''	Variáveis
		Linear (a)	Angular (b)									
1	4e	0,135	0,75564	0,22	0,85	0,91	0,94	0,86	O	8,5	O	IAF, d _e
2	2e	0,155	0,7498	0,21	0,86	0,92	0,94	0,87	O	9,0	O	IAF, d _e , Rg _e
3	1e	0,171	0,74507	0,21	0,86	0,92	0,95	0,87	O	11,5	O	IAF, d _e , Rn _e
4	19e	0,122	0,73987	0,24	0,83	0,9	0,93	0,83	MB	14,0	O	IAF, UR _{e21} , UR _{me}
5	5e	0,168	0,74458	0,22	0,83	0,9	0,94	0,84	MB	15,0	O	AP, d _e
6	7e	0,209	0,74844	0,2	0,87	0,92	0,95	0,87	O	15,5	O	IAF, Rn _e , ET _o
7	23e	0,145	0,71756	0,25	0,81	0,89	0,92	0,82	MB	21,0	O	IAF, UR _{me}
8	8e	0,250	0,73009	0,2	0,86	0,92	0,95	0,87	O	23,0	O	IAF, Rg _e , ET _o
9	29e	0,168	0,72038	0,24	0,8	0,88	0,92	0,81	MB	23,0	O	AP, UR _{e9} , UR _{me}
10	30e	0,169	0,71986	0,24	0,8	0,88	0,92	0,81	MB	24,0	O	AP, UR _{e21} , UR _{me}
11	16e	0,194	0,70479	0,23	0,83	0,9	0,93	0,84	MB	25,5	O	IAF, UR _{me} , Rn _e
12	13e	0,247	0,71021	0,21	0,85	0,91	0,94	0,86	O	27,5	O	IAF, ET _o
13	38e	0,183	0,69775	0,25	0,8	0,88	0,92	0,81	MB	30,5	O	IAF, UR _{e15} , Rg _e
14	9e	0,280	0,71251	0,2	0,86	0,91	0,94	0,86	O	32,0	O	IAF, n, ET _o
15	34e	0,191	0,6981	0,25	0,79	0,87	0,92	0,8	MB	32,0	O	AP, UR _{me}
16	32e	0,213	0,69084	0,24	0,81	0,89	0,92	0,82	MB	33,0	O	IAF, UR _{e15} , Rn _e
17	27e	0,179	0,67987	0,26	0,78	0,87	0,91	0,79	MB	35,0	O	IAF, t _{e9} , t _{mine} , t _{máxe}
18	21e	0,183	0,6648	0,26	0,82	0,89	0,91	0,81	MB	35,5	O	IAF, t _{e15} , Rg _e
19	6e	0,140	0,629	0,29	0,83	0,9	0,87	0,78	MB	40,0	O	NF, d _e
20	3e	0,175	0,6314	0,27	0,84	0,9	0,89	0,8	MB	41,0	MB	NF, d _e , Rn _e
21	45e	0,218	0,67721	0,26	0,78	0,87	0,91	0,79	MB	41,0	MB	IAF, Rg _e
22	20e	0,291	0,68959	0,22	0,82	0,9	0,93	0,84	MB	41,5	MB	AP, ET _o
23	22e	0,304	0,68184	0,22	0,83	0,9	0,93	0,84	MB	42,0	MB	IAF, t _{me} , Rg _e
24	11e	0,221	0,63341	0,25	0,85	0,91	0,91	0,82	MB	43,0	MB	NF, Rn _e , ET _o
25	33e	0,209	0,6677	0,26	0,77	0,87	0,9	0,78	MB	43,0	MB	IAF, t _{mine} , t _{máxe}
26	50e	0,230	0,67292	0,26	0,77	0,87	0,91	0,79	MB	43,5	MB	AP, UR _{e15} , Rg _e
27	37e	0,284	0,66999	0,23	0,81	0,89	0,92	0,82	MB	45,5	MB	IAF, t _{mine} , Rg _e
28	43e	0,256	0,66778	0,25	0,79	0,88	0,92	0,8	MB	45,5	MB	IAF, Rn _e
29	17e	0,124	0,58176	0,33	0,83	0,9	0,82	0,74	B	47,0	MB	NF, UR _{e9} , UR _{me}
30	14e	0,108	0,58844	0,34	0,82	0,89	0,82	0,73	B	47,5	MB	NF, UR _{e21} , UR _{me}
31	10e	0,258	0,63486	0,24	0,84	0,91	0,91	0,83	MB	48,0	MB	NF, Rg _e , ET _o
32	47e	0,257	0,66668	0,25	0,78	0,87	0,91	0,8	MB	48,5	MB	AP, UR _{e15} , Rn _e
33	42e	0,231	0,65398	0,27	0,74	0,85	0,9	0,76	MB	52,5	B	AP, t _{e9} , t _{mine} , t _{máxe}
34	15e	0,254	0,59542	0,27	0,83	0,9	0,89	0,8	MB	53,5	B	NF, ET _o
35	24e	0,149	0,55846	0,34	0,81	0,89	0,81	0,72	B	53,5	B	NF, UR _{me}
36	53e	0,253	0,66931	0,28	0,7	0,83	0,9	0,74	B	54,0	B	IAF, t _{me}
37	12e	0,290	0,62844	0,24	0,84	0,9	0,91	0,83	MB	54,5	B	NF, n, ET _o

Ordem	Mod	Coeficientes da equação da reta		RMSE	R ²	r	d	c	D'	ΣPO	D''	Variáveis
		Linear (a)	Angular (b)									
38	18e	0,193	0,56483	0,32	0,82	0,89	0,84	0,75	B	54,5	B	NF, UR _{me} , Rn _e
39	39e	0,359	0,6572	0,24	0,79	0,88	0,92	0,81	MB	56,5	B	AP, t _{me} , Rg _e
40	49e	0,342	0,64203	0,24	0,79	0,88	0,91	0,8	MB	58,5	B	AP, t _{mine} , Rg _e
41	52e	0,274	0,64617	0,27	0,74	0,85	0,9	0,77	MB	58,5	B	AP, Rg _e
42	31e	0,201	0,54509	0,33	0,81	0,89	0,82	0,73	B	60,0	B	NF, UR _{e15} , Rn _e
43	40e	0,325	0,63656	0,25	0,79	0,88	0,91	0,8	MB	61,0	M	AP, t _{e15} , Rg _e
44	46e	0,267	0,63892	0,27	0,74	0,85	0,89	0,76	MB	61,0	M	AP, t _{mine} , t _{máxe}
45	51e	0,310	0,63813	0,26	0,76	0,86	0,91	0,78	MB	63,5	M	AP, Rn _e
46	26e	0,171	0,52206	0,36	0,77	0,87	0,78	0,67	B	66,0	S	NF, t _{e9} , t _{mine} , t _{máxe}
47	28e	0,310	0,55473	0,28	0,81	0,89	0,87	0,77	MB	68,0	S	NF, t _{me} , Rg _e
48	41e	0,290	0,53657	0,3	0,81	0,89	0,85	0,75	B	69,0	S	NF, t _{mine} , Rg _e
49	25e	0,278	0,52687	0,31	0,81	0,89	0,84	0,74	B	70,0	S	NF, t _{e15} , Rg _e
50	48e	0,223	0,51648	0,34	0,77	0,87	0,8	0,69	B	71,5	S	NF, Rg _e
51	55e	0,317	0,63978	0,29	0,67	0,81	0,89	0,72	B	71,5	S	AP, t _{me}
52	44e	0,261	0,52851	0,32	0,78	0,87	0,83	0,72	B	72,5	S	NF, Rn _e
53	36e	0,212	0,50393	0,36	0,76	0,86	0,78	0,67	B	74,0	S	NF, t _{mine} , t _{máxe}
54	35e	0,245	0,51179	0,34	0,76	0,86	0,8	0,69	B	74,5	S	NF, t _{e9} , t _{e15} , t _{e21}
55	56e	0,308	0,63895	0,33	0,57	0,75	0,85	0,64	M	76,5	R	d _e
56	54e	0,258	0,49749	0,35	0,7	0,82	0,79	0,65	M	84,0	P	NF, t _{me} ,
57	57e	0,542	0,50355	0,35	0,52	0,71	0,82	0,58	S	95,5	P	Rn _e

Obs - O índice "e" significa que os modelos foram obtidos apenas com variáveis medidas no exterior da estufa plástica. Mod é o número do modelo; RMSE = raiz quadrada do quadrado médio do erro; R² = coeficiente de determinação da regressão entre valores estimados e observados; r, d e c = coeficiente de correlação, exatidão e de confiança; ΣPO = somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação; D' = Desempenho do modelo segundo o índice de confiança (c); D'' = desempenho do modelo segundo o ΣPO.

Na tabela 15 são apresentados os modelos que utilizam a ETm dividida pela raiz quadrada do IAF (ETm/IAF^{0,5}) como variável dependente, juntamente com variáveis meteorológicas medidas no ambiente externo da estufa em uma Estação meteorológica.

Os modelos que apresentaram um maior R² utilizaram o valor médio diário do déficit de saturação do ar (d_e), associado ao saldo de radiação e ou à radiação solar global (1e, 2e, 3e, 4e, 5e, 6e e 9e) e os modelos 7e e 8e utilizaram apenas valores médios diários de déficit de saturação do ar (Tabela 15). Vale ressaltar que o ganho no coeficiente de determinação (R²) dos modelos com o acréscimo de uma ou mais variáveis é muito pequeno. Por isso modelos com menor número de variáveis, mesmo apresentando um valor menor de R² na sua geração, apresentam uma aplicação mais prática.

Em geral, se verifica que a utilização do NF e da AP como segunda variável fenométrica resultou em modelos com valores maiores de coeficiente de determinação. Isto deixou a dúvida de que a transformação raiz quadrada do IAF

($IAF^{0,5}$) como divisor da ETm não fosse adequada, porém a utilização da relação ETm/IAF como variável dependente resultou em modelos de desempenho Ruim.

A temperatura do ar, tanto valores médios quanto pontuais, também apresentou modelos com elevados valores de R^2 . No entanto, esta sempre esteve associada à Rg_e e ou Rn_e . A utilização da umidade relativa do ar, seja valores médios e ou pontuais, apresentou valores menores de coeficiente de determinação (R^2) e a evapotranspiração de referência (ETo) é usada apenas nos modelos 10e e 17e.

Ao comparar os modelos da Tabela 15 com os da Tabela 13 constata-se que os coeficientes de determinação (R^2) foram menores. Os coeficientes de determinação nessa tabela foram inferiores a 0,79. Mesmo utilizando variáveis externas os melhores coeficientes de determinação foram obtidos quando se utilizou o déficit de saturação do ar (d_e) e uma variável relacionada à disponibilidade de energia (Rn_e , Rg_e ou n), sendo que essas variáveis estão presentes em um grande número de modelos (36 modelos).

TABELA 15. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do índice de área foliar ($IAF^{0,5}$) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e). Santa Maria, RS, 2005.

Mod	Modelo de regressão	R^2
1e	$ETm = IAF^{0,5} (-0,03525 + 0,00434AP + 0,07630d_e + 0,03835Rn_e)$	0,78
2e	$ETm = IAF^{0,5} (0,00272 + 0,00241NF + 0,07454d_e + 0,04072Rn_e)$	0,78
3e	$ETm = IAF^{0,5} (-0,28625 + 0,05185Rn_e + 0,01589t_{máxe} + 0,06197d_e)$	0,78
4e	$ETm = IAF^{0,5} (-0,00773 + 0,00600AP + 0,07869d_e + 0,01457Rg_e)$	0,78
5e	$ETm = IAF^{0,5} (0,05013 + 0,00340NF + 0,07679d_e + 0,01559Rg_e)$	0,78
6e	$ETm = IAF^{0,5} (-0,02812 + 0,08026d_e + 0,05435Rn_e)$	0,78
7e	$ETm = IAF^{0,5} (0,06524 + 0,00748AP + 0,09303d_e)$	0,77
8e	$ETm = IAF^{0,5} (0,14580 + 0,00424NF + 0,09239d_e)$	0,77
9e	$ETm = IAF^{0,5} (0,04709 + 0,09177d_e + 0,02093Rg_e)$	0,76
10e	$ETm = IAF^{0,5} (-0,14656 + 0,48738ETo - 0,03155n)$	0,76
11e	$ETm = IAF^{0,5} (-0,51557 + 0,00394NF + 0,03944t_{e15} + 0,02121Rg_e)$	0,76
12e	$ETm = IAF^{0,5} (-0,63513 + 0,00249NF + 0,04726t_{me} + 0,03654Rg_e)$	0,76
13e	$ETm = IAF^{0,5} (-0,59118 + 0,00618AP + 0,04049t_{e15} + 0,02182Rg_e)$	0,75
14e	$ETm = IAF^{0,5} (-0,68904 + 0,08927Rn_e + 0,04568t_{me})$	0,75
15e	$ETm = IAF^{0,5} (-0,77004 + 0,05653t_{me} + 0,04216Rg_e)$	0,75
16e	$ETm = IAF^{0,5} (-0,70242 + 0,07949Rn_e + 0,03878t_{máxe})$	0,74
17e	$ETm = IAF^{0,5} (-0,07055 + 0,38429ETo)$	0,74
18e	$ETm = IAF^{0,5} (0,18614 + 0,12000d_e)$	0,73
19e	$ETm = IAF^{0,5} (-0,65971 + 0,04927t_{e15} + 0,02846Rg_e)$	0,73
20e	$ETm = IAF^{0,5} (-0,50130 + 0,00268NF + 0,03990t_{mine} + 0,04915Rg_e)$	0,73
21e	$ETm = IAF^{0,5} (-0,38309 + 0,00663NF + 0,03275t_{e9} - 0,04529t_{mine} + 0,04111t_{máxe})$	0,72
22e	$ETm = IAF^{0,5} (1,39193 + 0,00489NF - 0,01509UR_{me} + 0,04893Rn_e)$	0,72
23e	$ETm = IAF^{0,5} (-0,65098 + 0,05080t_{mine} + 0,05785Rg_e)$	0,72
24e	$ETm = IAF^{0,5} (1,89248 + 0,00805NF + 0,01697UR_{e21} - 0,03651UR_{me})$	0,72

Mod	Modelo de regressão	R ²
25e	$ETm = IAF^{0,5} (1,39062 + 0,00816AP - 0,01592UR_{me} + 0,04809Rn_e)$	0,72
26e	$ETm = IAF^{0,5} (-0,46040 + 0,00667NF - 0,02911t_{mine} + 0,05929t_{máxe})$	0,72
27e	$ETm = IAF^{0,5} (1,56495 + 0,00633NF - 0,01622UR_{me} + 0,01690Rg_e)$	0,71
28e	$ETm = IAF^{0,5} (-0,59478 + 0,01112AP - 0,02861t_{mine} + 0,06057t_{máxe})$	0,71
29e	$ETm = IAF^{0,5} (2,34882 + 0,00738NF - 0,00639UR_{e9} - 0,01732UR_{me})$	0,71
30e	$ETm = IAF^{0,5} (1,92902 + 0,01319AP + 0,01340UR_{e21} - 0,03462UR_{me})$	0,71
31e	$ETm = IAF^{0,5} (1,57190 + 0,01076AP - 0,01741UR_{me} + 0,01575Rg_e)$	0,71
32e	$ETm = IAF^{0,5} (2,28715 + 0,01252AP - 0,00621UR_{e9} - 0,01821UR_{me})$	0,71
33e	$ETm = IAF^{0,5} (0,52134 + 0,00569NF - 0,00618UR_{e15} + 0,05843Rn_e)$	0,70
34e	$ETm = IAF^{0,5} (2,25659 + 0,00734NF - 0,02279UR_{me})$	0,70
35e	$ETm = IAF^{0,5} (2,19511 + 0,01247AP - 0,02350UR_{me})$	0,70
36e	$ETm = IAF^{0,5} (-0,11799 + 0,06088t_{e15} - 0,00648UR_{e15})$	0,70
37e	$ETm = IAF^{0,5} (0,63640 + 0,00732NF - 0,00669UR_{e15} + 0,02193Rg_e)$	0,69
38e	$ETm = IAF^{0,5} (0,39381 + 0,00885AP - 0,00581UR_{e15} + 0,06410Rn_e)$	0,69
39e	$ETm = IAF^{0,5} (-0,05665 + 0,00452NF + 0,08976Rn_e)$	0,69
40e	$ETm = IAF^{0,5} (1,20393 - 0,01393UR_{me} + 0,08971Rn_e)$	0,69
41e	$ETm = IAF^{0,5} (-0,19823 - 0,06775Rg_e + 0,25306Rn_e)$	0,69
42e	$ETm = IAF^{0,5} (0,48896 + 0,01208AP - 0,00638UR_{e15} + 0,02382Rg_e)$	0,68
43e	$ETm = IAF^{0,5} (0,06938 + 0,05814t_{máxe} - 0,00961UR_{e15})$	0,68
44e	$ETm = IAF^{0,5} (-0,13133 + 0,00691AP + 0,09373Rn_e)$	0,68
45e	$ETm = IAF^{0,5} (0,03282 + 0,00669NF + 0,03747Rg_e)$	0,68
46e	$ETm = IAF^{0,5} (-0,07603 + 0,01107AP + 0,03855Rg_e)$	0,67
47e	$ETm = IAF^{0,5} (-0,12782 + 0,12475Rn_e)$	0,66
48e	$ETm = IAF^{0,5} (-0,35801 + 0,00726NF + 0,04900t_{me})$	0,64
49e	$ETm = IAF^{0,5} (-0,50249 + 0,01211AP + 0,05114t_{me})$	0,64
50e	$ETm = IAF^{0,5} (-0,83859 + 0,03722t_{e21} - 0,03421t_{mine} + 0,06287t_{máxe})$	0,64
51e	$ETm = IAF^{0,5} (1,75743 - 0,01841UR_{me} + 0,03596Rg_e)$	0,63
52e	$ETm = IAF^{0,5} (-0,82196 - 0,02263t_{mine} + 0,08370t_{máxe})$	0,62

*Todos os coeficientes angulares são significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro. Mod é o número do modelo. O R² é o coeficiente de determinação na geração do modelo. O índice "e" significa que os modelos foram obtidos apenas com variáveis meteorológicas medidas no exterior da estufa plástica.

As estatísticas de avaliação e o desempenho dos modelos de estimativa da ETm do pimentão (Tabela 15), que utilizam a ETm dividida pela raiz quadrada do IAF e variáveis meteorológicas externas, obtidas com base no banco de dados do ano seguinte (primavera de 2006), são apresentadas na Tabela 16.

Dos 52 modelos analisados (Tabela 16), considerando o ΣPO , 23 foram considerados Ótimos, 12 considerados Muito Bons, 9 considerados Bons, 2 apresentaram desempenho Mediano, 5 Sofrível e 1 modelo apresentou desempenho Ruim. Dos 23 modelos considerados Ótimos, apenas seis (7e, 8e, 17e, 18e, 30e, 32e, 35e) e dos 12 modelos considerados Muito Bons, apenas 5 (24e, 29e, 36e, 43e, 47e) e dos 9 modelos considerados Bons apenas 1 (34e) não utilizam uma variável relacionada à disponibilidade de energia (Rn_e , Rg_e ou n). Em razão disso, pode-se inferir que a utilização de uma variável relacionada à disponibilidade de energia medida no exterior da estufa é importante nos modelos para a estimativa da ETm do pimentão cultivado em estufa para a melhora da precisão da estimativa.

O déficit de saturação do vapor d'água (d_e) está presente em 10 dos 23 modelos considerados Ótimos, considerando o ΣPO , confirmando ser uma variável externa muito útil na determinação da ETm.

Os modelos 10e e 17e, que utilizam a evapotranspiração de referência (ETo) obtiveram desempenhos Ótimos, considerando os dois índices de avaliação. No entanto, essa variável apresenta maior dificuldade de obtenção dos dados. Em razão disso esses modelos são considerados de aplicação mais complexa.

Analisando os resultados apresentados na Tabela 16, considerando o desempenho dos modelos conforme o índice c (Camargo; Sentelhas, 1997), se observa que os modelos 1e, 2e, 3e, 4e, 5e, 6e, 7e, 9e, 10e, 12e, 14e, 15e, 16e, 17e, 19e, 23e e 40e obtiveram desempenho Ótimo e o modelo 48e (utiliza o NF e a t_{me}) obteve desempenho Bom. O restante dos modelos foi considerado Muito Bom segundo esse índice. Portanto, a transformação dos valores de IAF em $IAF^{0,5}$ embora tenha piorado a precisão dos modelos na sua geração (Tabela 15), resultou em maior estabilidade dos modelos para serem utilizados em condições diferentes daquelas para sua geração. Pode-se verificar também que as variáveis relacionadas à disponibilidade de energia (Rg_e , Rn_e ou n), utilizadas isoladas ou com outras variáveis meteorológicas medidas no exterior da estufa, estão presentes na maioria dos modelos da estimativa da ETm do pimentão, concluindo-se dessa forma que essas variáveis, principalmente Rg_e e Rn_e , apresentam estreita relação com a evapotranspiração dessa cultura.

Dalmago (2001) verificou que, para o pimentão cultivado no outono, as variáveis externas, ETo e saldo de radiação, apresentaram os modelos com melhor desempenho para a estimativa da ETm dessa cultura e Heldwein et al. (2004) verificaram que os modelos que apresentaram melhores desempenhos na estimativa da ETm da abóbora italiana utilizaram a ETo e a insolação medida no exterior da estufa. Novamente, se verifica nos modelos a grande dependência da evapotranspiração das plantas da radiação e do déficit de saturação do vapor d'água (OKUYA; OKUYA, 1988; RIGHI et al., 2002; HELDWEIN et al., 2004; DALMAGO et al., 2006 e VALANDRO et al., 2007), mesmo que essas variáveis sejam medidas no exterior da estufa.

TABELA 16. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do índice de área foliar (IAF^{0,5}) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006.

Ordem	Mod	Coeficientes da equação da reta		RMSE	R ²	r	d	C	D'	ΣPO	D''	Variáveis
		Linear (a)	Angular (b)									
1	6e	0,032	0,80663	0,21	0,88	0,93	0,95	0,88	O	7,5	O	d _e , Rn _e
2	9e	0,019	0,80349	0,22	0,88	0,92	0,94	0,87	O	9,0	O	d _e , Rg _e
3	1e	0,042	0,80058	0,21	0,88	0,93	0,95	0,88	O	11,5	O	AP, d _e , Rn _e
4	3e	0,054	0,79687	0,21	0,89	0,93	0,95	0,88	O	13,0	O	Rn _e , t _{máxe} , d _e
5	4e	0,039	0,79699	0,22	0,88	0,93	0,94	0,87	O	13,5	O	AP, d _e , Rg _e
6	10e	0,088	0,80595	0,19	0,88	0,93	0,95	0,89	O	15,0	O	ETo, N
7	17e	0,082	0,79352	0,2	0,89	0,93	0,95	0,89	O	15,5	O	ETo
8	18e	0,008	0,79713	0,24	0,85	0,91	0,93	0,84	MB	15,5	O	d _e
9	2e	0,039	0,7744	0,23	0,89	0,93	0,93	0,87	O	16,0	O	NF, d _e , Rn _e
10	7e	0,037	0,79167	0,23	0,86	0,92	0,94	0,86	O	17,0	O	AP, d _e
11	5e	0,034	0,75939	0,24	0,88	0,93	0,93	0,86	O	17,5	O	NF, d _e , Rg _e
12	8e	0,030	0,74452	0,26	0,86	0,92	0,91	0,84	MB	24,0	O	NF, d _e
13	30e	0,069	0,75131	0,24	0,85	0,91	0,92	0,84	MB	27,0	O	AP, UR _{e21} , UR _{me}
14	32e	0,071	0,74953	0,24	0,85	0,91	0,92	0,84	MB	28,5	O	AP, UR _{e9} , UR _{me}
15	40e	0,092	0,74298	0,23	0,88	0,92	0,93	0,86	O	29,0	O	UR _{me} , Rn _e
16	15e	0,135	0,78747	0,2	0,87	0,92	0,95	0,88	O	29,5	O	t _{me} , Rg _e
17	25e	0,094	0,74442	0,23	0,86	0,92	0,93	0,85	MB	32,0	O	AP, UR _{me} , Rn _e
18	12e	0,132	0,75224	0,21	0,86	0,92	0,94	0,86	O	33,5	O	NF, t _{me} , Rg _e
19	14e	0,143	0,78119	0,2	0,86	0,91	0,95	0,87	O	33,5	O	Rn _e , t _{me}
20	31e	0,092	0,73587	0,24	0,85	0,91	0,92	0,84	MB	35,5	O	AP, UR _{me} , Rg _e
21	51e	0,084	0,71731	0,25	0,86	0,92	0,92	0,84	MB	35,5	O	UR _{me} , Rg _e
22	16e	0,132	0,74191	0,22	0,86	0,92	0,94	0,86	O	36,5	O	Rn _e , t _{máxe}
23	35e	0,087	0,73104	0,25	0,84	0,9	0,92	0,83	MB	36,5	O	AP, UR _{me}
24	19e	0,135	0,72446	0,23	0,87	0,92	0,93	0,86	O	41,0	MB	T _{e15} , Rg _e
25	23e	0,152	0,75104	0,21	0,85	0,91	0,94	0,86	O	41,0	MB	t _{mine} , Rg _e
26	22e	0,086	0,69314	0,26	0,87	0,92	0,9	0,83	MB	41,5	MB	NF, UR _{me} , Rn _e
27	38e	0,121	0,72494	0,24	0,84	0,91	0,92	0,84	MB	42,0	MB	AP, UR _{e15} , Rg _e
28	13e	0,138	0,72791	0,23	0,85	0,91	0,93	0,85	MB	43,5	MB	AP, t _{e15} , Rg _e
29	43e	0,115	0,71489	0,25	0,84	0,91	0,92	0,83	MB	43,5	MB	t _{máxe} , UR _{e15}
31	29e	0,057	0,67128	0,29	0,86	0,92	0,88	0,81	MB	44,0	MB	NF, UR _{e9} , UR _{me}
32	27e	0,081	0,66906	0,28	0,86	0,92	0,89	0,81	MB	45,5	MB	NF, UR _{me} , Rg _e
33	42e	0,119	0,71434	0,25	0,83	0,9	0,92	0,83	MB	46,5	MB	AP, UR _{e15} , Rg _e
34	47e	0,139	0,71461	0,24	0,85	0,91	0,93	0,84	MB	48,5	MB	Rn _e
35	36e	0,132	0,7081	0,25	0,84	0,9	0,92	0,83	MB	49,5	MB	t _{e15} , UR _{e15}
36	11e	0,130	0,6881	0,25	0,85	0,91	0,91	0,83	MB	50,5	B	NF, t _{e15} , Rg _e
37	20e	0,145	0,71685	0,24	0,84	0,91	0,93	0,84	MB	50,5	B	NF, t _{mine} , Rg _e
38	41e	0,155	0,72543	0,23	0,83	0,9	0,93	0,83	MB	51,0	B	Rg _e , Rn _e
39	34e	0,074	0,65287	0,3	0,85	0,91	0,87	0,79	MB	51,5	B	NF, UR _{me}
40	33e	0,107	0,66812	0,28	0,85	0,91	0,89	0,81	MB	52,0	B	NF, UR _{e15} , Rn _e
41	44e	0,146	0,71211	0,24	0,82	0,9	0,92	0,83	MB	56,0	B	AP, Rn _e
42	37e	0,102	0,64141	0,3	0,85	0,91	0,87	0,79	MB	57,0	B	NF, UR _{e15} , Rg _e
43	46e	0,144	0,69869	0,26	0,81	0,89	0,91	0,81	MB	59,0	B	AP, Rg _e
44	39e	0,137	0,66636	0,27	0,83	0,9	0,9	0,81	MB	60,0	B	NF, Rn _e
45	28e	0,143	0,69176	0,26	0,8	0,88	0,91	0,8	MB	61,5	M	AP, t _{mine} , t _{máxe}
46	45e	0,130	0,63136	0,3	0,82	0,9	0,87	0,78	MB	64,5	M	NF, Rg _e
47	21e	0,117	0,625	0,31	0,81	0,89	0,86	0,76	MB	65,5	S	NF, t _{e9} , t _{mine} , t _{máxe}
48	26e	0,128	0,62328	0,31	0,81	0,89	0,86	0,76	MB	67,5	S	NF, t _{mine} , t _{máxe}

		Coeficientes da equação da reta											
Ordem	Mod	Linear (a)	Angular (b)	RMSE	R ²	r	d	C	D'	ΣPO	D''	Ordem	
49	49e	0,201	0,69829	0,27	0,72	0,84	0,9	0,76	MB	70,5	S	AP, t _{me}	
50	50e	0,162	0,65933	0,28	0,8	0,88	0,89	0,79	MB	71,0	S	t _{e21} , t _{mine} , t _{máxe}	
51	52e	0,161	0,65763	0,28	0,79	0,88	0,89	0,78	MB	72,5	S	t _{mine} , t _{máxe}	
52	48e	0,184	0,62224	0,31	0,73	0,84	0,87	0,73	B	81,0	R	NF, t _{me}	

Obs - O índice "e" significa que os modelos foram obtidos apenas com variáveis meteorológicas medidas no exterior da estufa plástica. Mod é o número do modelo; RMSE = raiz do quadrado médio do erro; R² = coeficiente de determinação da regressão entre valores estimados e observados; r, d e c = coeficiente de correlação, exatidão e de confiança; ΣPO = somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação; D' = Desempenho do modelo segundo o índice de confiança (c); D'' = Desempenho do modelo segundo o ΣPO.

Na tabela 17 são apresentados os modelos que utilizam a ET_m dividida pela raiz quadrada do NF (ET_m/NF^{0,5}) como variável dependente, juntamente com variáveis meteorológicas medidas no ambiente externo da estufa.

Os modelos que apresentaram maiores valores de R² utilizaram a média diária do déficit de saturação do ar (d_e), associado ao saldo de radiação e ou à radiação solar global, associados a uma segunda variável fenométrica (IAF e ou AP) (1e, 2e, 3e e 4e). Os modelos 5e e 9e, que utilizam apenas valores médios diários de déficit de saturação do ar juntamente com a AP e a IAF, também apresentaram valores elevados de R² (Tabela 17). Vale ressaltar que o ganho no coeficiente de determinação (R²) dos modelos com o acréscimo de uma ou mais variáveis é muito pequeno. Por isso modelos com menor número de variáveis, como por exemplo, os modelos 5e e o 9e, mesmo apresentando um valor menor de R² na sua geração, apresentam uma aplicação mais prática.

As variáveis meteorológicas relacionadas à disponibilidade de energia (Rg_e, Rn_e e n) estão presentes em 34 dos 56 modelos selecionados (Tabela 17), confirmando novamente a grande associação da evapotranspiração das culturas com a radiação solar. É importante destacar que sua utilização nos modelos para a estimativa da ET_m do pimentão, geralmente vem acompanhada de outras variáveis meteorológicas, tais como o déficit de saturação médio do ar (d_e) (modelos 1e, 2e, 3e, 4e, 15e e 43e), a temperatura do ar (valores médios, pontuais e ou máximos e mínimos) (modelos 11e,12e, 13e, 14e, 19e, 23e, 24e, 37e, 42e, 45e e 47e) e também a umidade relativa do ar (valores médios e ou pontuais) (modelos 16e, 17e, 20e, 21e, 26e, 29e, 35e, 46e e 53e). Os modelos 6e, 7e, 8e e 10e utilizam a evapotranspiração de referência (ET_o), apresentando também valores elevados de

coeficientes de determinação ($R^2 > 0,84$). Em geral, se verifica também que a utilização da AP além do $NF^{0,5}$, como segunda variável fenométrica independente apresentou modelos com maiores valores de coeficiente de determinação.

Ao comparar a Tabela 17 com a Tabela 13 (modelos com apenas a ETm como variável dependente e variáveis medidas no exterior), constata-se que devido a utilização da relação $ETm/NF^{0,5}$, os coeficientes de determinação (R^2) foram relativamente menores. No entanto, ao comparar os resultados apresentados na Tabela 17 com os da Tabela 15 (modelos que utilizam a $ETm/IAF^{0,5}$ como variável dependente, juntamente com variáveis meteorológicas medidas no ambiente externo da estufa e AP ou NF como segunda variável fenométrica), se verifica que o R^2 foi maior com $ETm/NF^{0,5}$ (Tabela 18). A análise conjunta dos resultados das tabelas 13, 15 e 17 permite então inferir que o IAF sem transformação e usado como variável independente, é a variável fenométrica mais determinante da ETm para a condição em que foram obtidos os dados experimentais na primavera de 2005.

TABELA 17. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do número de folhas ($NF^{0,5}$) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e). Santa Maria, RS, 2005.

Mod	Modelo de regressão	R^2
1e	$ETm = NF^{0,5}(0,03218+0,00112AP+0,00755d_e+0,00526Rn_e)$	0,87
2e	$ETm = NF^{0,5}(-0,01995+0,04221IAF+0,00705d_e+0,00591Rn_e)$	0,86
3e	$ETm = NF^{0,5}(-0,02851+0,00136AP+0,00783d_e+0,00198Rg_e)$	0,86
4e	$ETm = NF^{0,5}(-0,01237+0,05263IAF+0,00731d_e+0,00225Rg_e)$	0,86
5e	$ETm = NF^{0,5}(-0,01890+0,00158AP+0,00967d_e)$	0,85
6e	$ETm = NF^{0,5}(-0,03224+0,02672IAF-0,00317n+0,05223ETo)$	0,85
7e	$ETm = NF^{0,5}(-0,02140+0,04112IAF+0,03694ETo)$	0,84
8e	$ETm = NF^{0,5}(-0,04399+0,06911ETo-0,00553n)$	0,84
9e	$ETm = NF^{0,5}(0,00196+0,06160IAF+0,00945d_e)$	0,84
10e	$ETm = NF^{0,5}(-0,03423+0,00101AP+0,03762ETo)$	0,84
11e	$ETm = NF^{0,5}(0,06291+0,05650IAF+0,00354t_{e15}+0,00291Rg_e)$	0,84
12e	$ETm = NF^{0,5}(-0,07391+0,04771IAF+0,00425t_{me}+0,00426Rg_e)$	0,83
13e	$ETm = NF^{0,5}(-0,08205+0,00141AP+0,00369t_{e15}+0,00286Rg_e)$	0,83
14e	$ETm = NF^{0,5}(-0,09100+0,00117AP+0,00446t_{me}+0,00428Rg_e)$	0,83
15e	$ETm = NF^{0,5}(-0,03171+0,00826d_e+0,00973Rn_e)$	0,83
16e	$ETm = NF^{0,5}(0,11707+0,05668IAF-0,00147UR_{me}+0,00667Rn_e)$	0,83
17e	$ETm = NF^{0,5}(0,12160+0,00148AP-0,00170UR_{me}+0,00590Rn_e)$	0,83
18e	$ETm = NF^{0,5}(0,18811+0,00209AP+0,00182UR_{e21}-0,004180 UR_{me})$	0,82
19e	$ETm = NF^{0,5}(-0,06141+0,04849IAF+0,00359t_{mine}+0,00540Rg_e)$	0,82
20e	$ETm = NF^{0,5}(0,13970+0,00181AP-0,00184UR_{me}+0,00198Rg_e)$	0,82
21e	$ETm = NF^{0,5}(0,13393+0,06999IAF-0,00155UR_{me}+0,00243Rg_e)$	0,82
22e	$ETm = NF^{0,5}(0,20343+0,08230IAF+0,00185UR_{e21}-0,00408UR_{me})$	0,82
23e	$ETm = NF^{0,5}(-0,07847+0,00117AP+0,00381t_{mine}+0,00552Rg_e)$	0,81
24e	$ETm = NF^{0,5}(-0,10345+0,01292Rn_e+0,00510t_{me})$	0,81
25e	$ETm = NF^{0,5}(0,22997+0,00201AP-0,00063777UR_{e9}-0,00209UR_{me})$	0,81
26e	$ETm = NF^{0,5}(0,03123+0,00160AP-0,00079156UR_{e15}+0,00676Rn_e)$	0,81
27e	$ETm = NF^{0,5}(-0,03088+0,05108ETo)$	0,81

Mod	Modelo de regressão	R ²
28e	$ETm = NF^{0,5}(-0,05135+0,07410IAF+0,00685t_{e15}-0,00307t_{me})$	0,81
29e	$ETm = NF^{0,5}(0,05399+0,07584IAF-0,00073094UR_{e15}+0,00275Rg_e)$	0,81
30e	$ETm = NF^{0,5}(0,21472+0,00204AP-0,00257UR_{me})$	0,81
31e	$ETm = NF^{0,5}(0,24529+0,07919IAF-0,00061146UR_{e9}-0,00200UR_{me})$	0,81
32e	$ETm = NF^{0,5}(-0,04413+0,07799IAF+0,00373t_{e9}-0,00557t_{mine}+0,00420t_{maxe})$	0,81
33e	$ETm = NF^{0,5}(-0,07076+0,00197AP+0,00386t_{e9}-0,00568t_{mine}+0,00430t_{maxe})$	0,81
34e	$ETm = NF^{0,5}(-0,02300+0,05409IAF+0,01056Rn_e)$	0,80
35e	$ETm = NF^{0,5}(0,04217+0,00196AP-0,00086062UR_{e15}+0,00243Rg_e)$	0,80
36e	$ETm = NF^{0,5}(0,23056+0,08046IAF-0,00246UR_{me})$	0,80
37e	$ETm = NF^{0,5}(-0,19902+0,01237Rn_e+0,00390t_{maxe})$	0,80
38e	$ETm = NF^{0,5}(-0,05033+0,08078IAF-0,00370t_{mine}+0,00607t_{maxe})$	0,80
39e	$ETm = NF^{0,5}(-0,07823+0,00204AP-0,00374t_{mine}+0,00624t_{maxe})$	0,80
40e	$ETm = NF^{0,5}(-0,03931+0,00131AP+0,01082Rn_e)$	0,80
41e	$ETm = NF^{0,5}(-0,04946-0,01102Rg_e+0,03753Rn_e)$	0,79
42e	$ETm = NF^{0,5}(-0,11473+0,00678t_{me}+0,00590Rg_e)$	0,79
43e	$ETm = NF^{0,5}(-0,01764+0,01033d_e+0,00367Rg_e)$	0,79
44e	$ETm = NF^{0,5}(-0,03329+0,00180AP+0,00445Rg_e)$	0,79
45e	$ETm = NF^{0,5}(-0,10456+0,00647t_{mine}+0,00774Rg_e)$	0,78
46e	$ETm = NF^{0,5}(0,08147-0,00128UR_{me}+0,01366Rn_e)$	0,76
47e	$ETm = NF^{0,5}(-0,09547+0,00542t_{e15}+0,00461Rg_e)$	0,75
48e	$ETm = NF^{0,5}(-0,03955+0,01678Rn_e)$	0,74
49e	$ETm = NF^{0,5}(-0,04058+0,08406IAF+0,00458t_{me})$	0,74
50e	$ETm = NF^{0,5}(-0,06961+0,00211AP+0,00481t_{me})$	0,74
51e	$ETm = NF^{0,5}(0,00691+0,01519d_e)$	0,73
52e	$ETm = NF^{0,5}(-0,02405+0,00752t_{e15}-0,00087598UR_{e15})$	0,68
53e	$ETm = NF^{0,5}(0,14993-0,00180UR_{me}+0,00571Rg_e)$	0,67
54e	$ETm = NF^{0,5}(0,00163+0,00711t_{maxe}-0,00128UR_{e15})$	0,66
55e	$ETm = NF^{0,5}(-0,01953+0,00811Rg_e)$	0,64
56e	$ETm = NF^{0,5}(-0,10357+0,00650t_{e9}-0,00573t_{mine}+0,00672t_{maxe})$	0,62

*Todos os coeficientes angulares são significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro. Mod é o número do modelo. O R² é o coeficiente de determinação na geração do modelo. O índice "i" significa que os modelos foram obtidos com variáveis medidas no interior da estufa plástica.

As estatísticas de avaliação e o desempenho dos modelos de estimativa da ETm do pimentão que utilizam a ETm dividida pela raiz quadrada do NF e variáveis meteorológicas externas, obtidas com base no banco de dados do ano seguinte (primavera de 2006), são apresentadas na Tabela 18.

Dos 56 modelos analisados (Tabela 18), considerando o ΣPO , 24 foram classificados como Ótimos, 7 como Muito Bons, 9 como Bons, 7 apresentaram desempenho Mediano, 4 tiveram desempenho Sofrível e 4 modelos apresentaram desempenho Ruim. Dos 24 modelos considerados Ótimos, apenas 11 (9e, 7e, 22e, 27e, 5e, 31e, 10e, 51e, 18e, 36e e 25e), dos 7 considerados Muito Bons, apenas o modelo 30e, e dos 9 considerados Bons apenas os modelos 32e e 38e não utilizam uma variável relacionada à disponibilidade de energia (Rn_e , Rg_e ou n). Novamente

se demonstra a grande dependência da ET_m do pimentão em relação a disponibilidade de energia na forma de radiação medida no exterior da estufa.

O déficit de saturação do vapor d'água (d_e) está presente em 9 dos 24 modelos considerados Ótimos, considerando o ΣPO . Nos modelos 6e, 7e, 8e, 10e e 27e, que utilizam a evapotranspiração de referência (ET_o), foi obtido desempenho Ótimo, considerando o ΣPO e Muito Bom, considerando o índice c.

Analisando a Tabela 18 e considerando o desempenho dos modelos conforme o índice c (Camargo; Sentelhas, 1997), se observa que apenas o modelo 1e, que utiliza $NF^{0.5}$ e AP como variáveis fenométricas e o déficit de saturação e a Rn_e como variáveis meteorológicas, obteve desempenho Ótimo, considerando os dois índices de avaliação (c e ΣPO). O restante dos modelos obteve desempenho Muito Bom (MB), com exceção dos modelos 51e, 32e, 38e, 11e, 53e, 44e, 28e, 33e, 39e, 54e, 49e, 52e, 55e, 50e e 56e que apresentaram desempenho Bom, considerando o índice c. Além disso, pode-se verificar que a variável relacionada à disponibilidade de energia (Rg_e , Rn_e ou n), utilizada de forma isolada ou em associação com outras variáveis meteorológicas medidas no exterior da estufa, estão presentes na maioria dos modelos da estimativa da ET_m do pimentão (31 modelos), novamente enfatizando a estreita relação dessas variáveis com a evapotranspiração dessa cultura.

Os modelos que utilizaram o IAF como variável fenométrica independente, apresentaram os melhores desempenhos do ΣPO . No entanto, vale ressaltar que a inclusão do IAF nos modelos de estimativa da ET_m do pimentão, torna esses modelos mais complexos, pelo fato da maior dificuldade de obtenção dessa variável, pois se deve fazer medidas de comprimento de todas as folhas de um número de plantas representativo da população da área cultivada.

Considerando os resultados do índice c apresentados na Tabela 18 pode-se inferir que todos os modelos são adequados e suficientemente precisos para serem utilizados na estimativa da ET_m do pimentão em nível diário. Novamente se ressalta que a escolha do modelo dependerá então dos dados fenométricos e meteorológicos disponíveis. Nesse sentido, considerando a praticidade na obtenção dos dados e o valor do coeficiente de confiança obtido, os modelos 18e, 23e, 25e, 30e, 33e, 39e, 50e, 52e, 54e, e 56e podem ser considerados para a estimativa da ET_m do pimentão pela sua praticidade, pois utilizam apenas a temperatura média e

ou pontual e ou as temperaturas máximas e mínimas, ou ainda a umidade relativa do ar média e ou pontuas como variáveis meteorológicas, sendo necessário para isso apenas um termômetro e ou um termômetro de máxima e de mínima. Além disso, esses modelos não incluem o IAF como variável fenométrica, mas apenas a altura de plantas, sendo essa variável de obtenção mais fácil.

TABELA 18. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do número de folhas ($NF^{0,5}$) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006.

Ordem	Mod	Coeficientes da equação da reta		RMSE	R ²	r	d	c	D'	ΣPO	D''	Variáveis
		Linear (a)	Angular (b)									
1	2e	0,072	0,66833	0,28	0,88	0,93	0,88	0,82	MB	13,5	O	IAF, d _e , Rn _e
2	4e	0,061	0,667135	0,29	0,88	0,93	0,88	0,81	MB	14,0	O	IAF, d _e , Rg _e
3	9e	0,051	0,663731	0,31	0,85	0,91	0,87	0,79	MB	17,5	O	IAF, d _e
4	6e	0,114	0,668415	0,27	0,88	0,92	0,9	0,83	MB	18,0	O	IAF, n, ETo
5	8e	0,124	0,676382	0,26	0,88	0,92	0,91	0,84	MB	18,5	O	ETo, n
6	3e	0,081	0,657441	0,29	0,87	0,92	0,88	0,81	MB	20,0	O	AP, d _e , Rg _e
7	15e	0,085	0,661978	0,29	0,86	0,92	0,88	0,81	MB	20,0	O	d _e , Rn _e
8	7e	0,107	0,658407	0,28	0,87	0,92	0,89	0,82	MB	21,5	O	IAF, ETo
9	22e	0,052	0,654268	0,31	0,85	0,91	0,86	0,78	MB	22,0	O	IAF, UR _{e21} , UR _{me}
10	27e	0,117	0,659861	0,27	0,87	0,92	0,89	0,82	MB	23,0	O	ETo
11	43e	0,066	0,654478	0,31	0,84	0,91	0,86	0,78	MB	23,5	O	d _e , Rg _e
12	5e	0,075	0,652591	0,3	0,85	0,91	0,87	0,79	MB	24,0	O	AP, d _e
13	31e	0,06	0,643633	0,32	0,84	0,91	0,85	0,77	MB	27,0	O	IAF, UR _{e9} , UR _{me}
14	10e	0,126	0,648816	0,28	0,87	0,92	0,89	0,82	MB	28,5	O	AP, ETo
15	51e	0,049	0,644644	0,33	0,8	0,89	0,84	0,74	B	29,5	O	d _e
16	18e	0,084	0,637963	0,31	0,84	0,9	0,86	0,78	MB	31,0	O	AP, UR _{e21} , UR _{me}
17	16e	0,1	0,635293	0,3	0,86	0,91	0,87	0,79	MB	31,5	O	IAF, UR _{me} , Rn _e
18	21e	0,089	0,631513	0,31	0,85	0,91	0,86	0,78	MB	32,5	O	IAF, UR _{me} , Rg _e
19	1e	0,31	0,811874	0,21	0,84	0,91	0,95	0,86	O	33,5	O	AP, d _e , Rn _e
20	12e	0,144	0,644609	0,28	0,85	0,91	0,89	0,81	MB	34,5	O	IAF, t _{me} , Rg _e
21	36e	0,073	0,62902	0,33	0,83	0,9	0,84	0,76	MB	35,0	O	IAF, UR _{me}
22	25e	0,091	0,628284	0,32	0,83	0,9	0,85	0,77	MB	37,0	O	AP, UR _{e9} , UR _{me}
23	29e	0,099	0,622638	0,32	0,83	0,9	0,85	0,77	MB	38,5	O	IAF, UR _{e15} , Rg _e
24	17e	0,12	0,621503	0,3	0,85	0,91	0,86	0,79	MB	39,5	O	AP, UR _{me} , Rn _e
25	14e	0,168	0,632868	0,27	0,85	0,91	0,89	0,81	MB	40,5	MB	AP, t _{me} , Rg _e
26	20e	0,115	0,616606	0,31	0,84	0,9	0,85	0,77	MB	41,5	MB	AP, UR _{me} , Rg _e
27	24e	0,182	0,639698	0,27	0,84	0,91	0,9	0,81	MB	43,5	MB	Rn _e , t _{me}
28	30e	0,107	0,613159	0,32	0,82	0,89	0,85	0,76	MB	43,5	MB	AP, UR _{me}
29	42e	0,179	0,638884	0,27	0,84	0,91	0,9	0,81	MB	43,5	MB	t _{me} , Rg _e
30	19e	0,15	0,624921	0,29	0,83	0,9	0,87	0,79	MB	44,5	MB	IAF, t _{mine} , Rg _e
31	26e	0,136	0,609761	0,31	0,83	0,9	0,86	0,77	MB	48,0	MB	AP, UR _{e15} , Rn _e
32	46e	0,139	0,6088	0,31	0,83	0,9	0,86	0,77	MB	49,5	MB	UR _{me} , Rn _e
33	34e	0,142	0,609892	0,31	0,82	0,89	0,86	0,76	MB	50,5	B	IAF, Rn _e
34	35e	0,13	0,603319	0,32	0,82	0,89	0,85	0,76	MB	51,0	B	AP, UR _{e15} , Rg _e

		Coeficientes da equação da reta											
Ordem	Mod	Linear (a)	Angular (b)	RMSE	R ²	r	d	c	D'	ΣPO	D''	Variáveis	
35	37e	0,168	0,608297	0,29	0,85	0,91	0,87	0,79	MB	51,0	B	Rn _e , t _{maxe}	
36	32e	0,109	0,595446	0,34	0,8	0,88	0,83	0,73	B	53,0	B	IAF, t _{e9} , t _{mine} , t _{maxe}	
37	45e	0,19	0,614377	0,28	0,84	0,9	0,88	0,8	MB	53,0	B	t _{mine} , Rg _e	
38	13e	0,162	0,601481	0,3	0,84	0,9	0,86	0,78	MB	53,5	B	AP, t _{e15} , Rg _e	
39	23e	0,175	0,612392	0,29	0,83	0,9	0,87	0,78	MB	53,5	B	AP, t _{mine} , Rg _e	
40	38e	0,119	0,593248	0,34	0,79	0,88	0,83	0,72	B	56,5	B	IAF, t _{mine} , t _{maxe}	
41	11e	0,57	0,913734	0,43	0,77	0,86	0,81	0,7	B	57,5	B	IAF, t _{e15} , Rg _e	
42	40e	0,168	0,59284	0,31	0,81	0,89	0,85	0,76	MB	61,0	M	AP, Rn _e	
43	47e	0,173	0,583026	0,31	0,84	0,90	0,85	0,77	MB	61,5	M	t _{e15} , Rg _e	
44	53e	0,132	0,577708	0,34	0,8	0,89	0,82	0,73	B	61,5	B	UR _{me} , Rg _e	
45	41e	0,194	0,600019	0,29	0,81	0,89	0,87	0,77	MB	62,5	M	Rg _e , Rn _e	
46	44e	0,16	0,58574	0,32	0,8	0,88	0,84	0,74	B	63,0	M	AP, Rg _e	
47	48e	0,174	0,587882	0,31	0,81	0,89	0,85	0,76	MB	63,5	M	Rn _e	
48	28e	0,138	0,580081	0,34	0,78	0,87	0,82	0,72	B	64,5	M	IAF, t _{e15} , t _{me}	
49	33e	0,144	0,575908	0,34	0,79	0,88	0,82	0,72	B	66,5	S	AP, t _{e9} , t _{mine} , t _{maxe}	
50	39e	0,155	0,572382	0,33	0,78	0,87	0,82	0,72	B	68,5	S	AP, t _{mine} , t _{maxe}	
51	54e	0,158	0,55957	0,34	0,8	0,88	0,82	0,72	B	69,0	S	t _{maxe} , UR _{e15}	
52	49e	0,168	0,592628	0,33	0,71	0,83	0,84	0,69	B	72,0	S	IAF, t _{me}	
53	52e	0,177	0,55285	0,34	0,79	0,88	0,82	0,72	B	75,5	R	t _{e15} , UR _{e15}	
54	55e	0,176	0,547616	0,34	0,78	0,87	0,81	0,71	B	77,5	R	Rg _e	
55	50e	0,208	0,57119	0,33	0,7	0,83	0,84	0,69	B	82,0	R	AP, t _{me}	
56	56e	0,188	0,511679	0,37	0,75	0,85	0,77	0,66	B	84,5	R	t _{e9} , t _{mine} , t _{maxe}	

Obs - O índice "e" significa que os modelos foram obtidos apenas com variáveis meteorológicas medidas no exterior da estufa plástica. Mod é o número do modelo; RMSE = raiz quadrada do quadrado médio do erro; R² = coeficiente de determinação da regressão entre valores estimados e observados; r, d e c = coeficiente de correlação, exatidão e de confiança; ΣPO = somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação; D' = Desempenho do modelo segundo o índice de confiança (c); D'' = Desempenho do modelo segundo o ΣPO.

Na Tabela 19 são apresentados os modelos que utilizam a ETm dividida pela raiz quadrada da altura de plantas (ETm/AP^{0,5}) como variável dependente, e com variáveis meteorológicas medidas no ambiente externo a estufa.

Os modelos que apresentaram maior R² utilizaram o valor médio diário do déficit de saturação do ar (d_e), associado ao saldo de radiação e ou à radiação solar global e à uma segunda variável fenométrica (IAF e ou NF) (1e, 2e e 3e, 4e e 5e). Os modelos 6e, 7e e 8e utilizaram a evapotranspiração de referência (ETo) com a Rg_e, n e Rn_e, respectivamente, como variável meteorológica e o IAF como variável fenométrica, também apresentaram modelos com elvados valores de coeficientes de determinação (R²=0,88). Os modelos 9e e 14e utilizaram somente a ETo com o IAF e o NF, e obtiveram um R² de 0,87 e 0,86, respectivamente.

As variáveis meteorológicas relacionadas à disponibilidade de energia (Rg_e , Rn_e e n) estão presentes em 39 dos 61 modelos da Tabela 19. No entanto, geralmente estão acompanhadas de outras variáveis meteorológicas como o déficit de saturação do ar, temperatura e umidade do ar e a evapotranspiração de referência. Novamente aparecem resultados que realçam a boa relação da evapotranspiração da cultura com a radiação solar. É importante destacar que sua utilização nos modelos para a estimativa da ETm do pimentão, geralmente vem acompanhada de outras variáveis meteorológicas, tais como o déficit de saturação médio do ar (d_e) (modelos 1e, 2e, 3e, 5e, 27e e 47e), a temperatura do ar (valores médios, pontuais e ou máximos e mínimos) (modelos 12e, 13e, 16e, 17e, 20e, 32e, 42e, 46e, 48e, 50e e 55e), a umidade relativa do ar (valores médios e ou pontuais) (modelos 16e, 17e, 20e, 21e, 26e, 29e, 35e, 46e e 53e) e também a evapotranspiração de referência (ETo) (modelos 6e, 7e e 8e).

Ao comparar os resultados da Tabela 19 com os da Tabela 13 (modelos com variáveis medidas no exterior), constata-se que os coeficientes de determinação (R^2) foram relativamente menores na Tabela 19. No entanto, se comparados os resultados da Tabela 19 aos da Tabela 15 (modelos que utilizam a $ETm/IAF^{0,5}$ como variável dependente, juntamente com variáveis meteorológicas medidas no ambiente externo da estufa), se verifica que o R^2 foi maior, e seguiu a mesma tendência verificada quando se utilizou a $ETm/NF^{0,5}$ (Tabela 17).

TABELA 19. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada da altura de plantas ($AP^{0,5}$) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e). Santa Maria, RS, 2005.

Mod	Modelo de regressão	R^2
1e	$ETm = AP^{0,5}(-0,03282+0,06667IAF+0,00897d_e+0,00575Rn_e)$	0,90
2e	$ETm = AP^{0,5}(-0,02509+0,07703IAF+0,00927d_e+0,00213Rg_e)$	0,89
3e	$ETm = AP^{0,5}(-0,03803+0,00091441NF+0,00911d_e+0,00616Rn_e)$	0,89
4e	$ETm = AP^{0,5}(-0,01151+0,08553IAF+0,01130d_e)$	0,88
5e	$ETm = AP^{0,5}(-0,02996+0,00109NF+0,00951d_e+0,00220Rg_e)$	0,88
6e	$ETm = AP^{0,5}(-0,03497+0,05448IAF-0,00342Rg_e+0,06381ETo)$	0,88
7e	$ETm = AP^{0,5}(-0,05131+0,04552IAF-0,00423n+0,06264ETo)$	0,88
8e	$ETm = AP^{0,5}(-0,02860+0,06536IAF-0,00771Rn_e+0,06389ETo)$	0,88
9e	$ETm = AP^{0,5}(-0,03684+0,06475IAF+0,04222ETo)$	0,87
10e	$ETm = AP^{0,5}(-0,01658+0,00122NF+0,01157d_e)$	0,87
11e	$ETm = AP^{0,5}(-0,07133+0,09139ETo-0,00825n)$	0,86
12e	$ETm = AP^{0,5}(-0,09646+0,07338IAF+0,00494t_{me}+0,00470Rg_e)$	0,86
13e	$ETm = AP^{0,5}(-0,08226+0,08400IAF+0,00401t_{e15}+0,00317Rg_e)$	0,86
14e	$ETm = AP^{0,5}(-0,04163+0,00087189NF+0,04404ETo)$	0,86
15e	$ETm = AP^{0,5}(0,13743+0,08499IAF-0,00183UR_{me}+0,00683Rn_e)$	0,86
16e	$ETm = AP^{0,5}(-0,10456+0,00102NF+0,00518t_{me}+0,00484Rg_e)$	0,85

Mod	Modelo de regressão	R ²
17e	ETm = AP ^{0,5} (-0,08979+0,00119NF+0,00417t _{e15} +0,00322Rg _e)	0,85
18e	ETm = AP ^{0,5} (0,22615+0,11120IAF+0,00187UR _{e21} -0,00448UR _{me})	0,85
19e	ETm = AP ^{0,5} (0,15887+0,09908IAF-0,00195UR _{me} +0,00238Rg _e)	0,85
20e	ETm = AP ^{0,5} (-0,08022+0,07481IAF+0,00409t _{mine} +0,00595Rg _e)	0,85
21e	ETm = AP ^{0,5} (0,13633+0,00121NF-0,00188UR _{me} +0,00705Rn _e)	0,85
22e	ETm = AP ^{0,5} (0,21267+0,00165NF+0,00249UR _{e21} -0,00506UR _{me})	0,85
23e	ETm = AP ^{0,5} (0,03587+0,09056IAF-0,00078479UR _{e15} +0,00792Rn _e)	0,85
24e	ETm = AP ^{0,5} (0,27145+0,10781IAF-0,00074088UR _{eg} -0,00228UR _{me})	0,85
25e	ETm = AP ^{0,5} (-0,06359+0,10645IAF+0,00439t _{eg} -0,00634t _{mine} +0,00473t _{maxe})	0,84
26e	ETm = AP ^{0,5} (0,25360+0,10934IAF-0,00284UR _{me})	0,84
27e	ETm = AP ^{0,5} (-0,05140+0,01088d _e +0,01178Rn _e)	0,84
28e	ETm = AP ^{0,5} (0,05024+0,10593IAF-0,00082855UR _{e15} +0,00299Rg _e)	0,84
29e	ETm = AP ^{0,5} (0,03966+0,00133NF-0,00089348UR _{e15} +0,00761Rn _e)	0,84
30e	ETm = AP ^{0,5} (0,16295+0,00143NF-0,00206UR _{me} +0,00232Rg _e)	0,84
31e	ETm = AP ^{0,5} (0,27351+0,00157NF-0,00086905UR _{eg} -0,00225UR _{me})	0,84
32e	ETm = AP ^{0,5} (-0,08913+0,00103NF+0,00435t _{mine} +0,00623Rg _e)	0,84
33e	ETm = AP ^{0,5} (-0,07090+0,10974IAF+0,00414t _{mine} +0,00693t _{maxe})	0,84
34e	ETm = AP ^{0,5} (-0,03670+0,08178IAF+0,01166Rn _e)	0,84
35e	ETm = AP ^{0,5} (-0,08108+0,00144NF+0,00252t _{eg} +0,00799t _{e15} -0,00585t _{e21})	0,84
36e	ETm = AP ^{0,5} (-0,06917+0,00155NF+0,00532t _{eg} -0,00689t _{mine} +0,00436t _{maxe})	0,83
37e	ETm = AP ^{0,5} (0,25373+0,00159NF-0,00292UR _{me})	0,83
38e	ETm = AP ^{0,5} (0,05888+0,00157NF-0,00099878UR _{e15} +0,00263Rg _e)	0,83
39e	ETm = AP ^{0,5} (-0,02410+0,10128IAF+0,00486Rg _e)	0,83
40e	ETm = AP ^{0,5} (-0,04285+0,00115NF+0,01212Rn _e)	0,83
41e	ETm = AP ^{0,5} (-0,07893+0,00159NF-0,00421t _{mine} +0,00707t _{maxe})	0,82
42e	ETm = AP ^{0,5} (-0,14533+0,01601Rn _e +0,00667t _{me})	0,82
43e	ETm = AP ^{0,5} (-0,05177+0,06449ETo)	0,82
44e	ETm = AP ^{0,5} (-0,03046+0,00146NF+0,00497Rg _e)	0,81
45e	ETm = AP ^{0,5} (-0,07608-0,01597Rg _e +0,05113Rn _e)	0,81
46e	ETm = AP ^{0,5} (-0,13763+0,01544Rn _e +0,00498t _{maxe})	0,80
47e	ETm = AP ^{0,5} (-0,03280+0,01370d _e +0,00422Rg _e)	0,80
48e	ETm = AP ^{0,5} (-0,15924+0,00883t _{me} +0,00722Rg _e)	0,79
49e	ETm = AP ^{0,5} (-0,05972+0,11345IAF+0,00530t _{me})	0,79
50e	ETm = AP ^{0,5} (-0,14738+0,00852t _{mine} +0,00960Rg _e)	0,78
51e	ETm = AP ^{0,5} (-0,06842+0,00164NF+0,00546t _{me})	0,77
52e	ETm = AP ^{0,5} (0,08404-0,00154UR _{me} +0,01731Rn _e)	0,76
53e	ETm = AP ^{0,5} (-0,00464+0,01927d _e)	0,75
54e	ETm = AP ^{0,5} (-0,06173+0,02106Rn _e)	0,75
55e	ETm = AP ^{0,5} (-0,13067+0,00680t _{e15} +0,00571Rg _e)	0,75
56e	ETm = AP ^{0,5} (-0,05312+0,00959t _{e15} -0,00097723UR _{e15})	0,67
57e	ETm = AP ^{0,5} (0,18152-0,00231UR _{me} +0,00703Rg _e)	0,66
58e	ETm = AP ^{0,5} (-0,02427+0,00918t _{maxe} -0,00147UR _{e15})	0,66
59e	ETm = AP ^{0,5} (-0,03531+0,01009Rg _e)	0,63
60e	ETm = AP ^{0,5} (-0,14473+0,00817t _{eg} -0,00656t _{mine} +0,00818t _{maxe})	0,62
61e	ETm = AP ^{0,5} (-0,16575+0,00569t _{e21} -0,00409t _{mine} +0,00937t _{maxe})	0,61

*Todos os coeficientes angulares são significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro. Mod é o número do modelo. O R² é o coeficiente de determinação na geração do modelo. O índice "i" significa que os modelos foram obtidos com variáveis medidas no interior da estufa plástica.

As estatísticas de avaliação e o desempenho dos modelos de estimativa da ETm do pimentão que utilizam a ETm dividida pela raiz quadrada do NF e variáveis meteorológicas externas, obtidas com base no banco de dados do ano seguinte (primavera de 2006), são apresentadas na Tabela 20.

Dos 61 modelos selecionados (Tabela 20), considerando a análise pelo critério do ΣPO , 23 foram considerados Ótimos, 10 Muito Bons, 9 Bons, 5 apresentaram desempenho Mediano, 6 Sofrível, 5 Ruim e os modelos 51e, 60e e 61e apresentaram desempenho Péssimo. Dos 23 modelos considerados Ótimos, apenas 8 (4e, 18e, 24e, 9e, 26e, 43e, 10e e 53e) e dos 10 considerados Muito Bons, apenas os modelos 14e, 25e, 22e e 31e e dos 9 considerados Bons apenas os modelos 33e e 37e não utilizam uma variável relacionada à disponibilidade de energia radiante (R_{n_e} , R_{g_e} ou n). Novamente se demonstra a grande dependência da ET_m do pimentão com a radiação solar, o saldo de radiação ou a insolação medidas no exterior da estufa, já verificada anteriormente.

O déficit de saturação do vapor d'água (d_e) está presente em 9 dos 23 modelos considerados Ótimos, considerando o ΣPO . Os modelos 8e, 6e, 7e, 9e e 11e, que incluem a evapotranspiração de referência (ET_o), obtiveram desempenhos Ótimos, tanto pelos critérios do ΣPO e quanto pelos critérios do índice c . O modelo 43e que também utiliza a ET_o obteve desempenho Ótimo, considerando o ΣPO e Muito Bom, considerando o índice c . O modelo 14e, que utiliza o NF e a ET_o obteve o desempenho Muito Bom considerando os dois índices.

Ao avaliar os resultados apresentados na Tabela 20, considerando o desempenho dos modelos conforme o índice c (Camargo; Sentelhas, 1997), apenas os modelos 2e, 1e, 8e, 6e, 7e, 9e e 1e obtiveram desempenho Ótimo. O que se verifica nesses modelos é a utilização de uma variável relacionada à disponibilidade de energia na forma de radiação (R_{g_e} , R_{n_e} ou n) associada ao déficit de saturação do ar e ou a ET_o , sendo a única exceção o modelo 9e que utiliza apenas a ET_o e o IAF. Além disso, apenas o modelo 11e não utiliza o IAF. Os outros modelos considerados Ótimos pelos critérios de classificação do ΣPO , obtiveram desempenho Muito Bom considerando o índice c . Os modelos considerados Muito Bons pelo ΣPO , obtiveram o mesmo desempenho, considerando o índice c . Todos os modelos considerados Bons pelo ΣPO , obtiveram desempenho Muito Bom, considerando o índice c , exceto o modelo 37e que foi considerado Bom. O restante dos modelos da Tabela 21 foram considerados Bons pelo índice c , exceto os modelos 32e, 45e, 17e, 55e, 54e e 40e, considerados Muito Bons.

Novamente se destacaram as variáveis relacionadas à disponibilidade de energia radiante (R_{g_e} , R_{n_e} ou n), que utilizadas isoladas ou com outras variáveis

meteorológicas medidas no exterior da estufa, estão presentes na maioria dos modelos da estimativa da ET_m do pimentão (38 modelos), enfatizando a estreita relação dessas variáveis com a evapotranspiração dessa cultura.

Analisando a Tabela 20, se verifica que os modelos que utilizaram o IAF como variável fenométrica independente, apresentaram os melhores desempenhos do Σ PO. No entanto, vale ressaltar que a inclusão do IAF nos modelos de estimativa da ET_m do pimentão, torna esses modelos mais complexos, pelo fato da maior dificuldade de obtenção dessa variável, pois se deve fazer medidas de comprimento de todas as folhas de um número representativo da população de plantas do cultivo. Nesse caso, os modelos que utilizam o NF seriam mais simples e com menor complexidade de obtenção da variável fenométrica. Essa seria uma alternativa para a aplicação direta dos modelos ou tabelas geradas pelos modelos pelos produtores, mas em sistemas operacionais não faria grande diferença se a determinação é mais ou menos complexa, pois as variáveis fenométricas também são em geral estimadas através de modelos mecânicos e nesse caso a utilização do IAF seria priorizada.

Considerando os resultados do índice c, apresentados na Tabela 20, pode-se inferir que todos os modelos são adequados e suficientemente precisos para estimar a ET_m do pimentão. Novamente se resalta que a escolha do modelo dependerá dos dados fenométricos e meteorológicos disponíveis. Nesse sentido, considerando a praticidade na obtenção dos dados e o valor do coeficiente de confiança obtido, os modelos 58e, 37e, 36e, 56e, 35e, 60e, 41e e 61e podem ser preferidos para a estimativa da ET_m do pimentão. Isso devido a sua maior simplicidade e praticidade na obtenção dos dados meteorológicos, pois utilizam apenas temperatura e umidade relativa do ar, na forma de valores pontuais e ou médios, ou ainda valores diários das temperaturas máxima e mínima, sendo necessário para isso apenas um termômetro comum, um termômetro de máxima e um de mínima. Além disso, esses modelos não incluem o IAF como variável fenométrica, mas apenas o número de folhas, sendo essa variável de obtenção mais fácil.

TABELA 20. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ET_m) por raiz quadrada da altura de plantas (AP^{0,5}) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006.

Ordem	Mod	Coeficientes da equação da reta		RMSE	R ²	r	d	c	D'	ΣPO	D''	Variáveis
		Linear (a)	Angular (b)									
1	2e	0,088	0,758304	0,22	0,88	0,93	0,94	0,87	O	9,0	O	IAF, d _e , Rg _e
2	4e	0,074	0,758228	0,23	0,86	0,91	0,93	0,85	MB	10,5	O	IAF, d _e
3	1e	0,102	0,758002	0,21	0,88	0,93	0,94	0,87	O	11,5	O	IAF, d _e , Rn _e
4	8e	0,132	0,760419	0,20	0,88	0,93	0,95	0,88	O	12,0	O	IAF, Rn _e ETo
5	6e	0,148	0,757748	0,20	0,88	0,93	0,95	0,88	O	17,0	O	IAF, Rg _e , ETo
6	18e	0,077	0,741571	0,25	0,84	0,90	0,92	0,83	MB	17,5	O	IAF, UR _{e21} , UR _{me}
7	24e	0,084	0,734669	0,25	0,84	0,90	0,92	0,83	MB	20,0	O	IAF, UR _{e9} , UR _{me}
8	7e	0,167	0,750658	0,20	0,88	0,92	0,95	0,88	O	23,0	O	IAF, n, ETo
9	9e	0,153	0,739886	0,21	0,87	0,92	0,94	0,87	O	23,5	O	IAF, ETo
10	11e	0,196	0,755903	0,19	0,87	0,92	0,95	0,88	O	26,0	O	ETo, n
11	15e	0,135	0,717394	0,23	0,85	0,91	0,93	0,85	MB	26,0	O	IAF, UR _{me} , Rn _e
12	26e	0,099	0,717	0,26	0,82	0,90	0,91	0,82	MB	27,5	O	IAF, UR _{me}
13	19e	0,118	0,716099	0,25	0,84	0,90	0,92	0,83	MB	28,0	O	IAF, UR _{me} , Rg _e
14	27e	0,148	0,733871	0,23	0,83	0,90	0,93	0,84	MB	28,5	O	d _e , Rn _e
15	3e	0,113	0,676451	0,26	0,88	0,93	0,90	0,84	MB	30,5	O	NF, d _e , Rn _e
16	47e	0,126	0,725222	0,25	0,80	0,88	0,92	0,81	MB	30,5	O	d _e , Rg _e
17	43e	0,194	0,728769	0,21	0,85	0,91	0,94	0,85	MB	32,5	O	ETo
18	5e	0,099	0,663514	0,28	0,88	0,92	0,89	0,82	MB	33,0	O	NF, d _e , Rg _e
19	28e	0,134	0,703878	0,25	0,82	0,89	0,91	0,82	MB	34,0	O	IAF, UR _{e15} , Rg _e
20	23e	0,151	0,704998	0,24	0,83	0,90	0,92	0,83	MB	34,5	O	IAF, UR _{e15} , Rn _e
21	12e	0,201	0,721001	0,22	0,85	0,91	0,94	0,85	MB	35,5	O	IAF, t _{me} , Rg _e
22	10e	0,084	0,650717	0,30	0,86	0,91	0,87	0,80	MB	38,0	O	NF, d _e
23	53e	0,102	0,71574	0,28	0,76	0,86	0,90	0,77	MB	38,0	O	d _e
24	14e	0,164	0,661887	0,25	0,88	0,92	0,91	0,84	MB	41,0	MB	NF, ETo
25	13e	0,183	0,693282	0,24	0,84	0,90	0,92	0,83	MB	41,5	MB	IAF, t _{e15} , Rg _e
26	25e	0,140	0,678083	0,27	0,79	0,88	0,90	0,79	MB	43,5	MB	IAF, t _{e21} , t _{mine} , t _{maxe}
27	20e	0,204	0,697301	0,23	0,83	0,90	0,93	0,83	MB	44,0	MB	IAF, t _{mine} , Rg _e
28	39e	0,165	0,685649	0,26	0,80	0,88	0,91	0,80	MB	46,0	MB	IAF, Rg _e
29	22e	0,082	0,608609	0,33	0,85	0,91	0,83	0,76	MB	46,5	MB	NF, UR _{e21} , UR _{me}
30	34e	0,189	0,685169	0,25	0,81	0,89	0,92	0,81	MB	46,5	MB	IAF, Rn _e
31	42e	0,283	0,698301	0,22	0,83	0,90	0,93	0,84	MB	48,5	MB	Rn _e , t _{me}
32	21e	0,147	0,611512	0,29	0,86	0,92	0,87	0,79	MB	49,0	MB	NF, UR _{me} , Rn _e
33	31e	0,093	0,60215	0,33	0,85	0,91	0,83	0,76	MB	49,5	MB	NF, UR _{e9} , UR _{me}
34	33e	0,153	0,674047	0,28	0,78	0,87	0,90	0,78	MB	50,5	B	IAF, t _{mine} , t _{maxe}
35	48e	0,286	0,69405	0,22	0,82	0,89	0,93	0,83	MB	51,5	B	t _{me} , Rg _e
36	30e	0,129	0,589829	0,32	0,85	0,91	0,84	0,76	MB	54,5	B	NF, UR _{me} , Rg _e
37	16e	0,214	0,631001	0,26	0,85	0,91	0,90	0,82	MB	55,5	B	NF, t _{me} , Rg _e
38	46e	0,264	0,659758	0,24	0,82	0,90	0,92	0,83	MB	56,0	B	Rn _e , t _{maxe}
39	50e	0,296	0,664712	0,23	0,83	0,90	0,93	0,83	MB	57,0	B	t _{mine} , Rg _e
40	29e	0,159	0,591594	0,31	0,85	0,91	0,85	0,78	MB	58,5	B	NF, UR _{e15} , Rn _e
41	37e	0,111	0,579215	0,34	0,84	0,90	0,82	0,74	B	58,5	B	NF, UR _{me}
42	52e	0,229	0,659962	0,25	0,79	0,88	0,91	0,80	MB	59,5	B	UR _{me} , Rn _e
43	32e	0,218	0,606439	0,27	0,84	0,91	0,89	0,80	MB	61,0	M	NF, t _{mine} , Rg _e
44	45e	0,292	0,654623	0,24	0,81	0,89	0,92	0,81	MB	62,5	M	Rg _e , Rn _e
45	17e	0,196	0,586306	0,29	0,85	0,91	0,86	0,79	MB	63,0	M	NF, t _{e15} , Rg _e
46	38e	0,142	0,570731	0,33	0,84	0,90	0,82	0,75	B	63,0	M	NF, UR _{e15} , Rg _e
47	55e	0,276	0,622911	0,26	0,80	0,88	0,90	0,80	MB	65,0	M	t _{e15} , Rg _e

		Coeficientes da equação da reta											
Ordem	Mod	Linear (a)	Angular (b)	RMSE	R ²	r	d	c	D'	ΣPO	D''	Variáveis	
48	54e	0,271	0,634273	0,26	0,78	0,87	0,90	0,79	MB	65,5	S	Rn _e	
49	49e	0,209	0,673655	0,29	0,70	0,83	0,89	0,74	B	67,0	S	IAF, t _{me}	
50	40e	0,202	0,583291	0,30	0,82	0,89	0,86	0,77	MB	68,5	S	NF, Rn _e	
51	57e	0,221	0,618427	0,29	0,74	0,85	0,88	0,75	B	71,5	S	UR _{me} , Rg _e	
52	44e	0,180	0,555778	0,33	0,81	0,89	0,82	0,73	B	73,0	S	NF, Rg _e	
53	36e	0,151	0,544101	0,35	0,80	0,88	0,80	0,70	B	74,0	S	NF, t _{e9} , t _{mine} , t _{maxe}	
54	58e	0,263	0,592808	0,29	0,75	0,85	0,87	0,74	B	76,0	R	t _{maxe} , UR _{e15}	
55	35e	0,192	0,552515	0,33	0,79	0,88	0,82	0,72	B	77,0	R	NF, t _{e9} , t _{e15} , t _{e21}	
56	41e	0,168	0,53283	0,35	0,80	0,88	0,79	0,70	B	79,0	R	NF, t _{mine} , t _{maxe}	
57	56e	0,286	0,582071	0,29	0,74	0,85	0,87	0,74	B	82,5	R	t _{e15} , UR _{e15}	
58	59e	0,280	0,579191	0,30	0,73	0,84	0,87	0,73	B	84,0	R	Rg _e	
59	51e	0,225	0,527828	0,35	0,72	0,84	0,81	0,68	B	93,0	P	NF, t _{me}	
60	60e	0,289	0,543887	0,32	0,70	0,83	0,84	0,70	B	93,5	P	t _{e9} , t _{mine} , t _{maxe}	
61	61e	0,321	0,531063	0,32	0,69	0,82	0,84	0,69	B	97,5	P	t _{e21} , t _{mine} , t _{maxe}	

Obs - O índice "e" significa que os modelos foram obtidos apenas com variáveis meteorológicas medidas no exterior da estufa plástica. Mod é o número do modelo; RMSE = raiz quadrada do quadrado médio do erro; R² = coeficiente de determinação da regressão entre valores estimados e observados; r, d e c = coeficiente de correlação, exatidão e de confiança; ΣPO = somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação; D' = Desempenho do modelo segundo o índice de confiança (c); D'' = Desempenho do modelo segundo o ΣPO.

Os modelos para estimativa da evapotranspiração máxima do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera, que utilizam tanto variáveis internas quanto externas da estufa plástica, em geral apresentaram Bons desempenho na estimativa da evapotranspiração máxima (Tabelas 5 a 20). O Bom desempenho dos modelos que utilizam as variáveis medidas no exterior da estufa deve-se provavelmente à dependência da demanda hídrica do pimentão em função das condições meteorológicas externas, em razão da abertura da estufa, a qual geralmente permaneceu aberta durante 7 a 13 horas por dia ao longo de todo o período experimental (Apêndice F), permitindo dessa forma a retirada de grande parte do vapor d'água do ar do seu interior.

Os testes realizados nos modelos que utilizam as variáveis medidas tanto no interior quanto no exterior da estufa plástica, permitiram verificar também que apesar dos modelos que utilizam a raiz quadrada do IAF como divisor da ET_m terem apresentado valores menores de R² na sua geração (Tabelas 7 e 15), esses modelos apresentaram resultados melhores no teste realizado com um banco de dados experimentais obtidos no ano seguinte (Tabelas 8 e 16), mostrando serem mais estáveis e consistentes para condições meteorológicas e de crescimento diferentes daquelas que foram gerados. Essa foi uma hipótese teórica confirmada

pelos resultados, pois com o aumento do IAF acima de determinado valor a ET_m tende a estabilizar em função do aumento do IAF pois ocorre autosombreamento e as folhas sombreadas tendem a reduzir sua transpiração. A utilização da raiz quadrada do NF (Tabelas 9 e 17) e da AP (Tabelas 11 e 19) como divisor da ET_m, também apresentaram Bom desempenho nos testes de avaliação (Tabelas 10, 12, 18 e 20), mas em geral com coeficiente de confiança (c) menores, se comparados com os modelos que utilizam a raiz do IAF como divisor da ET_m. Portanto, a mesma lógica válida para o IAF parece ser válida para as demais variáveis fenométricas (NF e AP), pois a dimensão da parte aérea das plantas que compõe o dossel tem correlação com o IAF. Desta forma, esse tipo de modelo deve ser melhor explorado devido a melhor estimativa da ET_m nos diferentes anos de cultivo, fato já verificado para a época de outono em relação ao IAF por Righi (2000) para o tomateiro de hábito de crescimento determinado, por Dalmago (2001) para o pimentão e por Heldwein et al. (2004) para a abóbora italiana.

Devido a grande disponibilidade de modelos para a estimativa da ET_m do pimentão cultivado em estufa plástica na região de Santa Maria, RS, gerados e testados, e que apresentaram Bom desempenho no teste, as possíveis opções de escolha aumentam a possibilidade do uso de um ou mais modelos de estimativa da ET_m do pimentão por parte do produtor. A escolha do modelo a ser utilizada dependerá da disponibilidade de equipamentos para as medidas das variáveis meteorológicas na propriedade.

O que se constatou no atual trabalho foi a grande influência do déficit de saturação do ar e da radiação solar, medidos tanto no interior quanto no lado externo da estufa, na evapotranspiração do pimentão cultivado em estufa, mostrando alta dependência da evapotranspiração da cultura dessas duas variáveis. Resultados semelhantes já foram obtidos por Okuya; Okuya (1988), Dalmago, 2001, Righi et al., 2002, Heldwein et al., 2004, todavia para cultivos no outono. Nos modelos que utilizam o déficit de saturação do ar, o acréscimo da radiação solar ou do saldo de radiação, em geral não resultou em melhora de desempenho do modelo nos testes de avaliação. Dessa forma, pode-se afirmar que o déficit de saturação é, na forma isolada, ligeiramente melhor do que a radiação (R_g ou R_n) para estimativa da ET_m do pimentão em estufa. Além disso, os modelos que utilizam a radiação solar que obtiveram bons desempenhos nos testes de avaliação utilizam também outra variável meteorológica. Foi verificado também que a evapotranspiração da

cultura do pimentão apresenta menor dependência da temperatura do ar do que o déficit de saturação do ar e as variáveis que representam a energia radiante disponível, comprovando não ser a melhor variável para ser utilizada em modelos de estimativa da ET_m do pimentão cultivado na primavera em estufa na região de Santa Maria, RS.

4.2 Cultura do tomateiro

4.2.1 Evapotranspiração máxima (ET_m) do tomateiro cultivado na primavera em estufa plástica

Na primavera de 2005, em um período experimental com duração de 122 dias a ET_m total do tomateiro foi de 261,2 mm, perfazendo uma média diária de 2,23 mm (Figura 13a, 13c, 13d). Valor inferior (1,80 mm dia⁻¹) foi encontrado por Dalsasso (1997), para a cultura do tomate cultivado na primavera. O experimento da primavera de 2006 teve duração de 85 dias e a ET_m total foi de 138,15 mm, perfazendo uma média diária de 1,71 mm (Figuras 13b, 13d, 13e).

Em 2005 os valores de ET_m foram inferiores a 0,80 mm dia⁻¹ até os 32 DAT, devido aos baixos valores de IAF, menores do que 0,95 (Figura 13a) e também devido a utilização de mulching plástico opaco sobre a superfície do solo, que minimizou a evaporação. Além disso, a menor demanda atmosférica desse período, influenciou nessa baixa ET_m (Apêndices H, I, J e K). Após os 32 DAT houve um incremento da ET_m, devido ao aumento da densidade de fluxo de radiação solar (Apêndice H) e ao aumento do comprimento do dia. Com isso a estufa permaneceu aberta mais tempo, facilitando a retirada do vapor d'água no seu interior (Apêndices J, K e L), conforme já verificado por Righi et al. (2002), Dalmago et al. (2003), Streck et al. (2003) e Tazzo et al. (2004). A ET_m alcançou valor máximo diário, de 6,03 mm aos 108 DAT e após apresentou decréscimo até o final do período experimental, coincidindo com a diminuição do IAF (Figura 13a), quando se verificaram valores elevados de radiação solar (Apêndice H).

O IAF médio em 2005 foi de 2,12 m² m⁻² alcançando valores máximos de 3,15 m² m⁻² (Figura 13a). Em 2006 o IAF teve um valor médio de apenas 1,42 m² m⁻², com valor máximo de 2,04 m² m⁻² aos 59 DAT (Figura 13b). O menor período experimental em 2006 (85 dias) acarretou um menor IAF médio e, conseqüentemente, uma menor ET_m nesse experimento (Figura 13b).

Na primavera de 2006, ocorreu um aumento rápido da ET_m desde o início do cultivo, devido, principalmente, ao rápido incremento do IAF (Figura 13b). Aos 18

DAT a ETm passou a ser maior do que 1 mm dia^{-1} com um IAF maior do que $0,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$. O valor máximo diário da ETm foi de $3,62 \text{ mm}$ aos 61 DAT.

As variáveis fenométricas altura de plantas (AP) e número de folhas (NF) apresentaram a mesma tendência verificada para a cultura do pimentão, ou seja, um acréscimo até o final dos dois períodos experimentais (Figura 13).

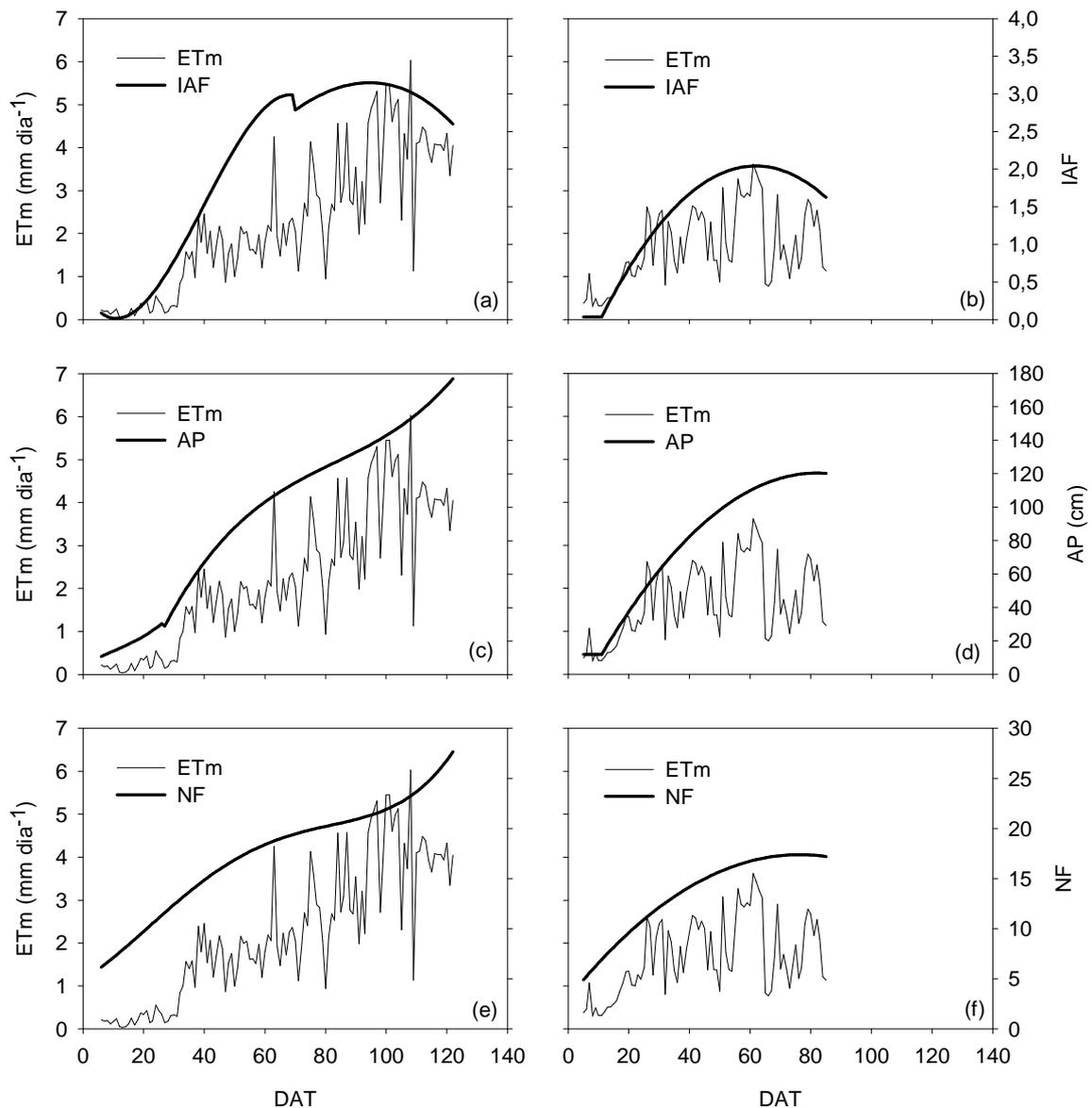


FIGURA 13. Evapotranspiração máxima (ETm) e índice de área foliar (IAF) (a, b), altura de plantas (AP) (c, d) e número de folhas (NF) (e, f) em função dos dias após o transplante (DAT) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera de 2005 (a, c, e) e 2006 (b, d, f). Santa Maria, RS.

A relação da ETm com as variáveis fenométricas (IAF, AP e NF) foi linear (Figura 14). No período experimental de 2005 a correlação foi maior do que no período experimental de 2006. O coeficiente de determinação entre a ETm e o IAF foi de 0,61 e 0,40, entre ETm e AP foi de 0,73 e 0,32 e entre ETm e o NF foi de 0,70 e 0,34 para a primavera de 2005 e de 2006, respectivamente.

No experimento de 2006 se verifica a mesma tendência apresentada pela cultura do pimentão, já discutida no Capítulo 4.1, ou seja, a correlação da ETm com as variáveis fenométricas (IAF, NF e AP) foi menor do que no experimento de 2005 (Figura 3). O período experimental de 2006 foi de apenas 85 dias, isso devido ao atraso da semeadura e, por conseqüência, do transplante tardio das mudas para a estufa, e também, ao encerramento antecipado do experimento, ocorrido em 07/12/2006, em razão da senescência das folhas das plantas dos lisímetros, sem causas definidas. Também se verifica que em 2006 os valores de ETm foram relativamente pequenos (valor máximo de $3,62 \text{ mm dia}^{-1}$), se comparado com os valores de ETm de 2005 ($5,45 \text{ mm dia}^{-1}$) e também das variáveis fenométricas foram menores do que em 2005. Além disso, em 2006 a ETm apresentou tendência de aumentar pouco após os 30 DAT e se manter com grandes flutuações em torno desse valor.

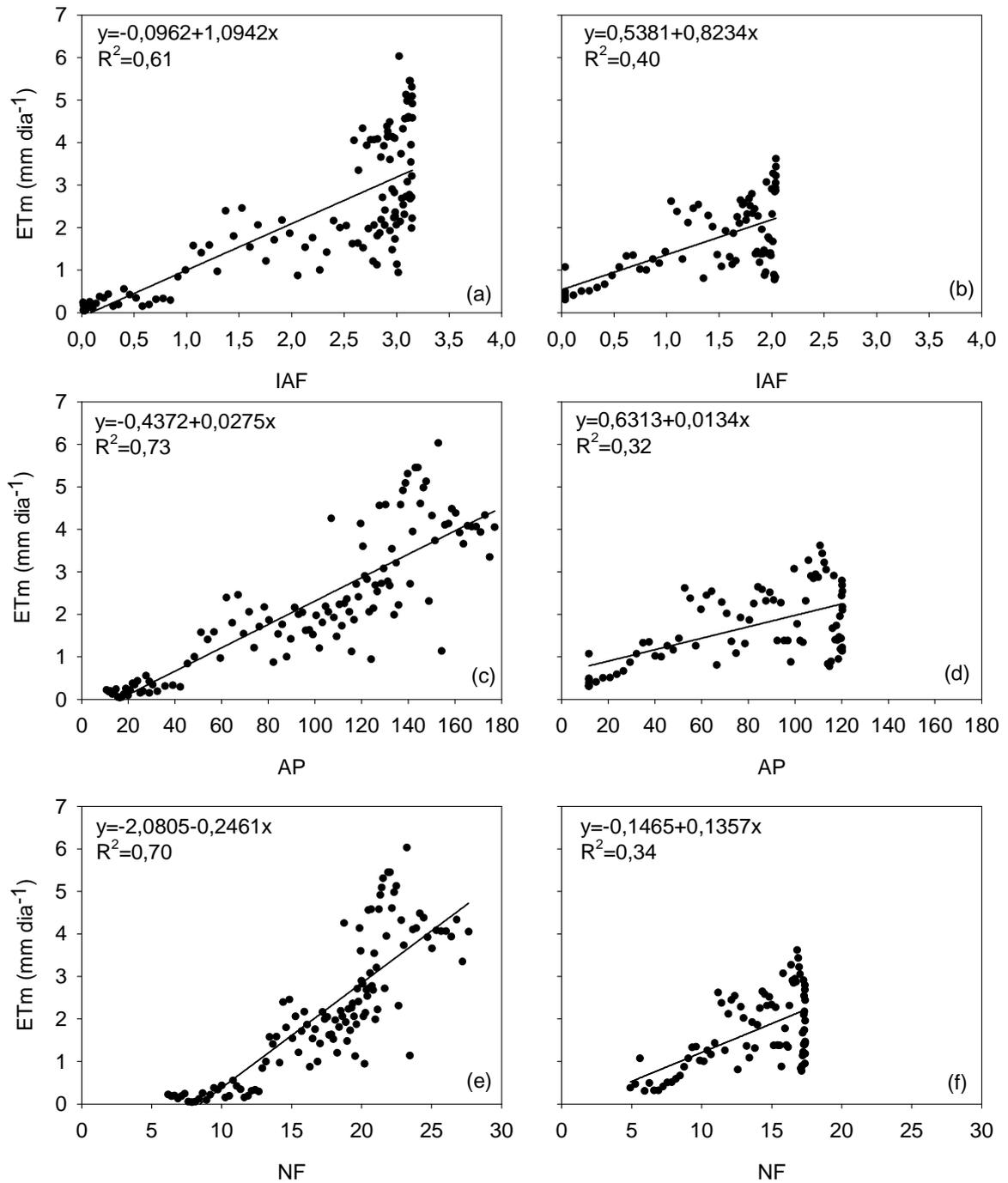


FIGURA 14. Evapotranspiração máxima (ETm) do tomateiro cultivado em estufa plástica em função do índice de área foliar (IAF) (a, b), da altura de plantas (AP) (c, d) e do número de folhas (NF) (e, f) na primavera de 2005 (a, d, e) e de 2006 (b, d, f) em Santa Maria, RS.

4.2.2 Evapotranspiração máxima do tomateiro e sua relação com as variáveis meteorológicas

A relação entre a ET_m e a radiação solar interna e externa foi linear (Figura 15) mostrando dessa forma a contribuição da variável no processo da transpiração das culturas, devido a sua função na regulação estomática, e na contribuição de energia para o processo de evaporação (OKUYA; OKUYA, 1988; RIGHI, 2000).

No experimento de 2005, os coeficientes de determinação (R^2), foram de 0,53 e 0,57 para R_{g_i} e R_{g_e} , respectivamente (Figuras 15a e 15c), e no experimento de 2006 foram um pouco menores (0,33 e 0,36 para R_{g_i} e R_{g_e} , respectivamente) (Figuras 15b e 15d). O menor ajuste entre ET_m e essas duas variáveis em 2006, pode ter ocorrido devido ao maior déficit de saturação do vapor d'água verificado nesse período (Apêndice K). Righi et al. (2002) verificaram que para o período de outono a transpiração do tomateiro de hábito de crescimento determinado teve melhor ajuste com o déficit de saturação do que com a radiação solar.

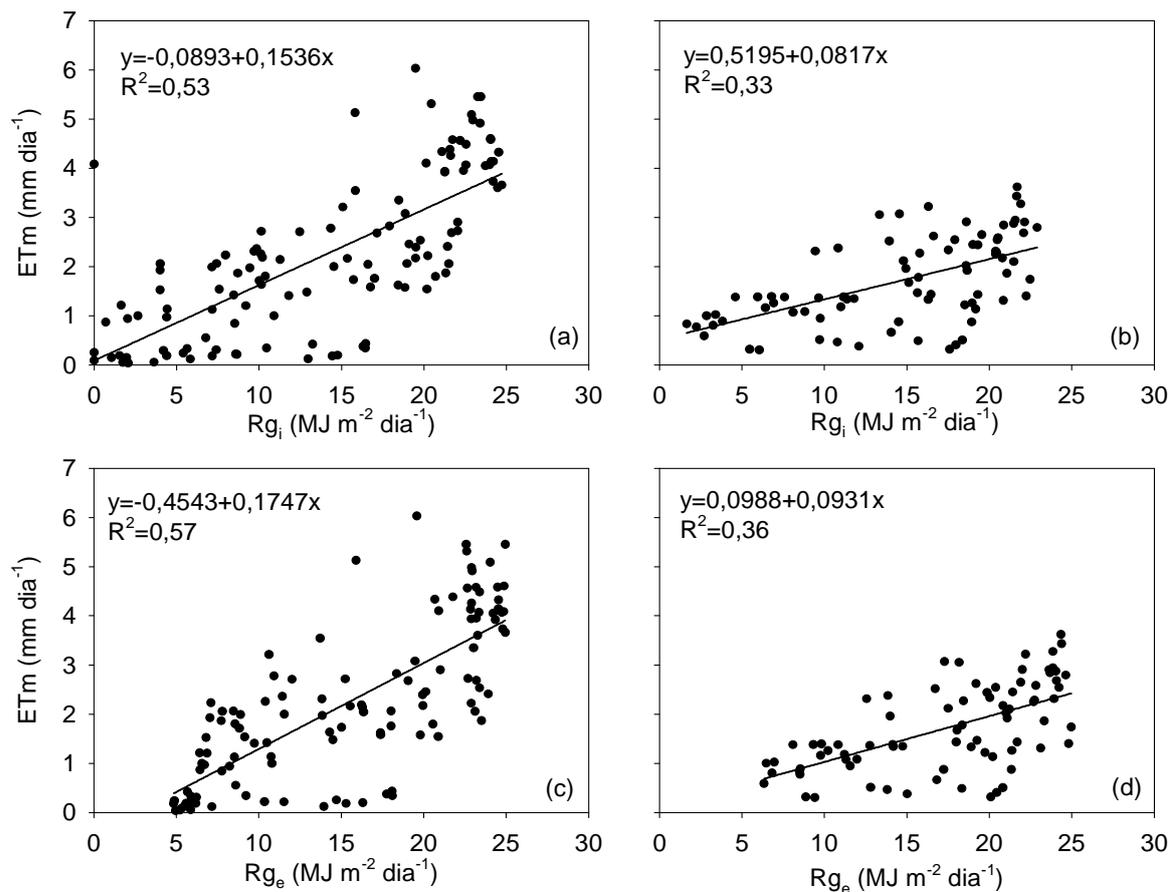


FIGURA 15. Evapotranspiração máxima (ETm) do tomateiro cultivado em estufa plástica, em função da radiação solar global interna (R_{g_i}) (a, b) e da radiação solar global externa (R_{g_e}) (c, d), na primavera de 2005 (a, c) e 2006 (b, d), em Santa Maria, RS.

Apesar da radiação solar, ser determinante da energia disponível para os processos físicos na superfície (Righi et al., 2002), a sua relação com a ETm foi baixa, quando foram considerados em conjunto os dados de todo o ciclo. No entanto, quando os dados foram divididos em duas classes de IAF ($IAF < 2,0$ e $IAF \geq 2,0$) (Figura 16), no experimento de 2006 houve um aumento do coeficiente de determinação (Figuras 16b e 16d), enquanto que no experimento de 2005 esse incremento não ocorreu (Figuras 16a e 16c). Para $IAF < 2,0$, a correlação entre ETm e R_{g_i} aumentou significativamente em 2006 (Figura 16b), enquanto que no experimento de 2005 não houve melhor ajuste da ETm com a R_{g_i} . O mesmo foi verificado entre ETm e R_{g_e} (Figuras 15c e 15d, respectivamente).

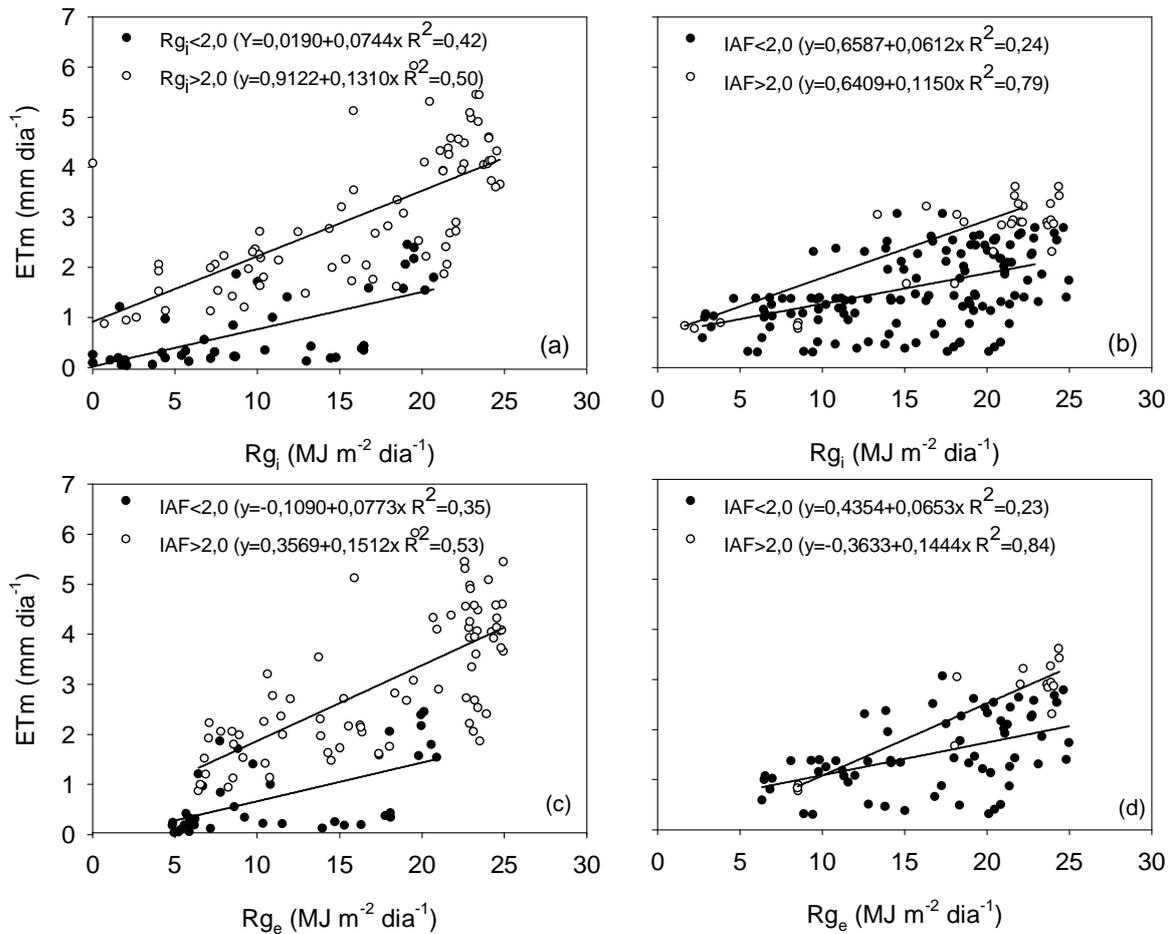


FIGURA 16. Evapotranspiração máxima (ETm) do tomateiro cultivado em estufa plástica, em função da radiação solar global interna (Rg_i) (a, b) e da radiação solar global externa (Rg_e) (c, d), em duas classes de índice de área foliar (IAF), na primavera de 2005 (a, c) e 2006 (b, d), em Santa Maria, RS.

No período experimental de 2006, foi verificado que a correlação entre ETm e Rg_i e entre ETm e Rg_e foi alta quando se considerou apenas os dados do período em que IAF ≥ 2,0, alcançando valores de R² de 0,79 e 0,84, respectivamente (Figuras 16b e 16d). Para o período com IAF < 2,0 se verifica que a correlação da ETm com a Rg_i e a Rg_e foi menor, provavelmente em função de a transpiração estar limitada a uma pequena área foliar. Dalmago (2001) e Streck et al. (2003) encontraram melhor correlação da ETm do pimentão e da abóbora italiana cultivadas no outono, com a radiação disponível do que com outras variáveis.

Ao dividir os dados de radiação solar em três classes de temperatura média interna (t_{mi}), as quais foram utilizadas por Righi (2000) para a cultura do tomateiro e por Dalmago (2001) para a cultura do pimentão, a correlação melhorou entre a ETm

e a radiação solar medida no ambiente interno (R_{gi}) e no ambiente externo (R_{ge}) (Figura 17) quando comparado com todo o banco de dados (Figura 15). Em 2005 o coeficiente de determinação da ETm com a R_{gi} utilizando todos os dados foi de 0,53 (Figura 15a), não ocorrendo melhora ao dividir esses dados em 3 classes de t_{mi} , obtendo-se um R^2 de 0,03 para a classe de dados $t_{mi} < 15^\circ\text{C}$, 0,32 para $15^\circ\text{C} < t_{mi} < 20^\circ\text{C}$ e de 0,55 para a classe de dados $t_{mi} > 20^\circ\text{C}$ (Figura 17a). Em 2006, ao utilizar todos os dados (Figura 15b) obteve-se R^2 de 0,33; com a divisão desses dados em três classes também se obteve uma melhora no ajuste entre essas duas variáveis para a classe de dados de $t_{mi} > 20^\circ\text{C}$ ($R^2=0,41$) (Figura 17b). Destaca-se que em 2006, não houve dias em que a temperatura média no interior da estufa foi inferior a 15°C .

A relação linear entre a ETm e a radiação solar medida no ambiente externo (R_{ge}) utilizando todos os dados, apresentou um R^2 de 0,57 e 0,36 para 2005 e 2006, respectivamente (Figuras 15c e 15d). Quando se dividiu o banco de dados, em três classes de temperatura novamente se verifica uma pequena melhora na correlação nos dados de 2006, obtendo-se um R^2 de 0,03 ($t_{mi} < 15^\circ\text{C}$), 0,32 e 0,26 ($15^\circ\text{C} < t_{mi} < 20^\circ\text{C}$), 0,55 e 0,45 ($t_{mi} > 20^\circ\text{C}$), para 2005 e 2006, respectivamente (Figuras 17c e 17d). DALMAGO et al. (2006) também verificaram um aumento da correlação entre a ETm do pimentão cultivado no outono e a R_{ge} com a divisão do banco de dados em três classes de temperatura média do ar.

Mesmo apresentando valores mais elevados de R^2 para os dados da classe $t_{mi} > 20^\circ\text{C}$, se verifica uma grande dispersão dos pontos, com dias de alta disponibilidade de radiação solar (Figura 17). Segundo DALMAGO et al. (2006) essa dispersão poderia estar indicando aumento da resistência estomática e a redução da transpiração nos momentos de elevada incidência de radiação solar associada a, elevados níveis de déficit de saturação. Nessa faixa de temperatura média aumenta a possibilidade de ocorrer defasagem entre a perda e a absorção de água pelas plantas. É esperado que a dispersão dos valores de ETm aumente quando as condições que determinam a mesma se encontram no seu extremo superior, uma vez que as associações estabelecidas entre as variáveis podem mudar de magnitude por uma pequena mudança de uma ou de outra variável associada ao processo de transpiração. A explicação para esses essa resposta das plantas pode ser também os resultados obtidos por Baille et al. (1994) e Montero et al. (2001), em rosa e gerânio. Esses autores demonstraram que a resistência estomática nessas

duas culturas diminui a medida em que a radiação solar aumenta até cerca de 300 W m^{-2} , o déficit de saturação do ar aumenta até cerca de 1,5 kPa e a temperatura do ar aumenta até cerca de 30°C . Com estabilização da resistência estomática a partir desses limites, o aumento dos valores de R_g , d e t deixa de causar aumento significativo na ETm. Nos dois experimentos ocorreram valores de R_g , d e t acima dos limites de 300 W m^{-2} , 1,5 kPa e 30°C , respectivamente (Apêndice M).

Na Figura 18 observa-se que a ETm do tomateiro ajustou-se relativamente bem ao saldo de radiação medido no exterior da estufa ($R^2=0,70$) em 2005, havendo um ajuste menor em 2006 ($R^2=0,44$). Valores de R^2 muito próximos foram verificados também para a cultura do pimentão ($R^2=0,73$ e $R^2=0,51$, para as primaveras de 2005 e 2006, respectivamente) (Figura 7). Também se verifica um melhor ajuste entre os dados da ETm e do R_{n_e} do que com a radiação solar medida, tanto no interior quanto no exterior da estufa para as duas culturas estudadas nesse trabalho (pimentão e tomate), o que também foi verificado por Heldwein et al. (2004) e Dalmago et al. (2006), para as culturas de abóbora italiana e de pimentão, respectivamente, cultivadas no outono.

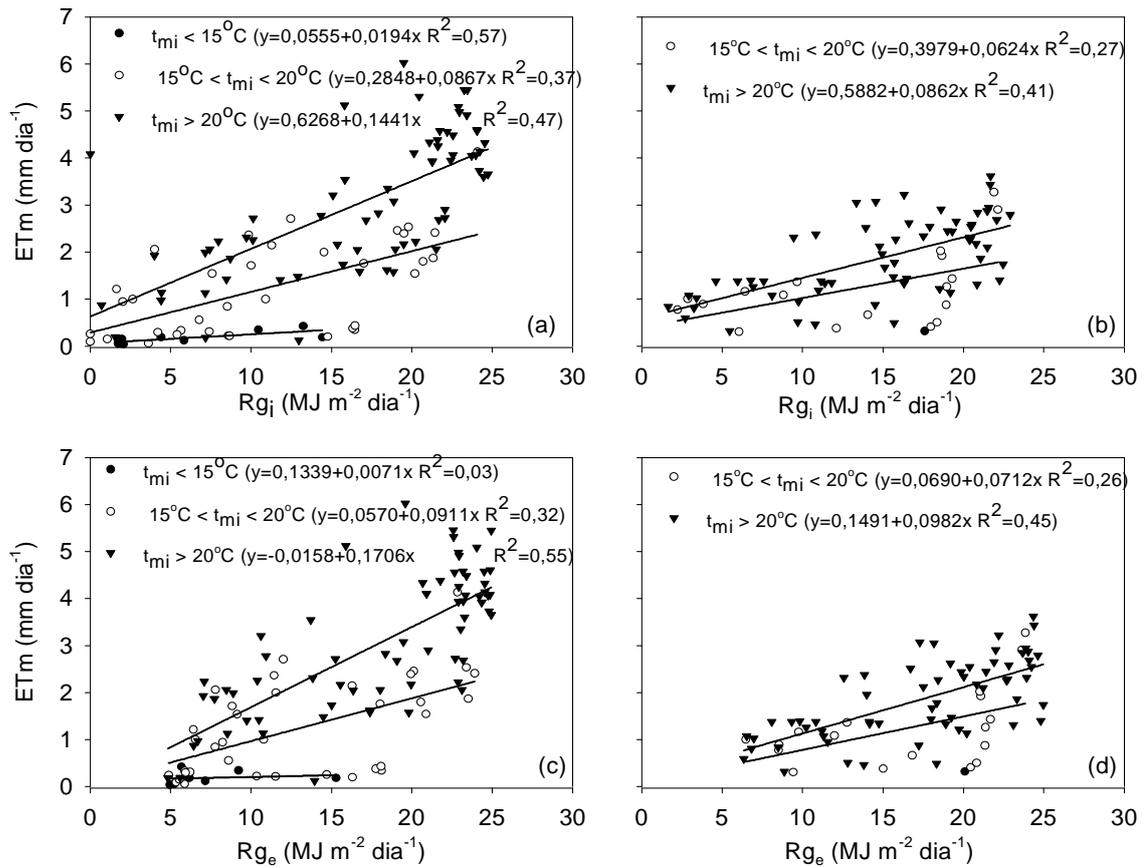


FIGURA 17. Evapotranspiração máxima (ETm) do tomateiro cultivado em estufa plástica, em função da radiação solar global interna (Rg_i) (a, b) e da radiação solar global externa (Rg_e) (c, d), para diferentes intervalos de temperatura média diária do ar no interior da estufa (t_{mi}) na primavera de 2005 (a, c) e 2006 (b, d), em Santa Maria, RS.

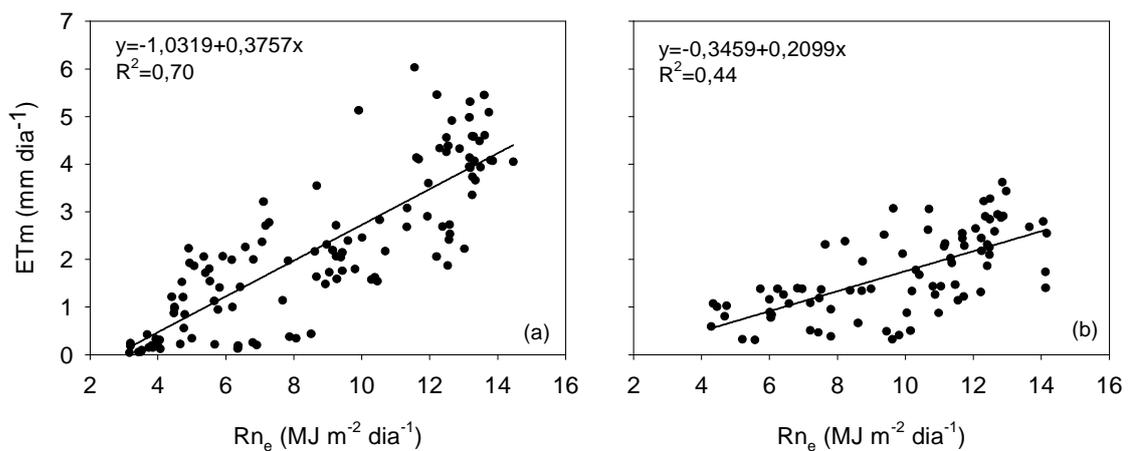


FIGURA 18. Evapotranspiração máxima (ETm) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera em função do saldo de radiação medido no exterior da estufa (Rn_e), na primavera de 2005 (a) e 2006 (b), em Santa Maria, RS.

A temperatura média do ar apresentou aumento ao longo do período experimental. Os maiores valores de temperatura média do ar ocorreram aos 97 DAT (23/11/2005) alcançando 30,6°C e 29°C no interior e exterior da estufa, respectivamente (Apêndice I). No período experimental da primavera de 2006 os maiores valores foram verificados aos 80 DAT (02/12/2006) e alcançaram 29,6 e 29,2°C no interior e no exterior da estufa, respectivamente (Apêndice I).

O aumento da temperatura do ar geralmente eleva a transpiração das plantas na estufa pelo seu efeito sobre o déficit de saturação do ar (STANGHELLINI, 1993). Isso também foi verificado nos dois períodos experimentais, mas com um coeficiente de determinação baixo. No entanto, estudos realizados em estufas plásticas em Santa Maria mostram que a evapotranspiração das culturas é mais dependente da radiação solar do que da temperatura do ar (DALSASSO, 1997; VALANDRO, 1999; DALMAGO et al., 2006). A relação entre a ET_m do tomateiro e a temperatura do ar, tanto interna quanto externa, foi linear nos dois períodos experimentais (Figura 19). Entretanto, o ajuste entre as duas foi baixa, obtendo-se valores de R² de 0,66 e 0,24 para 2005 e 2006, respectivamente. Para t_{me} o ajuste também foi baixo com R² de 0,59 em 2005 e de 0,33 em 2006, confirmando que para a cultura do tomateiro o ajuste da evapotranspiração máxima aos dados da temperatura média do ar é menor do que aos da radiação solar, conforme verificado por Dalsasso (1997) e Valandro (1999).

A umidade relativa do ar no interior da estufa foi elevada durante todo o período experimental nos dois anos de cultivo (Apêndice J). As maiores diferenças de umidade relativa do ar entre o ambiente interno e externo ocorreram no período final dos dois períodos experimentais. A maior ocupação do espaço aéreo dentro da estufa é a provável causa desse aumento da umidade do ar no interior da estufa, pois dificulta a circulação do ar e pode inclusive afetar a demanda hídrica, conforme verificado por Heldwein et al. (2001a). Assim, embora a estufa permanecesse aberta durante grande parte do período diurno (Apêndice L), pode ter ocorrido diminuição da retirada de vapor d'água do seu interior. Isso contribuiu para as maiores diferenças de déficit de saturação do vapor d'água entre os dois ambientes, ou seja, os menores valores de déficit foram encontrados no ambiente interno nesse período (Apêndice K).

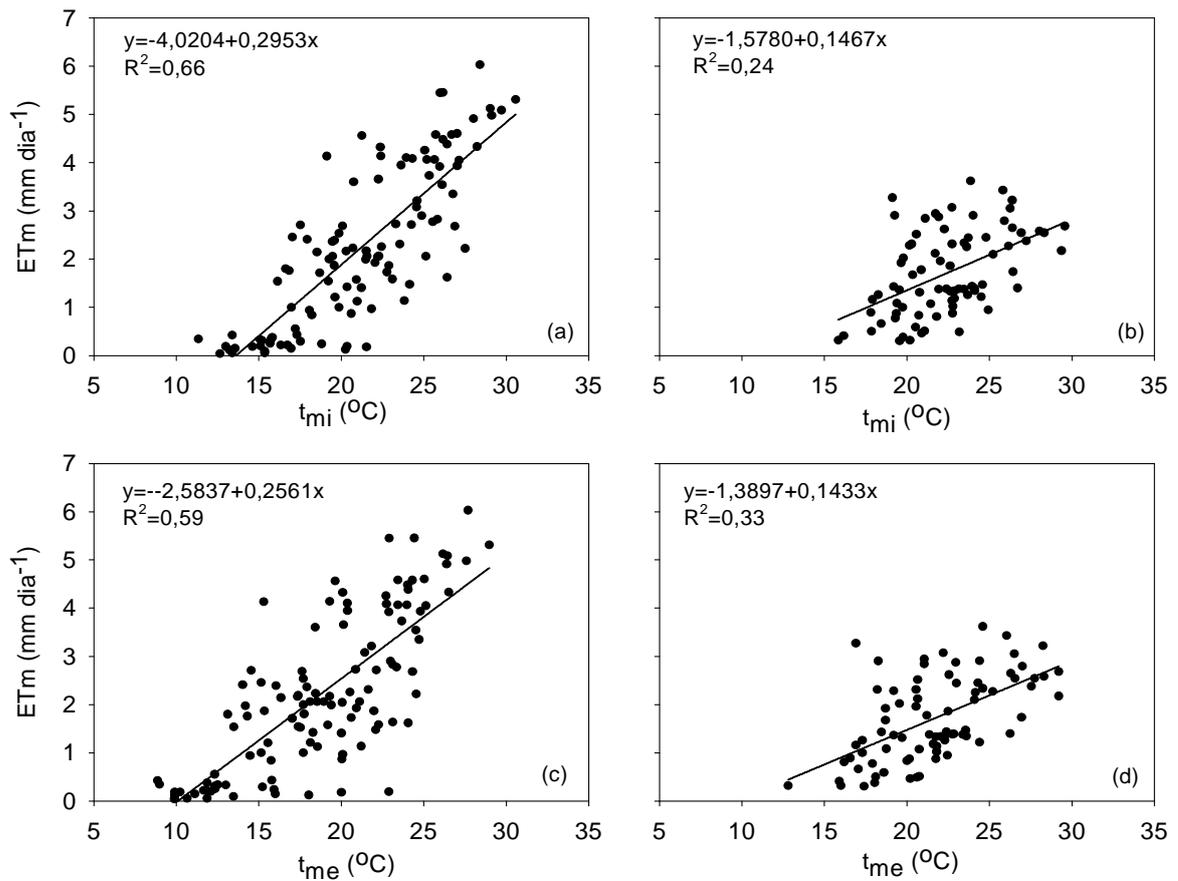


FIGURA 19. Evapotranspiração máxima (ETm) do tomateiro cultivado em estufa plástica, em função da temperatura do ar interna (t_{mi}) (a, b) e da temperatura do ar externa (t_{me}) (c, d), na primavera de 2005 (a, c) e 2006 (b, d), em Santa Maria, RS.

O déficit de saturação do ar teve boa correlação com a ETm do tomateiro, principalmente na primavera de 2005, com um R^2 de 0,69 e de 0,76 para valores medidos no interior e no exterior da estufa, respectivamente (Figuras 20a e 20c). Para a primavera de 2006 essa variável apresentou menor correlação com a ETm do tomateiro, obtendo-se valores de R^2 de 0,38 e 0,45 com valores medidos no interior (d_i) e no exterior da estufa (d_e), respectivamente (Figuras 20b e 20d). Righi et al. (2002) e Dalmago et al. (2006) verificaram que no período de outono-inverno essa variável meteorológica apresentou, dentre as demais, a melhor correlação com a transpiração do tomateiro e do pimentão, respectivamente. Isso também foi constatado para o pimentão cultivado na primavera no atual trabalho (capítulo 4.1 na Figura 8). Não se encontrou uma explicação lógica para o fato do déficit de saturação do ar apresentar melhor determinação que a radiação solar, mesmo conjecturando de que o déficit de saturação do ar como variável que inclui em parte o efeito da temperatura, pois pressão de saturação de vapor (e_s) dela depende. O

fato é que essas duas variáveis são colineares (o déficit de saturação do ar varia em função da radiação solar global), e nesse caso se uma variável é incluída a outra deixa de ser determinante.

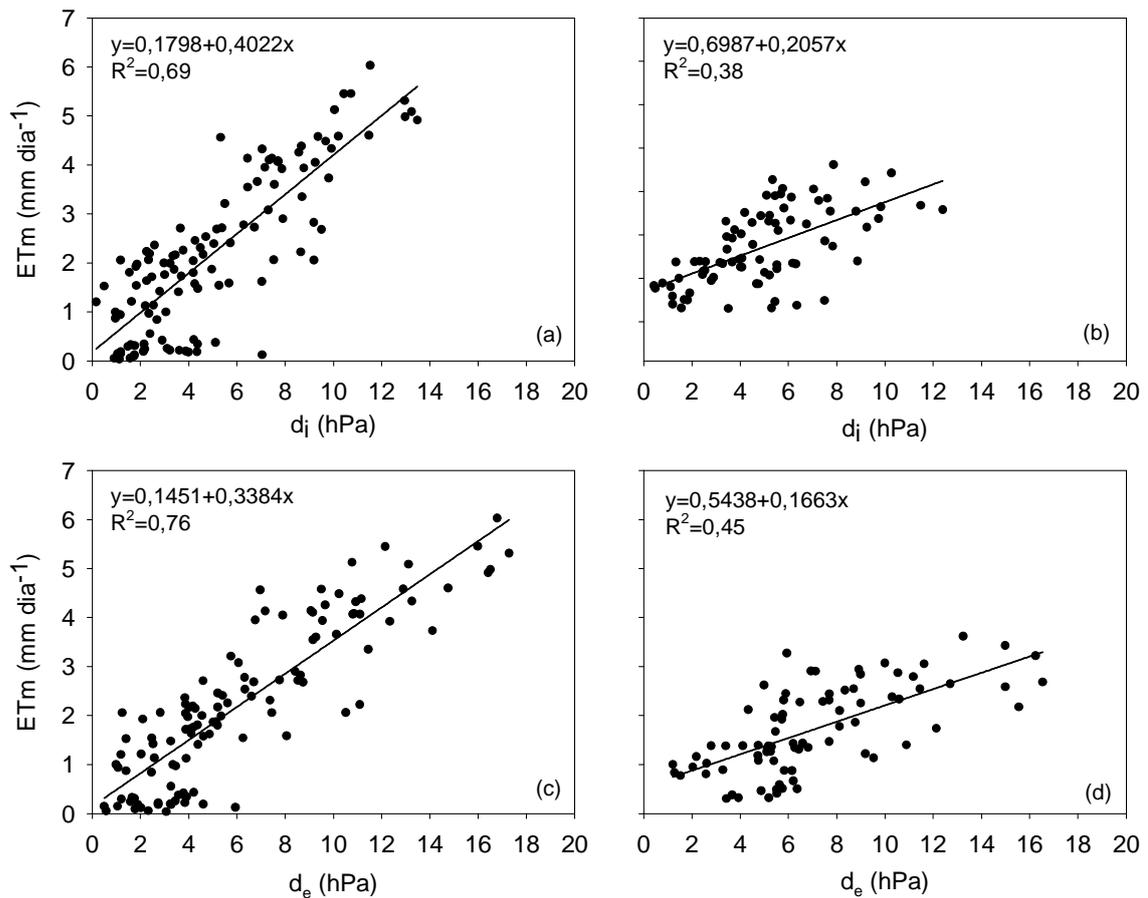


FIGURA 20. Evapotranspiração máxima (ETm) do tomateiro cultivado em estufa plástica em função do déficit de saturação do ar no ambiente interno (d_i) (a, b) e no ambiente externo (d_e) (c, d), na primavera de 2005 (a, c) e 2006 (b, d), em Santa Maria, RS.

4.2.3 Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima do tomateiro utilizando variáveis meteorológicas medidas no interior da estufa

Foram selecionados 200 modelos utilizando variáveis meteorológicas internas que apresentaram um coeficiente de determinação (R^2) maior do que 0,60 e todos os seus coeficientes angulares significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro na sua geração (Tabelas 21, 23, 25 e 27).

Os modelos utilizaram pelo menos uma variável fenométrica (IAF, NF ou AP) como variável independente, juntamente com variáveis meteorológicas medidas no interior da estufa plástica (Tabela 21), ou as relações $ETm/IAF^{0,5}$, $ETm/NF^{0,5}$, ou $ETm/AP^{0,5}$ como variável dependente (Tabelas 23, 25 e 27, respectivamente). Os respectivos resultados dos testes dos modelos são apresentados nas Tabelas 22, 24, 26 e 28, sendo que os modelos dessas tabelas estão classificados em ordem crescente pelo somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação (ΣPO), o que facilitou a discussão dos resultados obtidos.

Os modelos 1i a 10i, 21i, 26i e 28i utilizam somente o déficit de saturação medido no ambiente interno, sendo os valores instantâneos e, ou médios diários, juntamente com uma variável fenométrica, o que resultou em ajustes dessas variáveis com a ETm em regressão linear múltipla ($R^2 > 0,83$). Os modelos 1i a 10i foram os que apresentaram o maior coeficiente de determinação ($R^2 > 0,86$) (Tabela 21).

A densidade de fluxo de radiação solar apresentou melhor ajuste quando utilizada com outras variáveis meteorológicas (modelos 11i, 14i, 18i, 20i, 22i, 23i, 25i, 27i, 39i e 43i), principalmente quando foi associada ao valor pontual do déficit de saturação medido às 15 horas (d_{i15}) ou ao valor da temperatura do ar medida às 15 horas (t_{i15}) (modelos 11i, 14i, 18i, 20i e 23i). Os modelos 33i, 40i e 47 utilizaram somente a Rg_i como variável meteorológica (Tabela 22), mostrando que essa variável meteorológica única em um modelo linear, não é a forma mais adequada de estimar a ETm do tomateiro nas condições climáticas de Santa Maria, RS.

Esses resultados são semelhantes aos encontrados para o pimentão nesse mesmo período, mostrando que é principalmente o déficit de saturação do ar a variável meteorológica medida no interior da estufa, associada a uma variável fenométrica, que apresenta melhor correlação com a ETm dessas culturas em estufas plásticas na região de Santa Maria, na época de primavera.

Righi et al. (2002) também verificaram que o déficit de saturação do ar apresentou melhor ajuste com a ETm do tomate cultivado no outono do que com o a radiação solar. Segundo esse autor o aumento da umidade do ar no interior do ambiente limita a transpiração das plantas, mesmo com elevados valores de temperatura do ar e de radiação solar. Essa tendência geralmente é verificada no outono (RIGHI et al., 2002; DALMAGO, 2001; HELDWEIN et al., 2004), enquanto

que na primavera a utilização da radiação solar medida no ambiente interno resulta na obtenção de bons coeficientes de determinação (DALSASSO, 1997; VALANDRO, 1999). Isso não foi verificado na geração desses modelos para a primavera, o que pode estar associado a ocorrência de períodos com chuvas freqüentes e ventos fortes que interferiram no manejo da estufa. Isso não se confirmou no teste com dados independente, mostrando que tanto para primaveras normais, ou seja, com valores elevados de radiação solar e temperatura, como para primaveras mais úmidas o déficit de saturação descreve melhor a evapotranspiração no interior da estufa do que a radiação solar incidente.

Outros modelos utilizando valores pontuais (obtidos em determinados horários, ou mínimas e máximas) e ou valores médios de temperatura e umidade relativa do ar, apresentaram valores relativamente altos de coeficiente de determinação (Tabela 21). Nesse sentido, se destaca o modelo 13i ($R^2=0,86$) pela simplicidade da obtenção das variáveis incluídas (NF, t_{i9} , t_{mini} , $t_{\text{máxi}}$), bem como os modelos 16i (AP, t_{i9} , t_{i15} , t_{i21}) e 17i (NF, t_{i9} , t_{i15} , t_{i21}) (Tabela 21).

TABELA 21. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis medidas no seu interior (i). Santa Maria, RS, 2005.

Mod	Modelo de regressão	R ²
1i	$ETm = -0,67052+0,0173AP+0,14716d_{i9}+0,03013d_{i15}+0,05007d_{i21}$	0,89
2i	$ETm = -0,667368+0,01730AP+0,08271d_{i9}+0,16314d_i$	0,89
3i	$ETm = -1,74479+0,15222NF+0,14828d_{i9}+0,03484d_{i15}+0,05569d_{i21}$	0,88
4i	$ETm = -1,74331+0,15175NF+0,07791d_{i9}+0,18380d_i$	0,88
5i	$ETm = -0,63695+0,68129IAF+0,10291d_{i9}+0,18465d_i$	0,88
6i	$ETm = -0,70816+0,0133AP+0,24433d_i$	0,88
7i	$ETm = -1,78321+0,15247NF+0,25982d_i$	0,88
8i	$ETm = -0,61983+0,69287IAF+0,15854d_{i9}+0,04077d_{i15}+0,04454d_{i21}$	0,87
9i	$ETm = -0,66593+0,69984IAF-0,02555d_{i21}+0,29181d_i$	0,87
10i	$ETm = -0,66695+0,67014IAF+0,28829d_i$	0,87
11i	$ETm = -0,81667+0,01917AP+0,04756d_{i15}+0,04298Rg_i$	0,86
12i	$ETm = 9,35299+0,02060AP-0,05651UR_{i9}-0,05246UR_{mi}$	0,86
13i	$ETm = -3,08855+0,16060NF+0,14350t_{i9}-0,12165t_{\text{mini}}+0,04206t_{\text{máxi}}$	0,86
14i	$ETm = -1,99556+0,16934NF+0,05227d_{i15}+0,04352Rg_i$	0,85
15i	$ETm = 8,90347+0,18302NF-0,05752UR_{i9}-0,06047UR_{mi}$	0,85
16i	$ETm = -2,10874+0,01646AP+0,13650t_{i9}+0,06038t_{i15}-0,09915t_{i21}$	0,85
17i	$ETm = 3,24003+0,14380NF+0,14285t_{i9}+0,06734t_{i15}-0,10577t_{i21}$	0,85
18i	$ETm = -1,88688+0,01799AP+0,06162t_{i15}+0,04930Rg_i$	0,85
19i	$ETm = 9,81002+0,02156AP-0,11378UR_{mi}$	0,85
20i	$ETm = -0,75485+0,76600IAF+0,06575d_{i15}+0,03982Rg_i$	0,85
21i	$ETm = -0,62595+0,02110AP+0,06568d_{i15}$	0,84
22i	$ETm = -2,04089+0,01574AP+0,08642t_{mi}+0,06630Rg_i$	0,84
23i	$ETm = -3,15946+0,15595NF+0,07244t_{i15}+0,04808Rg_i$	0,84
24i	$ETm = 9,34441+0,19178NF-0,12330UR_{mi}$	0,84

Mod	Modelo de regressão	R ²
25i	ETm = 1,43965+0,02158AP-0,02601UR _{i15} +0,03566Rg _i	0,84
26i	ETm = -1,92834+0,18706NF+0,07100d _{i15}	0,84
27i	ETm = -3,15275+0,13101NF+0,10114t _{mi} +0,06825Rg _i	0,83
28i	ETm = -0,58662+0,84594IAF+0,08364d _{i15}	0,83
29i	ETm = 12,04300+0,82272IAF-0,04873UR _{i9} -0,08857UR _{mi}	0,83
30i	ETm = -1,89265+0,02252AP-0,07055t _{mini} +0,10410t _{máxi}	0,83
31i	ETm = 10,19616+0,84413IAF+0,04209UR _{i21} -0,16073UR _{mi}	0,83
32i	ETm = -1,65800+0,01695AP+0,20188t _{i9} -0,10184t _{mi}	0,83
33i	ETm = -0,84051+0,02102AP+0,07533Rg _i	0,83
34i	ETm = -2,26518+0,63003IAF+0,15702t _{i9} -0,10817t _{mini} +0,04772t _{máxi}	0,82
35i	ETm = -2,43716+0,58041IAF+0,15517t _{i9} +0,07365t _{i15} -0,10297t _{i21}	0,82
36i	ETm = -3,48862+0,19744NF-0,07209t _{mini} +0,11571t _{máxi}	0,82
37i	ETm = 12,46663+0,086370IAF-0,14186UR _{mi}	0,82
38i	ETm = -2,20112+0,66122IAF+0,08505t _{i15} +0,05078Rg _i	0,81
39i	ETm = -2,50559+0,50724IAF+0,12579t _{mi} +0,07253Rg _i	0,81
40i	ETm = -2,11910+0,18498NF+0,08047Rg _i	0,81
41i	ETm = -2,28533+0,0180AP-0,11736t _{i21} +0,23766t _{mi}	0,79
42i	ETm = -3,57097+0,15231NF-0,13471t _{i21} +0,27045t _{mi}	0,78
43i	ETm = -1,61508+0,60746IAF+0,07742t _{mini} +0,10025Rg _i	0,78
44i	ETm = -2,45524+0,8165IAF-0,05283t _{mini} +0,13004t _{máxi}	0,78
45i	ETm = -2,19468+0,01880AP+0,12410t _{mi}	0,78
46i	ETm = -3,53662+0,15709NF+0,14339t _{mi}	0,77
47i	ETm = -0,71593+0,80409IAF+0,09122Rg _i	0,77
48i	ETm = -2,82694+0,60357IAF-0,15162t _{i21} +0,31670t _{mi}	0,76
49i	ETm = -2,78540+0,61323IAF+0,17703t _{mi}	0,74

*Todos os coeficientes angulares são significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro. Mod é o número do modelo. O R² é o coeficiente de determinação na geração do modelo. O índice "i" significa que os modelos foram obtidos com variáveis medidas no interior da estufa plástica.

Na Tabela 22 são apresentados os resultados dos testes dos modelos gerados (Tabela 21), sendo esta avaliação resultante do uso de um banco de dados obtidos experimentalmente no ano seguinte à sua geração (primavera de 2006). Os melhores modelos são considerados aqueles que apresentam os menores valores da soma dos valores das posições ordinais ($\sum PO$) e que acrescentaram os melhores coeficientes do índice de confiança (Camargo; Sentelhas, 1997).

Considerando o $\sum PO$, dos 49 modelos selecionados e apresentados na Tabela 21, 16 modelos foram considerados Ótimos, 10 Muito Bons, 10 Bons, 1 modelo foi considerado Mediano, 2 foram considerados Sofríveis, 5 Ruins e 3 Péssimos. No entanto, considerando os índices de confiança desses 16 modelos considerados Ótimos, a maioria é classificada apenas com desempenho Bom (índice c), exceto os modelos 31i, 4i, 2i, 7i, 6i que foram classificados como Medianos e o modelo 14i, que utiliza NF, d_{i15} e Rg_i, classificado como Sofrível. A comparação do modelo 47i com o modelo 39i, evidencia que a inclusão da t_{mi} piorou a estimativa da ETm do tomateiro. Além disso, se observa que o modelo 49i, que utiliza somente a

t_{mi} como variável meteorológica obteve desempenho baixo, considerando os dois índices de avaliação (ΣPO e índice c). Em geral, considerando os demais modelos de regressão múltipla que incluem a Rg_i , a inclusão de outra variável meteorológica não proporcionou melhora na estimativa da evapotranspiração máxima do tomateiro.

Nos 16 modelos considerados Ótimos pelo ΣPO , se verifica que o IAF esteve presente em 9, o NF em 3 e a AP em 4 modelos, além disso, é o IAF que se sobressai, estando presente em todos os modelos classificados como Bons pelo índice c , mostrando ser essa a variável fenométrica mais adequada para a estimativa da ET_m. No entanto, a AP mostra-se eficiente apenas quando se utiliza UR_{mi} ou UR_{mi} e UR_{i9} no modelo (modelos 19i e 12i). Portanto, para o tomateiro a variável fenométrica influi na estimativa da ET_m devendo-se ter cautela no uso das variáveis NF e AP.

Nos modelos de melhor desempenho, considerando os índices c e ΣPO , se sobressaem aqueles em que se utiliza o déficit de saturação do ar médio diário e ou valores pontuais das 9 ou das 15 ou das 21 horas (modelos 2i, 4i, 5i, 6i, 7i, 8i, 9i, 10i e 28i). Vale ressaltar que os modelos 2i, 4i, 6i e 7i obtiveram desempenho Mediano, considerando o índice c , provavelmente devido ao uso do NF e ou AP como variável fenométrica.

Os modelos classificados com desempenho Muito Bom, considerando o ΣPO , obtiveram desempenho Mediano (modelos 1i, 27i, 11i, 43i e 25i), Sofrível (modelos 13i, 15i, 3i e 33i) e o modelo 24i obteve o desempenho Mau, ao se considerar o índice c . Desses modelos, três utilizaram o déficit de saturação do ar, três a umidade relativa do ar e três modelos utilizaram a temperatura do ar. Nesse caso a variável fenométrica mais utilizada foi o NF (cinco modelos), sendo a AP utilizada em quatro modelos e o IAF apenas no modelo 43i. Considerando esses resultados, deve-se optar pelos modelos 1i, 27i, 43i e 25i apenas em substituição aos modelos com melhor desempenho quando não se dispõe das variáveis necessárias para a utilização dos melhores modelos.

Considerando os modelos classificados como Bons, Razoáveis e Péssimos (ΣPO), verifica-se que apenas os modelos 39i, 38i e 44i obtiveram desempenho Mediano ao se considerar o índice c e, portanto, apenas esses três poderiam ser utilizados na impossibilidade de utilizar modelos melhores. Os modelos 39i e 38i incluem o IAF e a temperatura do ar (t_{mi} e t_{i15} , respectivamente) juntamente com a

R_{g_i}. O modelo 44i utiliza o IAF juntamente com a t_{mini} e a t_{maxi} . Os demais modelos, com classificação pior, podem ser considerados não adequados para a estimativa da ET_m do tomateiro em estufa plástica.

Nos modelos de pior desempenho predomina a utilização isolada, ou de dados de temperatura do ar ou de unidade relativa do ar, e apenas eventualmente a R_{g_i}, confirmando também, que o melhor estimador de forma isolada é o déficit de saturação do ar. Com relação as variáveis fenométricas predomina a AP e o NF nesses modelos.

Os modelos 17i e 37i apresentaram problemas nos testes e em razão disso não foram utilizados no Σ PO.

Surpreende o resultado de que a inclusão da R_{g_i} em modelos que incluam apenas a variável déficit de saturação média diária do ar, resultando em uma regressão múltipla, não melhorou o desempenho do modelo, embora houvesse seleção de modelos que foram classificados como Ótimos com d_{i15} e R_{g_i} (14i e 20i).

Com relação à utilização das variáveis meteorológicas medidas no interior da estufa e o conjunto dos resultados apresentados na Tabela 23, pode-se afirmar que o déficit de saturação do ar, principalmente, e a radiação solar foram as variáveis que melhor se ajustaram para a estimativa da ET_m, pois foram as que apresentaram um maior número de modelos que foram classificados como Ótimos nos testes de avaliação. No entanto, ao incluir a R_{g_i} em modelos que incluíam a variável déficit de saturação do ar (d_i), piorou o desempenho dos mesmos (menor c e menor Σ PO). Dessa forma, pode-se inferir que essas duas variáveis meteorológicas são separadamente as mais adequadas para a estimativa da evapotranspiração do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera em Santa Maria, desde que associadas a uma variável fenométrica, e que a variável déficit de saturação do ar é ligeiramente melhor do que a R_{g_i} para estimar a ET_m do tomateiro. Resultados semelhantes já foram obtidos por Okuya; Okuya (1988); Dalmago, 2001; Righi et al., 2002; Heldwein et al., 2004, no entanto, para cultivos de outono.

Na primavera a radiação solar medida no ambiente interno mostrou bons coeficientes de determinação (DALSSASSO, 1997; VALANDRO, 1999), o que difere dos resultados aqui obtidos. No entanto, deve ser frizado que esses dois autores não utilizaram o déficit de saturação do ar na geração dos modelos, somente a umidade relativa do ar como variável para quantificar a umidade do ar. Dessa forma fica confirmado que a UR não é a melhor variável a ser utilizada nos modelos para a

estimativa da evapotranspiração das culturas e que em regiões de clima subtropical úmido, como o de Santa Maria, o déficit de saturação do ar é a mais importante, dentre todas as variáveis meteorológicas medidas no interior das estufas. Outro fator a considerar é que a umidade relativa do ar na região de Santa Maria, mesmo no período da primavera é relativamente alto, acima de 60% (Apêndice J).

Considerando que a variação da UR é inversa a variação do déficit de saturação do ar e esta última variável inclui o efeito da variação da temperatura, as estimativas obtidas com modelos que incluem o déficit de saturação do ar devem ser melhores do que aqueles obtidos com modelos parecidos que incluem a UR no lugar do déficit de saturação. Isso pode ser verificado ao comparar o modelo 4i com o 15i e o modelo 24i com o 7i (Tabela 22). A explicação física para isso é que o déficit de saturação expressa de forma quantitativa o conteúdo de água que falta para saturar o ar (d), o que inclui o efeito da temperatura do ar sobre a pressão de saturação do ar (e_s) e, portanto do d . A temperatura das folhas (t_f) apresenta alta correlação com a temperatura do ar (t) e valor próximo ou pouco acima da mesma durante o dia ($t_f \approx t$). Em função disso pode então ser assumido que a pressão de saturação na cavidade estomática (e_{sf}) seja similar ou pouco maior do que a pressão de saturação do ar (e_s) e, portanto do d . A diferença entre a e_{sf} e a pressão parcial do vapor d'água no ar próximo a folha (e), expressa por $e_{sf} - e$, é a força motriz do fluxo de vapor d'água para fora da folha é também similar ou ligeiramente maior do que o déficit de saturação de vapor d'água do ar ($e_s - e$). Por sua vez a umidade relativa do ar ($UR = 100 e e_s^{-1}$), não descreve quantitativamente essa relação (pois pode-se ter a mesma UR de por exemplo 50% a 5, 10, 20, 30 ou 40°C mas o déficit não é o mesmo) e, portanto, espera-se uma menor correlação da UR com a ETm do que do déficit de saturação de vapor d'água do ar com a ETm.

A radiação solar foi considerada por (De Villèle, 1972) sob condições de clima mediterrâneo como o melhor estimador da ETm em ambiente protegido, porém os atuais resultados indicam que o déficit de saturação do ar é o outro elemento meteorológico que influencia significativamente a evapotranspiração das culturas nesses ambientes (OKUYA; OKUYA, 1988; BAILLE et al., 1994), principalmente sob condição de clima subtropical úmido (RIGHI et al., 2002; DALMAGO et al., 2006), podendo superar em exatidão a estimativa obtida com a R_g .

TABELA 22. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006.

Ordem	Mod	Coeficientes da equação da reta		RMSE	R ²	r	d	c	D'	ΣPO	D''	Variáveis
		Linear (a)	Angular (b)									
1	9i	0,206	0,888972	0,45	0,62	0,78	0,88	0,69	B	14,5	O	IAF, d _{i21} , d _i
2	10i	0,210	0,870425	0,44	0,62	0,78	0,88	0,69	B	15,5	O	IAF, d _i
3	5i	0,276	0,847221	0,42	0,64	0,79	0,89	0,70	B	16,0	O	IAF, d _{i9} , d _i
4	29i	-0,070	0,814769	0,47	0,69	0,82	0,86	0,70	B	16,5	O	IAF, UR _{i9} , UR _{mi}
5	31i	-0,280	0,91059	0,54	0,64	0,79	0,83	0,65	M	16,5	O	IAF, UR _{i21} , UR _{mi}
6	19i	0,066	0,874087	0,48	0,60	0,76	0,87	0,66	B	18,0	O	AP, UR _{mi}
7	12i	0,202	0,829246	0,44	0,61	0,77	0,88	0,68	B	19,5	O	AP, UR _{i9} , UR _{mi}
8	4i	-0,080	0,843021	0,53	0,58	0,75	0,83	0,62	M	27,0	O	NF, d _{i9} , d _i
9	2i	0,432	0,863967	0,49	0,59	0,76	0,86	0,65	M	27,5	O	AP, d _{i9} , d _i
10	7i	-0,141	0,861981	0,56	0,57	0,74	0,82	0,61	M	28,5	O	NF, d _i
11	6i	0,212	0,784483	0,46	0,58	0,75	0,86	0,65	M	31,0	O	AP, d _i
12	20i	0,480	0,779122	0,42	0,61	0,77	0,88	0,68	B	31,0	O	IAF, d _{i15} , Rg _i
13	47i	0,415	0,781984	0,44	0,58	0,75	0,87	0,66	B	33,0	O	IAF, Rg _i
14	8i	0,457	0,745911	0,41	0,62	0,78	0,88	0,69	B	34,5	O	IAF, d _{i9} , d _{i15} , d _{i21}
15	14i	0,055	0,786018	0,54	0,53	0,72	0,82	0,59	S	39,5	O	NF, d _{i15} , Rg _i
16	28i	0,538	0,714319	0,41	0,61	0,77	0,88	0,68	B	40,0	O	IAF, d _{i15}
17	13i	0,343	0,801269	0,51	0,52	0,71	0,85	0,60	S	41,5	MB	NF, t _{i9} , t _{mini} , t _{maxi}
18	1i	0,565	0,774247	0,47	0,58	0,75	0,86	0,64	M	42,5	MB	AP, d _{i9} , d _{i15} , d _{i21}
19	27i	0,349	0,783147	0,50	0,52	0,71	0,85	0,61	M	43,0	MB	NF, t _{mi} , Rg _i
20	24i	-0,591	0,84469	0,78	0,58	0,75	0,64	0,48	Ma	43,5	MB	NF, UR _{mi}
21	15i	-0,422	0,800265	0,71	0,60	0,76	0,68	0,52	S	44,0	MB	NF, UR _{i9} , UR _{mi}
22	11i	0,588	0,821634	0,53	0,55	0,73	0,83	0,61	M	44,5	MB	AP, d _{i15} , Rg _i
23	43i	0,585	0,772734	0,47	0,57	0,75	0,85	0,64	M	45,0	MB	IAF, t _{mini} , Rg _i
24	3i	0,077	0,74259	0,52	0,56	0,74	0,82	0,60	S	45,5	MB	NF, d _{i9} , d _{i15} , d _{i21}
25	33i	0,508	0,835354	0,57	0,50	0,69	0,82	0,57	S	49,5	MB	AP, Rg _i
26	25i	0,548	0,773033	0,50	0,53	0,72	0,84	0,61	M	50,0	MB	AP, UR _{i15} , Rg _i
27	40i	-0,074	0,79546	0,63	0,48	0,68	0,77	0,53	S	50,5	B	NF, Rg _i
28	39i	0,769	0,770772	0,51	0,59	0,76	0,82	0,63	M	52,0	B	IAF, t _{mi} , Rg _i
29	22i	0,725	0,814455	0,58	0,53	0,72	0,80	0,57	S	53,5	B	AP, t _{mi} , Rg _i
30	23i	0,295	0,769693	0,53	0,49	0,69	0,83	0,57	S	54,5	B	NF, t _{i15} , Rg _i
31	38i	0,753	0,755019	0,52	0,56	0,74	0,82	0,61	M	56,5	B	IAF, t _{i15} , Rg _i
32	21i	0,674	0,75236	0,52	0,53	0,72	0,83	0,59	S	58,0	B	AP, d _{i15}
33	26i	0,084	0,712794	0,57	0,51	0,70	0,78	0,55	S	58,0	B	NF, d _{i15}
34	18i	0,751	0,806107	0,61	0,51	0,70	0,78	0,55	S	58,5	B	AP, t _{i15} , Rg _i
35	34i	0,877	0,775133	0,58	0,57	0,75	0,78	0,59	S	58,5	B	IAF, t _{i9} , t _{mini} , t _{maxi}
36	44i	0,882	0,698278	0,50	0,58	0,76	0,82	0,62	M	59,5	B	IAF, t _{mini} , t _{maxi}
37	36i	0,254	0,73299	0,55	0,46	0,67	0,81	0,55	S	61,0	M	NF, t _{mini} , t _{maxi}
38	30i	0,849	0,772426	0,62	0,50	0,70	0,77	0,54	S	69,5	S	AP, t _{mini} , t _{maxi}
39	32i	0,864	0,775059	0,65	0,47	0,68	0,75	0,51	S	73,5	S	AP, t _{i9} , t _{mi}
40	35i	1,042	0,732721	0,64	0,53	0,72	0,73	0,52	S	77,5	R	IAF, t _{i9} , t _{i15} , t _{i21}
41	16i	1,024	0,77428	0,70	0,49	0,69	0,70	0,49	Ma	79,0	R	AP, t _{i9} , t _{i15} , t _{i21}
42	42i	0,631	0,643734	0,56	0,39	0,62	0,80	0,49	Ma	79,5	R	NF, t _{i15} , t _{mi}
43	46i	0,492	0,63232	0,58	0,37	0,60	0,78	0,47	Ma	80,0	R	NF, t _{mi}
44	49i	1,015	0,605325	0,56	0,44	0,65	0,77	0,50	Ma	85,0	R	IAF, t _{mi}
45	48i	1,141	0,620982	0,61	0,46	0,67	0,73	0,49	Ma	89,0	P	IAF, t _{i21} , t _{mi}
46	45i	0,934	0,675098	0,64	0,39	0,62	0,74	0,46	Ma	90,5	P	AP, t _{mi}
47	41i	1,053	0,680481	0,67	0,41	0,64	0,71	0,45	Ma	93,5	P	AP, t _{i21} , t _{mi}

Ordem	Mod	Coeficientes da equação da reta		RMSE	R ²	r	d	c	D'	ΣPO	D''	Variáveis
		Linear (a)	Angular (b)									
48	17i	7,071	0,748205	4,91	0,47	0,68						NF, t _{i9} , t _{i15} , t _{i21}
49	37i	-0,649	0,46973	1,25	0,37	0,60						IAF, UR _{mi}

Obs - O índice "i" significa que os modelos foram obtidos com variáveis medidas no interior da estufa plástica. Mod é o número do modelo; RMSE = raiz quadrada do quadrado médio do erro; R² = coeficiente de determinação da regressão entre valores estimados e observados; r, d e c = coeficiente de correlação, exatidão e de confiança; ΣPO = somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação; D' = Desempenho do modelo segundo o índice de confiança (c); D'' = Desempenho do modelo segundo o ΣPO.

Na Tabela 23 estão selecionados 52 modelos em que se utilizou a raiz quadrada do IAF como divisor da variável dependente (ETm/IAF^{0,5}), os quais apresentaram coeficiente de determinação maior do que 0,60 e coeficientes angulares significativos a 5% de probabilidade pelo teste t. Observa-se que os valores de R² desses modelos (Tabela 23) foram menores (0,61 a 0,79) aos obtidos com os modelos em que não se utilizou valores transformados de raiz quadrada do IAF como divisor da ETm (Tabela 21) (R²=0,74 a 089). Os modelos que apresentaram os maiores valores de coeficiente de determinação (R²) na sua geração foram os que, além de IAF^{0,5}, também incluíam uma das outras variáveis fenométricas (NF ou AP) como variável independente.

Na geração dos modelos, o déficit de saturação do ar, tanto na forma do valor médio diário, quanto na forma de valores medidos em determinados horários (valores pontuais), novamente foi a variável utilizada em um grande número de modelos, sendo a única variável meteorológica nos modelos 1i, 2i, 3i, 5i, 6i e 7i e que resultou nos maiores valores de R² (R²>0,78). Também a Rg_i foi utilizada em um grande número de modelos, mas nesse caso só alguns modelos apresentaram R² próximo aos daqueles modelos que utilizaram apenas o déficit de saturação do ar. Além disso, nesses modelos, exceto os modelos 37i e 39i, a Rg_i foi associada a outras variáveis meteorológicas (d_i, d_{i15}, t_{i15}, t_{mini} ou t_{mi}) e, portanto, a transformação dos dados de IAF, elemento interceptador de radiação solar, piorou a determinação da ETm pela Rg_i.

A temperatura e a umidade relativa do ar, tanto na forma de seus valores médios quanto os seus valores medidos em determinados horários (pontuais) e as temperaturas diárias máximas e mínimas, foram utilizados em 34 modelos, sendo que em apenas 9 modelos essas variáveis estiveram associadas à Rg_i.

Os resultados apresentados na Tabela 23 não permitem obter conclusões definitivas sobre os modelos gerados, os quais foram selecionados em função do $R^2 > 0,6$, e por isso os modelos para a estimativa da ETm por raiz quadrada do IAF ($ETm/IAF^{0,5}$) do tomateiro foram avaliados com um banco de dados independente ao da sua geração, coletados no ano seguinte (primavera de 2006) para verificar sua precisão e estabilidade sob condições distintas daquelas de sua geração, sendo os resultados das estatísticas apresentados na Tabela 24.

TABELA 23. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do índice de área foliar ($IAF^{0,5}$) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i). Santa Maria, RS, 2005.

Mod	Modelo de regressão	R ²
1i	$ETm = IAF^{0,5}(0,17950+0,00499AP+0,05007d_{i9}+0,11085d_i)$	0,79
2i	$ETm = IAF^{0,5}(0,18183+0,00520AP+0,08269d_{i9}+0,02465d_{i15}+0,02801d_{i21})$	0,79
3i	$ETm = IAF^{0,5}(-0,11882+0,04293NF+0,04872d_{i9}+0,11770d_i)$	0,79
4i	$ETm = IAF^{0,5}(0,09927+0,00478AP+0,13238d_i+0,01602Rg_i)$	0,79
5i	$ETm = IAF^{0,5}(0,13067+0,04488NF+0,08355d_{i9}+0,02615d_{i15}+0,02999d_{i21})$	0,79
6i	$ETm = IAF^{0,5}(0,15863+0,00501AP+0,16003d_i)$	0,78
7i	$ETm = IAF^{0,5}(-0,14377+0,04337NF+0,16525d_i)$	0,78
8i	$ETm = IAF^{0,5}(0,07700+0,00601AP+0,03232d_{i15}+0,02923Rg_i)$	0,77
9i	$ETm = IAF^{0,5}(7,34215+0,00705AP-0,02592UR_{i9}-0,05202UR_{mi})$	0,77
10i	$ETm = IAF^{0,5}(-0,27910+0,05192NF+0,03395d_{i15}+0,02974Rg_i)$	0,76
11i	$ETm = IAF^{0,5}(6,37365-0,00718AP+0,02283UR_{i21}-0,09091UR_{mi})$	0,76
12i	$ETm = IAF^{0,5}(-0,72933+0,00517AP+0,08540t_{i9}-0,06932t_{mini}+0,03056t_{máxi})$	0,76
13i	$ETm = IAF^{0,5}(-0,86972+0,00401AP+0,08766t_{i9}+0,04691t_{i15}-0,06561t_{i21})$	0,76
14i	$ETm = IAF^{0,5}(-1,09159+0,04404NF+0,08746t_{i9}-0,06988t_{mini}+0,03241t_{máxi})$	0,76
15i	$ETm = IAF^{0,5}(7,22397+0,06196NF-0,02647UR_{i9}-0,05484UR_{mi})$	0,76
16i	$ETm = IAF^{0,5}(-1,14486+0,03456NF+0,08950t_{i9}+0,04858t_{i15}-0,06714t_{i21})$	0,76
17i	$ETm = IAF^{0,5}(6,21712+0,06321NF+0,02354UR_{i21}-0,09470UR_{mi})$	0,76
18i	$ETm = IAF^{0,5}(7,55179+0,00749AP-0,08014UR_{mi})$	0,75
19i	$ETm = IAF^{0,5}(-0,74430+0,00494AP+0,04741t_{i15}+0,03119Rg_i)$	0,75
20i	$ETm = IAF^{0,5}(-1,08946+0,04171NF+0,05084t_{i15}+0,03101Rg_i)$	0,75
21i	$ETm = IAF^{0,5}(7,42685+0,06599NF-0,08375UR_{mi})$	0,75
22i	$ETm = IAF^{0,5}(-0,86594+0,0031AP+0,06672t_{mi}+0,04424Rg_i)$	0,74
23i	$ETm = IAF^{0,5}(-1,09836+0,02350NF+0,07231t_{mi}+0,04500Rg_i)$	0,74
24i	$ETm = IAF^{0,5}(-1,13230+0,11321t_{i9}+0,04663t_{i15}-0,06070t_{i21})$	0,74
25i	$ETm = IAF^{0,5}(0,39116+0,05070d_{i9}+0,16132d_i)$	0,74
26i	$ETm = IAF^{0,5}(0,28166+0,17258d_i+0,02068Rg_i)$	0,74
27i	$ETm = IAF^{0,5}(0,20669+0,00732AP+0,04464d_{i15})$	0,74
28i	$ETm = IAF^{0,5}(-1,15174+0,09228t_{mi}+0,04779Rg_i)$	0,73
29i	$ETm = IAF^{0,5}(0,40936+0,11164d_{i9}+0,03087d_{i15}+0,04510d_{i21})$	0,73
30i	$ETm = IAF^{0,5}(-0,23317+0,06403NF+0,04675d_{i15})$	0,73
31i	$ETm = IAF^{0,5}(-1,10086+0,11610t_{i9}-0,05458t_{mini}+0,02951t_{máxi})$	0,72
32i	$ETm = IAF^{0,5}(0,37071+0,21128d_i)$	0,72
33i	$ETm = IAF^{0,5}(-0,78819+0,00769AP-0,03978t_{mini}+0,07303t_{máxi})$	0,71
34i	$ETm = IAF^{0,5}(-1,33542+0,06649NF-0,03967t_{mini}+0,07729t_{máxi})$	0,70
35i	$ETm = IAF^{0,5}(4,45006+0,06503t_{i15}-0,05626UR_{mi})$	0,70
36i	$ETm = IAF^{0,5}(-0,43537+0,06841t_{i15}+0,03720Rg_i)$	0,70
37i	$ETm = IAF^{0,5}(0,06080+0,00727AP+0,05121Rg_i)$	0,70
38i	$ETm = IAF^{0,5}(-0,65270+0,03918NF+0,04004t_{mini}+0,05957Rg_i)$	0,70
39i	$ETm = IAF^{0,5}(-0,35935+0,06208NF+0,05374Rg_i)$	0,68

Mod	Modelo de regressão	R ²
40i	ETm = IAF ^{0,5} (0,32184+0,04082d _{i15} +0,04501Rg _i)	0,68
41i	ETm = IAF ^{0,5} (-0,67526+0,07439t _{mini} +0,07241Rg _i)	0,67
42i	ETm = IAF ^{0,5} (-1,03956+0,00464AP-0,09192t _{i21} +0,18081t _{mi})	0,66
43i	ETm = IAF ^{0,5} (-1,50682+0,06864t _{i15} +0,05144t _{mi})	0,66
44i	ETm = IAF ^{0,5} (-1,37615+0,03726NF-0,09671t _{i21} +0,19139t _{mi})	0,66
45i	ETm = IAF ^{0,5} (-0,80832+0,07310t _{i15} +0,02104d _{i15})	0,65
46i	ETm = IAF ^{0,5} (-1,28452+0,10008t _{i15})	0,64
47i	ETm = IAF ^{0,5} (-1,49181-0,10305t _{i21} +0,23318t _{mi})	0,63
48i	ETm = IAF ^{0,5} (-0,96856+0,00523AP+0,09186t _{mi})	0,63
49i	ETm = IAF ^{0,5} (-1,35149+0,0406NF+0,10017t _{mi})	0,62
50i	ETm = IAF ^{0,5} (10,52022-0,04512UR _{i9} -0,06288UR _{mi})	0,62
51i	ETm = IAF ^{0,5} (7,02314-0,07135UR _{mi} +0,03569Rg _i)	0,61
52i	ETm = IAF ^{0,5} (9,02166+0,03851UR _{i21} -0,13120UR _{mi})	0,61

*Todos os coeficientes angulares são significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro. Mod é o número do modelo. O R² é o coeficiente de determinação na geração do modelo. O índice "i" significa que os modelos foram obtidos com variáveis medidas no interior da estufa plástica.

Dos 52 modelos selecionados (Tabela 23), no ranqueamento de avaliação pelo Σ PO (Tabela 24), 17 foram classificados como Ótimos (pela ordem 26i, 32i, 51i, 25i, 40i, 52i, 35i, 1i, 12i, 29i, 4i, 50i, 28i, 31i, 6i, 23i e 22i) e 16 como Muito Bons (pela ordem 8i, 41i, 24i, 18i, 5i, 27i, 45i, 3i, 37i, 33i, 14i, 2i, 10i, 16i, 9i e 38i), dos quais, considerando o índice de confiança (c), a exceção dos modelos 31i, 24i, 45i, 37i, 33i, 16i e 38i (considerados Medianos), 26 modelos receberam classificação como Bons. Dos modelos classificados como Bons pelos critérios do Σ PO (9), ao considerar o índice c apenas o modelo 7i também recebeu classificação como Bom, sendo que os modelos 19i, 30i, 34i, 39i, 13i e 20i obtiveram o desempenho Mediano e os modelos 36i e 46i foram classificados como Sofríveis.

Nos 27 modelos que foram classificados como Bons pelos testes de avaliação, considerando o índice c, se verifica que o déficit de saturação do ar e ou a radiação solar estiveram presentes em 20 modelos (26i, 32i, 51i, 25i, 40i, 1i, 29i, 4i, 28i, 6i, 23i, 22i, 8i, 41i, 5i, 27i, 3i, 2i, 10i e 7i). Apenas os modelos 52i, 35i, 12i, 50i, 18i, 14i e 9i utilizaram somente a temperatura e a umidade relativa do ar como variáveis meteorológicas. As variáveis fenométricas AP e NF estão presentes em 10 e 6 modelos, respectivamente, nos 27 modelos considerados bons segundo o índice c.

Os modelos 31i, 24i, 45i, 37i, 33i, 16i, 38i, 19i, 30i, 34i, 39i, 13i, 20i, 17i, 21i e 15i obtiveram o desempenho Mediano, considerando o índice c, sendo que a maioria desses modelos utiliza apenas a temperatura e ou a umidade relativa do ar como

variáveis meteorológicas, com exceção dos modelos 45i, 37i, 38i, 19i, 30i e 39i que utilizam também a Rg_i e ou o déficit de saturação do ar (Tabela 24).

A comparação dos resultados obtidos no teste com o modelo 32i (que utiliza $IAF^{0,5}$ e d_i) em relação ao modelo 35i (que utiliza $IAF^{0,5}$, t_{i15} e UR_{mi}) comprova a premissa teórica de que o déficit de saturação do ar em regressão simples substitui com vantagem o uso da umidade relativa do ar e da temperatura do ar em uma regressão múltipla, pois o déficit de saturação além de considerar a umidade do ar, inclui também uma função exponencial da temperatura do ar, descrita pela equação de Tetens.

Considerando-se o uso da transformação $IAF^{0,5}$, recomenda-se a utilização dos modelos que obtiveram desempenho Bom, tomando como base os critérios do índice c, para estimar a evapotranspiração diária do tomateiro cultivado em estufa. Os modelos que obtiveram desempenho Mediano, segundo esse índice, somente teriam seu uso recomendado quando não se dispõe das variáveis utilizadas nos modelos mais precisos. Para os demais modelos que obtiveram desempenhos inferiores a Mediano seu uso não é recomendado (modelos 36i, 46i, 43i, 44i, 47i, 42i, 49i e 48i).

O modelo 11i não foi incluído nos testes de avaliação e não se recomenda o seu uso por resultar em um grande desvio dos valores estimados em relação aos observados no teste, resultando em valores negativos de d e c.

Novamente se verifica que os modelos que utilizaram o déficit de saturação do ar e a radiação solar resultaram nos melhores resultados para a estimativa da ET_m do tomateiro. No entanto, ao incluir a Rg_i em modelos que já incluíam a variável déficit de saturação do ar (d_i), não resultaram em melhora expressiva no desempenho dos mesmos (c e $\sum PO$, similar ou ligeiramente maior). Dessa forma, pode-se inferir que essas duas variáveis meteorológicas são separadamente as mais adequadas para a estimativa da evapotranspiração do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera em Santa Maria, e que a variável déficit de saturação do ar é, quando usada de forma isolada, ligeiramente melhor do que a Rg_i para estimar a ET_m do tomateiro. Resultados semelhantes já foram obtidos para cultivos de solanáceas e cucurbitáceas no outono, por Okuya; Okuya (1988), Dalmago (2001), Righi et al. (2002) Heldwein et al. (2004).

A comparação dos resultados da Tabela 24 com os resultados apresentados na Tabela 22, mostra que a estabilidade dos modelos está claramente associada à relação da ETm com a raiz quadrada do índice de área foliar ($IAF^{0,5}$), embora a utilização da relação $ETm/IAF^{0,5}$ como variável dependente tenha resultado em modelos com menor coeficiente de determinação na sua geração (Tabela 22). Resultados semelhantes foram obtidos com a cultura do pimentão, utilizando tanto variáveis medidas no interior quanto no exterior da estufa (Capítulo 4.1). Righi (2000), Dalmago (2001) e Heldwein et al. (2004) também obtiveram modelos que estimam melhor a ETm quando utilizaram a ETm por unidade de área foliar (ETm/AF), por IAF (ETm/IAF) e pela raiz quadrada do IAF ($ETm/IAF^{0,5}$), respectivamente, principalmente com relação à aproximação dos dados de ETm à reta 1:1 gerada entre valores observados e estimados e seus coeficientes. Segundo Heldwein et al. (2004), a provável razão é a de que a ETm não aumenta linearmente com o IAF, a AP e o NF, principalmente quando o $IAF > 1$, em razão do sombreamento das folhas do interior do dossel de plantas. Isso não é considerado quando os valores das variáveis fenométricas não são transformados, isto é, a ETm é considerada uma função linear do IAF, AP e NF.

TABELA 24. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do índice de área foliar ($IAF^{0,5}$) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006.

Ordem	Mod	Coeficientes da equação da reta		RMSE	R ²	r	d	c	D'	ΣPO	D''	Variáveis
		Linear (a)	Angular (b)									
1	26i	0,142	0,888055	0,38	0,70	0,82	0,91	0,75	B	6,5	O	d _i , Rg _i
2	32i	0,148	0,866451	0,40	0,67	0,81	0,90	0,73	B	12,5	O	d _i
3	51i	0,091	0,815029	0,38	0,72	0,84	0,90	0,75	B	12,5	O	UR _{mi} , Rg _i
4	25i	0,181	0,856622	0,39	0,67	0,81	0,90	0,73	B	14,0	O	d _{i9} , d _i
5	40i	0,285	0,859581	0,39	0,67	0,81	0,90	0,73	B	16,5	O	d _{i15} , Rg _i
6	52i	-0,062	0,817228	0,46	0,69	0,82	0,86	0,70	B	20,0	O	UR _{i21} , UR _{mi}
7	35i	0,282	0,828978	0,40	0,66	0,80	0,90	0,72	B	20,5	O	t _{i15} , UR _{mi}
8	1i	0,251	0,806826	0,40	0,65	0,80	0,90	0,72	B	23,5	O	AP, d _{i9} , d _i
9	12i	0,218	0,857913	0,47	0,61	0,77	0,87	0,67	B	27,0	O	AP, t _{i9} , t _{mini} , t _{maxi}
10	29i	0,283	0,777413	0,39	0,66	0,80	0,90	0,72	B	28,5	O	d _{i9} , d _{i15} , d _{i21}
11	4i	0,767	0,835457	0,39	0,67	0,81	0,90	0,73	B	31,0	O	AP, d _i , Rg _i
12	50i	0,043	0,761499	0,45	0,68	0,81	0,85	0,70	B	31,5	O	UR _{i9} , UR _{mi}
13	28i	0,475	0,829606	0,45	0,62	0,78	0,87	0,68	B	33,5	O	t _{mi} , Rg _i
14	31i	0,508	0,887287	0,52	0,61	0,77	0,85	0,65	M	37,0	O	t _{i9} , t _{mini} , t _{maxi}
15	6i	0,786	0,816547	0,40	0,66	0,80	0,90	0,72	B	37,5	O	AP, d _i

Ordem	Mod	Coeficientes da equação da reta		RMSE	R ²	r	d	c	D'	ΣPO	D''	Variáveis
		Linear (a)	Angular (b)									
16	23i	0,406	0,782418	0,42	0,61	0,77	0,88	0,68	B	38,5	O	NF, t _{mi} , Rg _i
17	22i	0,452	0,798482	0,44	0,60	0,77	0,88	0,67	B	39,0	O	AP, t _{mi} , Rg _i
18	8i	0,776	0,806103	0,41	0,64	0,79	0,89	0,70	B	42,5	MB	AP, d _{i15} , Rg _i
19	41i	0,473	0,785027	0,45	0,59	0,76	0,87	0,66	B	44,0	MB	t _{mini} , Rg _i
20	24i	0,567	0,877339	0,55	0,58	0,75	0,83	0,63	M	44,5	MB	t _{i9} , t _{i15} , t _{i21}
21	18i	0,716	0,749472	0,43	0,69	0,82	0,87	0,71	B	45,5	MB	AP, UR _{mi}
22	5i	0,835	0,786455	0,39	0,65	0,80	0,90	0,72	B	46,0	MB	NF, d _{i9} , d _{i15} , d _{i21}
23	27i	0,407	0,740093	0,42	0,60	0,77	0,88	0,67	B	46,5	MB	AP, d _{i15}
24	45i	0,556	0,799974	0,48	0,58	0,76	0,86	0,65	M	46,5	MB	t _{i15} , d _{i15}
25	3i	0,756	0,767007	0,43	0,66	0,80	0,87	0,70	B	47,5	MB	NF, d _{i9} , d _i
26	37i	0,391	0,762578	0,45	0,57	0,75	0,87	0,65	M	47,5	MB	AP, Rg _i
27	33i	0,505	0,794046	0,47	0,57	0,74	0,86	0,64	M	48,0	MB	AP, t _{mini} , t _{maxi}
28	14i	0,843	0,81753	0,43	0,61	0,77	0,88	0,68	B	48,5	MB	NF, t _{i9} , t _{mini} , t _{maxi}
29	2i	0,807	0,75649	0,39	0,65	0,80	0,89	0,71	B	49,5	MB	AP, d _{i9} , d _{i15} , d _{i21}
30	10i	0,746	0,75478	0,42	0,64	0,79	0,88	0,69	B	49,5	MB	NF, d _{i15} , Rg _i
31	16i	0,683	0,811226	0,48	0,57	0,74	0,86	0,64	M	49,5	MB	NF, t _{i9} , t _{i15} , t _{i21}
32	9i	0,806	0,745795	0,42	0,69	0,82	0,87	0,72	B	50,0	MB	AP, UR _{i9} , UR _{mi}
33	38i	0,348	0,726058	0,44	0,58	0,75	0,87	0,65	M	50,0	MB	NF, t _{mini} , Rg _i
34	19i	0,749	0,808546	0,47	0,58	0,75	0,87	0,65	M	50,5	B	AP, t _{i15} , Rg _i
35	7i	0,817	0,775536	0,44	0,66	0,80	0,87	0,70	B	51,5	B	NF, d _i
36	30i	0,256	0,675391	0,46	0,60	0,77	0,84	0,65	M	52,0	B	NF, d _{i15}
37	34i	0,355	0,730699	0,45	0,56	0,74	0,86	0,64	M	53,0	B	NF, t _{mini} , t _{maxi}
38	39i	0,246	0,699611	0,47	0,57	0,75	0,84	0,63	M	53,0	B	NF, Rg _i
39	36i	0,783	1,001948	0,77	0,61	0,77	0,70	0,54	S	55,5	B	t _{i15} , Rg _i
40	13i	0,858	0,842777	0,52	0,57	0,74	0,84	0,63	M	59,0	B	AP, t _{i9} , t _{i15} , t _{i21}
41	46i	0,644	0,789088	0,54	0,52	0,71	0,82	0,59	S	59,5	B	t _{i15}
42	20i	0,809	0,768758	0,45	0,58	0,75	0,87	0,65	M	60,0	B	NF, t _{i15} , Rg _i
43	43i	0,672	0,768194	0,53	0,52	0,71	0,82	0,59	S	63,0	M	t _{i15} , t _{mi}
44	17i	0,811	0,715742	0,56	0,68	0,82	0,77	0,63	M	69,0	S	NF, UR _{i21} , UR _{mi}
45	21i	0,769	0,682859	0,57	0,69	0,82	0,74	0,61	M	69,0	S	NF, UR _{mi}
46	44i	0,610	0,685838	0,50	0,49	0,69	0,83	0,57	S	69,5	S	NF, t _{i21} , t _{mi}
47	15i	0,818	0,683306	0,55	0,69	0,82	0,76	0,63	M	71,0	S	NF, UR _{i9} , UR _{mi}
48	47i	0,744	0,751087	0,55	0,50	0,70	0,81	0,56	S	72,0	S	t _{i21} , t _{mi}
49	42i	0,687	0,719573	0,53	0,49	0,69	0,82	0,57	S	72,5	S	AP, t _{i21} , t _{mi}
50	49i	0,617	0,612193	0,51	0,44	0,65	0,81	0,53	S	77,0	R	NF, t _{mi}
51	48i	0,699	0,652186	0,52	0,44	0,66	0,81	0,53	S	79,0	R	AP, t _{mi}
52	11i	0,755	0,21844	1,46	0,13	0,35						AP, UR _{i21} , UR _{mi}

Obs - O índice "i" significa que os modelos foram obtidos com variáveis medidas no interior da estufa plástica. Mod é o número do modelo; RMSE = raiz quadrada do quadrado médio do erro; R² = coeficiente de determinação da regressão entre valores estimados e observados; r, d e c = coeficiente de correlação, exatidão e de confiança, respectivamente; ΣPO = somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação; D' = Desempenho do modelo segundo o índice de confiança (c); D'' = Desempenho do modelo segundo o ΣPO.

Na Tabela 25 são apresentados os 49 modelos selecionados para a estimativa da ET_m do tomateiro, que utilizam valores transformados de raiz quadrada do NF como divisor da variável dependente ET_m ($ET_m/NF^{0,5}$) e variáveis meteorológicas medidas no interior da estufa. Verifica-se que os valores de R^2 são relativamente menores, se comparados com os modelos que não utilizaram a raiz do IAF ou raiz do NF como divisor (Tabela 21). No entanto, esses valores são maiores se comparados com os modelos que utilizaram a raiz quadrada do IAF como divisor (Tabela 23). Os modelos que apresentaram o coeficiente de determinação (R^2) maior na sua geração foram os que utilizaram uma segunda variável fenométrica (IAF ou AP) como variável independente.

O déficit de saturação do ar foi novamente a variável meteorológica utilizada em um grande número dos modelos melhor classificados, principalmente os 8 primeiros ($R^2 > 0,84$). A R_{g_i} , também utilizada em um grande número de modelos, geralmente está associada a outras variáveis meteorológicas, com exceção dos modelos 25i e 31i. No entanto, o R^2 obtido é bastante variável (0,63 a 0,84), dependendo das demais variáveis incluídas no modelo. Também se constata que nos 20 modelos que utilizam a R_{g_i} , em geral, o déficit de saturação do ar (d) deixa de ser incluído, exceto nos modelos 6i, 7i, 10i, 39i e 48i que utilizam d_i e ou d_{15} .

A temperatura e a umidade relativa do ar, tanto na forma de valores médios quanto pontuais, e temperaturas diárias máximas e mínimas, foram utilizadas em 31 modelos, sendo que em 11 deles essas variáveis estiveram associadas à R_{g_i} .

Os resultados apresentados na Tabela 25 não permitem obter conclusões definitivas sobre os modelos gerados. Por isso os modelos para a estimativa da ET_m por raiz quadrada do NF ($ET_m/NF^{0,5}$) do tomate foram também avaliados com um banco de dados independente ao da sua geração, coletados no ano seguinte (primavera de 2006) para a verificação da sua precisão e estabilidade para outras condições, sendo os resultados das estatísticas apresentados na Tabela 26.

TABELA 25. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do número de folhas ($NF^{0,5}$) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i). Santa Maria, RS, 2005.

Mod	Modelo de regressão	R ²
1i	$ETm = NF^{0,5}(-0,08416+0,14001IAF+0,02017d_{ig}+0,03719d_i)$	0,87
2i	$ETm = NF^{0,5}(-0,08119+0,14052IAF+0,03222d_{ig}+0,00800d_{i15}+0,00991d_{i21})$	0,86
3i	$ETm = NF^{0,5}(-0,09004+0,13782IAF+0,05751d_i)$	0,85
4i	$ETm = NF^{0,5}(-0,07908+0,00323AP+0,03149d_{ig}+0,00618d_{i15}+0,01196d_{i21})$	0,85
5i	$ETm = NF^{0,5}(-0,07926+0,00326AP+0,01606d_{ig}+0,03574d_i)$	0,85
6i	$ETm = NF^{0,5}(-0,11048+0,00317AP+0,04009d_i+0,00662Rg_i)$	0,85
7i	$ETm = NF^{0,5}(-0,11559+0,15318IAF+0,01208d_{i15}+0,01000Rg_i)$	0,84
8i	$ETm = NF^{0,5}(-0,08595+0,00327AP+0,05152d_i)$	0,84
9i	$ETm = NF^{0,5}(2,48379+0,16565IAF-0,01150UR_{ig}-0,01633UR_{mi})$	0,83
10i	$ETm = NF^{0,5}(-0,11772+0,00358AP+0,00880d_{i15}+0,01129Rg_i)$	0,83
11i	$ETm = NF^{0,5}(2,09484+0,17111IAF+0,00906UR_{i21}-0,03297UR_{mi})$	0,82
12i	$ETm = NF^{0,5}(-0,38689+0,13295IAF+0,03267t_{ig}-0,02515t_{mini}+0,00939t_{maxi})$	0,82
13i	$ETm = NF^{0,5}(-0,32211+0,00332AP+0,01237t_{i15}+0,01205Rg_i)$	0,82
14i	$ETm = NF^{0,5}(-0,38340+0,00278AP+0,01881t_{mi}+0,01531Rg_i)$	0,82
15i	$ETm = NF^{0,5}(2,58374+0,17532IAF-0,02891UR_{mi})$	0,82
16i	$ETm = NF^{0,5}(-0,07337+0,17325IAF+0,01658d_{i15})$	0,82
17i	$ETm = NF^{0,5}(-0,43495+0,12108IAF+0,03166t_{ig}+0,01516t_{i15}-0,02258t_{i21})$	0,82
18i	$ETm = NF^{0,5}(-0,38319+0,13375IAF+0,01573t_{i15}+0,01196Rg_i)$	0,82
19i	$ETm = NF^{0,5}(-0,39789+0,00295AP+0,03083t_{ig}+0,01236t_{i15}-0,02120t_{i21})$	0,82
20i	$ETm = NF^{0,5}(-0,43426+0,10614IAF+0,02290t_{mi}+0,01604Rg_i)$	0,81
21i	$ETm = NF^{0,5}(1,35620+0,00392AP-0,01585UR_{mi}+0,00768Rg_i)$	0,81
22i	$ETm = NF^{0,5}(2,16081+0,00414AP-0,02431UR_{mi})$	0,81
23i	$ETm = NF^{0,5}(0,29560+0,00403AP-0,00473UR_{i15}+0,01001Rg_i)$	0,81
24i	$ETm = NF^{0,5}(0,52160+0,17201IAF-0,00724UR_{i15}+0,00805Rg_i)$	0,80
25i	$ETm = NF^{0,5}(-0,12213+0,00392AP+0,01728Rg_i)$	0,80
26i	$ETm = NF^{0,5}(-0,06762+0,00409AP+0,01356d_{i15})$	0,80
27i	$ETm = NF^{0,5}(-0,29936+0,00307AP+0,04497t_{ig}-0,02282t_{mi})$	0,79
28i	$ETm = NF^{0,5}(-0,26242+0,12651IAF+0,01326t_{mini}+0,02099Rg_i)$	0,79
29i	$ETm = NF^{0,5}(-0,34658+0,00432AP-0,01487t_{mini}+0,02245t_{maxi})$	0,79
30i	$ETm = NF^{0,5}(-0,42643+0,17176IAF-0,01363t_{mini}+0,02652t_{maxi})$	0,78
31i	$ETm = NF^{0,5}(-0,10844+0,16018IAF+0,01944Rg_i)$	0,78
32i	$ETm = NF^{0,5}(-0,63195+0,04103t_{mi}+0,01840Rg_i)$	0,76
33i	$ETm = NF^{0,5}(-0,43786+0,00332AP-0,02452t_{i21}+0,05124t_{mi})$	0,75
34i	$ETm = NF^{0,5}(-0,50452+0,12763IAF-0,03059t_{i21}+0,06241t_{mi})$	0,75
35i	$ETm = NF^{0,5}(-0,41892+0,00348AP+0,02751t_{mi})$	0,74
36i	$ETm = NF^{0,5}(-0,59154+0,04967t_{ig}+0,01215t_{i15}-0,01758t_{i21})$	0,74
37i	$ETm = NF^{0,5}(-0,49614+0,12958IAF+0,03423t_{mi})$	0,73
38i	$ETm = NF^{0,5}(-0,45615+0,03565t_{mini}+0,02916Rg_i)$	0,71
39i	$ETm = NF^{0,5}(0,01049+0,06675d_i+0,00972Rg_i)$	0,71
40i	$ETm = NF^{0,5}(0,06216+0,04947d_{ig}+0,01024d_{i15}+0,02257d_{i21})$	0,70
41i	$ETm = NF^{0,5}(0,04311-0,00889d_{i15}+0,10835d_i)$	0,70
42i	$ETm = NF^{0,5}(0,05231+0,08493d_i)$	0,69
43i	$ETm = NF^{0,5}(-0,46050+0,02647t_{i15}+0,01610Rg_i)$	0,68
44i	$ETm = NF^{0,5}(-0,76517+0,01845t_{i15}+0,03554t_{mi})$	0,66
45i	$ETm = NF^{0,5}(-0,76183-0,03249t_{i21}+0,08876t_{mi})$	0,66
46i	$ETm = NF^{0,5}(1,10038+0,02971t_{i15}-0,01680UR_{mi})$	0,64
47i	$ETm = NF^{0,5}(-0,75710+0,05922t_{mi})$	0,64
48i	$ETm = NF^{0,5}(0,02822+0,01387d_{i15}+0,02075Rg_i)$	0,63
49i	$ETm = NF^{0,5}(-0,61158+0,04017t_{i15})$	0,61

*Todos os coeficientes angulares são significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro. Mod é o número do modelo. O R² é o coeficiente de determinação na geração do modelo. O índice "i" significa que os modelos foram obtidos com variáveis medidas no interior da estufa plástica.

Os melhores modelos são aqueles que apresentam os menores somatórios dos valores das posições ordinais (ΣPO) e maiores valores do índice de confiança (c) (Tabela 26). Considerando o ΣPO , dos 49 modelos apresentados na Tabela 25, 21 modelos foram considerados Ótimos, 9 foram considerados Muito Bons, 4 Bons, 5 com desempenho Mediano, 2 com desempenho Sofrível, 3 com desempenho Ruim e 5 modelos foram considerados Péssimos (Tabela 26). Dos 30 melhores modelos, classificados como Ótimos e Muito Bons com base no ΣPO , apenas os modelos 3i, 1i e 7i foram classificados como bons utilizando o índice de confiança (Camargo; Sentelhas, 1997), 20 modelos (6i, 41i, 39i, 11i, 8i, 5i, 21i, 12i, 42i, 22i, 2i, 9i, 20i, 24i, 18i, 31i, 16i, 28i, 4i e 30i) foram classificados com desempenho Mediano e 9 (15i, 10i, 14i, 25i, 17i, 48i e 13i) tiveram desempenho Sofrível e os demais modelos tiveram desempenho Sofrível e Mau, conforme o índice c (Tabela 26), não sendo recomendado o seu uso na estimativa da ETm do tomateiro cultivado em estufa plástica na região de Santa Maria.

Os três modelos considerados bons pelo índice c (3i, 1i e 7i) utilizam o IAF e o déficit de saturação do ar. Desses, o modelo 7i, além do déficit de saturação do ar (d_{i9}) utiliza também a radiação solar. Dos 20 modelos que obtiveram o desempenho Mediano, segundo o índice c , 15 utilizam o déficit de saturação do ar e ou a radiação solar. Esses resultados reforçam a premissa teórica de que a transpiração é mais dependente dessas duas variáveis meteorológicas do que de qualquer outra, o que foi verificado anteriormente. Novamente se verifica que os modelos que apresentam menores desempenhos (Mau) não utilizam valores diários de d_i e/ou Rg_i , mas apenas temperatura média diária e ou seus valores pontuais. O déficit de saturação do ar, principalmente, e a radiação solar foram as variáveis que melhor se ajustaram para a estimativa da ETm do tomateiro, pois foram as que apresentaram um maior número de modelos que obtiveram melhores desempenhos nos testes de avaliação.

No entanto, ao incluir a Rg_i em modelos que já incluíam a variável déficit de saturação do ar (d_i), não ocorre melhora no desempenho dos mesmos. Isso se verifica comparando o modelo 3i, que utiliza apenas o d_i , com o modelo 7i, que utiliza o d_{i15} e a Rg_i . Dessa forma, pode-se inferir que essas duas variáveis meteorológicas são separadamente as mais adequadas para a estimativa da evapotranspiração do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera em Santa Maria, desde que associadas a uma variável fenométrica, e que a variável déficit de

saturação do ar é ligeiramente melhor do que a R_g , para estimar a ET_m do tomateiro. Resultados semelhantes já foram obtidos por Okuya; Okuya (1988), Dalmago (2001), Righi et al. (2002) e Heldwein et al. (2004), porém para cultivos de outono, e para a cultura do pimentão na primavera, apresentados no Capítulo 4.1.

DALSASSO, 1997 e VALANDRO, 1999 verificaram que na primavera a radiação solar medida no ambiente interno apresentou bons coeficientes de determinação em relação a ET_m , o que difere dos resultados aqui obtidos. No entanto, deve ser considerado que esses dois autores não utilizaram o déficit de saturação do ar na geração dos modelos, mas somente a umidade relativa do ar como variável que quantifica a umidade do ar. Dessa forma fica confirmado que a UR não é a melhor variável a ser utilizada nos modelos para a estimativa da evapotranspiração das culturas e que em regiões de clima subtropical úmido, como o de Santa Maria, o déficit de saturação do ar é a mais importante, dentre todas as variáveis meteorológicas medidas no interior das estufas.

Comparando a Tabela 26 com a Tabela 24 se verifica que os resultados obtidos demonstram maior estabilidade dos modelos que utilizam a relação da ET_m com a raiz quadrada do índice de área foliar ($IAF^{0,5}$) do que com a relação da ET_m com a raiz quadrada do número de folhas ($NF^{0,5}$), embora a utilização da relação $ET_m/IAF^{0,5}$ como variável dependente tenha resultado em modelos com menor coeficiente de determinação na sua geração.

Analisando a Tabela 26, se verifica que a maioria dos modelos que utilizaram o IAF e ou a AP como variável fenométrica independente, apresentaram os melhores desempenhos do ΣPO e do índice c.

Considerando os resultados apresentados na Tabela 26 pode-se inferir que os modelos 3i, 1i e 7i são adequados e suficientemente precisos para estimar a ET_m do tomate. Na falta de dados meteorológicos, se recomenda o uso dos modelos que obtiveram o desempenho Mediano, considerando o índice c (6i, 41i, 39i, 11i, 8i, 5i, 21i, 12i, 42i, 22i, 2i, 9i, 20i, 24i, 18i, 31i, 16i, 28i, 4i e 30i). A escolha do modelo dependerá, portanto, dos dados fenométricos e meteorológicos disponíveis. Nesse sentido, considerando a praticidade na obtenção dos dados e o valor do coeficiente de confiança obtido, o modelo 30i pode ser considerado para a estimativa da ET_m do tomate pela sua praticidade, pois utiliza apenas as temperaturas máxima e mínima (t_{mini} e t_{maxi}), sendo necessário para isso apenas um termômetro de máxima e de mínima. Outro modelo de fácil obtenção das variáveis é o 12i, pois utiliza

apenas a temperatura das 9 horas e as temperaturas mínimas e máximas (t_{i9} , t_{mini} e t_{maxi}), sendo necessário apenas um termômetro de mínima e de máxima e um termômetro comum, que são equipamentos de fácil manuseio e relativamente baratos.

TABELA 26. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do número de folhas ($NF^{0,5}$) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006.

Or em	Mod	Coeficientes da equação da reta		RMSE	R ²	r	d	c	D'	ΣPO	D''	Variáveis
		Linear (a)	Angular (b)									
1	3i	0,162	0,723108	0,46	0,63	0,78	0,85	0,66	B	14,0	O	IAF, d _i
2	1i	0,204	0,708303	0,45	0,63	0,79	0,85	0,67	B	16,5	O	IAF, d _{i9} , d _i
3	6i	0,293	0,753865	0,46	0,56	0,74	0,86	0,64	M	19,0	O	AP, d _i , Rg _i
4	41i	0,272	0,768257	0,48	0,54	0,73	0,85	0,62	M	21,5	O	d _{i15} , d _i
5	39i	0,359	0,767731	0,46	0,56	0,74	0,86	0,64	M	22,0	O	d _i , Rg _i
6	11i	-0,118	0,718995	0,58	0,66	0,81	0,76	0,61	M	23,0	O	IAF, UR _{i21} , UR _{mi}
7	8i	0,297	0,73545	0,47	0,55	0,73	0,85	0,62	M	24,0	O	AP, d _i
8	5i	0,332	0,723382	0,46	0,55	0,74	0,86	0,63	M	24,5	O	AP, d _{i9} , d _i
9	7i	0,307	0,686244	0,44	0,61	0,77	0,86	0,66	B	26,0	O	IAF, d _{i15} , Rg _i
10	21i	0,214	0,715834	0,49	0,55	0,73	0,84	0,61	M	26,0	O	AP, UR _{mi} , Rg _i
11	12i	0,520	0,710645	0,43	0,57	0,75	0,87	0,65	M	29,0	O	IAF, t _{i9} , t _{mini} , t _{maxi}
12	42i	0,367	0,739863	0,48	0,53	0,72	0,85	0,61	M	29,5	O	d _i
13	22i	0,135	0,698776	0,52	0,57	0,74	0,81	0,61	M	31,0	O	AP, UR _{mi}
14	15i	-0,072	0,680599	0,58	0,68	0,82	0,74	0,60	S	32,5	O	IAF, UR _{mi}
15	2i	0,303	0,644971	0,45	0,62	0,78	0,84	0,65	M	33,0	O	IAF, d _{i9} , d _{i15} , d _{i21}
16	9i	0,007	0,661409	0,55	0,68	0,82	0,76	0,62	M	33,5	O	IAF, UR _{i9} , UR _{mi}
17	20i	0,485	0,688006	0,44	0,56	0,74	0,86	0,64	M	35,5	O	IAF, t _{mi} , Rg _i
18	10i	0,422	0,713122	0,48	0,52	0,71	0,85	0,60	S	36,5	O	AP, d _{i15} , Rg _i
19	24i	0,295	0,61959	0,47	0,61	0,77	0,82	0,63	M	38,0	O	IAF, UR _{i15} , Rg _i
20	18i	0,469	0,682286	0,45	0,55	0,73	0,86	0,63	M	38,5	O	IAF, t _{i15} , Rg _i
21	31i	0,314	0,669311	0,47	0,56	0,74	0,84	0,62	M	38,5	O	IAF, Rg _i
22	16i	0,367	0,622559	0,45	0,59	0,76	0,83	0,63	M	40,5	MB	IAF, d _{i15}
23	28i	0,403	0,670392	0,46	0,54	0,73	0,85	0,62	M	41,0	MB	IAF, t _{mini} , Rg _i
24	4i	0,414	0,660392	0,46	0,54	0,73	0,84	0,61	M	44,0	MB	AP, d _{i9} , d _{i15} , d _{i21}
25	14i	0,534	0,709487	0,50	0,49	0,69	0,84	0,58	S	45,5	MB	AP, t _{mi} , Rg _i
26	30i	0,550	0,642931	0,44	0,55	0,73	0,86	0,63	M	47,0	MB	IAF, t _{mini} , t _{maxi}
27	25i	0,418	0,70349	0,52	0,47	0,67	0,83	0,56	S	48,0	MB	AP, Rg _i
28	17i	0,643	0,683135	0,47	0,52	0,71	0,85	0,60	S	48,5	MB	IAF, t _{i9} , t _{i15} , t _{i21}
29	48i	0,613	0,693845	0,48	0,51	0,70	0,84	0,59	S	48,5	MB	d _{i15} , Rg _i
30	13i	0,561	0,713159	0,52	0,47	0,68	0,83	0,56	S	49,0	MB	AP, t _{i15} , Rg _i
31	23i	0,425	0,672878	0,49	0,50	0,70	0,83	0,58	S	50,5	B	AP, UR _{i15} , Rg _i
32	32i	0,748	0,704754	0,52	0,50	0,70	0,82	0,57	S	54,5	B	t _{mi} , Rg _i
33	26i	0,512	0,643475	0,49	0,48	0,68	0,83	0,57	S	58,0	B	AP, d _{i15}
34	19i	0,706	0,702821	0,54	0,46	0,67	0,81	0,55	S	59,5	B	AP, t _{i9} , t _{i15} , t _{i21}

Or em	Mod	Coeficientes da equação da reta		RMSE	R ²	r	d	c	D'	ΣPO	D''	Variáveis
		Linear (a)	Angular (b)									
35	40i	0,562	0,607821	0,47	0,49	0,69	0,82	0,57	S	61,0	M	d _{i9} , d _{i15} , d _{i21}
36	29i	0,620	0,679163	0,52	0,45	0,66	0,82	0,54	S	62,5	M	AP, t _{mini} , t _{maxi}
37	38i	0,693	0,674336	0,52	0,46	0,67	0,82	0,55	S	63,0	M	t _{mini} , Rg _i
38	46i	0,704	0,6521	0,50	0,48	0,68	0,82	0,56	S	64,0	M	t _{i15} , UR _{mi}
39	43i	0,808	0,695223	0,55	0,47	0,68	0,80	0,54	S	64,5	M	t _{i15} , Rg _i
40	27i	0,649	0,673508	0,54	0,43	0,65	0,81	0,53	S	67,5	S	AP, t _{i9} , t _{mi}
41	36i	0,941	0,699139	0,60	0,46	0,67	0,76	0,51	S	69,5	S	t _{i9} , t _{i15} , t _{i21}
42	34i	0,749	0,577805	0,50	0,44	0,65	0,81	0,53	S	77,0	R	IAF, t _{i21} , t _{mi}
43	37i	0,708	0,542141	0,51	0,41	0,63	0,79	0,50	Ma	81,0	R	IAF, t _{mi}
44	33i	0,785	0,603592	0,56	0,38	0,61	0,78	0,47	Ma	84,0	R	AP, t _{i21} , t _{mi}
45	35i	0,742	0,576939	0,57	0,35	0,58	0,78	0,45	Ma	87,5	P	AP, t _{mi}
46	44i	1,061	0,581545	0,60	0,38	0,61	0,74	0,45	Ma	89,5	P	t _{i15} , t _{mi}
47	49i	1,076	0,59093	0,62	0,37	0,60	0,73	0,44	Ma	92,5	P	t _{i15}
48	45i	1,120	0,574417	0,62	0,37	0,60	0,72	0,43	Ma	96,5	P	t _{i21} , t _{mi}
49	47i	1,082	0,536317	0,61	0,33	0,57	0,73	0,41	Ma	98,5	P	t _{mi}

Obs - O índice "i" significa que os modelos foram obtidos com variáveis medidas no interior da estufa plástica. Mod é o número do modelo; RMSE = raiz quadrada do quadrado médio do erro; R² = coeficiente de determinação da reta 1:1; r, d e c = coeficiente de correlação, exatidão e de confiança, respectivamente; ΣPO = somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação; D' = Desempenho do modelo segundo o índice de confiança (c); D'' = Desempenho do modelo segundo o ΣPO.

Na Tabela 27 são apresentados os 50 modelos selecionados que utilizaram a raiz da altura de plantas como divisor da variável dependente (ETm/AP^{0,5}). Os valores de R² também são menores se comparados com os modelos que não utilizaram a raiz da variável fenométrica (IAF, NF, AP) (Tabela 21) e são maiores do que aqueles modelos que utilizaram a raiz do IAF como divisor (Tabela 23). Os modelos que apresentaram o coeficiente de determinação (R²) maior na sua geração foram os que utilizaram uma variável fenométrica independente (IAF e ou NF).

O déficit de saturação do ar, tanto valores médios ou mesmo pontuais, e a radiação solar global (Rg_i), novamente foram as variáveis utilizadas em um grande número de modelos melhores classificados (Tabela 27), principalmente os 7 primeiros (R²>0,81). A Rg_i utilizada em um grande número de modelos vem associada a outras variáveis meteorológicas, com exceção dos modelos 29i e 30i. No entanto, o R² obtido é bastante variável (0,65 a 0,82), dependendo das demais variáveis incluídas no modelo. Novamente se constata que dos 20 modelos que utilizam a Rg_i, em geral, o déficit de saturação do ar (d) deixa de ser incluído, exceto nos modelos 30i, 4i, 6i, 14i, 37i e 45i que utilizam d_i e ou d_{i15}.

A temperatura e a umidade relativa do ar, tanto na forma de valores médios quanto pontuais, e temperaturas diárias máximas e mínimas, foram utilizadas em 33 modelos (Tabela 27), sendo que em 12 deles essas variáveis estiveram associadas à R_{g_i} (12i, 13i, 18i, 19i, 21i, 23i, 25i, 26i, 28i, 31i, 36i e 41i).

TABELA 27. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada da altura de plantas ($AP^{0,5}$) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i). Santa Maria, RS, 2005.

Mod	Modelo de regressão	R ²
1i	$ETm = AP^{0,5}(-0,00411+0,04841IAF+0,00768d_{i9}+0,01434d_i)$	0,83
2i	$ETm = AP^{0,5}(-0,00316+0,04839IAF+0,01229d_{i9}+0,00312d_{i15}+0,00392d_{i21})$	0,83
3i	$ETm = AP^{0,5}(-0,01692+0,04511IAF+0,01687d_i+0,00305R_{g_i})$	0,83
4i	$ETm = AP^{0,5}(-0,01969+0,05179IAF+0,00428d_{i15}+0,00466R_{g_i})$	0,81
5i	$ETm = AP^{0,5}(-0,00635+0,04758IAF+0,02208d_i)$	0,81
6i	$ETm = AP^{0,5}(-0,08139+0,00923NF+0,01535d_i+0,00342R_{g_i})$	0,81
7i	$ETm = AP^{0,5}(-0,06912+0,00958NF+0,01223d_{i9}+0,00282d_{i15}+0,00505d_{i21})$	0,81
8i	$ETm = AP^{0,5}(1,00679+0,05742IAF-0,00473UR_{i9}-0,00624UR_{mi})$	0,80
9i	$ETm = AP^{0,5}(-0,06953+0,00967NF+0,00596d_{i9}+0,01541d_i)$	0,80
10i	$ETm = AP^{0,5}(0,84645+0,05966IAF+0,00373UR_{i21}-0,01309UR_{mi})$	0,80
11i	$ETm = AP^{0,5}(-0,07258+0,00973NF+0,01222d_i)$	0,79
12i	$ETm = AP^{0,5}(-0,11629+0,04473IAF+0,00568t_{i15}+0,00531R_{g_i})$	0,79
13i	$ETm = AP^{0,5}(-0,13607+0,03455IAF+0,00836t_{mi}+0,00676R_{g_i})$	0,79
14i	$ETm = AP^{0,5}(-0,09259+0,01050NF+0,00349d_{i15}+0,00519R_{g_i})$	0,79
15i	$ETm = AP^{0,5}(-0,11902+0,04588IAF+0,01282t_{i9}-0,01039t_{mi}+0,00372t_{maxi})$	0,79
16i	$ETm = AP^{0,5}(0,83515+0,01188NF-0,00561UR_{i9}-0,00440UR_{mi})$	0,79
17i	$ETm = AP^{0,5}(1,04788+0,06140IAF-0,01141UR_{mi})$	0,79
18i	$ETm = AP^{0,5}(-0,18406+0,00720NF+0,00814t_{mi}+0,00668R_{g_i})$	0,79
19i	$ETm = AP^{0,5}(-0,17696+0,00942NF+0,00530t_{i15}+0,00529R_{g_i})$	0,79
20i	$ETm = AP^{0,5}(-0,13984+0,04091IAF+0,01233t_{i9}+0,00605t_{i15}-0,00913t_{i21})$	0,78
21i	$ETm = AP^{0,5}(0,21789+0,05868IAF-0,00270UR_{i15}+0,00376R_{g_i})$	0,78
22i	$ETm = AP^{0,5}(-0,19584+0,00850NF+0,01259t_{i9}+0,00551t_{i15}-0,00902t_{i21})$	0,78
23i	$ETm = AP^{0,5}(0,50539+0,01172NF-0,00648UR_{mi}+0,00366R_{g_i})$	0,78
24i	$ETm = AP^{0,5}(0,70284+0,01233NF+0,00341UR_{i21}-0,01211UR_{mi})$	0,77
25i	$ETm = AP^{0,5}(0,08469+0,01211NF-0,00217UR_{i15}+0,00430R_{g_i})$	0,77
26i	$ETm = AP^{0,5}(-0,07413+0,04181IAF+0,00491t_{mi}+0,00858R_{g_i})$	0,77
27i	$ETm = AP^{0,5}(0,87814+0,01274NF-0,01052UR_{mi})$	0,77
28i	$ETm = AP^{0,5}(-0,13295+0,00904NF+0,00438t_{mi}+0,00830R_{g_i})$	0,76
29i	$ETm = AP^{0,5}(-0,01716+0,05427IAF+0,00801R_{g_i})$	0,76
30i	$ETm = AP^{0,5}(-0,10084+0,01155NF+0,00766R_{g_i})$	0,76
31i	$ETm = AP^{0,5}(-0,20041+0,01426t_{mi}+0,00753R_{g_i})$	0,75
32i	$ETm = AP^{0,5}(-0,08457+0,01261NF+0,00573d_{i15})$	0,75
33i	$ETm = AP^{0,5}(-0,13454+0,06112IAF-0,00587t_{mi}+0,01044t_{maxi})$	0,74
34i	$ETm = AP^{0,5}(-0,21545+0,01331NF-0,00631t_{mi}+0,00984t_{maxi})$	0,74
35i	$ETm = AP^{0,5}(-0,19275+0,01842t_{i9}+0,00504t_{i15}-0,00744t_{i21})$	0,72
36i	$ETm = AP^{0,5}(-0,13816+0,01231t_{mi}+0,01128R_{g_i})$	0,71
37i	$ETm = AP^{0,5}(0,02298+0,02293d_i+0,00460R_{g_i})$	0,71
38i	$ETm = AP^{0,5}(-0,16546+0,04366IAF-0,01203t_{i21}+0,02422t_{mi})$	0,70
39i	$ETm = AP^{0,5}(-0,22444+0,00936NF-0,01109t_{i21}+0,02274t_{mi})$	0,70
40i	$ETm = AP^{0,5}(0,04620+0,01823d_{i9}+0,00383d_{i15}+0,00828d_{i21})$	0,69
41i	$ETm = AP^{0,5}(-0,14215+0,00927t_{i15}+0,00669R_{g_i})$	0,69
42i	$ETm = AP^{0,5}(-0,16216+0,04443IAF+0,01314t_{mi})$	0,68
43i	$ETm = AP^{0,5}(-0,22161+0,00975NF+0,01228t_{mi})$	0,68
44i	$ETm = AP^{0,5}(0,04279+0,03155d_i)$	0,68
45i	$ETm = AP^{0,5}(0,02894+0,00488d_{i15}+0,00830R_{g_i})$	0,65

Mod	Modelo de regressão	R ²
46i	$ETm = AP^{0,5}(0,50638+0,01062t_{i15}-0,00698UR_{mi})$	0,64
47i	$ETm = AP^{0,5}(-0,25508+0,00787t_{i15}+0,01161t_{mi})$	0,64
48i	$ETm = AP^{0,5}(-0,25349-0,01269t_{i21}+0,03323t_{mi})$	0,63
49i	$ETm = AP^{0,5}(-0,25164+0,02170t_{mi})$	0,61
50i	$ETm = AP^{0,5}(-0,20493+0,01496t_{i15})$	0,61

*Todos os coeficientes angulares são significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro. Mod é o número do modelo. O R² é o coeficiente de determinação na geração do modelo. O índice "i" significa que os modelos foram obtidos com variáveis medidas no interior da estufa plástica.

As estatísticas de avaliação e o desempenho dos modelos de estimativa da ETm do tomateiro (Tabela 27), obtidas com base no banco de dados do ano seguinte (primavera de 2006), são apresentadas na Tabela 28.

Considerando o ΣPO , dos 50 modelos apresentados na Tabela 27, 17 modelos foram considerados Ótimos, 8 foram considerados Muito Bons, 13 Bons, 1 com desempenho Mediano, 3 com desempenho Sofrível, 2 Ruim e 6 obtiveram desempenho Péssimo (Tabela 28). Dos 17 melhores modelos, classificados como Ótimos com base no ΣPO , todos os modelos foram classificados como Bons, com exceção dos modelos 6i, 45i, 15i, 11i, 9i e 29i que obtiveram desempenho Mediano, utilizando o índice de confiança (Camargo; Sentelhas, 1997). Dos 8 modelos considerados muito Bons pelo ΣPO apenas o modelo 40i obteve o desempenho Bom, os modelos 13i, 46i, 12i, 26i e 33i obtiveram desempenho Mediano e os modelos 14i e 23i apresentaram desempenho Sofrível, considerando o índice c. O restante dos modelos obtiveram desempenho Sofrível e Mau, segundo o índice c.

Com relação as variáveis usadas nos melhores modelos (com desempenho Bom, considerando o índice c), se observa novamente que o déficit de saturação do ar é a variável meteorológica mais utilizada, seguida da radiação solar, com exceção dos modelos 10i, 17i e 8i que utilizam somente a umidade relativa do ar (UR_{i9} , UR_{i21} e UR_{mi}). Esses resultados reforçam a premissa teórica de que a transpiração é mais dependente dessas duas variáveis meteorológicas do que de qualquer outra, o que já foi verificado anteriormente.

Outro resultado verificado é que o IAF como variável fenométrica independente está presente em todos os modelos com desempenho Bom, com exceção dos modelos 37i, 44i e 40i que não utilizam nenhuma variável fenométrica independente, somente a AP como variável dependente.

Novamente se verifica que a estabilidade dos modelos está mais bem associada à relação da ETm com a raiz quadrada do índice de área foliar ($IAF^{0,5}$) do que com a relação da ETm com a raiz quadrada da altura de plantas ($AP^{0,5}$), embora a utilização da relação $ETm/IAF^{0,5}$ como variável dependente tenha resultado em modelos com menor coeficiente de determinação na sua geração (Tabela 24).

Considerando os resultados apresentados na Tabela 28 pode-se inferir que os modelos que obtiveram desempenho Bom, considerando o índice c, são adequados e suficientemente precisos para estimar a ETm do tomateiro. Uma segunda opção de modelos a serem usados são aqueles que obtiveram desempenho Mediano. No entanto, se alerta que a estimativa da ETm do tomateiro poderá ocorrer com menor precisão. Novamente se ressalta que a escolha do modelo dependerá então dos dados fenométricos e meteorológicos disponíveis. Nesse sentido, considerando a praticidade na obtenção dos dados e o valor do coeficiente de confiança obtido, os modelos 44i, 40i, 11i e 46i podem ser considerados para a estimativa da ETm do tomateiro pela sua maior praticidade em relação aos outros modelos apresentados na Tabela 27.

TABELA 28. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada da altura de plantas ($AP^{0,5}$) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu interior (i), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006.

Or em	Mod	Coeficientes da equação da reta		RMSE	R ²	r	d	c	D'	ΣPO	D''	Variáveis
		Linear (a)	Angular (b)									
1	3i	0,202	0,82394	0,42	0,64	0,79	0,89	0,70	B	15,0	O	IAF, d _i , Rg _i
2	37i	0,257	0,899579	0,45	0,63	0,78	0,88	0,69	B	17,5	O	d _i , Rg _i
3	5i	0,205	0,796466	0,43	0,63	0,78	0,88	0,69	B	20,5	O	IAF, d _i
4	10i	-0,030	0,768603	0,48	0,68	0,81	0,84	0,68	B	21,0	O	IAF, UR _{i21} , UR _{mi}
5	44i	0,267	0,863987	0,46	0,60	0,77	0,88	0,67	B	22,0	O	d _i
6	1i	0,241	0,783887	0,42	0,63	0,78	0,88	0,69	B	24,0	O	IAF, d _{i9} , d _i
7	4i	0,308	0,787218	0,42	0,61	0,77	0,88	0,68	B	27,5	O	IAF, d _{i15} , Rg _i
8	17i	0,014	0,732942	0,48	0,69	0,82	0,83	0,68	B	27,5	O	IAF, UR _{mi}
9	8i	0,066	0,725031	0,47	0,69	0,82	0,84	0,69	B	28,5	O	IAF, UR _{i9} , UR _{mi}
10	6i	0,116	0,78569	0,49	0,57	0,75	0,85	0,64	M	30,0	O	NF, d _i , Rg _i
11	45i	0,435	0,855945	0,48	0,59	0,76	0,86	0,65	M	33,5	O	d _{i15} , Rg _i
12	2i	0,316	0,73016	0,41	0,62	0,78	0,88	0,69	B	35,5	O	IAF, d _{i9} , d _{i15} , d _{i21}
13	15i	0,476	0,826336	0,48	0,59	0,76	0,86	0,65	M	36,0	O	IAF, t _{i9} , t _{mini} , t _{maxi}
14	21i	0,306	0,718301	0,42	0,62	0,78	0,87	0,68	B	37,5	O	IAF, UR _{i15} , Rg _i
15	11i	0,116	0,753362	0,51	0,56	0,74	0,83	0,61	M	39,5	O	NF, d _i
16	9i	0,145	0,745201	0,50	0,56	0,74	0,84	0,62	M	40,0	O	NF, d _{i9} , d _i
17	29i	0,347	0,75803	0,45	0,57	0,74	0,87	0,65	M	40,0	O	IAF, Rg _i

Or em	Mod	Coeficientes da equação da reta		RMSE	R ²	r	d	c	D'	ΣPO	D''	Variáveis
		Linear (a)	Angular (b)									
18	40i	0,418	0,748487	0,43	0,59	0,76	0,87	0,66	B	40,5	MB	d _{i9} , d _{i15} , d _{i21}
19	13i	0,466	0,795043	0,48	0,56	0,74	0,86	0,64	M	41,0	MB	IAF, t _{mi} , Rg _i
20	46i	0,508	0,806371	0,49	0,56	0,74	0,85	0,63	M	42,0	MB	t _{i15} , UR _{mi}
21	12i	0,446	0,791462	0,48	0,55	0,73	0,86	0,63	M	42,5	MB	IAF, t _{i15} , Rg _i
22	26i	0,421	0,764855	0,47	0,54	0,73	0,86	0,63	M	45,0	MB	IAF, t _{mini} , Rg _i
23	14i	0,202	0,744974	0,50	0,53	0,72	0,84	0,60	S	45,5	MB	NF, d _{i15} , Rg _i
24	33i	0,520	0,749781	0,46	0,56	0,74	0,86	0,64	M	48,5	MB	IAF, t _{mini} , t _{maxi}
25	23i	0,037	0,7204	0,54	0,57	0,75	0,80	0,59	S	49,5	MB	NF, UR _{mi} , Rg _i
26	18i	0,383	0,768202	0,50	0,51	0,71	0,84	0,60	S	50,5	B	NF, t _{mi} , Rg _i
27	7i	0,217	0,684276	0,50	0,56	0,74	0,82	0,60	S	51,5	B	NF, d _{i9} , d _{i15} , d _{i21}
28	20i	0,598	0,800958	0,53	0,53	0,72	0,83	0,60	S	51,5	B	IAF, t _{i9} , t _{i15} , t _{i21}
29	31i	0,603	0,847212	0,57	0,54	0,72	0,81	0,59	S	52,5	B	t _{mi} , Rg _i
30	41i	0,609	0,860798	0,59	0,53	0,72	0,81	0,58	S	54,0	B	t _{i15} , Rg _i
31	19i	0,334	0,754117	0,52	0,49	0,69	0,83	0,58	S	54,5	B	NF, t _{i15} , Rg _i
32	24i	-0,118	0,710826	0,62	0,59	0,76	0,73	0,56	S	54,5	B	NF, UR _{i21} , UR _{mi}
33	36i	0,591	0,803972	0,56	0,49	0,69	0,81	0,57	S	57,0	B	t _{mini} , Rg _i
34	16i	-0,018	0,669365	0,60	0,59	0,76	0,74	0,56	S	58,5	B	NF, UR _{i9} , UR _{mi}
35	28i	0,311	0,730205	0,52	0,48	0,69	0,83	0,57	S	58,5	B	NF, t _{mini} , Rg _i
36	22i	0,499	0,769071	0,54	0,48	0,68	0,83	0,56	S	59,5	B	NF, t _{i9} , t _{i15} , t _{i21}
37	27i	-0,084	0,675735	0,63	0,59	0,76	0,71	0,54	S	59,5	B	NF, UR _{mi}
38	30i	0,215	0,713778	0,54	0,48	0,69	0,81	0,56	S	60,0	B	NF, Rg _i
39	25i	0,177	0,680503	0,54	0,52	0,71	0,80	0,57	S	61,0	M	NF, UR _{i15} , Rg _i
40	34i	0,346	0,698969	0,53	0,46	0,67	0,82	0,55	S	67,5	S	NF, t _{mini} , t _{maxi}
41	35i	0,766	0,858261	0,67	0,51	0,71	0,75	0,53	S	68,5	S	t _{i9} , t _{i15} , t _{i21}
42	32i	0,270	0,645182	0,54	0,49	0,69	0,79	0,55	S	71,0	S	NF, d _{i15}
43	38i	0,735	0,678413	0,54	0,45	0,66	0,81	0,53	S	81,5	R	IAF, t _{i21} , t _{mi}
44	50i	0,865	0,760943	0,66	0,44	0,66	0,75	0,49	Ma	83,0	R	t _{i15}
45	47i	0,891	0,736796	0,65	0,44	0,65	0,74	0,48	Ma	88,5	P	t _{i15} , t _{mi}
46	42i	0,727	0,626232	0,54	0,41	0,63	0,80	0,51	S	91,0	P	IAF, t _{mi}
47	39i	0,617	0,641028	0,56	0,39	0,61	0,79	0,49	Ma	92,5	P	NF, t _{i21} , t _{mi}
48	48i	0,953	0,723857	0,67	0,42	0,64	0,73	0,46	Ma	95,0	P	t _{i21} , t _{mi}
49	43i	0,599	0,590175	0,58	0,35	0,58	0,77	0,45	Ma	96,5	P	NF, t _{mi}
50	49i	0,948	0,669686	0,65	0,38	0,61	0,74	0,45	Ma	101,0	P	t _{mi}

Obs - O índice "i" significa que os modelos foram obtidos com variáveis medidas no interior da estufa plástica. Mod é o número do modelo; RMSE = raiz quadrada do quadrado médio do erro; R² = coeficiente de determinação da regressão entre valores estimados e observados; r, d e c = coeficiente de correlação, exatidão e de confiança, respectivamente; ΣPO = somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação; D' = Desempenho do modelo segundo o índice de confiança (c); D'' = Desempenho do modelo segundo o ΣPO.

4.2.4 Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima do tomateiro utilizando variáveis meteorológicas medidas no exterior da estufa

Os modelos de regressão para a estimativa da ET_m do tomateiro cultivado em estufa plástica, em que se utilizam variáveis meteorológicas medidas em seu exterior, da mesma forma que para o pimentão, apresentaram valores elevados de coeficientes de determinação na sua geração (Tabela 29). Os modelos 1e e 3e, que utilizam o déficit de saturação do ar médio medido no exterior da estufa e ou R_{g_e} juntamente com IAF, e o modelo 2e, que utiliza a R_{g_e} e a ETo, apresentaram valores de R² de 0,89. Nos modelos 4e a 7e os valores médios diários de UR ou temperatura propiciaram a obtenção de R² de 0,89 e 0,87, superando os modelos que incluem isoladamente as variáveis meteorológicas R_{n_e} ou R_{g_e}. Na seqüência, a utilização da evapotranspiração de referência (ETo), associada a outra variável meteorológica que represente o aporte energético (n, R_{g_e} e R_{n_e}) compõem os modelos selecionados (2e, 8e, 9e, 10e, 14e e 15e). Trabalhos anteriores realizados em Santa Maria já verificaram esse Bom ajuste da ETo com a ET_m das culturas (DALSSASSO, 1997; VALANDRO, 1999; DALMAGO, 2001; HELDWEIN et al., 2004), em modelos lineares como substituição ao uso do coeficiente de cultura. Isso provavelmente se deve ao fato de que a evapotranspiração de referência integraliza o efeito das quatro principais variáveis meteorológicas que afetam a ET_m.

Verifica-se que foram obtidos 28 modelos com uma variável que representa o aporte energético (R_{g_e}, R_{n_e} ou n), mostrando novamente a grande associação dessa variável com a evapotranspiração das culturas. No entanto, se observa que essa variável está associada a outra variável meteorológica, com exceção dos modelos 31e, 39e, 45e, 47e, 49e e 51e. Os modelos que utilizam a umidade relativa do ar (4e, 5e, 7e, 11e, 13e, 19e, 22e, 24e, 30e, 32e, 38e e 42e) e temperatura do ar (6e, 12e, 16e, 20e, 25e, 26e, 27e, 28e, 29e, 33e, 34e, 35e, 36e, 37e, 40e e 41e) também resultaram na obtenção de modelos com valores elevados de coeficientes de determinação (R²>0,80)

TABELA 29. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e). Santa Maria, RS, 2005.

Mod	Modelo de regressão	R ²
1e	$ETm = -0,75243 + 0,56154IAF + 0,21331d_e + 0,05577Rg_e$	0,89
2e	$ETm = -1,38786 + 0,08688NF - 0,07947Rg_e + 1,25238ETo$	0,89
3e	$ETm = -0,56936 + 0,61652IAF + 0,24374d_e$	0,89
4e	$ETm = 4,33796 + 0,02053AP - 0,05503UR_{me}$	0,89
5e	$ETm = 3,43241 + 0,18181NF - 0,05898UR_{me}$	0,88
6e	$ETm = -1,51733 + 0,02057AP + 0,09495t_{me}$	0,87
7e	$ETm = 4,88527 + 0,01996AP - 0,02419UR_{e9} - 0,03596UR_{me}$	0,87
8e	$ETm = -0,61677 + 0,50860IAF - 0,28328Rn_e + 1,60076ETo$	0,87
9e	$ETm = -0,80593 + 0,40326IAF - 0,08875Rg_e + 1,34168ETo$	0,86
10e	$ETm = -1,16203 + 0,33154IAF - 0,10175n + 1,25811ETo$	0,86
11e	$ETm = 4,01520 + 0,17656NF - 0,02455UR_{e9} - 0,03951UR_{me}$	0,86
12e	$ETm = -2,86680 + 0,17455NF + 0,10993t_{me}$	0,86
13e	$ETm = 3,59965 + 0,02126AP + 0,03949UR_{e21} - 0,08816UR_{me}$	0,85
14e	$ETm = -1,402365 + 0,11146NF - 0,24149Rg_e + 1,42637ETo$	0,85
15e	$ETm = -1,58419 + 0,06587NF - 0,10306n + 1,24728ETo$	0,85
16e	$ETm = -1,65352 + 0,01925AP + 0,14806t_{e15} - 0,07770t_{me}$	0,85
17e	$ETm = -0,94791 + 0,01360AP + 0,70425ETo$	0,85
18e	$ETm = -0,99632 + 0,49704IAF + 0,82481ETo$	0,85
19e	$ETm = 2,54571 + 0,18996NF + 0,04353UR_{e21} - 0,09541UR_{me}$	0,84
20e	$ETm = -2,84918 + 0,17127NF + 0,12358t_{e9} - 0,15357t_{mine} + 0,08046t_{máxe}$	0,84
21e	$ETm = -1,14573 + 0,1134NF + 0,75191ETo$	0,84
22e	$ETm = 6,05364 + 0,78882IAF - 0,02165UR_{e9} - 0,05070UR_{me}$	0,84
23e	$ETm = -1,53706 + 0,13712NF + 0,22115d_e$	0,84
24e	$ETm = 3,71002 + 0,69605IAF - 0,05048UR_{me} + 0,09342Rg_e$	0,84
25e	$ETm = -1,52764 + 0,01964AP + 0,12239t_{e9} - 0,14928t_{mine} + 0,06993t_{máxe}$	0,84
26e	$ETm = -3,14419 + 0,18096NF - 0,09590t_{mine} + 0,144267t_{máxe}$	0,84
27e	$ETm = -1,95010 + 0,01451AP + 0,08465t_{me} + 0,07765Rg_e$	0,84
28e	$ETm = -1,54444 + 0,01624AP + 0,05261t_{mine} + 0,09639Rg_e$	0,84
29e	$ETm = -2,89525 + 0,13816NF + 0,08112t_{e15} + 0,05191Rg_e$	0,83
30e	$ETm = 5,56354 + 0,81533IAF - 0,06784UR_{me}$	0,83
31e	$ETm = -0,97656 + 0,02034AP + 0,08154Rg_e$	0,83
32e	$ETm = -0,27416 + 0,17946NF - 0,02308UR_{e15} + 0,08603Rn_e$	0,83
33e	$ETm = -2,90479 + 0,12050NF + 0,09400t_{me} + 0,08228Rg_e$	0,83
34e	$ETm = -2,21304 + 0,49602IAF + 0,10614t_{mine} + 0,09194Rg_e$	0,82
35e	$ETm = -1,84101 + 0,01616AP + 0,07424t_{e15} + 0,04965Rg_e$	0,82
36e	$ETm = -2,92322 + 0,16585NF + 0,15698t_{e15} - 0,07686t_{me}$	0,82
37e	$ETm = -1,98256 + 0,57879IAF + 0,08545t_{e15} + 0,06420Rg_e$	0,82
38e	$ETm = 0,81433 + 0,02024AP - 0,02096UR_{e15} + 0,08269Rn_e$	0,82
39e	$ETm = -1,09171 + 0,01695AP + 0,19509Rn_e$	0,81
40e	$ETm = -1,85269 + 0,69752IAF + 0,12514t_{e9} - 0,14515t_{mine} + 0,09647t_{máxe}$	0,81
41e	$ETm = -2,59894 + 0,13333NF + 0,06355t_{mine} + 0,10529Rg_e$	0,81
42e	$ETm = 0,20482 + 0,67135IAF - 0,01527UR_{e15} + 0,17667Rg_e$	0,81
43e	$ETm = 1,32366 + 0,38899IAF - 0,16593Rg_e + 0,60979Rn_e$	0,80
44e	$ETm = -1,88061 + 0,53213IAF + 0,08211t_{mine} + 0,12094Rg_e$	0,80
45e	$ETm = -2,11377 + 0,14310NF + 0,21284Rn_e$	0,80
46e	$ETm = -2,08459 + 0,74642IAF - 0,08690t_{mine} + 0,16126t_{máxe}$	0,80
47e	$ETm = -2,22536 + 0,17739NF + 0,08865Rg_e$	0,80
48e	$ETm = 0,58735 + 0,081144IAF - 0,01780UR_{e15} + 0,06587Rg_e$	0,79
49e	$ETm = -0,99586 + 0,76592IAF + 0,10618Rg_e$	0,78
50e	$ETm = -1,74761 + 0,02071AP - 0,09186t_{mine} + 0,13264t_{máxe}$	0,77
51e	$ETm = -1,09098 + 0,38109Rn_e$	0,76
52e	$ETm = 0,0816 + 0,34426d_e$	0,76
53e	$ETm = -1,86774 + 0,69992IAF + 0,14131t_{me}$	0,72
54e	$ETm = -0,58457 + 0,01570AP + 0,20992d_e$	0,70

*Todos os coeficientes angulares são significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro. Mod é o número do modelo. O R^2 é o coeficiente de determinação na geração do modelo. O índice "i" significa que os modelos foram obtidos com variáveis medidas no interior da estufa plástica.

Os melhores modelos são aqueles que apresentam as menores somas dos valores das posições ordinais (ΣPO) (Tabela 30). Os modelos 14e e 43e apresentaram grandes desvios entre valores observados e estimados, não sendo realizados os respectivos somatórios (ΣPO) e determinação do índice c, o que recomenda sua eliminação.

Dos 54 modelos apresentados na Tabela 29, considerando o ΣPO nas suas avaliações (Tabela 30), 15 modelos obtiveram desempenho Ótimo, 15 Muito Bom, 9 Bom, 2 Mediano, 7 Sofrível, 2 Ruim e 2 obtiveram desempenho Péssimo.

Dos modelos que obtiveram o desempenho Ótimo, considerando o ΣPO , apenas os modelos 22e, 30e e 49e obtiveram desempenho Bom segundo o índice c. Esses modelos têm em comum a utilização o IAF como variável fenométrica. Com relação às variáveis meteorológicas são usadas a umidade relativa do ar (UR_{e9} e UR_{me} ; UR_{me}) e a radiação solar (Rg_e), respectivamente.

Os modelos 3e, 23e, 13e, 8e, 18e, 33e, 29e, 34e, 40e, 41e, 37e e 46e obtiveram desempenho Mediano, considerando o índice c. O IAF foi a variável fenométrica utilizada em 7 modelos (3e, 8e, 18e, 34e, 40e, 37e e 46e), o número de folhas foi utilizado em 4 (23e, 33e, 29e e 41e) e a altura de plantas em apenas um modelo (13e). Analisando as variáveis meteorológicas, a maioria dos modelos classificados como Medianos utilizam o déficit de saturação do ar, ou uma variável que represente o aporte energético (Rg_e e Rn_e) e ou a evapotranspiração de referência (ET_o), com exceção dos modelos 13e, que utiliza UR_e , e dos modelos 40e e 46e, que utilizam apenas a temperatura do ar (t_{e9} , t_{mine} , t_{maxe}).

Os demais modelos (Tabela 29) obtiveram desempenho Sofrível (7e, 11e, 54e, 19e, 32e, 5e, 2e, 4e, 45e, 1e, 38e, 9e, 20e, 25e, 47e, 26e, 15e, 10e, 17e, 36e, 31e, 44e, 50e, 39e, 35e, 27e, 28e, 16e e 53e), desempenho Mau (24e, 12e, 21e, 52e e 6e) e Péssimo (42e, 48e e 51e). Recomenda-se não utilizar esses modelos para a estimativa da ET_m do tomateiro na região de Santa Maria.

Surpreende o resultado de que a umidade relativa do ar medida no ambiente externo obteve melhores desempenhos nas avaliações do que o déficit de saturação do ar. Em resultados anteriores com a cultura do pimentão se verificou que o déficit

de saturação do ar mesmo medido no ambiente externo da estufa, obteve melhores resultados nas avaliações realizadas.

Considerando os resultados apresentados na Tabela 30 pode-se inferir que os modelos 22e, 30e e 49e são adequados e suficientemente precisos para estimar a ET_m do tomateiro, considerando que obtiveram Bom desempenho nos dois índices de avaliação (Σ PO e índice c). Na falta de algum dado meteorológico dos três modelos, se recomenda o uso dos modelos que obtiveram o desempenho Mediano, considerando o índice c (3e, 23e, 13e, 8e, 18e, 33e, 29e, 34e, 40e 41e, 37e e 46e). Além disso, se verifica que a temperatura do ar é uma variável utilizada nos modelos juntamente com a radiação solar (R_{g_e}), enquanto que a umidade relativa do ar é variável meteorológica usada isolada nos modelos. A escolha do modelo dependerá, portanto, dos dados fenométricos e meteorológicos disponíveis. Nesse sentido, considerando a praticidade na obtenção dos dados e o valor do coeficiente de confiança obtido, os modelos 22e, 13e, 40e e 46e podem ser eleitos para a estimativa da ET_m do tomateiro, pois utilizam apenas a umidade relativa do ar (UR_{e9} , UR_{e21} e UR_{me}) e ou temperatura do ar (t_{e9} , t_{mine} , t_{maxe}), sendo necessário para isso apenas um termômetro comum, um termômetro de máxima e um de mínima.

TABELA 30. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ET_m) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006.

Ordem	Mod	Coeficientes da equação da reta		RMSE	R ²	r	d	c	D'	Σ PO	D''	Variáveis
		Linear (a)	Angular (b)									
1	22e	0,231	0,938403	0,49	0,61	0,77	0,87	0,67	B	17,0	O	IAF, UR_{e9} , UR_{me}
2	3e	0,351	0,971133	0,55	0,60	0,77	0,84	0,65	M	20,0	O	IAF, d_e
3	30e	0,298	0,885957	0,47	0,60	0,77	0,87	0,67	B	21,5	O	IAF, UR_{me}
4	23e	0,055	0,942806	0,56	0,54	0,73	0,84	0,61	M	26,0	O	NF, d_e
5	13e	0,370	0,947397	0,58	0,55	0,73	0,83	0,61	M	30,5	O	AP, UR_{e21} , UR_{me}
6	7e	0,378	0,957263	0,60	0,55	0,73	0,82	0,60	S	32,0	O	AP, UR_{e9} , UR_{me}
7	11e	-0,193	0,929437	0,61	0,52	0,72	0,81	0,58	S	33,0	O	NF, UR_{e9} , UR_{me}
8	8e	0,572	0,974262	0,63	0,62	0,77	0,79	0,61	M	33,5	O	IAF, Rn_e , ET _o
9	54e	0,497	0,960655	0,63	0,56	0,74	0,80	0,59	S	36,0	O	AP, d_e
10	19e	-0,258	0,922963	0,63	0,52	0,71	0,80	0,57	S	36,5	O	NF, UR_{e21} , UR_{me}
11	32e	-0,020	0,84376	0,56	0,52	0,71	0,82	0,59	S	37,0	O	NF, UR_{e15} , Rn_e
12	49e	0,555	0,802027	0,47	0,60	0,76	0,86	0,66	B	37,0	O	IAF, R_{g_e}
13	5e	-0,123	0,868292	0,60	0,51	0,71	0,81	0,57	S	39,0	O	NF, UR_{me}
14	2e	0,531	0,932333	0,61	0,56	0,74	0,80	0,59	S	39,5	O	NF, R_{g_e} , ET _o

Ordem	Mod	Coeficientes da equação da reta		RMSE	R ²	r	d	c	D'	ΣPO	D''	Variáveis
		Linear (a)	Angular (b)									
15	18e	0,651	0,92723	0,61	0,62	0,78	0,79	0,62	M	40,0	O	IAF, ETo
16	4e	0,464	0,897481	0,57	0,54	0,72	0,82	0,60	S	40,5	MB	AP, UR _{me}
17	33e	0,556	0,847405	0,53	0,56	0,74	0,83	0,62	M	40,5	MB	NF, t _{me} , Rg _e
18	29e	0,423	0,795521	0,48	0,55	0,73	0,86	0,63	M	41,0	MB	NF, t _{e15} , Rg _e
19	34e	0,547	0,69983	0,43	0,57	0,75	0,87	0,65	M	43,5	MB	IAF, t _{mine} , Rg _e
20									M			IAF, t _{e9} , t _{mine}
	40e	0,600	0,777393	0,47	0,59	0,76	0,86	0,65		43,5	MB	t _{maxe}
21	45e	0,323	0,803805	0,52	0,51	0,71	0,84	0,59	S	43,5	MB	NF, Rn _e
22	1e	0,650	1,082877	0,80	0,62	0,78	0,70	0,55	S	44,0	MB	IAF, d _e , Rg _e
23	38e	0,558	0,872542	0,57	0,54	0,73	0,82	0,59	S	44,5	MB	AP, UR _{e15} , Rn _e
24	41e	0,457	0,80132	0,50	0,53	0,72	0,85	0,61	M	45,0	MB	NF, t _{mine} , Rg _e
25	9e	0,712	0,95422	0,68	0,60	0,77	0,75	0,58	S	46,0	MB	IAF, Rg _e , ETo
26									S			NF, t _{e9} , t _{mine}
	20e	0,050	0,800123	0,56	0,51	0,71	0,82	0,57		46,0	MB	t _{maxe}
27	37e	0,801	0,803044	0,53	0,63	0,78	0,81	0,64	M	48,0	MB	IAF, t _{e15} , Rg _e
28	46e	0,677	0,744013	0,47	0,59	0,76	0,85	0,64	M	48,0	MB	IAF, t _{mine} , t _{maxe}
29									S			AP, t _{e9} , t _{mine}
	25e	0,577	0,833159	0,56	0,53	0,72	0,82	0,59		48,5	MB	t _{maxe}
30	47e	0,097	0,791088	0,56	0,50	0,70	0,82	0,57	S	49,0	MB	NF, Rg _e
31	26e	0,106	0,766816	0,56	0,50	0,70	0,81	0,56	S	51,5	B	NF, t _{mine} , t _{maxe}
32	15e	0,694	0,92697	0,68	0,56	0,74	0,76	0,56	S	53,5	B	NF, n, ETo
33	10e	0,810	0,940764	0,72	0,59	0,76	0,72	0,55	S	54,5	B	IAF, n, ETo
34	17e	0,730	0,916955	0,67	0,57	0,74	0,76	0,56	S	54,5	B	AP, ETo
35	36e	0,298	0,707077	0,53	0,48	0,68	0,82	0,56	S	54,5	B	NF, t _{e15} , t _{me}
36	31e	0,646	0,826275	0,59	0,51	0,71	0,80	0,57	S	56,0	B	AP, Rg _e
37	44e	0,861	0,813245	0,59	0,60	0,77	0,78	0,60	S	57,0	B	IAF, t _{mine} , Rg _e
38	50e	0,664	0,801776	0,56	0,52	0,71	0,81	0,58	S	58,0	B	AP, t _{mine} , t _{maxe}
39	24e	0,821	1,075521	0,91	0,59	0,76	0,62	0,47	Ma	58,5	B	IAF, UR _{me} , Rg _e
40	39e	0,752	0,830827	0,62	0,52	0,71	0,78	0,55	S	62,0	M	AP, Rn _e
41	35e	0,836	0,822824	0,62	0,56	0,74	0,77	0,57	S	62,5	M	AP, t _{e15} , Rg _e
42	27e	0,900	0,867096	0,69	0,57	0,75	0,72	0,54	S	65,5	S	AP, t _{me} , Rg _e
43	28e	0,829	0,827997	0,64	0,53	0,72	0,76	0,55	S	66,0	S	AP, t _{mine} , Rg _e
44	12e	0,437	0,690851	0,57	0,40	0,63	0,80	0,50	Ma	67,5	S	NF, t _{me}
45	16e	0,792	0,742984	0,57	0,50	0,70	0,80	0,56	S	68,5	S	AP, t _{e15} , t _{me}
46	21e	0,987	0,900993	0,79	0,56	0,74	0,66	0,49	Ma	68,5	S	NF, ETo
47	42e	1,324	1,180518	1,39	0,54	0,72	0,23	0,17	P	71,0	S	IAF, UR _{e15} , Rg _e
48	52e	0,882	0,940552	0,87	0,45	0,67	0,63	0,42	Ma	73,5	S	d _e
49	48e	0,023	0,471036	0,81	0,41	0,63	0,40	0,25	P	78,0	R	IAF, UR _{e15} , Rg _e
50	53e	1,017	0,680485	0,59	0,50	0,70	0,76	0,53	S	81,0	R	IAF, t _{me}
51	6e	0,930	0,731633	0,67	0,42	0,64	0,73	0,47	Ma	87,5	P	AP, t _{me}
52	51e	1,259	0,806505	0,90	0,44	0,66	0,54	0,36	P	90,0	P	Rn _e
53	14e	-0,699	0,491486	1,33	0,23	0,47						NF, Rg _e , ETo
54	43e	3,569	0,822272	2,45	0,55	0,74						IAF, Rg _e , Rn _e

Obs - O índice "e" significa que os modelos foram obtidos com variáveis medidas no exterior da estufa plástica. Mod é o número do modelo; RMSE = raiz quadrada do quadrado médio do erro; R² = coeficiente de determinação da regressão entre valores estimados e observados; r, d e c = coeficiente de correlação, exatidão e de confiança; ΣPO = somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação; D' = Desempenho do modelo segundo o índice de confiança (c); D'' = Desempenho do modelo segundo o ΣPO.

Os modelos que utilizam a ETm dividida pela raiz do IAF ($ETm/IAF^{0,5}$), como variável dependente e as variáveis meteorológicas medidas no exterior da estufa como variáveis independentes (Tabela 31) apresentam um R^2 menor na sua geração se comparados com os modelos da Tabela 29, o que também foi verificado anteriormente para a cultura do pimentão.

O déficit de saturação do ar médio (d_e) está incluído como variável meteorológica nos 10 primeiros modelos apresentados na Tabela 31, com os maiores coeficientes de determinação ($R^2 > 0,76$). Em todos esses modelos o d_e vêm acompanhado da Rg_e e ou Rn_e , com exceção dos modelos 6e, 7e e 10e. Além disso, pode-se constatar que as variáveis meteorológicas que representam o aporte de energia (Rg_e , Rn_e e n) estão presentes em 28 (1e a 5e, 11e, 15e, 17e, 19e, 21e, 25e, 26e, 29e, 30e, 31e, 32e, 33e, 35e, 36e, 38e, 39e, 40e, 42e, 43e, 45e e 46e) dos 48 modelos. No entanto, as variáveis que representam o aporte de energia vêm associadas a outras variáveis meteorológicas, com exceção dos modelos 42e e 45e. Além disso, o R^2 obtido é bastante variável (0,64 a 0,80), dependendo das demais variáveis incluídas no modelo.

A temperatura e a umidade relativa do ar, tanto na forma de valores médios quanto pontuais, e as temperaturas diárias máximas e mínimas, foram utilizadas em 31 modelos (5e, 12e, 14e, 15e, 16e, 17e, 18e, 19e, 20e, 21e, 22e, 23e, 24e, 25e, 26e, 27e, 28e, 29e, 30e, 31e, 32e, 33e, 34e, 35e, 36e, 37e, 41e, 44e, 46e, 47e e 48e), sendo que em 16 deles essas variáveis estiveram associadas à Rg_e , Rn_e ou n (5e, 15e, 17e, 19e, 20e, 21e, 25e, 26e, 29e, 30e, 31e, 32e, 33e, 35e, 36e e 46e).

Com relação à utilização das variáveis fenométricas (NF e AP) como variáveis independentes no modelo, se verifica que na maioria (30) dos modelos presentes na Tabela 31, uma dessas variáveis está presente.

TABELA 31. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do índice de área foliar ($IAF^{0,5}$) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e). Santa Maria, RS, 2005.

Mod	Modelo de regressão	R^2
1e	$ETm = IAF^{0,5}(0,12527+0,00357AP+0,11468d_e+0,01889Rg_e)$	0,80
2e	$ETm = IAF^{0,5}(0,10748+0,00292AP+0,11473d_e+0,04271Rn_e)$	0,80
3e	$ETm = IAF^{0,5}(-0,07715+0,02970NF+0,11798d_e+0,01935Rg_e)$	0,79
4e	$ETm = IAF^{0,5}(-0,05469+0,02333NF+0,11703d_e+0,04512Rn_e)$	0,79
5e	$ETm = IAF^{0,5}(-0,22153+0,06105Rn_e+0,02231t_{máxe}+0,09838d_e)$	0,79
6e	$ETm = IAF^{0,5}(0,24198+0,0410AP+0,13479d_e)$	0,79
7e	$ETm = IAF^{0,5}(0,00859+0,03450NF+0,13887d_e)$	0,79

Mod	Modelo de regressão	R ²
8e	ETm = IAF ^{0,5} (0,12123+0,12172d _e +0,06814Rn _e)	0,79
9e	ETm = IAF ^{0,5} (0,22517+0,1361d _e +0,02590Rg _e)	0,77
10e	ETm = IAF ^{0,5} (0,41581+0,16985d _e)	0,76
11e	ETm = IAF ^{0,5} (-0,08278+0,68295ETo-0,04122n)	0,76
12e	ETm = IAF ^{0,5} (3,67125+0,00690AP-0,00981UR _{e9} -0,02814UR _{me})	0,74
13e	ETm = IAF ^{0,5} (0,00900+0,55078ETo)	0,74
14e	ETm = IAF ^{0,5} (3,51700+0,00705AP-0,01648UR _{eg} -0,00865UR _{e15} -0,01146UR _{e21})	0,74
15e	ETm = IAF ^{0,5} (-0,63171+0,00381AP+0,05041t _{e15} +0,03561Rg _e)	0,74
16e	ETm = IAF ^{0,5} (0,55825+0,00610AP+0,04905t _{eg} -0,07902t _{mine} +0,06713t _{máxe})	0,74
17e	ETm = IAF ^{0,5} (-0,87927+0,108Rn _e +0,05728t _{máxe})	0,74
18e	ETm = IAF ^{0,5} (3,44928+0,00713AP-0,03588UR _{me})	0,74
19e	ETm = IAF ^{0,5} (2,33220+0,04595NF-0,02862UR _{me} +0,05309Rn _e)	0,74
20e	ETm = IAF ^{0,5} (3,41198+0,05989NF-0,01002UR _{eg} -0,02957UR _{me})	0,73
21e	ETm = IAF ^{0,5} (-0,87114+0,03023NF+0,05309t _{e15} +0,03657Rg _e)	0,73
22e	ETm = IAF ^{0,5} (3,20732+0,06176NF-0,01695UR _{eg} -0,00938UR _{e15} -0,01158UR _{e21})	0,73
23e	ETm = IAF ^{0,5} (-0,96553+0,05180NF+0,05004t _{eg} -0,08016t _{mine} +0,07069t _{máxe})	0,73
24e	ETm = IAF ^{0,5} (-0,64641+0,00653AP-0,05601t _{mine} +0,09226t _{máxe})	0,73
25e	ETm = IAF ^{0,5} (-0,89228+0,07642t _{me} +0,06028Rg _e)	0,73
26e	ETm = IAF ^{0,5} (-0,77814+0,12974Rn _e +0,05971t _{me})	0,73
27e	ETm = IAF ^{0,5} (3,17412+0,06203NF-0,03752UR _{me})	0,73
28e	ETm = IAF ^{0,5} (-1,08498+0,05572NF-0,05681t _{mine} +0,09653t _{máxe})	0,72
29e	ETm = IAF ^{0,5} (-0,75869+0,06693t _{e15} +0,04212Rg _e)	0,72
30e	ETm = IAF ^{0,5} (0,92034+0,00619AP-0,01140UR _{e15} +0,07330Rn _e)	0,71
31e	ETm = IAF ^{0,5} (0,98396+0,00753AP-0,01158UR _{e15} +0,02964Rg _e)	0,71
32e	ETm = IAF ^{0,5} (-0,72825+0,06645t _{mine} +0,08296Rg _e)	0,70
33e	ETm = IAF ^{0,5} (0,57589+0,05197NF-0,01169UR _{e15} +0,07905Rn _e)	0,70
34e	ETm = IAF ^{0,5} (0,16930+0,08394t _{máxe} -0,01287UR _{e15})	0,70
35e	ETm = IAF ^{0,5} (2,16180-0,02348UR _{me} +0,12070Rn _e)	0,70
36e	ETm = IAF ^{0,5} (0,59062+0,06576NF-0,01236UR _{me} +0,03065Rg _e)	0,70
37e	ETm = IAF ^{0,5} (0,13132+0,08258t _{e15} -0,01226UR _{e15})	0,69
38e	ETm = IAF ^{0,5} (-0,11647+0,00440AP+0,13445Rn _e)	0,68
39e	ETm = IAF ^{0,5} (-0,04475+0,00665AP+0,05726Rg _e)	0,68
40e	ETm = IAF ^{0,5} (-0,35609+0,03355NF+0,14329Rn _e)	0,68
41e	ETm = IAF ^{0,5} (-0,84738+0,07292t _{eg} -0,07289t _{mine} +0,08153t _{máxe})	0,68
42e	ETm = IAF ^{0,5} (-0,20074-0,07833Rg _e +0,33136Rn _e)	0,67
43e	ETm = IAF ^{0,5} (0,43297+0,05591NF+0,06061Rg _e)	0,67
44e	ETm = IAF ^{0,5} (-1,01420-0,03681t _{mine} +0,12176t _{máxe})	0,66
45e	ETm = IAF ^{0,5} (-0,11628+0,18274Rn _e)	0,66
46e	ETm = IAF ^{0,5} (3,01377-0,03035UR _{me} +0,04589Rg _e)	0,64
47e	ETm = IAF ^{0,5} (5,60475-0,01450UR _{eg} -0,04033UR _{me})	0,61
48e	ETm = IAF ^{0,5} (-0,44866+0,00665AP+0,06872t _{me})	0,61

*Todos os coeficientes angulares são significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro. Mod é o número do modelo. O R² é o coeficiente de determinação na geração do modelo. O índice "i" significa que os modelos foram obtidos com variáveis medidas no interior da estufa plástica.

Dos 48 modelos selecionados (Tabela 31), 25 foram considerados Ótimos, 9 Muito bons e 11 foram considerados com desempenho Bom, nos testes de avaliação considerando o ΣPO (Tabela 32). Com desempenho Mediano e Sofrível obteve-se apenas um modelo.

O modelo 6e não foi incluído nos testes de avaliação e não se recomenda o seu uso por resultar em um grande desvio dos valores estimados em relação aos observados, resultando em valores negativos de d e c .

Ao classificar os modelos, considerando o índice c , a maioria dos modelos obteve desempenho Bom (Tabela 32), com exceção dos modelos 36e (NF, UR_{me} , Rg_e) e 48e (AP, t_{me}) com desempenho Sofrível, 43e (NF, Rg_e), classificado como Mau, e 16e (AP, t_{e9} , t_{mine} , t_{maxe}) considerado Péssimo.

Em geral se observa que o déficit de saturação do ar e a radiação solar e ou o saldo de radiação são as variáveis presentes na maioria dos modelos que obtiveram os menores valores de ΣPO e maiores valores do índice c (modelos 9e, 8e, 46e, 3e, 35e, 4e, 10e, 5e, 1e, 2e, 19e e 7e), com exceção do modelo 47e que obteve o menor ΣPO . Resultados semelhantes foram obtidos anteriormente com a cultura do pimentão nessa mesma época do ano (Tabela 32). Okuya; Okuya (1988), Heldwein et al. (2004) e Dalmago et al. (2006) também verificaram que a radiação solar, a insolação e o saldo de radiação foram as variáveis medidas no exterior da estufa que tiveram os melhores ajustes com a evapotranspiração máxima do tomate, da abóbora italiana e do pimentão, respectivamente, quando cultivados no outono. Surpreende o resultado do modelo 47e que utiliza apenas a umidade relativa do ar (UR_{e9} e UR_{me}), por ter apresentado o menor ΣPO e um dos maiores valores de c (0,73). Além desse resultado, se conclui que a umidade relativa do ar medida no ambiente externo apresenta maior relação com a ETm do tomateiro cultivado no interior de estufas do que a temperatura do ar. Isso pode ser visualizado no maior número de modelos obtidos com essa variável (UR) e que apresentaram valores maiores de c .

A inclusão das variáveis fenométricas independentes, NF e AP, não resultou maior precisão na estimativa da ETm do tomateiro. Na comparação dos modelos 9e (d_e , Rg_e) com o modelo 3e (NF, d_e , Rg_e) e ou o modelo 1e (AP, d_e , Rg_e), em que foram utilizadas as mesmas variáveis meteorológicas, a inclusão do NF e ou AP não mostrou melhores resultados nos testes de avaliação. Resultado semelhante pode ser verificado comparando o modelo 8e (d_e , Rn_e) com o modelo 4e (NF, d_e , Rn_e) e ou o modelo 2e (AP, d_e , Rn_e).

Ao comparar os resultados apresentados na Tabela 32 com os da Tabela 30, primeiramente se conclui que os modelos que dividem a ETm pela raiz quadrada do

IAF apresentam melhores resultados nos testes de avaliação, mesmo apresentando valores menores de coeficientes de determinação (R^2) na sua geração. Isso demonstra a maior estabilidade desses modelos para a estimativa da ETm do tomateiro, sendo que a maior parte dos modelos apresentados na Tabela 31 podem ser utilizados para a estimativa dessa cultura com precisão aceitável. Resultados semelhantes foram obtidos com a cultura do pimentão, utilizando tanto variáveis medidas no interior quanto no exterior da estufa. Righi (2000), Dalmago (2001) e Heldwein et al. (2004) também obtiveram modelos que estimam melhor a ETm quando utilizaram a ETm por unidade de área foliar, por IAF e pela raiz quadrada do IAF, respectivamente, principalmente com relação à aproximação dos dados de ETm à reta gerada entre valores observados e estimados e seus coeficientes.

Recomenda-se a utilização dos modelos que obtiveram desempenho Bom, considerando o índice c, para estimar a evapotranspiração diária do tomateiro cultivado em estufa. Portanto, todos os modelos apresentados na Tabela 31 podem ser utilizados para a estimativa da ETm do tomateiro cultivado em estufa, na época de primavera, com exceção dos modelos 6e, 16e, 36e, 43e e 48e. Novamente é chamada a atenção para que o modelo a ser utilizado para a estimativa da ETm dependerá dos dados disponíveis. Nesse caso, os modelos que não incluem uma variável que represente o aporte energético (Rg_e , Rn_e ou n) e o déficit de saturação do ar (d_e), são modelos com maior facilidade de obtenção dos dados. Nesse sentido se recomenda os modelos 47e, 14e, 22e, 37e, 34e, 23e, 28e, 24e, 41e e 44e.

TABELA 32. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrado do índice de área foliar ($IAF^{0,5}$) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006.

Ordem	Mod	Coeficientes da equação da reta		RMSE	R^2	r	d	c	D'	ΣPO	D''	Variáveis
		Linear (a)	Angular (b)									
1	47e	0,177	0,964652	0,43	0,68	0,81	0,90	0,73	B	13,5	O	UR_{e9} , UR_{me}
2	9e	0,193	1,008138	0,47	0,68	0,81	0,88	0,72	B	15,0	O	d_e , Rg_e
3	8e	0,227	1,002016	0,47	0,68	0,81	0,88	0,72	B	17,0	O	d_e , Rn_e
4	46e	0,252	0,947685	0,42	0,70	0,83	0,90	0,75	B	17,5	O	UR_{me} , Rg_e
5	3e	0,167	0,918355	0,43	0,65	0,80	0,89	0,71	B	20,5	O	NF, d_e , Rg_e
6	35e	0,295	0,955882	0,44	0,69	0,82	0,89	0,73	B	21,0	O	UR_{me} , Rn_e
7	4e	0,197	0,930636	0,44	0,65	0,80	0,89	0,71	B	22,5	O	NF, d_e , Rn_e
8	10e	0,205	0,987762	0,49	0,64	0,79	0,87	0,69	B	23,5	O	d_e

Ordem	Mod	Coeficientes da equação da reta		RMSE	R ²	r	d	c	D'	ΣPO	D''	Variáveis
		Linear (a)	Angular (b)									
9	5e	0,285	0,983141	0,48	0,67	0,81	0,88	0,71	B	24,0	O	Rn _e , t _{maxe} , d _e
10	1e	0,242	0,942112	0,45	0,65	0,80	0,89	0,71	B	25,0	O	AP, d _e , Rg _e
11	2e	0,256	0,947469	0,46	0,65	0,80	0,88	0,70	B	27,5	O	AP, d _e , Rn _e
12	19e	0,186	0,837796	0,41	0,65	0,80	0,89	0,71	B	28,0	O	NF, UR _{me} , Rn _e
13	7e	0,171	0,889358	0,45	0,62	0,78	0,88	0,69	B	29,0	O	NF, d _e
14	13e	0,362	0,966087	0,49	0,66	0,81	0,87	0,70	B	30,0	O	ETo
15	14e	0,236	0,879793	0,44	0,63	0,78	0,89	0,70	B	31,5	O	AP, UR _{e9} , UR _{e15} , UR _{e21}
16	22e	0,083	0,82296	0,45	0,63	0,78	0,87	0,68	B	32,5	O	NF, UR _{e9} , UR _{e15} , UR _{e21}
17	37e	0,337	0,879566	0,42	0,66	0,80	0,89	0,72	B	32,5	O	t _{e15} , UR _{e15}
18	12e	0,245	0,876976	0,44	0,63	0,78	0,89	0,69	B	34,0	O	AP, UR _{e9} , UR _{me}
19	20e	0,098	0,821317	0,45	0,62	0,78	0,87	0,68	B	34,0	O	NF, UR _{e9} , UR _{me}
20	29e	0,461	0,897913	0,45	0,68	0,81	0,88	0,71	B	35,5	O	t _{e15} , Rg _e
21	18e	0,284	0,846908	0,43	0,62	0,78	0,89	0,69	B	36,5	O	AP, UR _{me}
22	33e	0,230	0,796069	0,42	0,63	0,79	0,89	0,70	B	37,0	O	NF, UR _{e15} , Rn _e
23	27e	0,133	0,788699	0,45	0,62	0,78	0,87	0,67	B	38,5	O	NF, UR _{me}
24	11e	0,413	0,951994	0,52	0,64	0,79	0,85	0,67	B	39,5	O	ETo, n
25	34e	0,439	0,892305	0,46	0,65	0,79	0,87	0,69	B	40,0	O	t _{maxe} , UR _{e15}
26	30e	0,355	0,841625	0,43	0,63	0,78	0,89	0,69	B	40,5	MB	AP, UR _{e15} , Rn _e
27	21e	0,394	0,820146	0,41	0,65	0,79	0,89	0,71	B	41,5	MB	NF, t _{e15} , Rg _e
28	31e	0,338	0,823995	0,43	0,62	0,78	0,89	0,69	B	41,5	MB	AP, UR _{e15} , Rg _e
29	25e	0,487	0,955159	0,53	0,66	0,80	0,84	0,68	B	42,5	MB	t _{me} , Rg _e
30	45e	0,443	0,891728	0,47	0,64	0,79	0,87	0,69	B	42,5	MB	Rn _e
31	17e	0,485	0,897	0,48	0,65	0,80	0,86	0,69	B	43,0	MB	Rn _e , t _{maxe}
32	15e	0,464	0,844712	0,44	0,64	0,79	0,88	0,69	B	45,0	MB	AP, t _{e15} , Rg _e
33	40e	0,387	0,795216	0,43	0,61	0,77	0,88	0,68	B	49,0	MB	NF, Rn _e
34	26e	0,518	0,929408	0,53	0,64	0,79	0,84	0,66	B	49,5	MB	Rn _e , t _{me}
35	36e	0,151	0,654717	0,52	0,59	0,76	0,79	0,60	S	51,0	B	NF, UR _{me} , Rg _e
36	23e	0,305	0,734981	0,44	0,59	0,76	0,87	0,66	B	51,5	B	NF, t _{e9} , t _{mine} , t _{maxe}
37	32e	0,533	0,8942	0,51	0,63	0,78	0,85	0,66	B	51,5	B	t _{mine} , Rg _e
38	28e	0,316	0,72506	0,44	0,59	0,76	0,87	0,66	B	52,5	B	NF, t _{mine} , t _{maxe}
39	39e	0,432	0,794117	0,44	0,59	0,76	0,87	0,66	B	54,5	B	AP, Rg _e
40	43e	0,850	0,991061	0,82	0,58	0,75	0,67	0,50	Ma	54,5	B	NF, Rg _e
41	42e	0,515	0,870722	0,50	0,61	0,77	0,85	0,66	B	55,0	B	Rg _e , Rn _e
42	24e	0,442	0,778682	0,44	0,59	0,76	0,88	0,67	B	55,5	B	AP, t _{mine} , t _{maxe}
43	16e	1,132	1,105576	1,15	0,57	0,74	0,43	0,32	P	56,0	B	AP, t _{e9} , t _{mine} , t _{maxe}
44	38e	0,468	0,818797	0,46	0,60	0,76	0,87	0,66	B	56,0	B	AP, Rn _e
45	41e	0,507	0,823443	0,47	0,60	0,76	0,86	0,66	B	56,5	B	t _{e9} , t _{mine} , t _{maxe}
46	44e	0,546	0,818451	0,47	0,60	0,76	0,86	0,66	B	61,0	M	t _{mine} , t _{maxe}
47	48e	0,703	0,701546	0,54	0,46	0,67	0,81	0,55	S	75,0	S	AP, t _{me}
48	6e	1,614	2,35759	3,44	0,45	0,66						AP, d _e

Obs - O índice "e" significa que os modelos foram obtidos com variáveis medidas no exterior da estufa plástica. Mod é o número do modelo; RMSE = raiz quadrada do quadrado médio do erro; R² = coeficiente de determinação da regressão entre valores estimados e observados; r, d e c = coeficiente de correlação, exatidão e de confiança; ΣPO = somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação; D' = Desempenho do modelo segundo o índice de confiança (c); D'' = Desempenho do modelo segundo o ΣPO.

Na Tabela 33 são apresentados os 53 modelos selecionados para a estimativa da ET_m do tomateiro, nos quais se utilizam os valores transformados de raiz quadrada do NF como divisor da variável dependente ($ET_m/NF^{0,5}$) e variáveis meteorológicas medidas no exterior da estufa. Os valores de R^2 são relativamente maiores se comparados com os modelos que utilizaram a raiz quadrada do IAF como divisor (Tabela 31). Os modelos que apresentaram o coeficiente de determinação (R^2) maior na sua geração foram os que utilizaram uma segunda variável fenométrica independente (IAF e ou AP).

Os três primeiros modelos utilizam o déficit de saturação do ar como variável meteorológica. Grande parte dos modelos (30) possui uma variável que represente o aporte de energia (R_{g_e} , R_{n_e} e n). Além disso, se observa que essas variáveis geralmente vêm acompanhadas de outra variável meteorológica (temperatura, umidade relativa e déficit de saturação do ar e ou ET_o), com exceção dos modelos 33e, 34e, 35e, 36e, 42e e 50e. No entanto, o R^2 obtido é bastante variável (0,87 a 0,62), dependendo das demais variáveis incluídas no modelo. Também se constata que o acréscimo da variável radiação solar ao déficit de saturação do ar (modelo 1e), praticamente não resultou em aumento do R^2 . Isso se verifica comparando o modelo 1e (IAF, d_e e R_{g_e}) que apresentou um R^2 de 0,88, com o modelo 2e (IAF e d_e), que apresentou um R^2 de 0,87.

A temperatura e a umidade relativa do ar, tanto na forma de valores médios quanto pontuais, e as temperaturas diárias máximas e mínimas, foram utilizadas em 31 modelos, sendo que em 18 deles essas variáveis estiveram associadas a uma variável que represente o aporte de energia (R_{g_e} , R_{n_e} e n). Além disso, se verifica que a utilização da umidade relativa do ar nos modelos apresentou valores maiores de R^2 ($R^2 > 0,83$).

Os resultados apresentados na Tabela 33 não permitem obter conclusões definitivas sobre os modelos gerados e por isso os modelos a serem escolhidos para a estimativa da ET_m por raiz quadrada do NF ($ET_m/NF^{0,5}$) do tomateiro foram avaliados com um banco de dados independente ao da sua geração, coletados no ano seguinte (primavera de 2006) para a verificação da eficácia dos modelos gerados, sendo os resultados das estatísticas apresentados na Tabela 34.

TABELA 33. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do número de folhas ($NF^{0,5}$) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e). Santa Maria, RS, 2005.

Mod	Modelo de regressão	R ²
1e	$ETm = NF^{0,5}(-0,10249+0,12272IAF+0,04238d_e+0,00513Rg_e)$	0,88
2e	$ETm = NF^{0,5}(-0,06989+0,12784IAF+0,04828d_e)$	0,87
3e	$ETm = NF^{0,5}(-0,05964+0,00294AP+0,04397d_e)$	0,85
4e	$ETm = NF^{0,5}(-0,08559+0,1067IAF-0,05090Rn_e+0,30217ETo)$	0,84
5e	$ETm = NF^{0,5}(1,28193+0,15979IAF-0,00465UR_{eg}-0,01013UR_{me})$	0,84
6e	$ETm = NF^{0,5}(1,26538+0,16022IAF-0,00715UR_{eg}-0,00275UR_{e15}-0,00475UR_{e21})$	0,84
7e	$ETm = NF^{0,5}(-0,12637+0,09113IAF-0,01278Rg_e+0,23719ETo)$	0,84
8e	$ETm = NF^{0,5}(-0,17546+0,08299IAF-0,01331n+0,21943ETo)$	0,84
9e	$ETm = NF^{0,5}(0,85216+0,14461IAF-0,001078UR_{me}+0,01635Rn_e)$	0,83
10e	$ETm = NF^{0,5}(0,80821+0,00410AP+0,01002UR_{e21}-0,02022UR_{me})$	0,83
11e	$ETm = NF^{0,5}(-0,15379+0,10464IAF+0,16276ETo)$	0,83
12e	$ETm = NF^{0,5}(1,11636+0,00379AP-0,00534UR_{eg}-0,00760UR_{me})$	0,83
13e	$ETm = NF^{0,5}(1,17658+0,16549IAF-0,01382UR_{me})$	0,83
14e	$ETm = NF^{0,5}(-0,27051+0,00367AP+0,02684t_{eg}-0,03216t_{mine}+0,01515t_{maxe})$	0,82
15e	$ETm = NF^{0,5}(0,99553+0,00392AP-0,01181UR_{me})$	0,82
16e	$ETm = NF^{0,5}(-0,36121+0,11707IAF+0,01743t_{e15}+0,01312Rg_e)$	0,81
17e	$ETm = NF^{0,5}(-0,13907+0,00242AP+0,15174ETo)$	0,81
18e	$ETm = NF^{0,5}(-0,39047+0,10413IAF+0,02010t_{me}+0,0189Rg_e)$	0,81
19e	$ETm = NF^{0,5}(-0,34591+0,00287AP+0,01690t_{e15}+0,01086Rg_e)$	0,81
20e	$ETm = NF^{0,5}(-0,18196+0,32640ETo-0,03010n)$	0,81
21e	$ETm = NF^{0,5}(-0,31850+0,14515IAF+0,02579t_{eg}-0,03172t_{mine}+0,01970t_{maxe})$	0,81
22e	$ETm = NF^{0,5}(0,24893+0,00381AP-0,00465UR_{e15}+0,01814Rn_e)$	0,80
23e	$ETm = NF^{0,5}(-0,36569+0,00252AP+0,01883t_{me}+0,01725Rg_e)$	0,80
24e	$ETm = NF^{0,5}(0,16292+0,14263IAF-0,00392UR_{e15}+0,03101Rn_e)$	0,80
25e	$ETm = NF^{0,5}(-0,31876+0,00391AP-0,01956t_{mine}+0,02891t_{maxe})$	0,80
26e	$ETm = NF^{0,5}(-0,30058+0,00357AP+0,03374t_{e15}-0,01823t_{me})$	0,80
27e	$ETm = NF^{0,5}(-0,23046+0,03230Rn_e+0,00932t_{maxe}+0,03447d_e)$	0,80
28e	$ETm = NF^{0,5}(-0,36630+0,15523IAF-0,01971t_{mine}+0,03305t_{maxe})$	0,79
29e	$ETm = NF^{0,5}(0,21599+0,16606IAF-0,00423UR_{e15}+0,01211Rg_e)$	0,79
30e	$ETm = NF^{0,5}(-0,31831+0,11340IAF+0,01470t_{mine}+0,02432Rg_e)$	0,79
31e	$ETm = NF^{0,5}(-0,08734+0,04422d_e+0,03526Rn_e)$	0,79
32e	$ETm = NF^{0,5}(-0,28243+0,00286AP+0,01235t_{mine}+0,02160Rg_e)$	0,78
33e	$ETm = NF^{0,5}(-0,19064+0,12296IAF+0,04963Rn_e)$	0,78
34e	$ETm = NF^{0,5}(-0,17376+0,00308AP+0,04307Rn_e)$	0,78
35e	$ETm = NF^{0,5}(-0,14916+0,00382AP+0,01812Rg_e)$	0,77
36e	$ETm = NF^{0,5}(-0,15995+0,15524IAF+0,02168Rg_e)$	0,77
37e	$ETm = NF^{0,5}(-0,46747+0,05336Rn_e+0,02654t_{me})$	0,77
38e	$ETm = NF^{0,5}(-0,11461+0,22940ETo)$	0,76
39e	$ETm = NF^{0,5}(-0,01418+0,05509d_e+0,01077Rg_e)$	0,76
40e	$ETm = NF^{0,5}(-0,46093+0,04879Rn_e+0,02157t_{maxe})$	0,76
41e	$ETm = NF^{0,5}(-0,51261+0,03446t_{me}+0,02337Rg_e)$	0,75
42e	$ETm = NF^{0,5}(-0,23716-0,05893Rg_e+0,18870Rn_e)$	0,75
43e	$ETm = NF^{0,5}(0,06509+0,06912d_e)$	0,74
44e	$ETm = NF^{0,5}(-0,45200+0,03101t_{mine}+0,03351Rg_e)$	0,73
45e	$ETm = NF^{0,5}(-0,26954+0,00387AP+0,02112t_{me})$	0,73
46e	$ETm = NF^{0,5}(-0,44159+0,02935t_{e15}+0,01576Rg_e)$	0,73
47e	$ETm = NF^{0,5}(-0,31918+0,14623IAF+0,02737t_{me})$	0,71
48e	$ETm = NF^{0,5}(0,47942-0,00673UR_{me}+0,05910Rn_e)$	0,71
49e	$ETm = NF^{0,5}(-0,15205+0,03594t_{e15}-0,00340UR_{e15})$	0,70
50e	$ETm = NF^{0,5}(-0,17363+0,07689Rn_e)$	0,69
51e	$ETm = NF^{0,5}(-0,08942+0,03523t_{maxe}-0,00477UR_{e15})$	0,69
52e	$ETm = NF^{0,5}(-0,44457+0,04121t_{eg}-0,02847t_{mine}+0,02382t_{maxe})$	0,68
53e	$ETm = NF^{0,5}(0,98132-0,01089UR_{me}+0,02082Rg_e)$	0,62

*Todos os coeficientes angulares são significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro. Mod é o número do modelo. O R² é o coeficiente de determinação na geração do modelo. O índice "i" significa que os modelos foram obtidos com variáveis medidas no interior da estufa plástica.

Considerando o ΣPO , dos 53 modelos apresentados na Tabela 33, 23 modelos foram considerados Ótimos, 10 foram considerados Muito Bons, 10 Bons, 3 com desempenho Mediano, 4 com desempenho Sofrível e 2 com desempenho Ruim (Tabela 34).

Ao considerar o índice c (Camargo; Sentelhas, 1997), verifica-se que os modelos 1e, 24e, 29e, 6e, 11e, 18e, 16e, 5e e 13e foram considerados Bons. Desses modelos, em 5 deles a Rg_e ou Rn_e esteve presente como variável meteorológica. Apenas nos modelos 6e, 5e e 13e a umidade relativa do ar foi a variável utilizada (UR_{me} , UR_{e9} e UR_{e15}) e no modelo 11e utilizou-se a ET_o . Os modelos 31e, 39e, 27e, 38e, 48e, 36e, 53e, 30e, 33e, 4e, 28e, 7e, 2e, 8e, 10e, 12e e 21e obtiveram o desempenho Mediano, considerando o índice c . Em 11 deles (modelos 31e, 39e, 27e, 48e, 36e, 53e, 30e, 33e, 4e, 7e e 8e) foi utilizada uma variável que represente o aporte de energia (Rg_e , Rn_e ou n). Os modelos que utilizam o déficit de saturação do ar (d_e) como variável meteorológica, apresentaram desempenho Bom e Mediano, considerando o índice c , com exceção dos modelos 43e e 3e que apresentaram desempenho Sofrível.

Esses resultados reforçam mais uma vez a premissa teórica de que a transpiração é mais dependente dessas duas variáveis meteorológicas do que de qualquer outra, o que já foi verificado anteriormente, mesmo estas sendo variáveis medidas no exterior da estufa. A utilização da ET_o resultou em modelos com desempenhos Bons e Medianos, com exceção dos modelos 17e e 20e, que obtiveram desempenho Sofrível.

Os demais modelos da Tabela 34 apresentaram desempenho Sofrível e o modelo 45e obteve desempenho Mau, não sendo recomendado o seu uso na estimativa da ET_m do tomateiro cultivado em estufa plástica na região de Santa Maria.

Em geral a utilização de uma variável fenométrica independente (IAF e AP), resultou em modelos com melhores desempenhos. Além disso, os modelos que utilizam o IAF resultaram em um maior número de modelos com desempenhos Bons e Medianos, considerando o índice c .

Comparando a Tabela 34 com a Tabela 32 se confirma que os resultados obtidos mostram maior estabilidade dos modelos que utilizam a relação da ET_m com a raiz quadrada do índice de área foliar ($IAF^{0,5}$) do que com a relação da ET_m com a raiz quadrada no número de folhas ($NF^{0,5}$), embora a utilização da relação

ETm/IAF^{0,5} como variável dependente tenha resultado em modelos com menor coeficiente de determinação na sua geração.

Considerando os resultados apresentados na Tabela 34 pode-se inferir que os modelos que obtiveram desempenho Bom, considerando o índice c, são adequados e suficientemente precisos para estimar a ETm do tomateiro. Na falta de dados meteorológicos para utilização dos mesmos, se recomenda o uso dos modelos que obtiveram o desempenho Mediano. A escolha do modelo dependerá, portanto, dos dados fenométricos e meteorológicos disponíveis. Nesse sentido, considerando a praticidade na obtenção dos dados e o valor do coeficiente de confiança obtido, os modelos 6e, 5e e 13e podem ser considerados para a estimativa da ETm do tomateiro, pois utilizam apenas a umidade relativa do ar (UR_{e9} e UR_{me}). Outros modelos de fácil obtenção das variáveis, que obtiveram desempenho Mediano, são os modelos 28e, 10e, 12e e 21e, pois utilizam apenas a temperatura do ar (t_{i9}, t_{mini} e t_{maxi}) e ou a umidade relativa do ar (UR_{e9}, UR_{e21} e UR_{me}), sendo necessário apenas um termômetro de mínima e de máxima e um termohigrógrafo ou um psicrômetro como equipamentos de medição.

TABELA 34. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada do número de folhas (NF^{0,5}) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006.

Ordem	Mod	Coeficientes da equação da reta		RMSE	R ²	r	d	c	D'	ΣPO	D''	Variáveis
		Linear (a)	Angular (b)									
1	1e	0,234	0,829976	0,45	0,60	0,76	0,88	0,67	B	10,0	O	IAF, d _e , Rg _e
2	24e	0,342	0,740478	0,42	0,60	0,77	0,88	0,67	B	21,5	O	IAF, UR _{e15} , Rn _e
3	31e	0,469	0,89807	0,55	0,57	0,75	0,83	0,62	M	22,5	O	d _e , Rn _e
4	39e	0,433	0,896525	0,55	0,56	0,74	0,83	0,62	M	22,5	O	d _e , Rg _e
5	29e	0,285	0,722038	0,43	0,61	0,77	0,87	0,67	B	23,5	O	IAF, UR _{e15} , Rg _e
6	27e	0,546	0,872723	0,54	0,57	0,75	0,83	0,62	M	26,0	O	Rn _e , t _{maxe} , d _e
7	38e	0,596	0,869529	0,56	0,57	0,74	0,82	0,61	M	30,5	O	ETo
8	43e	0,438	0,877339	0,57	0,52	0,71	0,82	0,59	S	31,0	O	d _e
9	48e	0,600	0,822969	0,52	0,57	0,74	0,83	0,62	M	31,0	O	UR _{me} , Rn _e
10	6e	0,800	0,80079	0,46	0,60	0,77	0,87	0,67	B	33,0	O	IAF, UR _{e9} , UR _{e15} , UR _{e21}
11	36e	0,387	0,692132	0,44	0,58	0,75	0,86	0,65	M	33,0	O	IAF, Rg _e
12	53e	0,575	0,793098	0,49	0,56	0,74	0,85	0,63	M	33,0	O	UR _{me} , Rg _e
13	30e	0,541	0,719758	0,44	0,57	0,74	0,87	0,64	M	35,5	O	IAF, t _{mine} , Rg _e
14	33e	0,473	0,712537	0,44	0,56	0,74	0,86	0,64	M	36,5	O	IAF, Rn _e
15	4e	0,818	0,821859	0,47	0,58	0,75	0,87	0,65	M	37,5	O	IAF, Rn _e , ETo
16	28e	0,437	0,655094	0,44	0,57	0,75	0,86	0,64	M	37,5	O	IAF, t _{mine} , t _{maxe}

Ordem	Mod	Coeficientes da equação da reta		RMSE	R ²	r	d	c	D'	ΣPO	D''	Variáveis
		Linear (a)	Angular (b)									
17	7e	0,801	0,810546	0,48	0,57	0,74	0,86	0,64	M	38,0	O	IAF, Rg _e , ETo
18	11e	0,809	0,794508	0,45	0,59	0,76	0,87	0,66	B	38,0	O	IAF, ETo
19	18e	0,797	0,762939	0,44	0,59	0,76	0,87	0,66	B	38,0	O	IAF, t _{me} , Rg _e
20	16e	0,764	0,716437	0,41	0,60	0,77	0,88	0,67	B	38,5	O	IAF, t _{e15} , Rg _e
21	22e	0,417	0,750042	0,49	0,51	0,71	0,85	0,60	S	38,5	O	AP, UR _{e15} , Rn _e
22	5e	0,822	0,799713	0,46	0,60	0,77	0,87	0,67	B	39,0	O	IAF, UR _{e9} , UR _{me}
23	2e	0,830	0,819247	0,46	0,58	0,75	0,87	0,65	M	40,0	O	IAF, d _e
24	8e	0,811	0,806785	0,48	0,56	0,74	0,86	0,63	M	42,5	MB	IAF, n, ETo
25	17e	0,716	0,796638	0,51	0,53	0,72	0,84	0,60	S	42,5	MB	AP, ETo
26	10e	0,796	0,808558	0,51	0,53	0,72	0,85	0,61	M	43,5	MB	AP, UR _{e21} , UR _{me}
27	12e	0,795	0,811897	0,51	0,52	0,71	0,85	0,61	M	43,5	MB	AP, UR _{e9} , UR _{me}
28	13e	0,812	0,757796	0,45	0,60	0,76	0,86	0,66	B	43,5	MB	IAF, UR _{me}
29	23e	0,629	0,769751	0,52	0,53	0,72	0,83	0,60	S	44,0	MB	AP, t _{me} , Rg _e
30	20e	0,726	0,86228	0,61	0,53	0,72	0,79	0,57	S	44,5	MB	ETo, n
31	15e	0,704	0,764222	0,50	0,51	0,71	0,85	0,60	S	45,0	MB	AP, UR _{me}
32	50e	0,709	0,776627	0,54	0,54	0,72	0,82	0,59	S	46,0	MB	Rn _e
33	40e	0,764	0,779832	0,54	0,56	0,74	0,81	0,60	S	47,0	MB	Rn _e , t _{maxe}
34	3e	0,819	0,817687	0,52	0,52	0,71	0,84	0,60	S	51,0	B	AP, d _e
35	32e	0,612	0,726519	0,51	0,49	0,69	0,83	0,58	S	51,0	B	AP, t _{mine} , Rg _e
36	46e	0,794	0,752448	0,53	0,56	0,74	0,81	0,60	S	51,0	B	t _{e15} , Rg _e
37	19e	0,763	0,726402	0,49	0,52	0,71	0,84	0,60	S	52,0	B	AP, t _{e15} , Rg _e
38	37e	0,808	0,824669	0,61	0,55	0,73	0,77	0,57	S	52,0	B	Rn _e , t _{me}
39	25e	0,513	0,685775	0,49	0,48	0,69	0,84	0,57	S	52,5	B	AP, t _{mine} , t _{maxe}
40	34e	0,562	0,718478	0,51	0,48	0,69	0,83	0,57	S	52,5	B	AP, Rn _e
41	35e	0,503	0,705746	0,51	0,48	0,68	0,83	0,57	S	52,5	B	AP, Rg _e
42	41e	0,817	0,830886	0,62	0,56	0,74	0,77	0,57	S	52,5	B	t _{me} , Rg _e
43	14e	0,758	0,703871	0,50	0,49	0,69	0,84	0,58	S	59,0	B	AP, t _{e9} , t _{mine} , t _{maxe}
44	21e	0,862	0,674921	0,45	0,57	0,74	0,85	0,63	M	61,0	M	IAF, t _{e9} , t _{mine} , t _{maxe}
45	26e	0,598	0,644376	0,50	0,46	0,67	0,82	0,55	S	61,5	M	AP, t _{e15} , t _{me}
46	51e	0,806	0,725475	0,54	0,51	0,71	0,80	0,57	S	64,0	M	t _{maxe} , UR _{e15}
47	42e	0,804	0,758925	0,59	0,49	0,69	0,78	0,54	S	66,0	S	Rg _e , Rn _e
48	47e	0,707	0,59767	0,49	0,45	0,66	0,82	0,54	S	66,0	S	IAF, t _{me}
49	44e	0,856	0,764769	0,59	0,53	0,72	0,78	0,56	S	67,5	S	t _{mine} , Rg _e
50	49e	0,825	0,721736	0,54	0,52	0,71	0,80	0,57	S	69,0	S	t _{e15} , UR _{e15}
51	45e	0,741	0,623789	0,58	0,37	0,60	0,78	0,47	Ma	75,5	R	AP, t _{me}
52	52e	0,826	0,673762	0,54	0,46	0,67	0,80	0,54	S	79,5	R	t _{e9} , t _{mine} , t _{maxe}
53	9e	0,807	0,796206	1,77	0,43	0,65						IAF, UR _{me} , Rn _e

Obs - O índice "e" significa que os modelos foram obtidos com variáveis medidas no exterior da estufa plástica. Mod é o número do modelo; RMSE = raiz quadrada do quadrado médio do erro; R² = coeficiente de determinação da regressão entre valores estimados e observados; r, d e c = coeficiente de correlação, exatidão e de confiança; ΣPO = somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação; D' = Desempenho do modelo segundo o índice de confiança (c); D'' = Desempenho do modelo segundo o ΣPO.

Na Tabela 35 são apresentados os 56 modelos selecionados que utilizaram a raiz da altura de plantas como divisor da variável dependente ($ETm/AP^{0,5}$). Ao comparar os modelos apresentados na Tabela 35 com aqueles da Tabela 29, que não utilizam a ETm dividida pela raiz quadrada do IAF, NF e AP, se observa que os valores de R^2 são relativamente próximos e maiores do que aqueles modelos que utilizaram a raiz do IAF como divisor (Tabela 31). Os modelos que apresentaram o coeficiente de determinação (R^2) maior na sua geração foram os que utilizaram o IAF ou o NF como uma segunda variável fenométrica independente.

Valores de déficit de saturação do ar, tanto médios ou quanto pontuais, e uma variável que represente o aporte de energia (Rg_e , Rn_e e n), também foram as variáveis utilizadas em um grande número dos modelos melhor classificados, principalmente nos 5 primeiros ($R^2 > 0,81$). A radiação (Rg_e ou Rn_e) utilizada em 33 modelos geralmente está associada a outras variáveis meteorológicas, com exceção dos modelos 36e, 43e, 44e, 47e e 52e. No entanto, o R^2 obtido é bastante variável (0,84 a 0,63), dependendo das demais variáveis incluídas no modelo.

A temperatura e a umidade relativa do ar, tanto na forma de valores médios quanto pontuais, e as temperaturas diárias máximas e mínimas, foram utilizadas em 36 modelos, sendo que em 19 deles essas variáveis estiveram associadas à uma variável que represente o aporte de energia ($9e$, $14e$, $16e$, $17e$, $18e$, $19e$, $20e$, $27e$, $28e$, $29e$, $30e$, $35e$, $39e$, $41e$, $42e$, $45e$, $48e$, $49e$ e $56e$). A ETo foi utilizada em apenas 4 modelos ($7e$, $11e$, $23e$ e $37e$), sendo a única variável meteorológica inclusa, com exceção do modelo $7e$.

TABELA 35. Modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrada da altura de plantas ($AP^{0,5}$) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e). Santa Maria, RS, 2005.

Mod	Modelo de regressão	R^2
1e	$ETm = AP^{0,5}(-0,01588+0,04116IAF+0,01532d_e+0,00276Rg_e)$	0,84
2e	$ETm = AP^{0,5}(-0,01730+0,03824IAF+0,01533d_e+0,00574Rn_e)$	0,84
3e	$ETm = AP^{0,5}(0,00153+0,04389IAF+0,01846d_e)$	0,83
4e	$ETm = AP^{0,5}(-0,06563+0,00780NF+0,01482d_e+0,00292Rg_e)$	0,81
5e	$ETm = AP^{0,5}(-0,06219+0,00685NF+0,01469d_e+0,00677Rn_e)$	0,81
6e	$ETm = AP^{0,5}(0,52887+0,05555IAF-0,00172UR_{e9}-0,00406UR_{me})$	0,81
7e	$ETm = AP^{0,5}(-0,00958+0,03475IAF-0,01669Rn_e+0,10921ETo)$	0,81
8e	$ETm = AP^{0,5}(0,51341+0,05595IAF-0,00270UR_{e9}-0,00121UR_{e15}-0,00173UR_{e21})$	0,81
9e	$ETm = AP^{0,5}(0,35522+0,04898IAF-0,00416UR_{me}+0,00679Rn_e)$	0,81
10e	$ETm = AP^{0,5}(-0,05270+0,00852NF+0,01797d_e)$	0,80
11e	$ETm = AP^{0,5}(-0,03194+0,03407IAF+0,06350ETo)$	0,80
12e	$ETm = AP^{0,5}(0,48995+0,05765IAF-0,00543UR_{me})$	0,80
13e	$ETm = AP^{0,5}(0,28954+0,01266NF+0,00413UR_{e21}-0,00849UR_{me})$	0,80

Mod	Modelo de regressão	R ²
14e	ETm = AP ^{0,5} (-0,11494+0,03806IAF+0,00678t _{e15} +0,00539Rg _e)	0,79
15e	ETm = AP ^{0,5} (0,42109+0,01146NF-0,00200UR _{eg} -0,00345UR _{me})	0,79
16e	ETm = AP ^{0,5} (-0,12324+0,03371IAF+0,00755t _{me} +0,00771Rg _e)	0,79
17e	ETm = AP ^{0,5} (0,26536+0,00981NF-0,00389UR _{me} +0,00683Rn _e)	0,78
18e	ETm = AP ^{0,5} (-0,06330+0,01243Rn _e +0,00343t _{maxe} +0,01248d _e)	0,78
19e	ETm = AP ^{0,5} (-0,16950+0,00762NF+0,00717t _{e15} +0,00485Rg _e)	0,78
20e	ETm = AP ^{0,5} (0,09662+0,04864IAF-0,00160UR _{e15} +0,01205Rn _e)	0,78
21e	ETm = AP ^{0,5} (-0,09675+0,05050IAF+0,00929t _{eg} -0,01242t _{mine} +0,00825t _{maxe})	0,78
22e	ETm = AP ^{0,5} (-0,03896+0,11367ETo-0,00884n)	0,78
23e	ETm = AP ^{0,5} (-0,06810+0,00593NF+0,06483ETo)	0,77
24e	ETm = AP ^{0,5} (0,37370+0,01188NF-0,00503UR _{me})	0,77
25e	ETm = AP ^{0,5} (-0,16561+0,01096NF+0,00981t _{eg} -0,01282t _{mine} +0,00739t _{maxe})	0,77
26e	ETm = AP ^{0,5} (-0,01057+0,011607d _e +0,01352Rn _e)	0,77
27e	ETm = AP ^{0,5} (-0,16846+0,00622NF+0,00804t _{me} +0,00755Rg _e)	0,77
28e	ETm = AP ^{0,5} (0,10977+0,05712IAF-0,00165UR _{e15} +0,00500Rg _e)	0,77
29e	ETm = AP ^{0,5} (-0,09654+0,03709IAF+0,00556t _{mine} +0,00972Rg _e)	0,77
30e	ETm = AP ^{0,5} (0,05472+0,01119NF-0,00194UR _{e15} +0,00842Rn _e)	0,77
31e	ETm = AP ^{0,5} (-0,11397+0,05413IAF-0,00809t _{mine} +0,01306t _{maxe})	0,76
32e	ETm = AP ^{0,5} (-0,18904+0,01173NF-0,00824t _{mine} +0,01246t _{maxe})	0,76
33e	ETm = AP ^{0,5} (-0,10507+0,04676IAF+0,01462t _{e15} -0,00691t _{me})	0,76
34e	ETm = AP ^{0,5} (-0,17027+0,01037NF+0,01474t _{e15} -0,00804t _{me})	0,76
35e	ETm = AP ^{0,5} (-0,14528+0,02037Rn _e +0,00933t _{me})	0,75
36e	ETm = AP ^{0,5} (-0,04755+0,04062IAF+0,01964Rn _e)	0,75
37e	ETm = AP ^{0,5} (-0,01919+0,08520ETo)	0,75
38e	ETm = AP ^{0,5} (0,01374+0,01958d _e +0,00464Rg _e)	0,75
39e	ETm = AP ^{0,5} (-0,14503+0,00699NF+0,00590t _{mine} +0,00965Rg _e)	0,75
40e	ETm = AP ^{0,5} (-0,03664+0,05291IAF+0,00872Rg _e)	0,75
41e	ETm = AP ^{0,5} (-0,14673+0,01840Rn _e +0,00787t _{maxe})	0,74
42e	ETm = AP ^{0,5} (-0,16278+0,01220t _{me} +0,00913Rg _e)	0,74
43e	ETm = AP ^{0,5} (-0,10003+0,00813NF+0,01909Rn _e)	0,73
44e	ETm = AP ^{0,5} (-0,11032+0,01109NF+0,00810Rg _e)	0,73
45e	ETm = AP ^{0,5} (-0,14107+0,01066t _{e15} +0,00625Rg _e)	0,72
46e	ETm = AP ^{0,5} (0,04788+0,02562d _e)	0,72
47e	ETm = AP ^{0,5} (-0,06100-0,01769Rg _e +0,06221Rn _e)	0,72
48e	ETm = AP ^{0,5} (-0,14026+0,01089t _{mine} +0,01273Rg _e)	0,72
49e	ETm = AP ^{0,5} (0,22897-0,00279UR _{me} +0,02127Rn _e)	0,70
50e	ETm = AP ^{0,5} (-0,01709+0,01312t _{e15} -0,00144UR _{e15})	0,70
51e	ETm = AP ^{0,5} (0,00875+0,01277t _{maxe} -0,00195UR _{e15})	0,68
52e	ETm = AP ^{0,5} (-0,04193+0,02865Rn _e)	0,68
53e	ETm = AP ^{0,5} (-0,09428+0,05081IAF+0,01050t _{me})	0,66
54e	ETm = AP ^{0,5} (-0,14061+0,01465t _{eg} -0,01129t _{mine} +0,00968t _{maxe})	0,66
55e	ETm = AP ^{0,5} (-0,16497+0,01118NF+0,00951t _{me})	0,66
56e	ETm = AP ^{0,5} (0,38942-0,00410UR _{me} +0,00789Rg _e)	0,63

*Todos os coeficientes angulares são significativos pelo teste t a 5% de probabilidade de erro. Mod é o número do modelo. O R² é o coeficiente de determinação na geração do modelo. O índice "i" significa que os modelos foram obtidos com variáveis medidas no interior da estufa plástica.

As estatísticas de avaliação e o desempenho dos modelos de estimativa da ETm do tomate que utilizam a relação ETm/AP^{0,5} (Tabela 35), obtidas com base no banco de dados do ano seguinte (primavera de 2006), são apresentadas na Tabela 36.

Considerando o ΣPO , dos 56 modelos apresentados na Tabela 35, 20 modelos foram considerados Ótimos, 11 foram considerados Muito Bons, 15 Bons, 5 com desempenho Mediano, 3 com desempenho Sofrível, 1 Ruim e 1 obteve desempenho Péssimo. Considerando o índice de confiança (Camargo; Sentelhas, 1997), os modelos 1e, 2e, 6e, 8e, 9e, 12e, 14e, 20e, 26e, 28e, 31e, 40e e 56e, obtiveram desempenho Bom, e os modelos 38e, 3e, 4e, 5e, 46e, 49e, 7e, 18e, 15e, 17e, 11e, 23e, 30e, 16e, 21e, 45e, 27e, 19e, 36e, 51e, 29e, 50e e 33e, pela ordem, foram classificados como de desempenho Mediano (Tabela 36). Os demais modelos tiveram desempenho Sofrível, com exceção do modelo 55e, que classificado como Mau, que utiliza o NF e temperatura média do ar (t_{me}) como variáveis independentes.

Com relação as variáveis usadas nos melhores modelos (com desempenho Bom, considerando o índice c), se observa novamente que o déficit de saturação do ar e uma variável que represente o aporte de energia (Rg_e e Rn_e), são as variáveis meteorológicas mais utilizadas, com exceção dos modelos 8e, 6e e 12e, que utilizam somente a umidade relativa do ar (UR_{e9} , UR_{e15} , UR_{e21} e UR_{me}). Nos modelos que obtiveram desempenho Mediano, considerando o índice c, em geral foram utilizados o déficit de saturação do ar e a radiação solar (Rg_e) ou o saldo de radiação (Rn_e), com exceção dos modelos 15e, 11e, 23e, 21e, 51e e 33e. No entanto, os modelos 11e e 23e utilizaram a ETo. Esses resultados reforçam a premissa teórica de que a transpiração é mais dependente dessas duas variáveis meteorológicas do que de qualquer outra, o que foi verificado anteriormente. Além disso, se constata que a temperatura do ar medida no ambiente externo não é adequada para estimar a ETm do tomateiro, trazendo alguma contribuição apenas em alguns modelos de regressão múltipla.

Outro resultado verificado é que o IAF como variável fenométrica independente está presente em todos os modelos com desempenho Bom, com exceção do modelo 26e que não utiliza nenhuma variável fenométrica independente, somente a raiz da altura de plantas como variável dependente.

Novamente se verifica que a estabilidade dos modelos está mais bem associada à relação da ETm com a raiz quadrada do índice de área foliar ($IAF^{0,5}$) do que com a relação da ETm com a raiz quadrada da altura de plantas ($AP^{0,5}$), embora a utilização da relação $ETm/IAF^{0,5}$ como variável dependente tenha resultado em modelos com menor coeficiente de determinação na sua geração (Tabela 31).

Considerando os resultados apresentados na Tabela 36, pode-se inferir que os modelos que obtiveram desempenho Bom, considerando o índice c, são adequados e suficientemente precisos para estimar a ETm do tomateiro. Uma segunda opção de modelos a serem usados são aqueles que obtiveram desempenho Mediano. No entanto, se ressalta que a estimativa da ETm do tomateiro poderá ocorrer com menor precisão. Também nesse caso a escolha do modelo dependerá então dos dados fenométricos e meteorológicos disponíveis. Nesse sentido, considerando a praticidade na obtenção dos dados e o valor do coeficiente de confiança (c) obtido, os modelos 8e (IAF, UR_{e9}, UR_{e15}, UR_{e21}), 12e (IAF, UR_{me}), 21e (IAF, t_{e9}, t_{mine}, t_{maxe}) e 31e (IAF, t_{mine}, t_{maxe}), podem ser eleitos para a estimativa da ETm do tomateiro, por serem relativamente mais práticos em relação aos demais modelos apresentados na Tabela 35.

TABELA 36. Avaliação dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) por raiz quadrado da altura de plantas (AP^{0,5}) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera, utilizando variáveis meteorológicas medidas no seu exterior (e), considerando a relação entre os valores observados e estimados. Santa Maria, RS, 2006.

Nº	Mod	Coeficientes da equação da reta		RMSE	R ²	r	d	c	D'	ΣPO	D''	Variáveis
		Linear (a)	Angular (b)									
1	8e	0,171	0,888885	0,45	0,62	0,78	0,88	0,69	B	17,5	O	IAF, UR _{e9} , UR _{e15} , UR _{e21}
2	1e	0,249	0,92506	0,49	0,60	0,77	0,87	0,67	B	21,0	O	IAF, d _e , Rg _e
3	6e	0,177	0,885786	0,45	0,61	0,77	0,88	0,68	B	21,0	O	IAF, UR _{e9} , UR _{me}
4	2e	0,275	0,925725	0,50	0,60	0,76	0,86	0,66	B	24,5	O	IAF, d _e , Rn _e
5	9e	0,272	0,871746	0,45	0,62	0,78	0,88	0,69	B	26,0	O	IAF, UR _{me} , Rn _e
6	12e	0,222	0,844345	0,44	0,61	0,77	0,88	0,68	B	26,5	O	IAF, UR _{me}
7	38e	0,311	1,031997	0,60	0,60	0,77	0,83	0,63	M	28,0	O	d _e , Rg _e
8	3e	0,251	0,903694	0,50	0,58	0,75	0,86	0,65	M	28,5	O	IAF, d _e
9	56e	0,404	0,95107	0,52	0,63	0,78	0,85	0,67	B	28,5	O	UR _{me} , Rg _e
10	4e	0,189	0,889751	0,51	0,56	0,74	0,86	0,63	M	30,0	O	NF, d _e , Rg _e
11	5e	0,228	0,90055	0,52	0,56	0,74	0,85	0,63	M	32,0	O	NF, d _e , Rn _e
12	28e	0,298	0,818058	0,42	0,62	0,78	0,89	0,69	B	32,0	O	IAF, UR _{e15} , Rg _e
13	20e	0,341	0,840234	0,44	0,61	0,77	0,88	0,68	B	33,0	O	IAF, UR _{e15} , Rn _e
14	26e	0,347	0,866444	0,46	0,61	0,77	0,87	0,67	B	33,5	O	d _e , Rn _e
15	46e	0,322	1,007414	0,61	0,57	0,74	0,82	0,61	M	34,0	O	d _e
16	49e	0,451	0,968802	0,57	0,61	0,77	0,83	0,64	M	36,5	O	UR _{me} , Rn _e
17	7e	0,391	0,916654	0,54	0,57	0,75	0,84	0,63	M	37,0	O	IAF, Rn _e , ET _o
18	18e	0,425	1,004732	0,61	0,60	0,77	0,81	0,62	M	37,5	O	Rn _e , t _{maxe} , d _e
19	15e	0,066	0,831317	0,53	0,54	0,72	0,84	0,61	M	39,5	O	NF, UR _{e9} , UR _{me}
20	17e	0,189	0,821534	0,49	0,55	0,73	0,86	0,63	M	39,5	O	NF, UR _{me} , Rn _e
21	10e	0,184	0,861708	0,53	0,52	0,72	0,84	0,60	S	40,5	MB	NF, d _e
22	11e	0,419	0,895906	0,52	0,58	0,75	0,85	0,64	M	40,5	MB	IAF, ET _o

Nº	Mod	Coeficientes da equação da reta		RMSE	R ²	r	d	c	D'	ΣPO	D''	Variáveis
		Linear (a)	Angular (b)									
23	13e	0,020	0,824941	0,54	0,54	0,72	0,83	0,60	S	42,0	MB	NF, UR _{e21} , UR _{me}
24	37e	0,481	0,998442	0,64	0,59	0,76	0,80	0,60	S	44,0	MB	ETo
25	23e	0,374	0,878996	0,53	0,55	0,73	0,84	0,62	M	45,5	MB	NF, ETo
26	14e	0,489	0,829873	0,47	0,60	0,77	0,87	0,66	B	46,5	MB	IAF, t _{e15} , Rg _e
27	40e	0,406	0,78637	0,45	0,58	0,75	0,87	0,66	B	46,5	MB	IAF, Rg _e
28	24e	0,124	0,782117	0,53	0,52	0,72	0,83	0,60	S	47,0	MB	NF, UR _{me}
29	30e	0,194	0,781679	0,50	0,54	0,72	0,85	0,61	M	47,0	MB	NF, UR _{e15} , Rn _e
30	16e	0,517	0,880941	0,53	0,59	0,76	0,84	0,64	M	49,0	MB	IAF, t _{me} , Rg _e
31	21e	0,407	0,762009	0,45	0,57	0,75	0,87	0,65	M	50,0	MB	IAF, t _{e9} , t _{mine} , t _{maxe}
32	45e	0,620	0,908631	0,58	0,60	0,77	0,81	0,62	M	50,5	B	t _{e15} , Rg _e
33	31e	0,438	0,747769	0,44	0,58	0,75	0,87	0,66	B	51,0	B	IAF, t _{mine} , t _{maxe}
34	52e	0,576	0,914528	0,60	0,57	0,75	0,81	0,60	S	52,5	B	Rn _e
35	27e	0,469	0,860928	0,53	0,55	0,73	0,84	0,62	M	53,5	B	NF, t _{me} , Rg _e
36	19e	0,421	0,796269	0,48	0,55	0,73	0,86	0,62	M	54,0	B	NF, t _{e15} , Rg _e
37	41e	0,622	0,920529	0,61	0,58	0,75	0,79	0,60	S	54,0	B	Rn _e , t _{maxe}
38	22e	0,552	0,983853	0,69	0,55	0,73	0,77	0,56	S	54,5	B	ETo, n
39	42e	0,646	0,978657	0,69	0,59	0,76	0,76	0,58	S	54,5	B	t _{me} , Rg _e
40	36e	0,479	0,811696	0,49	0,56	0,74	0,86	0,63	M	55,0	B	IAF, Rn _e
41	51e	0,613	0,889128	0,58	0,58	0,75	0,81	0,61	M	55,0	B	t _{maxe} , UR _{e15}
42	29e	0,525	0,829028	0,51	0,57	0,74	0,85	0,63	M	55,5	B	IAF, t _{mine} , Rg _e
43	50e	0,629	0,887053	0,58	0,58	0,75	0,81	0,61	M	58,0	B	t _{e15} , UR _{e15}
44	25e	0,265	0,71917	0,52	0,50	0,70	0,82	0,57	S	59,0	B	NF, t _{e9} , t _{mine} , t _{maxe}
45	44e	0,295	0,73168	0,51	0,50	0,70	0,83	0,58	S	59,0	B	NF, Rg _e
46	35e	0,663	0,960499	0,69	0,57	0,74	0,75	0,56	S	59,5	B	Rn _e , t _{me}
47	43e	0,402	0,775044	0,51	0,51	0,70	0,84	0,59	S	60,5	M	NF, Rn _e
48	32e	0,289	0,701649	0,51	0,50	0,70	0,82	0,57	S	61,0	M	NF, t _{mine} , t _{maxe}
49	33e	0,540	0,714405	0,45	0,55	0,73	0,86	0,63	M	62,0	M	IAF, t _{e15} , t _{me}
50	39e	0,469	0,801989	0,52	0,52	0,71	0,84	0,60	S	62,0	M	NF, t _{mine} , Rg _e
51	48e	0,699	0,909623	0,66	0,55	0,73	0,77	0,56	S	64,5	M	t _{mine} , Rg _e
52	34e	0,398	0,668522	0,51	0,48	0,68	0,82	0,56	S	68,0	S	NF, t _{e15} , t _{me}
53	47e	0,681	0,888096	0,66	0,52	0,71	0,77	0,54	S	70,5	S	Rg _e , Rn _e
54	54e	0,675	0,815122	0,58	0,51	0,71	0,80	0,57	S	75,0	S	t _{e9} , t _{mine} , t _{maxe}
55	55e	0,575	0,633588	0,57	0,38	0,61	0,79	0,48	Ma	84,5	R	NF, t _{me}
56	53e	0,724	0,682453	0,54	0,45	0,66	0,81	0,54	S	86,0	P	IAF, t _{me}

Obs - O índice "e" significa que os modelos foram obtidos com variáveis medidas no exterior da estufa plástica. RMSE = raiz quadrada do quadrado médio do erro; R² = coeficiente de determinação da regressão entre valores estimados e observados; r, d e c = coeficiente de correlação, exatidão e de confiança; ΣPO = somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação; D' = Desempenho do modelo segundo o índice de confiança (c); D'' = Desempenho do modelo segundo o ΣPO.

Os modelos para estimativa da evapotranspiração máxima da cultura do tomateiro, que utilizam tanto variáveis internas quanto externas da estufa plástica, apresentaram desempenhos menores se comparados com os modelos para a estimativa do pimentão. Verifica-se um Bom desempenho dos modelos que utilizam as variáveis medidas no exterior da estufa, o que provavelmente se deve à dependência da demanda hídrica das culturas do pimentão e do tomateiro das

condições meteorológicas externas, em razão da abertura da estufa, a qual permaneceu aberta de 7 a 13 horas por dia durante todo o período experimental (Apêndice F), permitindo dessa forma a retirada de grande parte do vapor d'água do ar do seu interior.

Na mesma estufa estavam implantadas as duas culturas. Portanto, o manejo de abertura da estufa foi o mesmo, permanecendo esta aberta de 7 a 13 horas por dia durante todo o período experimental (Apêndice F). Já que as variáveis meteorológicas, tanto no interior quanto no exterior da estufa eram as mesmas, pode ser deduzido que as diferenças de desempenho dos modelos gerados para as duas espécies ocorram devido às respostas fisiológicas, como por exemplo, a resistência estomática, que difere para as mesmas condições meteorológicas. Além disso, a maior altura e área foliar do tomateiro podem gerar um microclima menos favorável à transpiração junto às folhas, principalmente, porque a diminuição do déficit de saturação do ar nessa condição pode afetar negativamente a ET_m.

Como as medidas de temperatura e da quantificação da umidade do ar foram realizadas por psicrômetros instalados a 1,5 m de altura, e o déficit de saturação do ar foi calculado com essas medidas, poderiam ocorrer diferenças em razão da mudança no microclima gerado pelo dossel de plantas mais alto e denso do tomateiro, o que influi na demanda hídrica (HELDWEIN et al., 2001a).

Outra possibilidade é de que a estimativa do índice de área foliar do tomateiro seja menos precisa do que do pimentão. Isso provavelmente ocorre em razão do tipo de folha dessas duas espécies. O tomateiro por ter folhas recortadas e muitas vezes retorcidas, dificulta o trabalho de medir o comprimento e a largura das mesmas. Em razão disso, pode ocorrer, provavelmente subestimativas do IAF, o que resultará em modelos com menor precisão da estimativa da ET_m dessa cultura. Essa pode ser uma das causas da menor precisão da estimativa da ET_m do tomateiro, se comparada com a cultura do pimentão.

Os testes realizados nos modelos de estimativa da ET_m do tomateiro, que utilizam as variáveis medidas tanto no interior quanto no exterior da estufa plástica, permitiram verificar que apesar dos modelos que utilizam a raiz quadrada do IAF como divisor da ET_m terem apresentado valores menores de R² na sua geração (Tabela 23 e 31), nos respectivos testes os modelos apresentaram bons resultados (Tabelas 24 e 32), mostrando desta forma que esses modelos devem ser melhor explorados devido a melhor estimativa da ET_m nos diferentes anos de cultivo. Isso

foi verificado anteriormente para a cultura do pimentão e também por Righi (2000); Dalmago (2001) e Heldwein et al. (2004). A utilização da raiz quadrada do NF (Tabelas 25 e 33) e da AP (Tabelas 27 e 35) como divisor da ET_m, também apresentaram Bom desempenho nos testes de avaliação (Tabelas 26, 28, 34 e 36), no entanto, este foi menor se comparados com os modelos que utilizam a raiz do IAF como divisor da ET_m.

Devido a disponibilidade de grande número de modelos para a estimativa da ET_m do tomateiro cultivado em estufa plástica na região de Santa Maria, RS, gerados e testados, e que apresentaram Bom desempenho na sua estimativa, é possível a sua utilização por parte do produtor. A escolha do modelo a ser utilizada dependerá da disponibilidade de equipamentos da propriedade, para as medidas das variáveis meteorológicas e da sua capacitação para determinar IAF, AP e NF.

O que se constatou ao longo do trabalho foi a grande influência do déficit de saturação do ar e da radiação solar, medidos tanto no interior quanto no exterior da estufa, na evapotranspiração do tomateiro cultivado em estufa plástica. Resultados semelhantes já foram obtidos anteriormente para a cultura do pimentão cultivado na primavera e também por Okuya; Okuya (1988); Dalmago (2001), Righi et al. (2002 e Heldwein et al. (2004), no entanto, para cultivos de outono. Nos modelos que utilizam o déficit de saturação do ar, o acréscimo da radiação solar, em geral não apresentou melhora nos testes de avaliação. Ratifica-se, dessa forma, que o déficit de saturação do ar é ligeiramente melhor do que a radiação para estimativa da ET_m do tomateiro em estufa. Além disso, os modelos que utilizam a radiação solar que obtiveram Bom desempenho nos testes de avaliação utilizam uma segunda variável meteorológica.

Os modelos da cultura do pimentão cultivado na primavera em estufa apresentaram melhores valores nas estatísticas de avaliação, mostrando uma melhor estimativa da evapotranspiração máxima dessa cultura se comparados com os modelos para a cultura do tomateiro cultivados na primavera em estufa em Santa Maria, RS.

Outra constatação desse trabalho foi que a classificação e a análise dos modelos através do somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação não se mostra eficiente na determinação da precisão dos modelos, embora se utilizem mais estatísticas na sua composição, sendo uma medida relativa

resultante da classificação dos diferentes modelos entre si, não sendo recomendado o seu uso. Para a classificação e seleção dos modelos recomenda-se a utilização do coeficiente de confiança (c), por ser uma medida absoluta da precisão dos modelos, resultante do produto entre o coeficiente de correlação e o coeficiente de exatidão, ou a análise através de outra estatística, como por exemplo o RMSE.

5 CONCLUSÕES

Com relação a modelos de estimativa da evapotranspiração máxima do pimentão e do tomateiro cultivados em estufa plástica na primavera, em Santa Maria, pode ser concluído que:

1. o índice de área foliar e a altura das plantas são as variáveis fenométricas que propiciam melhor desempenho dos modelos para estimativa da evapotranspiração máxima do pimentão e do tomateiro cultivados em estufa plástica na primavera;
2. os modelos para estimativa da evapotranspiração máxima do pimentão e do tomateiro, cultivados em estufa plástica na primavera, que incluem o número de folhas como variável independente, não apresentam Bom desempenho;
3. os modelos matemáticos que incluem a divisão da evapotranspiração máxima do pimentão e do tomateiro pela raiz quadrada do índice de área foliar mostram Bom desempenho quando testados, embora na sua geração nem sempre sejam os melhores;
4. os modelos matemáticos que incluem a divisão da evapotranspiração máxima do pimentão e do tomateiro pela raiz quadrada do número de folhas e pela raiz quadrada da altura de plantas mostram Bom desempenho quando testados, sendo, no entanto, menos precisos se comparados com os modelos que utilizam a evapotranspiração máxima do pimentão dividida pela raiz quadrada do índice de área foliar;
5. o déficit de saturação do ar e a radiação solar global, quando medidas apenas no interior da estufa, apresentam os melhores resultados na estimativa da evapotranspiração máxima do pimentão e do tomateiro cultivados na primavera em estufa plástica;
6. o déficit de saturação do ar, a radiação solar global, o saldo de radiação e a evapotranspiração de referência, quando medidas apenas no exterior da estufa plástica, são as variáveis que permitem obter os melhores resultados na estimativa da evapotranspiração máxima do pimentão e do tomateiro cultivado em estufa plástica;

7. os modelos que incluem a radiação solar global medida no interior e no exterior da estufa e o saldo de radiação medido no exterior da estufa permitem obter bons resultados na estimativa da evapotranspiração máxima do pimentão e do tomateiro, desde que se inclua outra variável meteorológica;

8. a inclusão da radiação solar medida no interior ou no exterior da estufa nos modelos que utilizam o déficit de saturação do ar medido no interior e no exterior da estufa, respectivamente, não melhora a estimativa da evapotranspiração máxima do pimentão e do tomateiro.

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. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 191-204, 1991.

ANDRIOLO, J. L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria: Ed UFSM. 1999. 142 p.

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. São Paulo 2002. 268 p.

BAILLE, M. et al. Microclimate and transpiration of greenhouse rose crops. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 71, p. 83-97, 1994.

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

BERLATO, M. A.; MOLION, L. C. B. **Evaporação e evapotranspiração**. Porto Alegre: IPAGRO, 1981. 96p. (Boletim Técnico, 7).

BERNARDO, S. et al. **Manual de irrigação**. Viçosa, Ed UFV. 2006. 625p.

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

BLAT, S. F.; BRAZ, L. T.; ARRUDA, A. S. Avaliação de híbridos duplos de pimentão. **Revista Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 3, p. 350-354, 2007.

BURIOL, G. A. et al. Evaporação d'água em estufas plásticas e sua relação com o ambiente externo: 1-Avaliação com o uso de tanque classe A e do evaporímetro de Piche. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9. n.1, p.35-42, 2001.

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. Modificação na temperatura mínima do ar causada por estufas de polietileno transparente de baixa densidade. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 43-49, 1993.

BURIOL, G. A. et al. Transmissividade a radiação solar do polietileno de baixa densidade utilizado em estufas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 1-4, 1995.

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

CARLESSO, R. & ZIMMERMANN, F. L. **Água no solo**: parâmetros para dimensionamento de sistemas de irrigação. Santa Maria, 2000. 88 p. (Caderno Didático, n. 3)

CARON, B. O. et al. Influência da temperatura do ar e da radiação solar no acúmulo de fitomassa da alface. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 275-283, 2003.

CARVALHO, E., et al. Estimativa indireta de teores de licopeno em frutos de genótipos de tomateiro via análise colorimétrica. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.232 n.3, p.819-825, jul-set, 2005.

CEASA. http://www.ceasacampinas.com.br/padronizacao_pimentao.htm. Acessado em 31/05/2005.

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 de pimentão. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n.1, p. 15-26, 2003.

DALMAGO, G. A. et al. Efeito do tipo de plástico sobre a temperatura mínima nas estufas. **In.** Jornada Integrada de Pesquisa, Extensão e Ensino. **ANAIS**, p. 345. Santa Maria, 1994.

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

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

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

DALSASSO, L. C. **Consumo d'água e coeficiente de cultura do tomateiro (*Lycopersicon esculentum*, m) e do pepino (*Cucumis sativus*, L.) cultivados em estufas plásticas**. 1997. 84f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

DE VILLELE, O. Besoins en eau des cultures sous serre: casai de conduite des arrosages en fonction de l'ensoleillement. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 350, p. 123-129, 1972.

EMBRAPA. **Sistema brasileira de classificação de solos**. Brasília, Embrapa Produção de Informações; Rio de Janeiro: Embrapa solos, 1999. 412p.

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

FAO. **Protected cultivation in the mediterranean climate, Food and Agriculture**. Organization of the United Nations, Rome, FAO, 1990, 313 p. (FAO Plant Production and Protection Paper, n. 90)

FARIAS, J. R. B., et al. Efeito da cobertura plástica de estufa sobre a radiação solar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 31-36, 1993a.

FARIAS, S. R. B. et al. Alterações na temperatura e umidade do ar provocados pelo uso de estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v. 1, n. 1, p. 51-62, 1993b.

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

FERREIRA, R. S. **Matemática aplicada às ciências agrárias: Análise de dados e modelos**. Viçosa: Ed UFV, 2005. 333p.

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

FILGUEIRA, A. R. F. **Novo manual de Olericultura. Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2. ed. Viçosa: MG, Ed UFV. 2003a. 412p.

FILGUEIRA, A. R. F. **Solanáceas. Agrotecnologia moderna na produção de tomate, batata, pimentão, pimenta, berinjela e jiló**. 1. ed., Ed UFLA. Lavras, MG, 2003b. 331p.

FOLEGATTI, M. B. et al. Efeitos da cobertura plástica sobre os elementos meteorológicos e evaporação da cultura do crisântemo em estufa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 155-163, 1997.

HELDWEIN, A. B., et al. Efeito da cobertura plástica sobre a temperatura mínima do ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOLOGIA, 9., 1995, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande, 1995. p.304-306.

HELDWEIN, A. B. et al. Evaporação d'água em estufas plásticas e sua relação com o ambiente externo: 2-Efeito da espécie cultivada e da época do ano nos valores obtidos com minitanques. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 43-49, 2001a.

HELDWEIN, A. B. et al. Variação vertical da temperatura do ar no interior de estufas plásticas. **Revista Argentina de Agrometeorologia**, v. 1, n. 1, p. 35-42, 2001b.

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

IBGE. [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao Agrícola/Producao Agrícola Municipal %5Banual%5D/](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Producao_Agricola_Municipal%5Banual%5D/). Acessado em 06/01/2008.

MEDEIROS, M. A.; et al. Manejo integrado da traça do tomateiro em ambiente protegido. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2005. 10 pg.. (Embrapa Hortaliças. **Circular Técnica**, 36).

MONTEIRO, J. L. et al. Transpiration from geranium grown high temperatures and low humidities in greenhouse. **Agricultural an Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 107, p. 323-332, 2001.

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

NAIKA, S. et al. **A cultura do tomate: produção, processamento e comercialização**. Agrodok 17. 1. ed, Wageninge, 2006

OKUYA, A., OKUYA, T. The transpiration of greenhouse tomato plants in rockwool culture and its relationship to climate factors. **Acta Horticulturae**, Wageningen, V. 230, P. 307-311, 1988.

PEREIRA, A. R.; NOVA, N. A. V.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(trans)piração**. Piracicaba, FEALQ, 1997, 183p.

PEZZOPANE, J. E. M. et al. Radiação líquida e temperatura da folha no interior de estufa com cobertura plástica, durante o período noturno. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 3, p. 1-4, 1995.

PIVETTA, C. R. **Evapotranspiração máxima do tomate e do pimentão em estufa plástica em função da evaporação no “Piche” e outras variáveis meteorológicas e fenométricas**. 2007. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

REISSER JR., C. **Evapotranspiração de alface em estufa plástica e ambiente natural**. 1991. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

REISSER JUNIOR, C. et al. Alterações morfológicas do tomateiro em resposta à redução de radiação solar em ambientes de estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.11, n.1, p.7-14, 2003.

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) – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”. Piracicaba.

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

SÁ, N. S. A de, et al. Comportamento da cultura do tomateiro sob diferentes tensões de água no solo em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 3, p.341-347 , 2005.

SAGGIN, S. L. et al. Avaliação preliminar sobre o consumo d'água da cultura do pimentão cultivado no outono em estufa plástica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9., REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2., 1999. **Anais...** Florianópolis. Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1999 (1 CD Rom).

SANTOS, R. F. et al. Crescimento da cultura de pimentão cultivado na estufa plástica e no campo sob diferentes doses de nitrogênio e potássio. **Revista Irriga**. Botucatu, v. 8, n. 3. p.250-264, 2003

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

SILVA, M. A de., et al. Efeito da cultura do pimentão sobre os elementos energéticos em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 215-220, 2003.

STANGHELLINI, C. Evapotranspiration em greenhouse with special reference to Mediterranean conditions. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.335, p.295-304, 1993.

STRECK, L. **Determinação e modelização da evapotranspiração máxima e do coeficiente de cultura da abóbora italiana em estufa plástica.** 2002. 92 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

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

STRECK, L.. **Determinação da duração do molhamento foliar em cultivos de batata**. 2005. 107 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

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.

TAIZ, L. ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre, Ed Artmed, 2006. 719 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**, Santa Maria, n. 12, n. 2, p. 275-281, 2004.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia Descritiva: Fundamentos e Aplicações Brasileiras**. 2. ed. São Paulo, Ed UFV, 1988. 374 p.

VALANDRO, J. et al. Transpiração do tomateiro cultivado fora do solo em estufa plástica e sua relação com os elementos meteorológicos. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37,n. 6, p. 1593-1600, 2007.

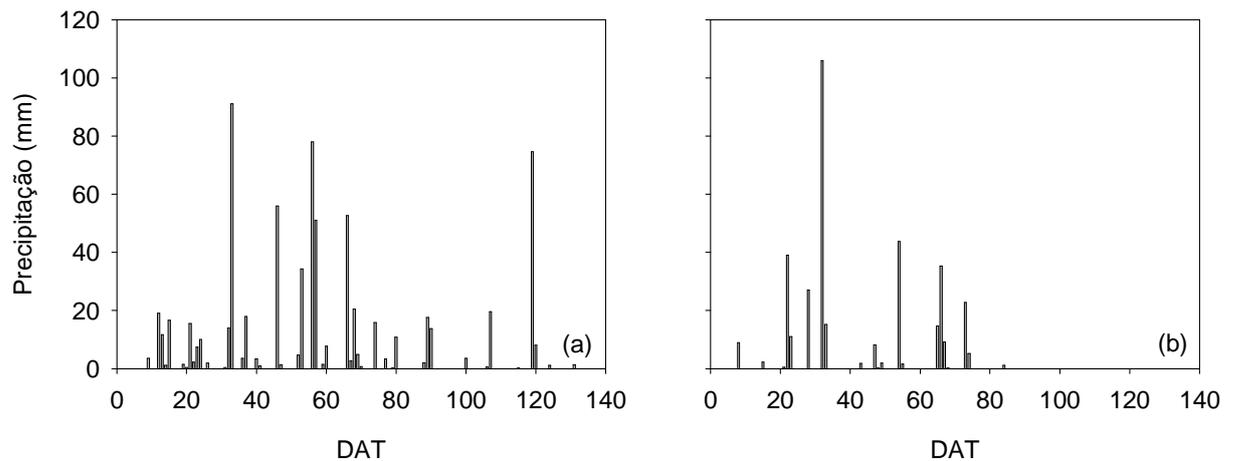
VALANDRO, J. **Transpiração do tomateiro cultivado fora do solo em estufa plástica e sua relação com os elementos meteorológicos e parâmetros de crescimento**. 1999. 67 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

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

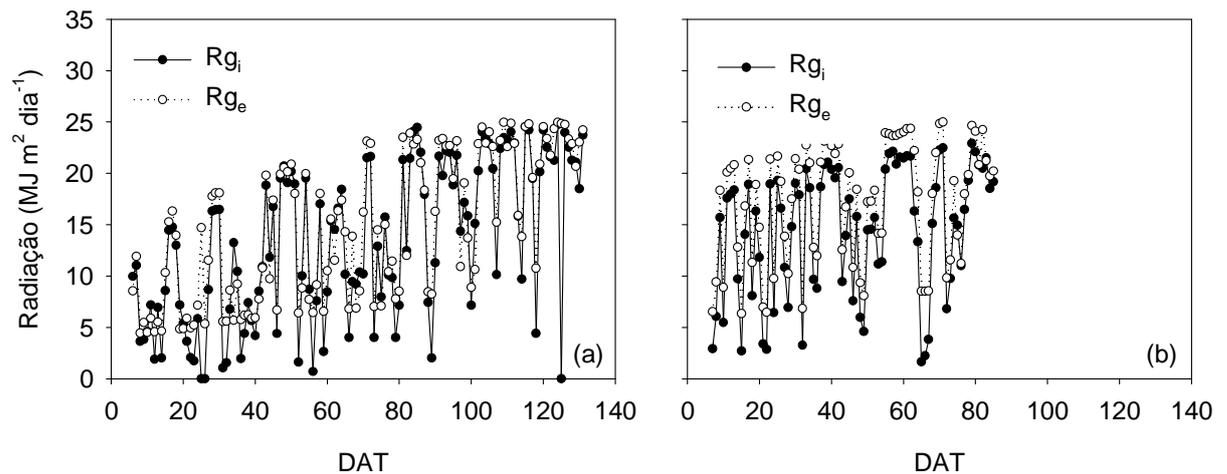
WILLMOTT, C. J. et al. Statistics for the evaluation and comparison of model. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.

APÊNDICES

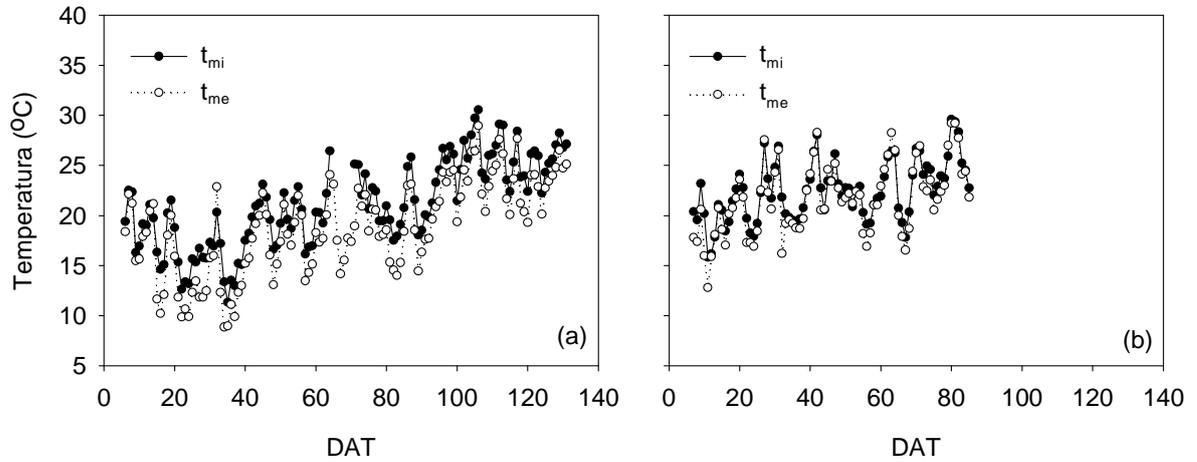
APÊNDICE A. Precipitação diária (mm) medida na Estação Meteorológica nos diferentes dias após o transplante (DAT) do pimentão cultivado em estufa plástica na primavera de 2005 (a) e 2006 (b). Santa Maria, RS.



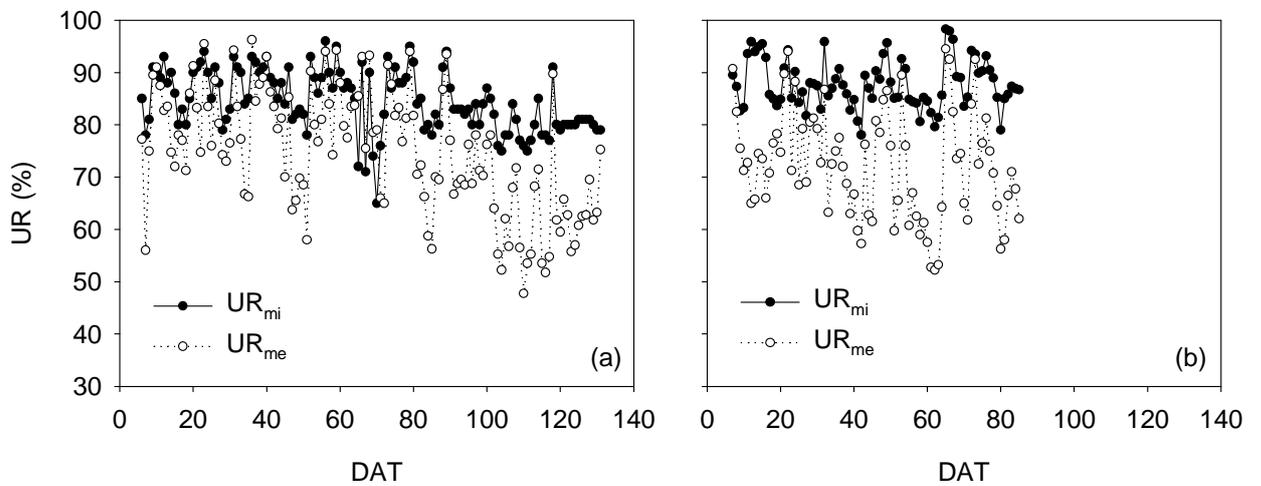
APÊNDICE B. Valores médios diários da densidade do fluxo de radiação solar global incidente (R_g) estimado para o exterior (e) e interior (i) da estufa plástica cultivada com pimentão, em função dos dias após o transplante (DAT) na primavera de 2005 (a) e de 2006 (b). Santa Maria, RS.



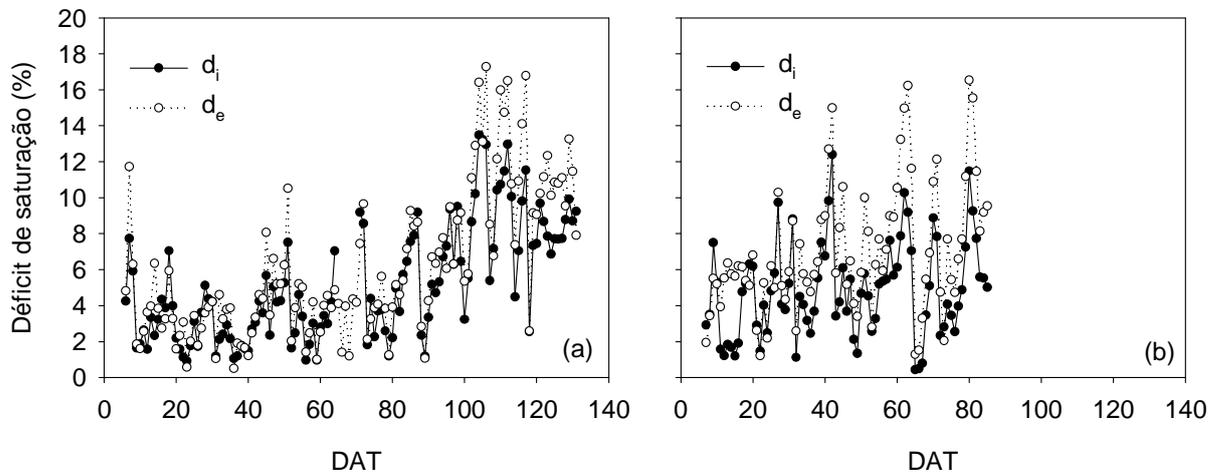
APÊNDICE C. Temperatura média diária do ar no exterior (t_{me}) e interior (t_{mi}) da estufa plástica cultivada com pimentão, em função dos dias após o transplante (DAT) na primavera de 2005 (a) e de 2006 (b). Santa Maria, RS.



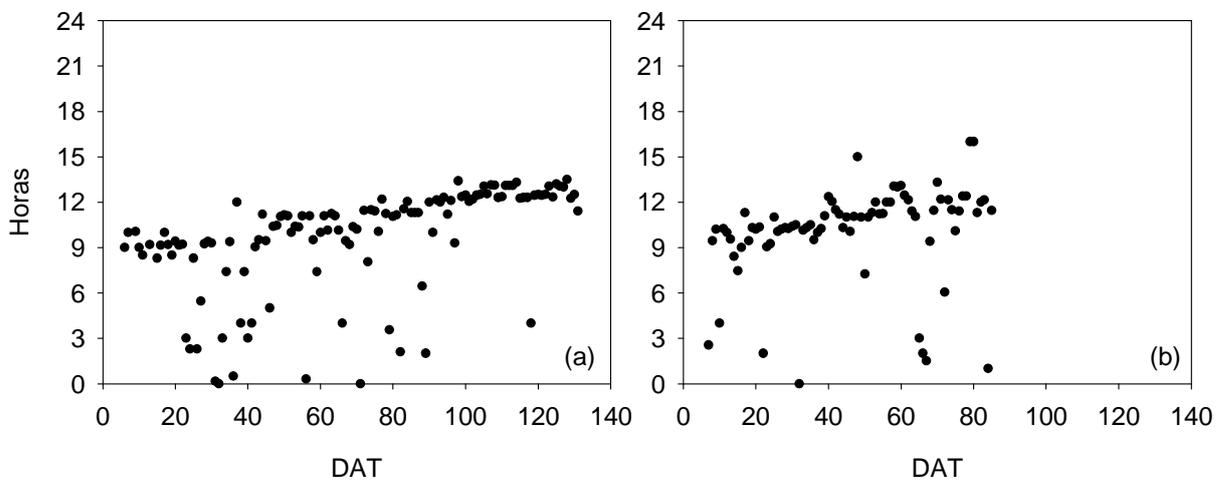
APÊNDICE D. Umidade relativa média do ar no exterior (UR_{me}) e interior (UR_{mi}) da estufa plástica cultivada com pimentão, em função dos dias após o transplante (DAT) na primavera de 2005 (a) e de 2006 (b). Santa Maria, RS.



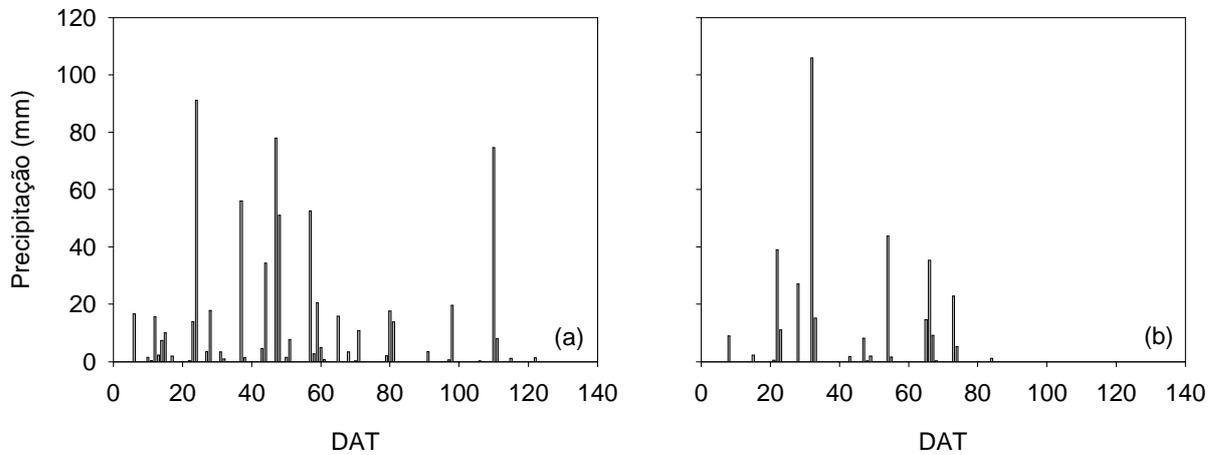
APÊNDICE E. Valores médios diários do déficit de saturação do ar no exterior (d_e) e interior (d_i) da estufa plástica cultivada com pimentão, em função dos dias após o transplante (DAT) na primavera de 2005 (a) e de 2006 (b). Santa Maria, RS.



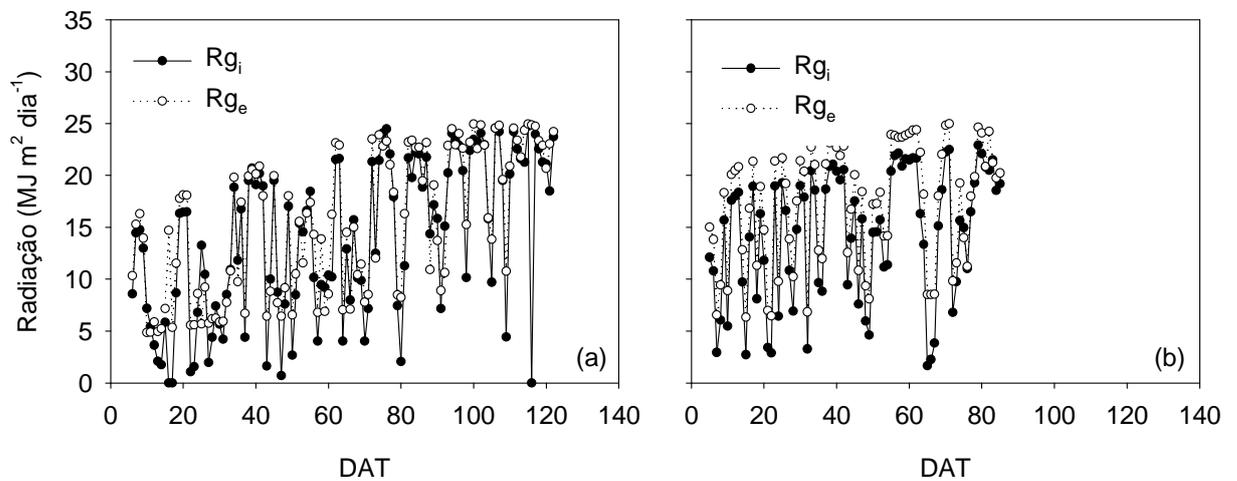
APÊNDICE F. Tempo médio diário em que as cortinas laterais (Leste -Oeste) e as portas (Norte - Sul) da estufa permaneceram abertas (DAT = dias após o transplante), cultivada com pimentão na primavera de 2005 (a) e de 2006 (b).. Santa Maria, RS.



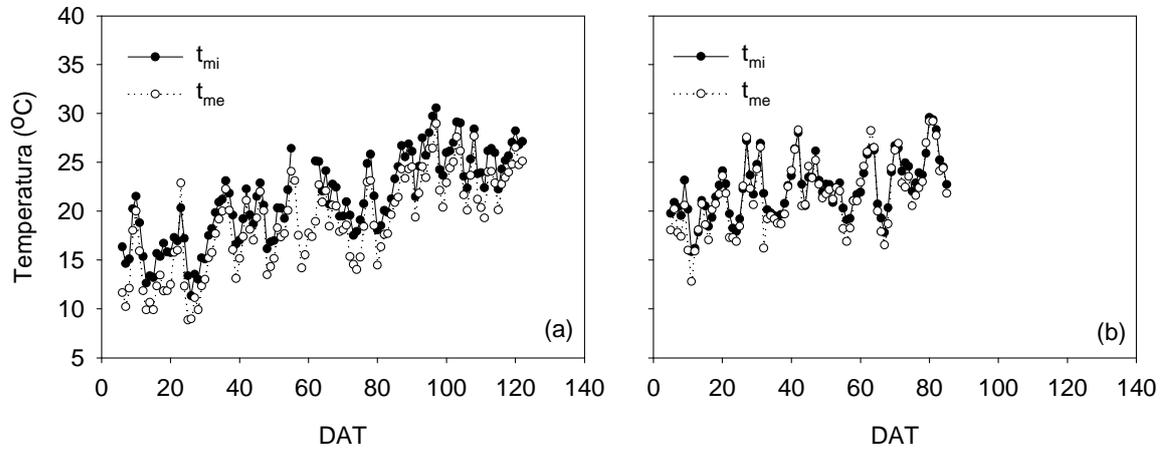
APÊNDICE G. Precipitação diária (mm) medida na Estação Meteorológica em função dos dias após o transplante (DAT) do tomateiro cultivado em estufa plástica na primavera de 2005 (a) e de 2006 (b). Santa Maria, RS.



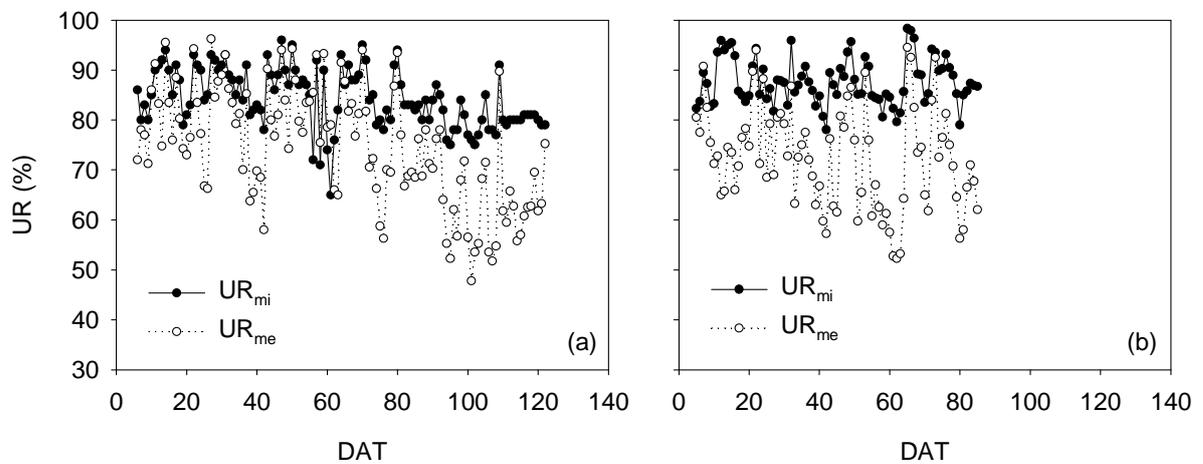
APÊNDICE H. Valores médios diários da densidade do fluxo de radiação solar global incidente (R_g) e do saldo de radiação (R_n) estimado para o exterior (e) e interior (i) da estufa plástica cultivada com tomateiro, em função dos dias após o transplante (DAT) na primavera de 2005 (a) e de 2006 (b). Santa Maria, RS.



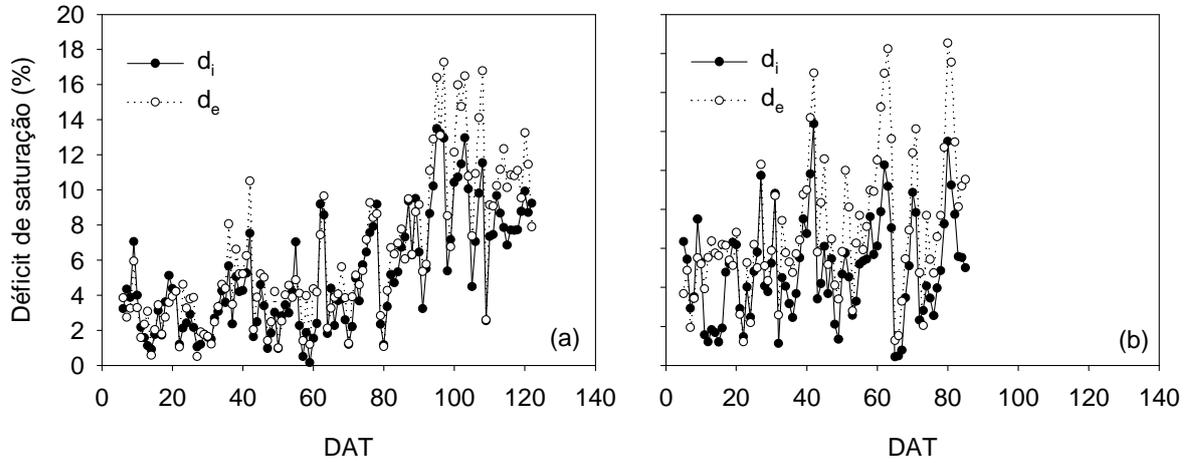
APÊNDICE I. Temperatura média diária do ar no exterior (t_{me}) e interior (t_{mi}) da estufa plástica cultivada com tomateiro, em função dos dias após o transplante (DAT) na primavera de 2005 (a) e de 2006 (b). Santa Maria, RS.



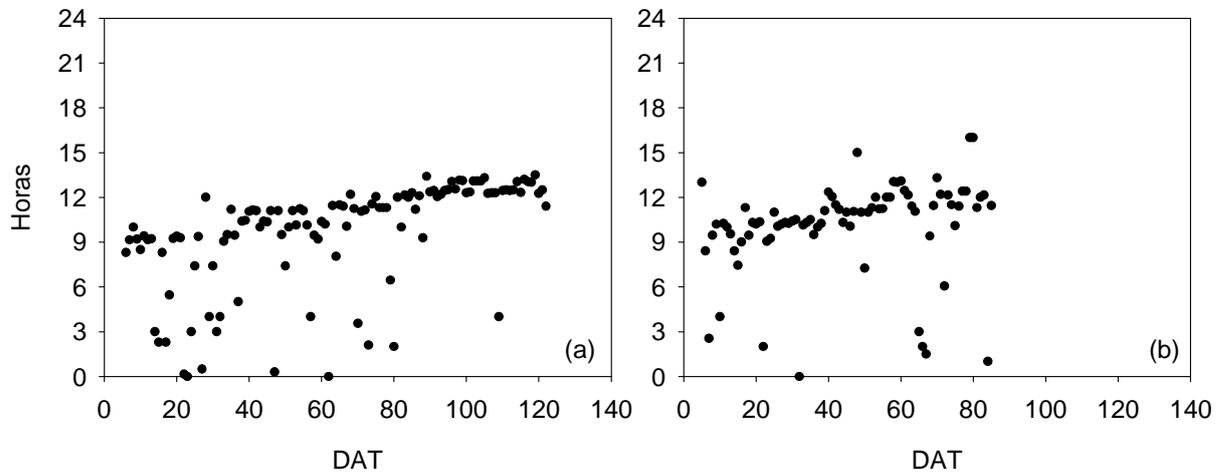
APÊNDICE J. Umidade relativa média do ar no exterior (UR_{me}) e interior (UR_{mi}) da estufa plástica cultivada com tomateiro, em função dos dias após o transplante (DAT) na primavera de 2005 (a) e de 2006 (b). Santa Maria, RS.



APÊNDICE K. Valores médios diários do déficit de saturação do ar no exterior (d_e) e interior (d_i) da estufa plástica cultivada com tomateiro, em função dos dias após o transplante (DAT) na primavera de 2005 (a) e de 2006 (b). Santa Maria, RS.



APÊNDICE L. Tempo médio diário em que as cortinas laterais (Leste -Oeste) e as portas (Norte - Sul) da estufa permaneceram abertas (DAT = dias após o transplante), cultivada com tomateiro na primavera de 2005 (a) e de 2006 (b).. Santa Maria, RS.



APÊNDICE M. Valores máximos diários da temperatura do ar no interior (a, b), do déficit de saturação do ar no interior (c e d) e da radiação solar global incidente no interior da estufa plástica (e e f) cultivada com tomateiro, em função dos dias após o transplante (DAT) na primavera de 2005 (a, c e e) e de 2006 (b, d e f). Santa Maria, RS.

