

ISSN 0104-1347

## 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<sup>1</sup>

Water evaporation inside plastic greenhouse and its relationship with the external environment: 2- type of crop and time of the year effects

Arno Bernardo Heldwein<sup>2</sup>, Astor Henrique Nied<sup>3</sup>, Silvio Luciano Saggin<sup>4</sup>, Galileo Adeli Burio<sup>1</sup> e Flavio Miguel Schneider<sup>5</sup>

**Resumo** - Determinou-se a razão entre a evaporação d'água medida com minitanques em estufas plásticas e na estação meteorológica e avaliou-se sua relação com os cultivos no interior das estufas e com a variação dos elementos meteorológicos ao longo do ciclo. Os minitanques constituíram-se de galões metálicos cilíndricos, com capacidade de 20 litros, pintados de cor branca, os quais foram instalados no interior de quatro estufas plásticas, cultivadas com diferentes espécies, e na estação meteorológica situada a cerca de 100m das estufas. Analisaram-se os efeitos das diferentes culturas sobre a evaporação nas épocas de primavera e de outono. Também foram ajustados modelos de regressão para estimar a evaporação nas estufas cultivadas com tomateiro a partir de variáveis meteorológicas medidas na estação. Constatou-se que a evaporação foi, em média, 52% menor dentro das estufas em relação ao ambiente externo, mas tende a decrescer ao longo do ciclo das culturas, e que a diferença entre os dois ambientes é afetada pela espécie cultivada na estufa, principalmente, pelo espaço aéreo da estufa ocupado pelas plantas decorrente do seu crescimento vegetativo. Os elementos meteorológicos que melhor estimaram a evaporação nas estufas cultivadas com tomateiro foram, a evapotranspiração de referência, calculada pelo método de Penman-Monteith, a radiação solar global incidente e média diária do déficit de saturação do ar.

**Palavras-chave:** evaporação, minitanques, ambiente protegido, estimativa, elementos meteorológicos.

**Abstract** - The objective of this study was to measure the rate of evaporation inside a plastic greenhouse and use this information for modeling the water consumption of protected crops through empirical models. The rate of evaporation was measured in small tanks (20 l) inside plastic greenhouses and in a standard weather station. The choice of simple home-made tanks for measuring evaporation was because this device can be easily used by growers. Different crops were grown inside the greenhouses. Linear regression was performed to estimate the rate of evaporation as a function of meteorological data and the type of crop. On average, the rate of evaporation was 52% lower inside the plastic greenhouses compared to the rate of evaporation observed from the weather station. The difference in evaporation between the two environments decreased as the crop developed towards maturity because of the greater leaf area that occupied the volume of air of the greenhouses. Meteorological data more correlated with the evaporation inside the greenhouses were the reference evapotranspiration calculated based on the Penman-Monteith method, global solar radiation and mean water vapor deficit of air.

**Key words:** evaporation, greenhouse, meteorological data, small tanks, season, estimation.

<sup>1</sup>Pesquisa financiada pela FAPERGS e FIPE-UFSM.

<sup>2</sup>Prof. Titular Dr., Departamento de Fitotecnia, CCR, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Bolsista CNPq, 97105-900 Santa Maria - RS, E-mail: [heldwein@creta.ccr.ufsm.br](mailto:heldwein@creta.ccr.ufsm.br)

<sup>3</sup>Acadêmico do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFSM. Bolsista da CAPES.

<sup>4</sup>Acadêmico do Curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Bolsista Iniciação Científica BIC-FAPERGS.

<sup>5</sup>Prof. Titular MSc., Departamento de Fitotecnia, CCR, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

## Introdução

A produção de alimentos está condicionada a fatores ambientais que, em muitos casos, prejudicam o desenvolvimento das plantas, fazendo com que determinadas regiões sejam importadoras de alimentos, principalmente nas entressafras. O Rio Grande do Sul é um Estado que não é auto-suficiente em muitos dos produtos olerícolas que são consumidos, por apresentar um período de produção limitado por adversidades climáticas e inverno com temperaturas mínimas prejudiciais ao crescimento e desenvolvimento de um grande número de espécies olerícolas (BURIOL, 1976). Uma das conseqüências é a elevação dos preços na entressafra, aliado a algumas limitações técnicas para produção, armazenamento e transporte por longas distâncias.

O uso da técnica do cultivo de espécies olerícolas em ambientes parcialmente modificados, principalmente em estufas plásticas, permite ampliar o período de produção, abastecendo assim o mercado local no período de entressafra. No entanto, esta atividade requer o conhecimento e domínio das técnicas de cultivo e manejo da cultura adequadas às condições do ambiente modificado das estufas, bem como da construção e do manejo das mesmas. Nesse sentido, o conhecimento do comportamento da evaporação d'água ( $E_o$ ) pode ser considerado de grande importância, visto que esse processo físico é regido pelos mesmos elementos meteorológicos que determinam a evapotranspiração de uma cultura ( $E_{Tc}$ ) (BERLATO & MOLION, 1983). A partir dessa relação entre  $E_o$  e  $E_{Tc}$ , a determinação da evaporação d'água poderia ser usada para estimar as necessidades hídricas das culturas instaladas nesse ambiente modificado (DALSSASSO, 1997).

No ambiente da estufa o movimento do ar e a remoção do vapor d'água junto a superfícies que perdem água por evaporação ou transpiração é mais lento do que no ambiente externo e, por isso, se espera que a evaporação, bem como a evapotranspiração no ambiente das estufas seja menor do que fora das mesmas. SCHÖFFEL & VOLPE (1999), numa área protegida por quebra-ventos, fora de estufas, verificaram que a relação entre a evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ) e evaporação medida com tanque Classe A ( $E_{To} / E_o$ ) decresceu com o aumento da velocidade do vento e que a umidade relativa do ar é o elemento meteorológico que mais afeta esta relação, apresentando correlação positiva. Esses resultados permitem inferir que no interior das estufas esta relação também é afetada, pois as mesmas também alte-

ram a velocidade do vento e a umidade relativa do ar e, portanto, isso deve ser considerado ao se utilizar a evaporação como variável independente em modelos para estimar a evapotranspiração das culturas.

No interior de uma estufa tipo capela, com cortinas permanentemente abertas, HEIZMANN & ANDRIOLO (1991) obtiveram uma redução de 22,1% na evaporação medida com tanque Classe A em relação aquela medida na estação meteorológica. Verificaram ainda que, no período em que houve abertura e fechamento das cortinas, controlado em função das condições meteorológicas, dentro da estufa a mesma diminuiu para 59,3% daquela do ambiente externo. Nas mesmas condições experimentais medidas de evaporação com evaporímetro de Piche por SCHMIDT & BURIOL (1991) apresentaram redução de 3,5% e 54,6%, respectivamente, em relação ao ambiente externo. BRAGA *et al.* (1999) verificaram que a evaporação medida com tanque Classe A no interior de estufas orientadas no sentido Leste/Oeste e Norte/Sul foi sempre menor que fora das mesmas e correspondeu em média a 68,0 e 63,5%, respectivamente, daquela verificada num tanque Classe A externo. DALMAGO *et al.* (1997a), comparando a evaporação de água de minitanques nos dois ambientes, observaram uma redução ainda maior, que alcançou em média 50% daquela medida na estação, sendo a correlação entre ambas menor no outono do que na primavera. Uma avaliação conjunta dos resultados obtidos pelos diferentes pesquisadores permite inferir que a redução da evaporação pode ser dependente também do local, época do ano, manejo da estufa e, possivelmente, do tipo de instrumento usado e do grau de ocupação do espaço interno da estufa pela parte aérea das plantas. Para essa última hipótese não foi encontrada nenhuma avaliação na literatura.

Em função do exposto, neste trabalho objetivou-se quantificar, com a utilização de minitanques, a variação da evaporação de água em estufas plásticas em função da época de cultivo e das espécies cultivadas e obter índices ou modelos que descrevam sua relação com elementos meteorológicos medidos no ambiente externo.

## Material e métodos

Os experimentos foram conduzidos na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, na região central do Rio Grande do Sul (latitude: 29°42'S; longitude: 53°48'W; altitude: 95m). O clima da região, confor-

me a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical úmido, sem estação seca definida e com verões quentes (MORENO, 1961).

Foram utilizadas quatro estufas plásticas, cobertas com polietileno de baixa densidade (PEBD), área de 240m<sup>2</sup> e pé-direito de 2,0m e altura de 3,5m na parte, instaladas no sentido norte-sul, transversal aos ventos predominantes, cultivadas com diferentes espécies. As estufas encontravam-se espaçadas em 10,0m uma das outras, sendo totalmente circundadas por uma superfície gramada mantida com altura menor do que a 0,15m através de cortes freqüentes. Suas aberturas eram compostas por duas cortinas laterais e uma porta em cada extremidade, voltadas para o quadrante norte e sul. Em cada lateral havia uma saia fixa de filme plástico transparente, desde 0,20m abaixo do solo até 0,80m acima da superfície, acima da qual formava-se uma abertura de 40m<sup>2</sup> quando a cortina era totalmente aberta. Cada porta, quando aberta, proporcionava uma abertura de 5m<sup>2</sup>.

Na tabela 1 são apresentadas as culturas e suas épocas de cultivo nas respectivas estufas em todo o período experimental. As estufas foram manejadas conforme as condições meteorológicas reinantes, sendo abertas durante o dia, quando a temperatura do ar no exterior se elevasse acima de 10°C. O fechamento das mesmas ocorreu próximo ao por do sol nos dias quentes, duas horas antes do por do sol nos dias amenos e nublados e cerca de quatro horas antes do por do sol em dias frios, bem como durante os períodos de chuva. Todas as culturas foram implantadas em camalhões cobertos com "mulching" de PEBD preto, sob o qual a irrigação foi feita por gotejamento. Utilizou-se o espaçamento de 1,0m entre fileiras e 0,30m entre plantas na fileira, exceto para a berinjela, em que o espaçamento entre plantas foi de 0,40m.

As culturas foram implantadas, em todos os anos, na primavera, em meados/final de agosto, mantidas até o início de dezembro e, no outono, no

final de fevereiro e mantidas até início de junho. A estufa 1 foi sempre cultivada com tomateiro (*Lycopersicon esculentum*). Na estufa 2 implantou-se pepineiro (*Cucumis sativus*, L.) no outono de 1996 e 1997 e, no terceiro ano, meloeiro (*Cucumis melo* L.) em cultivo de outono e berinjela (*Solanum melongena*) de primavera. Na estufa 3 foi cultivado meloeiro na primavera e berinjela no outono em todos os anos. Na estufa 4 cultivou-se feijão-vagem (*Phaseolus sp.* L.) de hábito indeterminado no outono e tomateiro na primavera.

Para medir a evaporação utilizou-se minitanques construídos a partir de galões metálicos cilíndricos com capacidade de 20 litros, que, após serem limpos, foram pintados com zarcão e, externamente, também com tinta esmalte de cor branca. Na face interna superior do minitanque foi fixada uma régua para a leitura diária do nível da água. Sua instalação foi feita com o nível d'água a 1,7m de altura para evitar sombreamento pelas plantas, em quatro repetições por estufa, localizadas de forma equidistantes ao longo da linha central das estufas. Num experimento preliminar, realizado na primavera de 1995, sua instalação foi realizada diretamente sobre a superfície do solo, no centro (C), no lado oeste (W), no sudeste (SE) e no norte (N) da estufa, sendo os dados descartados devido a erros de paralaxe na leitura do nível d'água e, principalmente, a grande variabilidade dos valores medidos devido à heterogeneidade de sombreamento, causado pelas plantas. Na altura de 1,0m acima do bordo superior destes minitanques fixou-se uma cobertura adicional de PEBD transparente, com área de 0,30m<sup>2</sup>, para evitar o gotejamento de água proveniente da condensação na superfície interna da cobertura plástica da estufa, fato também constatado por BURIOL et al. (2001). Esta cobertura adicional, foi instalada numa posição de tal forma que não estivesse na trajetória da radiação solar direta incidente na superfície da água.

**Tabela 1.** Espécies cultivadas no período experimental nas diferentes estufas, no outono e na primavera dos anos de 1996 a 1998, em Santa Maria.

Ano	Estufa 01		Estufa 02		Estufa 03		Estufa 04	
	Outono'	Primavera''	Outono'	Primavera''	Outono'	Primavera''	Outono'	Primavera''
1996*	Tomateiro	Tomateiro	Pepineiro	Nc'''	Berinjela	Meloeiro	Feijão-vagem	Tomateiro
1997*	Tomateiro	Tomateiro	Pepineiro	Nc'''	Berinjela	Meloeiro	Feijão-vagem	Nc'''
1998	Tomateiro	Tomateiro	Meloeiro	Berinjela	Berinjela	Meloeiro	Feijão-vagem	Tomateiro

' Período compreendido entre os meses de março a maio; '' período compreendido entre os meses de setembro a novembro; ''' estufa não cultivada. \*Anos cujos dados foram utilizados na análise da relação da evaporação média das culturas entre os dois ambientes e de regressão para estimativa.

Os dados meteorológicos foram obtidos na estação meteorológica, localizada a 150, 130, 110, e 90m das estufas 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Na estação meteorológica, os minitanques foram instalados sobre a superfície do solo relvado, apoiados sobre um pedaço de tábua com dimensão igual ao diâmetro dos mesmos. Pelo fato das medidas de evaporação na estação meteorológica não serem realizadas no ano de 1998, a relação entre a evaporação medida nas estufas e no seu exterior foi analisada com os dados experimentais dos anos 1996 e 1997.

A análise de as diferenças de evaporação média diária entre os cultivos em todo o período experimental foi efetuada, para o outono, com dados dos anos de 1996, 1997 e 1998, e, para a primavera, usando-se apenas dados dos anos de 1996 e 1998, pois em 1997 duas estufas foram totalmente destruídas por vendaval. Procedeu-se da mesma forma para avaliar as diferenças de evaporação entre culturas no mês e nos diferentes meses na mesma cultura, nos anos de 1996 a 1998, bem como na comparação da média das culturas com o ambiente externo no mesmo mês e nos diferentes meses no mesmo ambiente, nos anos de 1996 e 1997, para cada época. Para avaliar a relação entre a evaporação no ambiente da estufa (Eoi), para cada cultura, e no exterior (Eoe) ao longo do ciclo, calculou-se médias quinzenais da evaporação nos dois ambientes nos anos de 1996 e 1997, em virtude de não se dispor de dados de evaporação na estação no ano de 1998, com os quais calculou-se os valores quinzenais da relação Eoi / Eoe para cada cultura e época. A verificação da diferença da relação média diária (Eoi / Eoe) entre os meses, em cada época de cultivo, efetuou-se a partir da relação diária dos cultivos, no mesmo período. Porém, nesses períodos, quando a evaporação medida no exterior foi igual a zero, os dias não foram incluído na análise.

A análise de variância, bem como de regressão para a obtenção de modelos de estimativa da evaporação em função dos diferentes elementos meteorológicos determinados na estação, foi efetuada com o pacote estatístico do "Software SAS". A evapotranspiração de referência foi determinada pelo método de Penman-Monteith, conforme PEREIRA *et al.* (1987).

## Resultados e discussão

A evaporação média diária determinada nos minitanques no interior das estufas (Eoi), apresentou diferença estatística significativa em relação a evapo-

ração medida na estação meteorológica (Eoe), para todas as épocas do ano consideradas, sendo em média 52% inferior ao ambiente exterior. Essa diferença é 5% mais acentuada na primavera do que no outono.

Considerando-se efeito das diferentes culturas implantadas no interior das estufas, verifica-se que no período do outono há o efeito significativo destas sobre a evaporação (Tabela 2). Nessa época, na estufa 4, cultivada com feijão-vagem, a evaporação foi menor, apenas não diferindo daquela observada na estufa 2 e 1, quando cultivadas com pepineiro e tomateiro, respectivamente. Na estufa 3, cultivada com berinjela, foi onde ocorreu o valor médio mais elevado de evaporação. Isso se deve provavelmente à menor ventilação nas estufas 4 e 2, devido ao maior desenvolvimento das plantas e ocupação do espaço aéreo pelas folhas apresentado pelo feijoeiro e pepineiro, enquanto que na estufa com berinjela, por esta cultura apresentar um porte bem menor do que as demais, provavelmente foi mais eficiente na renovação do ar. É possível fazer esta pressuposição pelo fato de que a umidade relativa do ar durante o dia foi menor na estufa cultivada com berinjela e, na estufa cultivada com feijão-vagem, a necessidade de irrigação foi a menor dentre as demais culturas, como constataram DALMAGO *et al.* (1997b). No entanto, na época de primavera verificou-se que a evaporação não diferiu significativamente entre as quatro estufas, observando-se apenas a tendência de ocorrer maior evaporação onde foi cultivada a berinjela.

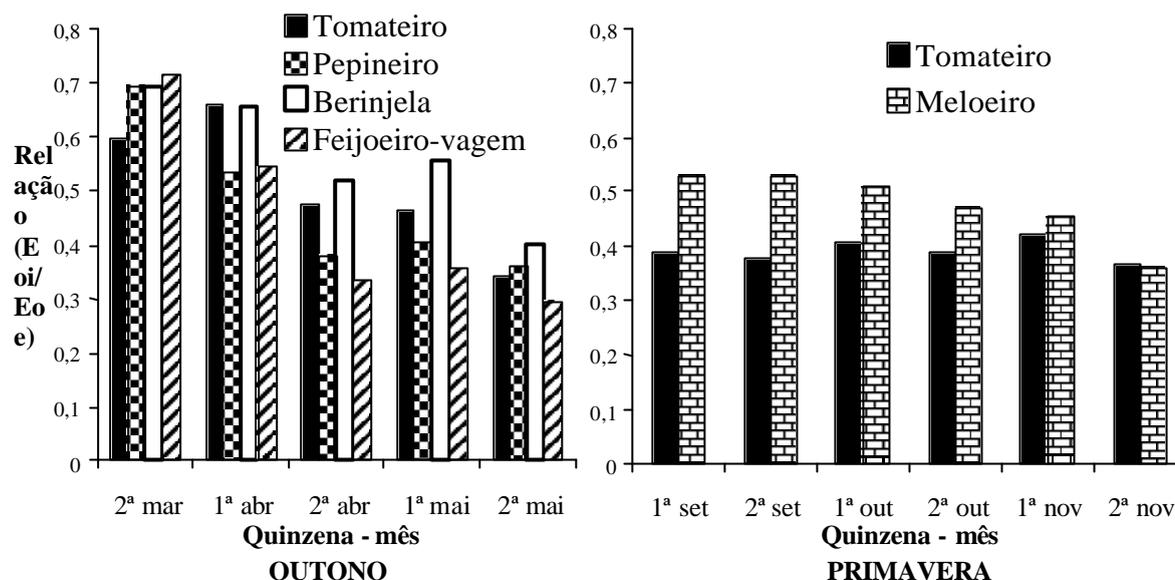
A relação Eoi / Eoe, apresentou tendência de diminuir à medida que o ciclo de desenvolvimento das culturas chegou ao final, como pode ser observado na Figura 1. Essa tendência foi observada nas duas épocas, sendo comprovada estatisticamente apenas no outono. Ela pode estar associada ao crescimento vegetativo das culturas que ocuparam mais o espaço

**Tabela 2.** Evaporação média diária (mm) medida em minitanques no interior de estufas plásticas cultivadas com diferentes espécies olerícolas, no outono e na primavera. Santa Maria, 1996 a 1998.

	Estufa 1	Estufa 2	Estufa 3	Estufa 4
Outono	1,749 <sup>1</sup> ab	1,623 <sup>2</sup> b	1,972 <sup>3</sup> a	1,606 <sup>5</sup> b
Primavera	2,101 <sup>1</sup> a	2,352 <sup>3</sup> ab	2,136 <sup>4</sup> ab	2,032 <sup>1</sup> b

Médias seguidas por letras diferentes, na horizontal, diferem entre si pelo Teste de Duncan ao nível de 5%.

<sup>1</sup>Tomateiro; <sup>2</sup>Pepineiro; <sup>3</sup>Berinjela; <sup>4</sup>Meloeiro; <sup>5</sup>feijão-vagem.



**Figura 1.** Relação entre a evaporação medida com minitanques dentro das estufas plásticas, cultivadas com diferentes espécies olerícolas (Eoi), e na estação meteorológica (Eoe). Santa Maria, outono e primavera de 1996 e 1997.

aéreo da estufa na medida em que o ciclo evoluiu, interferindo na circulação de ar e na umidade relativa do ar no interior da estufa, uma vez que a evapotranspiração da cultura também é maior. Essa hipótese foi confirmada pelo fato de que as diferenças estatísticas observadas entre os valores médios do ciclo nos ambientes com diferentes cultivos (Tabela 2) não ocorreram no primeiro mês após o transplante e, sim, são decorrentes das diferenças que ocorreram no 2º e 3º mês entre os ambientes condicionados pelos cultivo das diferentes espécies

(Tabela 3).

Na Tabela 3, observa-se que evaporação média mensal decresceram nos meses de outono, a medida que diminuiu a demanda atmosférica, e na primavera tornou a se elevar. Este fato foi observado tanto para as estufas, quanto para o ambiente exterior. A comparação dos valores médios da relação interior exterior (Eoi / Eoe) entre os meses confirmou a tendência de que a ocupação do espaço aéreo pela cultura interferiu na evaporação, pois se isso não fosse verdadeiro, na primave

**Tabela 3** – Média diária mensal da evaporação d'água (mm) em minitanques instalados no interior de estufas plásticas cultivadas com diferentes espécies olerícolas. Valores médios diários das quatro estufas e da estação meteorológica, em Santa Maria - RS.

Meses	Culturas no outono (1996, 1997 e 1998)				Ambiente – 1996 e 1997		
	Tomateiro	Pepineiro	Berinjela	Feijão-vagem	Interior	Exterior	Relação Eoi / Eoe
Março	2,839 a A	2,915 a A	3,187 a A	3,034 a A	3,500 β A	4,680 α A	0,758A
Abril	1,727 a B	1,384 b B	1,760 a B	1,269 b B	1,758 β B	3,562 α B	0,610AB
Mai	1,056 b C	0,955 b C	1,223 a C	0,759 c C	1,035 β C	2,703 α C	0,431 B
Meses	Culturas na primavera (1996 e 1998)				Ambiente - 1996 e 1997		
	Tomateiro	Berinjela	Meloeiro	Tomateiro	Interior	Exterior	Relação Eoi / Eoe
Setembro	1,495 a C	1,557 a C	1,789 a B	1,477 a B	1,669 β B	3,881 α B	0,469 A
Outubro	2,008 b B	2,429 a B	1,957 b B	1,872 b B	1,686 β B	4,126 α B	0,452 A
Novembro	2,815 a A	3,093 a A	2,675 a A	2,763 a A	2,529 β A	6,423 α A	0,430 A

Médias seguidas por letras minúsculas ou gregas diferentes na horizontal e de letras maiúsculas na vertical, diferem entre si pelo Teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidades.

**Tabela 4.** Modelos de regressão para estimar a evaporação d'água no interior das estufas plásticas, a partir de elementos meteorológicos e da evaporação d'água em minitanques, obtidos na estação meteorológica nos anos de 1996 à 1998, e respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), em Santa Maria RS.

Modelos de Regressão*	$R^2$
Modelos gerais para as épocas de outono e primavera:	
$E_{oi} = 0,416 + 0,35442 E_{oe}$	0,514
$E_{oi} = 0,398 + 0,42104 E_{CA}$	0,510
$E_{oi} = - 0,304 + 0,963067 ET_{MTH}$	0,609
$E_{oi} = - 0,556 + 0,007540 R_g$	0,585
$E_{oi} = - 0,248 + 0,075342 D + 0,781336 ET_{MTH}$	0,619
$E_{oi} = - 0,490 + 0,005260 R_g + 0,1397495 D$	0,639
$E_{oi} = 1,027 - 0,0161834 UR_{15} + 0,821732 ET_{MTH}$	0,640
Modelos para a época de Primavera:	
$E_{oi} = 0,484 + 0,37370 E_{CA}$	0,550
$E_{oi} = 0,483 + 0,31608 E_{oe}$	0,640
$E_{oi} = - 0,152 + 0,83074 ET_{MTH}$	0,661
$E_{oi} = - 0,344 + 0,00671 R_g$	0,661
$E_{oi} = - 0,032 + 0,08993 D + 0,59122 ET_{MTH}$	0,688
$E_{oi} = - 0,272 + 0,12192 D + 0,004544 R_g$	0,742
$E_{oi} = 0,231 - 0,035297 T_{min} + 0,877514 ET_{MTH}$	0,676
$E_{oi} = 1,416 - 0,020136 UR_{15} + 0,675761 ET_{MTH}$	0,752
Modelos para a época de Outono:	
$E_{oi} = 0,282 + 0,54806 E_{CA}$	0,490
$E_{oi} = - 0,027 + 0,57559 E_{oe}$	0,490
$E_{oi} = - 0,668 + 1,322352 ET_{MTH}$	0,713
$E_{oi} = - 1,1229 + 0,00996 R_g$	0,608
$E_{oi} = - 0,356 - 0,046721 T_{min} + 1,495656 ET_{MTH}$	0,737
$E_{oi} = - 1,109 + 0,16311 D + 0,00760 R_g$	0,660

\* Todos os parâmetros dos modelos são significativos pelo teste t, ao nível de 5% de probabilidade;

$E_{oi}$  = Evaporação do Tanque Reduzido na estufa ( $mm \cdot dia^{-1}$ );

$E_{oe}$  = Evaporação do Tanque Reduzido na estação meteorológica ( $mm \cdot dia^{-1}$ );

$E_{CA}$  = Evaporação do Tanque Classe A na estação meteorológica ( $mm \cdot dia^{-1}$ );

$ET_{MTH}$  = Evapotranspiração potencial ( $mm \cdot dia^{-1}$ ), determinada pelo método de Penman-Monteith;

$R_g$  = radiação solar global incidente ( $cal \cdot cm^{-2} \cdot dia^{-1}$ ), estimada pelo método de Ångström-PreScott, com parâmetros determinados por ESTEFANEL *et al.* (1990);

$D$  = média diária do déficit de saturação do ar (hPa);

$UR_{15}$  = umidade relativa do ar às 15 horas no abrigo meteorológico (%);

$T_{min}$  = Temperatura mínima diária do ar no abrigo meteorológico ( $^{\circ}C$ ).

ra, na medida em que as estufas ficaram abertas por um período mais prolongado nos meses de outubro e novembro, essa relação deveria aumentar, o que não ocorreu, presumivelmente, pelo efeito contrário da dificuldade de ventilação causada pelo maior desenvolvimento da parte aérea do dossel de plantas.

Na análise de regressão para a estimativa da evaporação diária (mm) no interior da estufa plástica com tomateiro, foram selecionados os elementos meteorológicos que mais influenciaram a variação da evaporação d'água, utilizando regressão simples e múltipla, sendo os modelos selecionados apresentados na Tabela 4. Os elementos meteorológicos que melhor estimaram a evaporação nas estufas cultivadas com as diferentes espécies foram,  $ET_{MTH}$ , calculada pelo método de Penman-Monteith ( $ET_{MTH}$ ), radiação solar global ( $R_g$ ) e a média diária do déficit de saturação do ar ( $D$ ) ou, na época de primavera, a umidade relativa do ar às 15 horas ( $UR_{15}$ ). A média das três repetições de evaporação, medida com minitanques na estação meteorológica ( $E_{oe}$ ), em regressão linear para estimar a média da evaporação nas quatro estufas, apresentou coeficiente de determinação muito baixo ( $r^2 = 0,514$ ). Resultados semelhantes foram obtidos com a utilização da evaporação medida com tanque Classe A ( $E_{CA}$ ). As variáveis  $UR_{15}$ ,  $D$  e temperatura mínima diária do ar ( $T_{min}$ ) apresentaram baixa correlação em regressão linear simples, porém melhoraram significativamente a estimativa da  $E_{oi}$ , quando foram utilizadas como segunda variável independente em regressão múltipla juntamente com  $ET_{MTH}$  ou  $R_g$ . A regressão negativa entre  $T_{min}$  e  $E_{oi}$  pode ser explicada pelo fato de que nos dias com menor  $T_{min}$ , decorrente da condição de céu claro, ar com baixo teor de umidade e ventos calmos, típica da presença de um anticiclone sobre a região, ocorre alta insolação. Em consequência, desde a manhã até a tarde ocorre um aumento de temperatura e déficit de saturação do ar maior do que em dias com maior nebulosidade e maior pressão parcial de vapor d'água. Como

essa relação é diferente nas épocas de outono e de primavera, conforme é verificado pelos coeficientes  $E_{oi} = a - b_1 T_{min} + b_2 ET_{MTH}$ , para as duas épocas, não foi possível obter um modelo geral único para essas duas épocas.

### Conclusões

Considerando as condições experimentais em que foram obtidos os dados, pode-se concluir que a época do ano, a espécie cultivada e o crescimento da parte aérea das plantas afetam a evaporação no interior das estufas, bem como sua relação com a evaporação medida na estação meteorológica.

### Referências bibliográficas

- BERLATO, M.A., MOLION, L.C.B. **Evaporação e Evapotranspiração**. Porto Alegre : IPAGRO, 1981. 96 p. (Boletim técnico 7).
- BRAGA, M.B., KLAR, A.E., SANTOS, R.F. Evaporação e evapotranspiração de referência em campo e estufa orientadas no sentido N/S e L/O. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., 1999, Florianópolis, SC. **Programa e Resumo dos Anais ...**, Florianópolis : Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/EPAGRI, 1999, 631 p. p. 429.
- BURIOL, G.A. Intensidade das temperaturas mínimas e datas de ocorrência de níveis térmicos prejudiciais aos cultivos. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 27-42, 1976.
- BURIOL, G.A., LUZZA, J., HELDWEIN, A.B., STRECK, N.A. Evaporação d'água em estufas plásticas e sua relação com o ambiente externo: 1- avaliação com o uso do tanque Classe A e do evaporímetro de Piche. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 35-41, 2001.
- DALMAGO, G.A., HELDWEIN, A.B., NIED, A.H, et al. Relação entre a evaporação medida com minitanques no interior de estufas plásticas e na estação meteorológica. In: JORNADA INTEGRADA DE PESQUISA ENSINO E EXTENSÃO, 4., 1997, Santa Maria, RS. **Anais ...**, Santa Maria : PRPGP/Universidade Federal de Santa Maria, 1997a. p. 634.
- DALMAGO, G.A., HELDWEIN, A.B., NIED, A.H, et al. Irrigação de espécies olerícolas cultivadas em estufas plásticas. In: Jornada Integrada de Pesquisa Ensino e Extensão, 4., 1997, Santa Maria, RS. **Anais ...**, Santa Maria : PRPGP/Universidade Federal de Santa Maria, 1997b. p. 633.
- DALSASSO, L.C.M. **Consumo d'água e coeficiente de cultura do tomateiro (*Lycopersicon esculentum*, M.) e do pepino (*Cucumis sativus*, L.) cultivados em estufa plástica**. Santa Maria : UFSM, 1997, 84 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, 1997.
- ESTEFANEL, V., SCHNEIDER, F. M., BERLATO, M. A. et al. Insolação e radiação solar em Santa Maria, RS: I – Estimativa da radiação solar global incidente a partir dos dados de insolação. **Revista do Centro de Ciências Rurais**. Santa Maria, v. 20, n. 3-4, p. 203-218. 1990.
- HEIZMANN, C.J., ANDRIOLO, J.L. Evaporação da água no interior de estufa de polietileno. 2 – Evaporação medida no tanque Classe A. In: JORNADA DE PESQUISA DA UFSM, 1., 1991, Santa Maria - RS, UFSM. **Anais ...**, Santa Maria : Universidade Federal de Santa Maria, 1991. 374 p. p. 80.
- MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, 1961. 46 p.
- PEREIRA, A.R., VILLA NOVA, N.A., SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba : FEALQ, 1997. 183 p.
- SCHÖFFEL, E.R., VOLPE, C.A. Relação entre evapotranspiração de referência, estimada pelo método de Penman-Monteith, e a evaporação do tanque Classe A em ambiente protegido do vento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., 1999, Florianópolis, SC. **Programa e Resumo dos Anais ...**, Florianópolis : Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/EPAGRI, 1999, 631 p.
- SCHMIDT, C.D.S., BURIOL, G.A. Evaporação da água no interior de estufa de polietileno. 1 – Evaporação medida no evaporímetro de Piche. In: JORNADA DE PESQUISA DA UFSM, 1., 1991, Santa Maria - RS, **Anais ...**, Santa Maria : Universidade Federal de Santa Maria, 1991. 374 p. p. 79.