

## ALTERAÇÕES MICROMETEOROLÓGICAS EM AMBIENTES PROTEGIDOS CULTIVADOS COM MINITOMATE ORGÂNICO

**HAROLDO FERREIRA DE ARAÚJO<sup>1</sup>; PAULO ADEMAR MARTINS LEAL<sup>2</sup>;  
THAIS QUEIROZ ZORZETO<sup>3</sup>; EDUARDO FERNANDES NUNES<sup>4</sup>; PÂMELA  
SANTAGUITA BETIN<sup>5</sup> E GUILHERME FRANCISCO PLANA SERVILHA<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Eng. Agrônomo, Pesquisador Doutor, Faculdade de Engenharia Agrícola, FEAGRI/UNICAMP, Av. Cândido Rondon, 501 - Cidade Universitária, Campinas - SP, 13083-875, Fone: (19) 3521-1123, haroldfa@gmail.com

<sup>2</sup> Eng. Agrícola, Prof. Doutor, Faculdade de Engenharia Agrícola, FEAGRI/UNICAMP, Campinas-SP; E-mail: paulo.leal@ggo.unicamp.br

<sup>3</sup> Eng<sup>a</sup>. Agrícola, Doutor (a), FEAGRI/UNICAMP, Campinas-SP; E-mail: thaisqz@uol.com.br

<sup>4</sup> Eng. Telecomunicações, Doutor em Eng. Agrícola, FEAGRI/UNICAMP, Campinas-SP; E-mail: nunes.r4f@gmail.com

<sup>5</sup> Eng. Agrícola, Graduandos, FEAGRI/UNICAMP, Campinas-SP; E-mails: pamela\_betin@hotmail.com e guilhermeservilha@gmail.com

### 1 RESUMO

Várias são as tecnologias utilizadas para a modificação das variáveis meteorológicas em ambiente protegido, porém as alterações e a resposta das culturas sob essas modificações devem ser estudadas. Assim, objetivou-se avaliar as alterações das variáveis meteorológicas em horários sinóticos em diferentes alturas no perfil vertical do centro geométrico de casas de vegetação com diferentes sistemas (resfriamento evaporativo, ventilação mecânica e sombreamento), e cultivadas com minitomate orgânico. Analisaram-se dados de radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar, sendo estas últimas nas alturas de 1, 2 e 3 m do piso, em horários sinóticos intermediários (3, 9, 15 e 21 horas) coletados nos diferentes ambientes. A partir dos resultados, notou-se que o microclima em ambientes protegidos somente com malhas termorrefletoras, pode ser caracterizado por um sensor na área de produção no perfil vertical entre 1 e 2 m e outro no bolsão térmico. A associação dos sistemas automatizados de resfriamento evaporativo, ventilação mecânica e tela termorrefletora, permitiram que a temperatura máxima e a umidade relativa do ar mínima fossem mantidas em um nível adequado. Os ambientes com tela termorrefletora móvel foram eficientes na atenuação da radiação solar global diária para a cultura.

**Palavras-chave:** Graus tecnológicos, tela de sombreamento, controle automatizado, cultivo orgânico.

**ARAÚJO, H. F.; LEAL, P. A. M.; ZORZETO, T. Q.; NUNES, E. F.; BETIN, P. S.;  
SERVILHA, G. F. P  
METEOROLOGICAL VARIABLES IN GREENHOUSES CULTIVATED WITH  
ORGANIC TOMATO**

### 2 ABSTRACT

There are several technologies used for modification of the micrometeorological variables in greenhouse, but the changes and crop response to these modifications must be studied. The

objective was to evaluate changes in micrometeorological air variables in synoptic times at different heights in vertical profile at the geometric center of greenhouses with different systems (evaporative cooling, mechanical ventilation and shading) and cultures grown with organic minitomate. Solar radiation, temperature and relative humidity data were assessed, the latter with heights of 1, 2 and 3 m from the floor in intermediate synoptic times (3, 9, 15 and 21 hours) collected in different greenhouses. The results showed that the microclimate in greenhouses with thermal reflector screens meshes could be characterized as a sensor in the production area of vertical profile between 1 and 2 m and other thermal pocket with readings from day to night of intermediate synoptic hours. The combination of automated evaporative cooling systems, ventilation and thermal reflector screen, allowed the maximum temperature and the relative humidity of minimum air were kept in a desired amplitude control. The mobile thermal reflector screen greenhouses were effective in the attenuation of daily solar radiation, while setting a fixed thermal reflector screen recorded values below the limit for trophic culture.

**Keywords:** Technological Degrees, shade cloth, automated control, organic production.

### 3 INTRODUÇÃO

O tomateiro constitui uma das hortaliças mais produzidas do mundo, porém, devido às exigências edafoclimáticas e a suscetibilidade da cultura a pragas e doenças, a produção de tomate de mesa, em alguns estados brasileiros, tem sido realizado principalmente em ambiente protegido. Salienta-se que adoção dessa estrutura para produção agrícola vem crescendo a cada ano no Brasil, sendo importante monitorar a temperatura e a umidade relativa do ar, e de certa forma, controlá-las se possível dentro da faixa recomendável para as culturas. Esses elementos, associados à radiação solar e a outros elementos abióticos são essenciais ao desenvolvimento das plantas, devido sua interferência nas variáveis de produção (BOJACÁ et al., 2009).

Sob cultivo protegido, as variáveis que definem o ambiente interno são fortemente alteradas pelos fatores externos, como o clima, e por fatores internos, como o tipo de material de cobertura, das laterais, da cultura, além dos mecanismos de controle micrometeorológicos utilizados (REIS et al., 2013; SONI; SALOKHE; TANTAU, 2005). Contudo, por se tratar de um país tropical, propor o controle da temperatura do ar dentro de faixa tolerável para as culturas pode ser um desperdício de recursos financeiros. Porém atenuar a energia da radiação solar ao longo do dia pode ser determinante para elevar a produtividade das culturas, visto a diminuição da taxa transpiratória das plantas (ANDRIOLO, 1999).

Dentre os sistemas ou tecnologias utilizadas para o controle das variáveis temperatura do ar, umidade relativa e radiação solar, estão a ventilação mecânica, o resfriamento evaporativo, a nebulização, o aquecimento e o sombreamento, associados ou não a casas de vegetação. Porém, estruturas dotadas com estes sistemas são de elevado valor aquisitivo fator que restringe sua difusividade e limita as informações de manejo para auxiliar na tomada de decisão, principalmente nas condições do Brasil.

O controle das variáveis micrometeorológicas em ambiente protegido é realizado, principalmente, em função de sensores de radiação, temperatura e umidade relativa do ar. Estes compõem um elemento importante nas malhas de controle, visto que fornecem os dados que serão usados para definir a atuação dos processos envolvidos no controle (TERUEL, 2010). Segundo Voltan et al. (2013), o controle avançado do microclima em uma casa de

vegetação envolve muitas variáveis e processos não lineares complexos, que podem elevar os custos de investimentos. Entretanto, esses autores ressaltam que o posicionamento dos sensores no perfil vertical, dentro dos ambientes de produção, pode variar em função das tecnologias utilizadas.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar as alterações das variáveis micrometeorológicas do ar, em horários sinóticos em diferentes alturas no perfil vertical do centro geométrico de casas de vegetação, com diferentes sistemas de controle (resfriamento evaporativo, ventilação mecânica e tela termorrefletora), cultivadas com minitomate orgânico.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa foi conduzida no período de março a novembro de 2013, em três casas de vegetação instaladas na Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), no município de Campinas-SP. As casas foram instaladas em posições paralelas entre si e orientadas Norte-Sul, tendo a forma e o volume igual, com área total de 70,40 m<sup>2</sup> (6,4 x 11 m) e 3,0 m de pé-direito. A cobertura em duas águas de todas as casas realizada com plástico de polietileno de baixa densidade (PEBD) difusor antivírus de 150 µm de espessura (M36 Clear).

As denominações dadas aos ambientes de produção foram: *ambiente A* - casa de vegetação (CVA) totalmente fechada com plástico PEBD difusor antivírus de 150 µm de espessura, e equipada com sistemas de controle automatizado dos equipamentos de ventilação mecânica, resfriamento evaporativo e tela termorrefletora móvel. A ventilação mecânica consistiu de um exaustor (ED24), instalado acima da altura do pé-direito, acionado em função da leitura de um sensor de temperatura (SHT-75, precisão ±0,3 °C) instalado no perfil vertical do centro geométrico (3 m) na região do bolsão térmico, com lógica de comando de acionamento desse exaustor quando a temperatura atingia 26 ± 2 °C, desligando-o em 24 ± 2 °C.

O sistema de resfriamento evaporativo compreendeu de (1) um meio poroso (CelDek®), instalado na face Sul (0,5 m), nas dimensões (6,4 x 1,5 x 0,15 m), umidificado por um sistema fechado de circulação de água, acionado por uma bomba centrífuga (1,0 cv) com vazão (7 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>) interligada a um reservatório de 0,5 m<sup>3</sup>; (2) um exaustor (EM30), instalado na face Norte (1,10 m), era acionado em função da leitura de um sensor de temperatura e umidade relativa do ar (SHT-75, precisão ±0,3 °C e ±1,8%), instalado no perfil vertical do centro geométrico (2 m) na região de produção. A lógica de comando obedeceu à seguinte programação: temperatura do ar > 28 °C e/ou umidade relativa do ar < 65% era acionado o exaustor e a bomba centrífuga. Seguindo a ordem: exaustor, 1 min depois a bomba; quando a umidade relativa atingia 75% era desligada a bomba, e 5 min depois, se a temperatura não estivesse > 28 °C, o exaustor (EM30) era desligado. Denota-se que foi considerada histerese de ± 2°C para temperatura e de ± 10% para umidade relativa.

Utilizou-se tela termorrefletora tipo aluminizada com 50% de transmissividade (Aluminet), instalada (2,60 m) em todas as casas de vegetação, sendo no *ambiente A* movimentada por um sistema de mancais e polias acionado por um motor reverso. Um sensor de radiação global (LI-200SA) foi instalado na altura do dossel das plantas (2 m) para automação do motor, seguindo a seguinte lógica de comando: (Noturno) entre às 18 h e às 5 h e 59 min, recolhia-se a tela, permanecendo sem a tela durante todo o período noturno; (Diurno) entre às 6 h e às 17 h e 59 min, o acionamento dava-se em função da radiação global (RG); RG ≥ 300 W m<sup>-2</sup> estendia-se a tela permanecendo por 10 min estendida; RG < 300 W

m<sup>-2</sup> recolhia-se a tela permanecendo por 10 min recolhida. Somente depois de decorrido o período (10 min) da última ação executada, retornava-se o controle a leitura do sensor.

Os ambientes *B* e *C* – casas de vegetação (CVB) e (CVC), foram caracterizadas por laterais fechadas com tela antiafídeos (Baby Citrus) malha de 50 mesh, equipadas com tela termorrefletora em sistema móvel na CVB e fixo na CVC. A programação de abertura e fechamento da tela na CVB seguiu somente horários pré-definidos sendo: às 6 h, recolhia-se (fechava) e às 10 h, estendia-se; às 16 h, recolhia-se e às 18 h, estendia-se e permanecia estendida até as 6 h. Em dias nublados deixava-se a tela recolhida todo o período em que permanecia nublado, sendo esse manejo realizado manualmente.

Para o monitoramento dos sensores de radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar e também para a automação dos equipamentos, utilizou-se o supervisor livre (ScadaBR) com armazenamento de dados num servidor, e nó atuador de comunicação sem fio (protocolo arduino) atuando conforme lógicas de comandos.

A caracterização meteorológica dos ambientes de produção foi realizada com a coleta de dados de temperatura de bulbo seco e úmido, através de um sistema de aquisição de dados National Instruments (compact DAQ), conectado em um computador desktop a uma varredura a cada um minuto. Utilizou-se a plataforma do software Labview 2012 para programação e monitoramento. A medição da temperatura de bulbo seco e úmido foi realizada por termopares do tipo T (cobre-constantan) devidamente calibrados, instalados nas alturas de 1, 2 e 3 m na região (perfil vertical) central dos ambientes, alocados em tubos de PVC de 0,10 m de diâmetro e 0,40 m de comprimento revestidos com papel alumínio (proteger dos efeitos da radiação). Um micro ventilador de 0,08 x 0,08 m, 12 V (4,0 m s<sup>-1</sup>) foi instalado numa das extremidades, e um reservatório d'água destilada de 0,5 L para umidificação da mecha de algodão do termopar de bulbo úmido. Os dados meteorológicos do ambiente externo foram coletados de uma estação meteorológica posicionada próxima à face Sul das casas de vegetação.

Os dados de radiação solar total foram coletados por meio de um sensor de radiação solar (Pyranometer), instalado próximo à região do terço superior da parte aérea das plantas, através de um sistema de aquisição de dados da Li-Cor Instruments, (LI-1400). A aquisição foi realizada das 06:30 h da manhã às 18:00 h da tarde com coleta de dados (média dos últimos 30 min), em intervalos de 30 min, sendo os dados amostrados em dias aleatórios ao longo do ciclo de produção.

Foram analisadas a temperatura e umidade relativa do ar nas diferentes alturas a cada um minuto, porém avaliadas estatisticamente somente as médias mensais em horários sinóticos intermediários (3, 9, 15 e 21 horas) obtidos valores máximos, mínimos e médios para ambos os elementos meteorológicos, além da produtividade da cultura.

As três casas de vegetação receberam o cultivo do minitomate, cultivar Carolina (Feltrin), no período de março a novembro de 2013, em formas de cultivo em canteiros e vasos de 15 L, com espaçamento de 0,9 x 0,5 m, totalizando 154 plantas por casa de vegetação. As plantas foram conduzidas sob manejo da adubação orgânica, em duas hastes tutoradas com fitilho, e irrigadas automaticamente por um sistema de irrigação localizada com gotejadores em linha, vazão de 2 L h<sup>-1</sup>, com manejo definido com base na percolação de água em vasos específicos (6 vasos) em cada ambiente de produção.

Os dados micrometeorológicos de cada ambiente de produção foram analisados em bloco ao acaso em esquema fatorial 3 x 4 (3 alturas de medição: 1, 2, e 3 m versus 4 horários de medição: 3, 9, 15 e 21 horas) com 8 repetições no tempo, compreendendo os meses de condução da cultura. Já a comparação dos ambientes de produção em relação ao ambiente externo foi realizada somente para os dados meteorológicos, coletadas a 2 metros de altura,

sendo esta analisada em blocos ao acaso com 4 tratamentos (Ambientes A, B, C e Externo) e 8 repetições.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Temperatura (T) e umidade relativa (UR) do ar: mínimas, médias e máximas

Na T mínima e na UR máxima (Tabela 1) registrou-se valores críticos em todos ambientes de produção, visto não haver qualquer tecnologia para o controle, como aquecimento (COOMANS et al., 2013), entretanto, a UR mínima se manteve dentro da faixa de controle (60 a 80%) na CVA, porém crítica nos demais ambientes.

**Tabela 1.** Valores mínimos, médios e máximos da T (°C) e da UR (%) medidas nos quatro ambientes analisados.

Variáveis	Estação	Ambientes de produção			DMS	
		CVA	CVB	CVC		
T	Mínimas	13,27 a	13,12 a	13,08 a	13,13 a	1,16
	Médias	20,26 a	20,56 a	20,55 a	20,69 a	2,47
	Máximas	29,29 a	29,29 a	29,63 a	30,16 a	3,34
UR	Mínimas	36,08 c	62,78 a	47,45 b	43,39 b	10,25
	Médias	69,40 c	85,49 a	77,28 b	74,97 b	7,15
	Máximas	96,39 a	96,19 a	96,75 a	95,47 a	3,45
Amplitude térmica		5,42	6,51	5,91		5,88

Médias seguidas da mesma letra nas linhas não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,01$ ); DMS: diferença mínima significativa.

As T médias e máximas entre os ambientes de produção permaneceram próxima da faixa considerada adequada para a cultura (22 a 28°C), enquanto que a T e a UR média ficaram dentro da faixa suportável pela cultura (10 a 34°C) e (50 a 70%), respectivamente, conforme informações dispostas em Alvarenga (2013). A baixa variação da T entre os ambientes pode estar relacionada à época de produção da cultura, que abrangeu as estações (outono e inverno) do ano de clima frio. Os resultados corroboram com os observados por Duarte et al. (2011), que avaliaram a T em diferentes casas de vegetação com a produção de tomateiro nas estações de outono - inverno.

De forma geral, as médias e as máximas T e UR, assim como a amplitude térmica entre o dia e à noite, permaneceram praticamente dentro da faixa considerada adequada para a cultura em todos ambientes de produção. Entretanto é importante ressaltar-se a eficiência do sistema de resfriamento evaporativo no controle da T máxima e UR mínima do ambiente A, visto que, a ausência desse sistema ocasionaria uma elevação da temperatura do ar interna, em razão de estar totalmente fechado com plástico, o que acentua o efeito estufa.

Por meio das análises de variância dos dados, notou-se que T e UR do ar sofreram influência significativa das alturas e horários de medição (Tabela 2) ao nível de 1% de probabilidade nas três casas de vegetação, quando analisadas isoladamente, além de interações destes fatores.

**Tabela 2.** Análises de variância dos dados micrometeorológicos registrados nas três casas de vegetação em função das alturas e horários de medição.

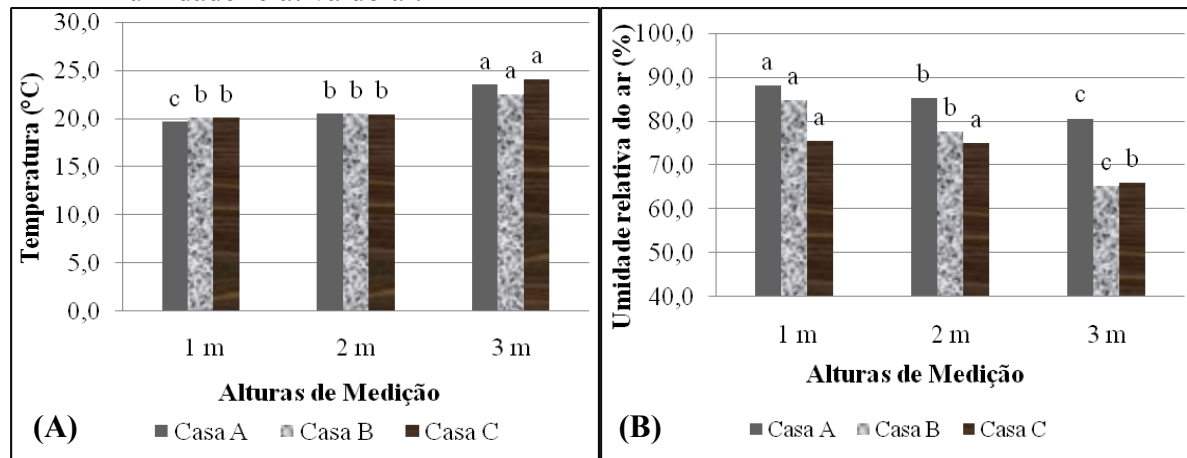
Fonte de Variação	GL	Ambientes - Quadrados Médios					
		CVA		CVB		CVC	
		T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)
Fator A (alturas)	2	130,30**	455,23**	54,18**	3086,51**	157,34**	936,02**
Fator B (horários)	3	472,01**	1343,21**	352,17**	2551,68**	542,36**	4559,43**
Fator A x Fator B	6	33,10**	104,90**	11,30**	309,03**	63,55**	668,46**
Tratamentos	11	170,47**	506,32**	112,06**	1425,65**	211,75**	1778**
Blocos (Meses)	7	54,74**	43,72**	38,14**	89,70**	48,75**	220,44**
Resíduos	77	1,25	7,11	0,54	29,59	0,84	9,31
cv (%)		5,26	3,15	3,49	7,17	4,26	4,23

cv: coeficiente de variação; GL: graus de liberdade; \*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ) pelo teste F.

Nas médias da temperatura do ar em função das alturas de medição (Figura 1A), observou-se que na CVA houve aumento significativo com o aumento da altura, fato também verificado na umidade relativa (Figura 1B), porém de forma inversa conforme princípios psicrométricos. Esse incremento da temperatura em razão da altura de medição está relacionado ao fato do ambiente (CVA) estar totalmente fechado, o que facilitou a ascensão da dissipação do bolsão térmico de ar para a cumeeira, auxiliado pelo exaustor. Nos demais ambientes, B (CVB) e C (CVC), as alturas de 1 e 2 m não apresentaram aumentos significativos para a temperatura do ar, constatando-se incremento somente a 3 m. A ausência de diferenças significativas até 2 m podem estar ligada à abertura das laterais destas casas de vegetação (CVB e CVC), proporcionada pela tela antiafídeos, facilitando, assim, a circulação de ar nessa região tendendo ao equilíbrio microclimático do ambiente interno ao externo, conforme características da ventilação natural, assim como observado por Coomans et al. (2013). Esta tendência também foi verificado por Rampazzo et al. (2014), trabalhando com ambiente de produção telado com tela termorrefletora de 50% com o cultivo da cultura da alface. Ademais, notou-se uma diminuição na umidade relativa do ar na CVB com o aumento da altura de leitura, certamente devido ao controle parcial da abertura da tela termorrefletora, pois o mesmo não foi verificado na CVC, que se manteve indiferente nas primeiras alturas (1 e 2 m), e diferente na altura de 3 m.

De maneira geral, notou-se certa semelhança dos valores de temperatura do ar quando avaliado na mesma altura de medição, fator não observado para a umidade relativa, que aumentou conforme a inserção de tecnologias nos ambientes de produção.

**Figura 1.** Comparação das médias nas diferentes alturas; (A) Para temperatura do ar; (B) Para umidade relativa do ar.

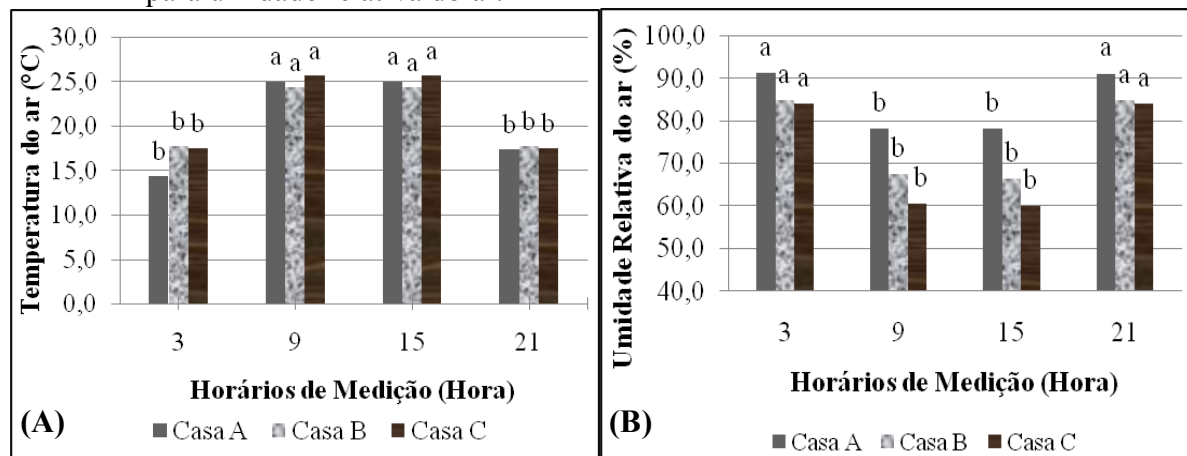


Médias seguidas da mesma letra nas linhas não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Nas médias da temperatura do ar em função dos horários de medição (Figura 2A) verificou-se, em todos os ambientes analisados isoladamente, que a temperatura avaliada as 9 e 15 h, assim como as 21 e 3 h não diferiram significativamente entre si. Porém, entre o dia e à noite apresentaram-se diferentes em virtude dos processos de absorção e perda de energia que ocorrem de forma inversa nesses períodos (Figura 2B), assim como relatado por Duarte et al. (2011) e Rampazzo et al. (2014). Esta ausência de significância entre os horários sinóticos do dia e da noite, certamente está relacionada à análise apenas das médias mensais, pois estas não representam as variações de máximas e mínimas ocorridas ao longo das 24 horas do dia.

Em cada horário de medição, notou-se que o maior gradiente ( $3,06\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) de temperatura ocorreu entre o ambiente A e os demais ambientes (B e C), as 3 h. Esta diferença certamente está relacionada aos processos de conservação de energia serem mais acentuados (dia-ganho e noite-perda), em virtude do total fechamento do ambiente A. Ao contrário da temperatura, as maiores diferenças de umidade relativa do ar ocorreram entre o ambiente C as 15 h, com -6,44% e -18,22% em relação aos ambientes B e A, respectivamente.

**Figura 2.** Comparação das médias nos diferentes horários: (A) para temperatura do ar; (B) para umidade relativa do ar.



Médias seguidas da mesma letra nas linhas não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

As médias da temperatura do ar avaliada em função do desdobramento da interação entre alturas e horários de medição nos diferentes ambientes de produção foram semelhantes entre si, mesmo estas sendo analisadas isoladamente. Dessa forma, registrou-se na CVA uma tendência de aumento da temperatura do ar (Tabela 3) conforme a elevação da altura e horário de medição ao longo do dia, porém com maiores incrementos entre os horários do dia (9 e 15 h) e da noite (21 e 3 h). Uma tendência de diminuição foi observada para a umidade relativa do ar (Tabela 4).

**Tabela 3.** Valores das médias da interação sobre a temperatura do ar (°C) do ambiente A.

Alturas de medição (m)	Horários de medição (hora)				Médias
	3	9	15	21	
1	17,21 aB	22,10 cA	22,12 cA	17,21 aB	19,67
2	17,29 aB	23,79 bA	23,81 bA	17,29 aB	20,55
3	17,69 aB	29,30 aA	29,37 aA	17,70 aB	23,52
Médias	17,40	25,07	25,10	17,41	

Colunas – Letras minúsculas; Linhas – Letras maiúsculas; Médias seguidas da mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 4.** Valores das médias da interação sobre a umidade relativa do ar (%) no ambiente A.

Alturas de medição (m)	Horários de medição (hora)				Médias
	3	9	15	21	
1	92,16 aA	83,96 aB	83,96 aB	92,13 aA	88,06
2	90,58 aA	79,94 bB	79,92 bB	90,55 aA	85,25
3	90,65 aA	70,62 cB	70,49 cB	90,58 aA	80,59
Médias	91,13	78,18	78,13	91,09	

Colunas – Letras minúsculas; Linhas – Letras maiúsculas; Médias seguidas da mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Nas demais casas de vegetação, Tabelas 5 e 6 para a temperatura e umidade relativa do ar, respectivamente, para a CVB, e nas Tabelas 7 e 8, respectivamente para a CVC. Observou-se que tanto na comparação entre alturas nos diferentes horários de medição quanto na comparação dos horários de medição nas diferentes alturas, os dados de temperatura do ar registrados nestas duas casas comportaram-se de maneira exatamente iguais em termos estatísticos. Os dados de umidade relativa tenderam a uma maior discrepância entre as alturas nos diferentes horários de medição, provavelmente devido ao manejo da tela termorrefletora realizado no ambiente B.

**Tabela 5.** Valores das médias da interação sobre a temperatura do ar (°C) do ambiente B.

Alturas de medição (m)	Horários de medição (hora)				Médias
	3	9	15	21	
1	17,60 aB	22,62 bA	22,66 bA	17,61 aB	20,13
2	17,60 aB	23,50 bA	23,53 bA	17,61 aB	20,56
3	18,08 aB	27,01 aA	27,07 aA	18,09 aB	22,57
Médias	17,76	24,38	24,42	17,77	

Colunas – Letras minúsculas; Linhas – Letras maiúsculas; Médias seguidas da mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).



**Tabela 6.** Valores das médias da interação sobre a umidade relativa do ar (%) no ambiente B.

Alturas de medição (m)	Horários de medição (hora)				Médias
	3	9	15	21	
1	89,13 aA	80,91 aA	79,65 aB	89,21 aB	84,73
2	85,02 abA	70,66 abA	69,64 bB	84,96 bB	77,57
3	80,18 bA	51,06 bA	49,76 cB	80,22 cB	65,31
Médias	84,78	67,55	66,35	84,80	

Colunas – Letras minúsculas; Linhas – Letras maiúsculas; Médias seguidas da mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 7.** Valores das médias da interação sobre a temperatura do ar (°C) do ambiente C.

Alturas de medição (m)	Horários de medição (hora)				Médias
	3	9	15	21	
1	17,65 aB	22,61 bA	22,64 bA	17,65 aB	20,14
2	17,55 aB	23,42 bA	23,45 bA	17,56 aB	20,50
3	17,25 aB	31,10 aA	31,04 aA	17,19 aB	24,15
Médias	17,49	25,71	25,71	17,47	

Colunas – Letras minúsculas; Linhas – Letras maiúsculas; Médias seguidas da mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

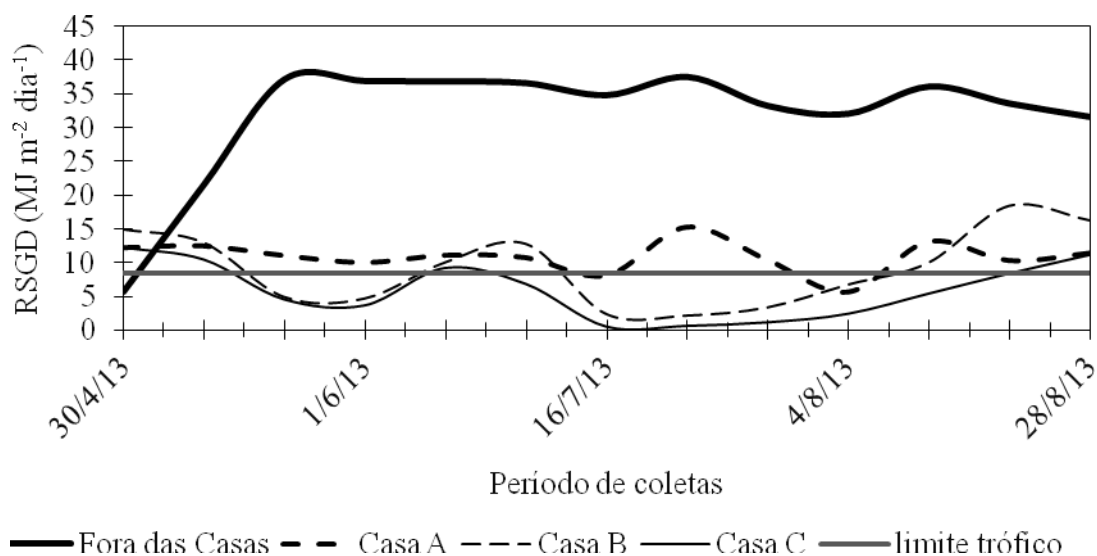
**Tabela 8.** Valores das médias da interação sobre a umidade relativa do ar (%) no ambiente C.

Alturas de medição (m)	Horários de medição (hora)				Médias
	3	9	15	21	
1	82,19 bA	68,67 bA	68,80 aB	82,22 aB	75,48
2	83,03 bA	67,02 bA	66,94 aB	83,05 aB	75,02
3	86,76 aA	45,70 aA	43,99 aB	87,07 bB	65,89
Médias	84,00	60,47	59,92	84,12	

Colunas – Letras minúsculas; Linhas – Letras maiúsculas; Médias seguidas da mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

## 5.2 Radiação solar global

Nas análises dos dados de radiação solar global diária (RSGD), registrados nos diferentes ambientes (Figura 3), verificou-se que as casas de vegetação atenuaram com eficiência a irradiância ao longo do período de cultivo, porém, dependendo do manejo da tecnologia utilizada, esta atenuação pode prejudicar o desenvolvimento das plantas (AL-HELAL, e ABDEL-GHANY, 2010), visto a falta de energia mínima necessária à realização de fotossíntese. Esta condição foi verificada no ambiente C, que permaneceu com tela termorrefletora fixa, onde a radiação solar foi atenuada além da condição mínima para a cultura.

**Figura 3.** Radiação solar global diária ao longo da produção nos ambientes (CV).

Limite trófico: limite mínimo para que ocorra o crescimento e desenvolvimento normal da planta

Em geral, a casa de vegetação A e B mantiveram a radiação solar global acima do limite trófico ( $8,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) para a cultura, com média de  $10,8$  e  $9,9 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , respectivamente, cerca de três vezes menor que a registrada no ambiente externo ( $31,8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ). Esta diferença de valores entre os ambientes internos e externos atribui-se a atenuação da radiação solar pela cobertura de PEBD e pelo manejo da tela termorrefletora utilizada nesses ambientes, fazendo com que permanecesse aberta somente nos períodos considerados críticos em relação ao excesso de radiação solar ao longo do dia.

Assim, os resultados alcançados nessas casas de vegetação assemelharam-se aos encontrados por Max et al. (2009), que avaliaram estas variáveis em casas de vegetação com resfriamento evaporativo, ventilação natural e mecânica com laterais e cobertura com filme de polietilenos com absorção de UV de 200 micras e ambiente externo nas condições meteorológicas da Tailândia. Os autores atingiram praticamente a mesma taxa de atenuação da radiação solar global, provavelmente por se tratar de uma região também de clima tropical.

Reis et al. (2013), avaliando a radiação solar em ambiente protegido similar ao desta pesquisa, porém utilizando tela de sombreamento de 50% nas laterais nas condições de Alagoas, observaram médias de  $10,7$  e  $17,0 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  para os ambientes interno e externo da casa de vegetação, respectivamente. Apesar das condições de localização das pesquisas serem distintas, os valores internos encontrados neste trabalho estão próximo ao verificado pelos autores, certamente devido ao uso de telas com características semelhantes para atenuação da radiação solar.

Ao contrário das demais casas de vegetação, a CVC permaneceu praticamente todo o período de produção com a radiação global abaixo do limite trófico para a cultura ( $6,0 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ), apenas pelo simples fato de manter a tela termorrefletora sem manejo algum, ou seja, estendida e bloqueando parte da radiação solar. Isso prejudicou o crescimento, desenvolvimento e a produção da cultura, visto que as plantas não tiveram radiação solar mínima necessária à produção de fotoassimilados para sua manutenção (BECKMANN et al., 2006). Os resultados corroboram com os encontrados por Guiselini et al. (2010) em avaliação da radiação global em casa de vegetação coberta com PEDB difusor e tela termorrefletora de

50% fixa na altura do pé direito nas condições de Piracicaba-SP, onde os autores observaram média de 3,2 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>.

### 5.3 Produtividade

Frente aos dados micrometeorológicos analisados, e a tolerância agrometeorológica da cultura do tomateiro, que de acordo com Alvarenga (2013) está na faixa entre 10°C e 34°C, observou-se que mesmo com o controle micrometeorológicos adequados as exigências edafoclimáticas da cultura, a casa de vegetação B com manejo da tela termorrefletora, apresentou os melhores resultados. Como efeito dessas condições microclimáticas e se considerando apenas a produtividade, constata-se que esta foi de 4,46 kg m<sup>-2</sup> no ambiente B com movimentação de tela em horários pré-definidos, de 3,85 kg m<sup>-2</sup> no ambiente C sem movimentação e de 3,86 kg m<sup>-2</sup> no ambiente A climatizado (Tabela 9). Esses dados produtivos sugerem que o uso de tela termorrefletora com movimentação em horários pré-definidos proporcionou melhorias nas condições microclimáticas do cultivo do tomateiro orgânico, representado em termos relativos, um incremento de 0,61 kg m<sup>-2</sup> à produtividade do ambiente.

**Tabela 9.** Produtividade do tomateiro sob cultivo orgânico em diferentes casas de vegetação e formas de cultivo.

Ambientes de produção	Produtividade total (kg m <sup>-2</sup> )
Ambiente/CVA	3,86 b
Ambiente/CVB	4,46 a
Ambiente/CVC	3,85 b
Canteiros	4,21 a
Vasos	3,91 b
CV (%)	17,86

CV: coeficiente de variação; Médias seguidas da mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p<0,01).

Os resultados mostraram superioridade aos encontrados por Azevedo et al. (2010) que obtiveram produtividade média de 1,0 kg m<sup>-2</sup> em cultivo orgânico a campo, e aos de Leyva et al. (2013) onde os autores verificaram produtividade em torno de 1,10 kg m<sup>-2</sup> obtida sob ambiente protegido e com telas de sombreamento em cultivo convencional. Estando também próximo ao verificado por Guilherme et al. (2014) de 5,39 kg m<sup>-2</sup>, obtido em cultivo orgânico com cultivar de características de produção diferente.

## 6 CONCLUSÕES

O microclima em ambientes protegidos com telas termorrefletoras podem ser caracterizados por um sensor na área de produção no perfil vertical entre 1 e 2 m e outro no bolsão térmico.

A associação dos sistemas de resfriamento evaporativo, ventilação mecânica e tela termorrefletora, permitiram que a temperatura máxima e a umidade relativa do ar mínima fossem mantidas em um nível adequado.

Os ambientes com tela termorrefletora móvel foram eficientes na atenuação da radiação solar global diária para a cultura.

O ambiente com movimentação da tela termorrefletora em horários pré-definidos é o mais recomendado para produção de minitomate orgânico sob a forma de cultivo em canteiros.

## 7 AGRADECIMENTOS

A Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo (FAPESP), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), Serviço de Apoio ao Estudante da Unicamp (SAE/UNICAMP) e as empresas, R4F, Equipesca, ElectroPlastic, Microgeo, Hidrogood, Netafim, JKS Bandejas e Polysack.

## 8 REFERÊNCIAS

AL-HELAL, A. M.; ABDEL-GHANY, I. M. Responses of plastic shading nets to global and diffuse PAR transfer: Optical properties and evaluation. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, Netherlands, v.57, p.125–132, 2010.

ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia**. 2. ed. rev. e ampl. Lavras: Editora Universitária de Lavras, 2013. 455p.

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

AZEVEDO, V. F.; ABBOUD, A. C. S.; CARMO, M. G. F. Row spacing and pruning regimes on organically grown cherry tomato. *Horticultura brasileira*, Brasília, v.28, n.4, p.389-394, 2010.

BECKMANN, M. Z.; DUARTE, G. R. B.; PAULA, V. A.; MENDEZ, M. E. G.; PEIL, R. M. N. Radiação solar em ambiente protegido cultivado com tomateiro nas estações verão-outono do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.36, p.86-92, 2006.

BOJACÁ, C. R.; GIL, R.; COOMAN, A. Use of geostatistical and crop growth modelling to assess the variability of greenhouse tomato yield caused by spatial temperature variations. *Computers and Electronics in Agriculture*, Netherlands, v.65, n.2, p.219-227, 2009.

COOMANS, M.; ALLAERTS, K.; WITTEMANS, L.; PINXTEREN, D. Monitoring and energetic performance of two similar semi-closed greenhouse ventilation systems. *Energy Conversion and Management*, Jordan, v.76, p.128-136, 2013.

DUARTE, L. A.; SCHÖFFEL, E. R.; MENDEZ, M. E. G.; SCHALLENBERGER, E. Alterações na temperatura do ar mediante telas nas laterais de ambientes protegidos

cultivados com tomateiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.2, p.148–153, 2011.

GUISELINI, C.; SENTELHAS, P. C.; PANDORFI, H.; HOLCMAN, E. Manejo da cobertura de ambientes protegidos: Radiação solar e seus efeitos na produção da gérbera. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.6, p.645–652, 2010.

GUILHERME, D. O.; COSTA, C. A.; SAMPAIO, R. A.; MARTINS, E. R.; SILVEIRA, H. R. O.; VALADARES, S. V.; FERNANDES, S. G. Comparison between cherry tomato in the organic system of cultivation under different spacing. **Academia Journal of Agricultural Research**, Turquia, v.2, p.023-029, 2014.

LEYVA, R.; CONSTÁN-AGUILAR, C.; BLASCO, B.; SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, E.; ROMERO, L.; SORIANO, T.; M RUIZ, J. Effects of climatic control on tomato yield and nutritional quality in Mediterranean greenhouse. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Espanha, v.94, p.63–70, 2013.

MAX, J. F. J.; HORST, W. J.; MUTWIWA, U. N.; HANS-JURGENTANTAU. Effects of greenhouse cooling method on growth, fruit yield and quality of tomato (*Solanum lycopersicum L.*) in a tropical climate. **Scientia Horticulturae**, Netherlands, n.122, p.179–186, 2009.

RAMPAZZO, R.; JUNIOR, S. S.; NUNES, M. C. M.; NEVES, S. M. A. S.; FERREIRA, R. F. Eficiência de telas termorefletoras e de sombreamento em ambiente Protegido tipo telado sob temperaturas elevadas. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v.22 n.1, p.33-42, 2014.

REIS, L. S.; AZEVEDO, C. A. V.; ALBUQUERQUE, A. W.; JUNIOR, J. F. S. Índice de área foliar e produtividade do tomate sob condições de ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.4, p.386-391, 2013.

SONI, P.; SALOKHE, V. M.; TANTAU, H. J. Effect of screen mesh size on vertical temperature distribution in naturally ventilated tropical greenhouses. **Biosystems Engineering**, London, v.92, n.4, p.469–482, 2005.

TERUEL, B. J. Controle automatizado de casas de vegetação: Variáveis climáticas e fertigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.3, p.237–245, 2010.

VOLTAN, D. S.; BARBOSA, R. Z.; MARTINS, J. E. M. P.; ZIMBACK, C. R. L. Development of technologies and methods for monitoring the spatial variability of air temperature in greenhouse environment. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, Guarapuava, v.6, n.3, p.07-16, 2013.