

## Variabilidade espacial da umidade relativa do ar no interior de uma casa de vegetação em clima tropical

Diego S. Voltan<sup>1</sup>, Rogério Z. Barbosa<sup>1</sup> & João E. M. Perea Martins<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, Rua José Barbosa de Barros, 1780, Fazenda Experimental Lageado, CEP 18610-307, Botucatu-SP, Brasil. Caixa Postal 237. E-mail: diegosvoltan@gmail.com; rogerio@fca.unesp.br

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências de Bauru, Departamento de Computação, Av. Luis Edmundo C. Coube, s/n, Vargem Limpa, CEP 17033-360, Bauru-SP, Brasil. E-mail: perea@fc.unesp.br

### RESUMO

Casas de vegetação com ventilação natural são muito utilizadas em países tropicais e pouco se sabe como este tipo de estrutura afeta a variabilidade espacial da umidade relativa do ar. O objetivo deste trabalho foi medir e verificar a variabilidade espacial da umidade relativa do ar no interior de uma casa de vegetação com ventilação natural. Para a medição da umidade relativa do ar foi utilizado um termo-higrômetro e amostrados 114 pontos dentro da casa de vegetação, nos horários das 9, 12 e 16 h e nas alturas de 0,3; 1,2 e 2,0 m. Os dados adquiridos foram processados pelo software geoestatístico GS+ e para gerar mapas de visualização para cada horário e altura, utilizou-se o software Surfer 10.3.705. Os resultados demonstraram que ocorreram variações na distribuição espacial da umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação com ventilação natural.

**Palavras-chave:** agroclimatologia, casa de vegetação, geoestatística

### *Spatial variability of relative humidity inside tropical greenhouse*

### ABSTRACT

Greenhouse with natural ventilation is widely used in tropical countries, and little knowledge is available about how this type of structure affects the spatial variability of agroclimatic variables. The aim of this study was to analyse the spatial variability of relative humidity inside a greenhouse with natural ventilation. The measurement of relative humidity was done at 114 points inside the greenhouse at 9, 12 and 16 hours and on heights of 0.3, 1.2 and 2.0 m. The acquired data were processed by the geostatistical software GS+ and maps were generated and displayed for each time and height using the Surfer 10.3.705 software. The results showed that there were variations in the spatial distribution of relative humidity inside the greenhouse.

**Key words:** agroclimatology, glasshouse condition, geostatistics

## Introdução

O padrão climático em casas de vegetação é fator de grande relevância para se garantir elevadas produtividades com menor custo, boa qualidade e sem impacto ambiental (Omid & Shafaei, 2005); esta relação influencia diretamente o comportamento e o desenvolvimento vegetal (Abdel-Ghany & Helal, 2011).

Sistemas de produção em ambiente protegido são intrinsecamente dependentes de fatores externos, como os agentes climáticos (temperatura, umidade, radiação solar etc.), de fatores internos (material de cobertura da casa de vegetação, a cultura e as telas de proteção contra insetos) (Soni et al., 2005), e dos mecanismos de controle climático (ventiladores, exaustores etc.) o que tende a compor um ambiente complexo.

Apesar disto, pesquisadores que trabalham com casas de vegetação ainda consideram, em seus trabalhos, o clima no interior das estufas como uniforme (Kittas & Bartzanas, 2007) o que, em muitos casos, compromete fatores, como a precisão das pesquisas ou mesmo a produtividade.

Nos países predominantemente de clima tropical o uso das casas de vegetação acaba sendo utilizado apenas como “guarda-chuvas” prevalecendo o manejo das estufas com as laterais abertas ou apenas com telas antiafídeos, para proteger as plantas das fortes tempestades e das chuvas de granizo, passíveis de causar prejuízo total, além de pragas e de doenças na cultura (Farmer et al., 2011).

Métodos geostatísticos são utilizados na agricultura para verificar a dependência espacial dos mais diversos parâmetros. Pesquisas concluíram que existe variabilidade espacial da umidade do solo e das características físico-químicas do solo em relação à topografia da área (Zhang et al., 2013; Umali et al., 2012). Outras pesquisas ressaltam que mudanças na temperatura do ar, velocidade do vento e precipitação influenciam diretamente no clima do local (López-Moreno et al., 2013). Duhan et al. (2013) avaliaram a variabilidade espacial e temporal da temperatura do ar média, máxima e mínima e constataram que, no decorrer de 102 anos, houve um aumento da temperatura média em 0,62°C.

Diante do exposto, é possível, por meio de métodos geostatísticos, avaliar o comportamento e representar a dependência espacial dos agentes climáticos no interior desses ambientes (Bojacá et al., 2009; Sapounas et al., 2008). Os dados utilizados para alimentar os modelos geostatísticos podem ser adquiridos com o uso de sensores distribuídos no interior de casas de vegetação que possibilitam realizar a medição de variáveis climáticas de forma prática e confiável (Panwar et al., 2011; Stanghellini et al., 2011).

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a dependência espacial da umidade relativa do ar no interior de uma casa de vegetação com ventilação natural, por meio de ferramentas e métodos geostatísticos.

## Material e Métodos

O trabalho foi realizado em uma casa de vegetação localizada na Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP. A

região é caracterizada por possuir clima tropical, que, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa mesotérmico (Cunha & Martins, 2009). A precipitação média acumulada da região é de 1.516,8 mm e a média anual da evapotranspiração, de 692 mm. A média anual da temperatura é 20,6 °C sendo a média máxima de 23,5 °C e a média mínima de 17,4 °C (Maggi et al., 2009).

As dimensões da casa de vegetação do estudo eram de 6 m de largura, 24 m de comprimento e pé-direito de 3 m. A estrutura era do tipo teto em arco e estava posicionada no sentido Leste-Oeste, enquanto a cobertura de revestimento era polietileno de baixa densidade. A estrutura foi instalada sob um perímetro construído em alvenaria de 0,40 m de altura. As janelas laterais eram revestidas com malha de polietileno com proteção antiafídeo. O piso desta estrutura é revestido com uma proteção de polietileno de coloração negra e o perímetro exterior desta estrutura era gramado. A cultura no interior da estufa foi de tomate tutorado e irrigado em vasos, com 75 dias após o transplante, variedade Sweet Million espaçados 0,30 m entre plantas e 1,0 m entre linha. A lâmina de irrigação diária era variável conforme a leitura do tanque classe A do dia anterior.

O desenvolvimento deste trabalho fundamentou-se em subdividir a área interna da casa de vegetação em uma malha de 0,8 x 1,0 m, totalizando 114 pontos, conforme a Figura 1A. Em cada um desses pontos foram coletados valores de umidade relativa do ar nas alturas de 0,30, 1,20 e 2,00 m em relação ao solo da casa de vegetação, esquema que pode ser visto na Figura 1B, com repetições em três diferentes horários, às 9, 12 e 16 h, durante os quais se obtiveram, da estação meteorológica próxima à casa de vegetação, com intervalo de aquisição dos dados de 10 min, dados da radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar.

Os dados de umidade relativa do ar foram adquiridos em cada ponto pré-estabelecido, como indicado na Figura 1B. No momento em que o sensor de umidade relativa do ar era posicionado em um desses pontos, um comando era acionado no computador para que fossem gravados os valores coletados em um arquivo os dados daquele ponto específico. Em seguida, o equipamento era deslocado até o outro ponto, para uma nova amostragem e assim sucessivamente. Em média, o tempo do percurso total foi de 10 min para cada altura dentro de um horário.

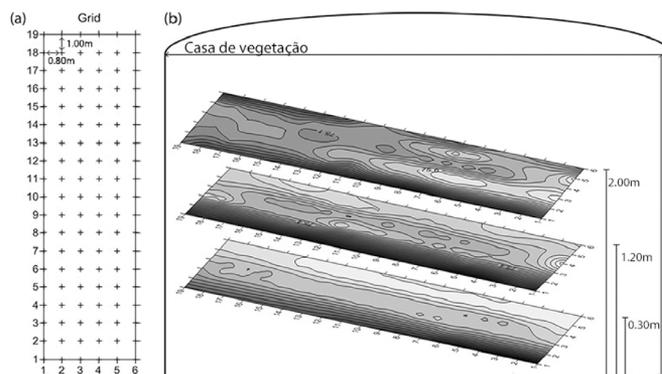


Figura 1. (A) Figura representativa de como foi montado o Grid de amostragem dentro da casa de vegetação (B) Esquemática das amostragens dos pontos de coleta de dos dados nas alturas de 0,30, 1,20 e 2,00 m

Os dados da umidade relativa do ar foram coletados por um termo-higrômetro modelo HTR-152 que tem, em sua ponta de prova, um sensor capacitivo de alta precisão. Em leituras com umidade relativa do ar igual ou maior a 70% o equipamento apresenta uma precisão de  $\pm 3\%$  da leitura  $\pm 1\%$  da umidade relativa do ar. Para leituras com umidade relativa do ar inferior a 70% sua precisão é de  $\pm 3\%$  da umidade relativa do ar. A taxa de amostragem desse sensor é de 0,8 segundos com resolução de 0,1% para a leitura da umidade relativa do ar e saída de dados com uma casa decimal após a vírgula.

A função da variância espacial  $\gamma(h)$ , conhecida como variograma, permitiu calcular a dependência espacial pela medida da variância das diferenças dos valores amostrais que estão distantes em  $h$  metros, expressa pela Eq. 1:

$$\gamma(h) = \left( \frac{1}{2N(h)} \right) \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

$N(h)$  - número de pares de valores medidos  $Z(x_i)$ ,  $Z(x_i+h)$ , separados por um vetor  $h^*$

$h^*$  - distância entre os pontos de todos os valores amostrados

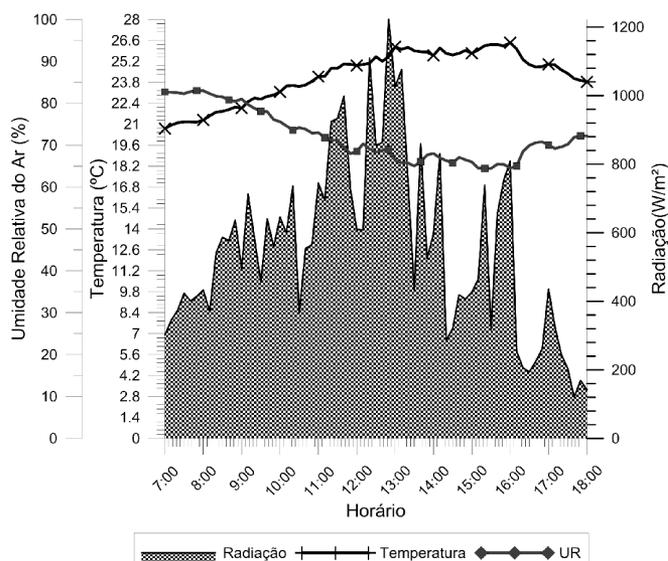
Os parâmetros avaliados para elaboração do semivariograma foram:  $C_0$ =Efeito pepita ou 'Nugget' sendo o valor de  $\gamma(h)$  quando  $h=0$ ;  $C_0+C$ = patamar ou 'Sill' é quando o valor de  $\gamma(h)$  se estabiliza e seu valor é aproximadamente igual à variância dos dados;  $a$  = alcance ou 'Range' é a distância  $h$  quando  $\gamma(h)$  atinge o patamar. Esses parâmetros auxiliaram na análise da dependência espacial calculada pela relação  $C/C_0 + C$ , denominado estrutura ou proporção espacial que, de acordo com a classificação adaptada por Zimback (2001), se os valores obtidos desta razão foram  $\geq 0,75$  serão classificados como forte dependência espacial; entre 0,25 e 0,75 moderada dependência espacial e valores  $\leq 0,25$  como fraca dependência espacial.

Todos os dados coletados para as análises foram submetidos ao programa GS+ (Geostatistical for Environmental Sciences) para calcular a dependência espacial (Robertson, 1998). Após as análises de dependência espacial os dados foram interpolados pelo método da *krigagem* e os resultados da interpolação visualizados em mapas bidimensionais, que representam a distribuição espacial da umidade relativa do ar, gerados pelo software Surfer 10.3.705 (Golden Software Inc., 2011).

## Resultados e Discussão

Na Figura 2 é evidenciada a variação da umidade relativa do ar no ambiente externo à casa de vegetação, com início e término duas horas antes e após as medições dentro da casa de vegetação evidenciando-se, também, a variação dos índices de radiação solar e a temperatura do ar.

Mustafaraj et al. (2011) ressaltam que a umidade relativa do ar está diretamente relacionada a outros fatores climáticos como radiação solar, pressão atmosférica, temperatura do ar etc. Deste modo se tem, na Figura 2, que a umidade relativa do ar possui comportamento inverso ao da temperatura do ar



**Figura 2.** Comportamento da umidade relativa do ar, temperatura do ar e da radiação solar no ambiente externo à casa de vegetação, no intervalo em que foram medidos os valores da umidade relativa do ar interna à casa de vegetação

e, conseqüentemente, a radiação solar, em campo aberto. À medida em que o ar se vai aquecendo, a umidade relativa do ar diminui. Na Tabela 1 são demonstrados os valores da estatística descritiva dos dados obtidos das medições, na altura de 0,30, 1,20 e 2,00 m nos horários das 9, 12 e 16 h e os valores médio, máximo e mínimo da umidade relativa do ar, temperatura e radiação solar da estação meteorológica localizada próximo à casa de vegetação (latitude de 22° 50' 48" S, longitude de 48° 26' 06" W e altitude de 817,74 m) no intervalo entre as 9 e 16 h.

Na Tabela 1 é possível observar que os maiores valores da umidade relativa do ar foram encontrados na altura de 0,30 m, com exceção para o horário das 12 h que, na altura de 0,30 m, apresentou valores médios muito próximos em relação às outras alturas; é provável que esta ocorrência seja devida à maior incidência de raios solares no interior da cultura e sua incidência no solo, o que reflete no aquecimento do ar próximo ao solo.

Silva et al. (2002) obtiveram, avaliando os valores mínimos, máximos e médios da umidade relativa do ar em ambientes sem e com cultura de pimentão nas condições de cultivo protegido (casas de vegetação) e campo aberto, diferenças estatísticas pelo teste de separação de médias de Tukey, apenas nos valores mínimos desta variável. Braga & Klar (2003) encontraram, avaliando a cultura de pimentão quanto ao manejo da irrigação e orientação da casa de vegetação, valores médios de umidade relativa do ar 9,1% maiores em relação ao ambiente externo. Silva et al. (2002) também constataram que no interior de casas de vegetação a umidade relativa do ar apresenta valores maiores do que em ambiente externo, mesmo com e sem a presença de plantas.

Ainda na Tabela 1, são mostrados os valores médio, máximo e mínimo da umidade relativa do ar em um espectro maior do dia, no intervalo de amostragem entre às 9 e 16 h. A média da umidade relativa do ar em campo aberto e entre os horários de amostragem (9 às 16 h) foi de 62,28%, atingindo o máximo de 82,60% e mínimo de 53,70%. Comparando esses

**Tabela 1.** Resultados da análise descritiva da estatística dos valores coletados da umidade relativa do ar nos horários das 9, 12 e 16 h, e nas alturas 0,30, 1,20 e 2,00 m, e dados da umidade relativa do ar (UR%), temperatura (°C) e radiação solar (W m<sup>-2</sup>) em campo aberto

	Casa de vegetação								
	9 h			12 h			16 h		
	0,30 (m)	1,20 (m)	2,00 (m)	0,30 (m)	1,20 (m)	2,00 (m)	0,30 (m)	1,20 (m)	2,00 (m)
Média (%)	78,06	75,32	75,08	67,54	68,66	66,71	68,49	65,52	64,53
Mediana (%)	78,70	75,80	75,10	67,9	68,80	66,85	68,50	65,40	64,60
Máximo (%)	80,40	77,20	75,90	69,4	70,40	68,40	69,90	69,10	66,80
Mínimo (%)	72,60	72,60	74,10	64,8	67,00	64,60	66,50	63,00	62,50
Amplit. total	7,8	4,6	1,8	4,6	3,4	3,8	3,4	6,1	4,3
Desvio padrão	2,111	1,271	0,399	1,091	0,789	1,022	0,936	1,523	1,196
C.V. (%)	2,70	1,69	0,53	1,62	1,15	1,53	1,28	2,32	1,85
Assimetria	-0,90	-0,87	-1,08	-1,16	0,04	-0,14	-0,82	0,34	0,05
Curtose	0,12	-0,32	-0,84	0,35	-0,63	-0,94	-0,28	-0,53	-0,89

	Campo aberto (2,00 m)		
	UR%	Temperatura °C	Radiação solar
	9 as 16h		
Média (%)	62,28	29,09	642,13
Máximo (%)	82,60	28,19	1029,00
Mínimo (%)	53,70	20,71	5,49

valores com os dados da Tabela 1 da umidade relativa do ar no ambiente interno, observa-se que nas medições nos três horários não houve variações bruscas da umidade relativa do ar na casa de vegetação e no horário das 9 h a 0,30 m de altura, em que a umidade relativa do ar foi maior em comparação aos outros horários, o pico máximo foi de 80,40%.

O estudo da dependência espacial da umidade relativa do ar foi pelos variogramas gerados, apresentados na Figura 3. O alcance de um variograma mostra em que distância as amostras passam a ser independentes, isto é importante pelo fato de se entender o comportamento da variável estudada no ambiente (Andriotti, 2009). Observa-se que o alcance da dependência espacial apresentou os menores valores, às 12 h, revelando que fatores externos, como a radiação solar, influenciaram diretamente na distribuição da umidade relativa do ar, no interior da casa de vegetação, neste horário e com um número de variações da umidade relativa do ar, enquanto, por outro lado e nos horários das 9 e 16 h, revelando um ambiente tendendo à homogeneidade, com menos variações entre os valores da umidade relativa do ar (Tabela 2).

Neste trabalho o modelo de variograma que melhor se ajustou foi o tipo gaussiano, sendo que no horário das 9 h a 2,00 m de altura o melhor ajuste foi com o tipo esférico e no horário das 12 h a 2,00 m de altura, foi o variograma do tipo exponencial, mostrados na Tabela 2. Terra et al. (2011) indicaram, avaliando a umidade relativa do ar em pomares de pêssego em dois períodos (manhã e tarde) que no período da manhã o variograma que se ajustou melhor foi o esférico e do tipo exponencial, no período da tarde.

Os resultados dos variogramas mostram, na quase totalidade do tipo gaussiano, uma regularidade na distribuição da umidade relativa do ar desta variável dentro da casa de vegetação, como observado nos variogramas da Figura 3. Observando a Tabela 2 no campo do efeito pepita (Nugget variance - Co) ressalta-se que não houve efeito pepita puro, isto é, devido aos baixos valores de Co, parte da variância desta variável é espacial e os valores apresentados mostram o erro amostral.

Ainda na Tabela 2, observa-se que a umidade relativa do ar no interior de casas de vegetação apresentou forte dependência espacial, de acordo com a classificação de Zimback (2001). Os valores da proporção espacial para todos os horários

apresentaram valores acima de 90%, sendo que valores acima de 75% já são considerados dependência espacial forte. Apenas no horário das 9 h e a 2,00 m de altura, tal valor foi menor apresentando 77,5%. A proporção espacial da umidade relativa do ar em cultivo protegido é semelhante à encontrada por Terra et al. (2011) que estudaram esta variável em campo aberto e detectaram forte dependência espacial, obtendo valores da proporção espacial nos períodos estudados acima de 90%.

De acordo com as Figuras 4, 5 e 6, ocorreu variação da umidade relativa do ar nos três horários amostrados e nas alturas, dentro de cada horário. Na Figura 4A e 4B, o lado direito apresenta maiores valores da umidade relativa do ar, fato que se pode justificar pelo posicionamento da estufa na direção Leste-Oeste sendo que com a posição do sol neste horário, os raios solares atingiam primeiro o lado esquerda da casa de vegetação alterando os valores da umidade relativa do ar. Braga & Klar (2003) demonstram, em seu trabalho, maior homogeneidade na distribuição espacial da evaporação em casas de vegetação orientadas Leste-Oeste do que as que estavam no sentido Norte-Sul. Klar et al. (2006) concluíram que durante o período de julho a setembro houve maior evaporação nos micro-evaporímetros posicionados mais rente ao solo e localizados na face sudeste da casa de vegetação. Maggi et al. 2009 ressaltaram que houve maior evaporação dos mini-evaporímetros do lado Oeste da casa de vegetação. Com base nesses resultados, conclui-se que a distribuição da umidade relativa do ar pode ter sido influenciada pela variação da radiação solar que incidia na casa de vegetação.

Bojacá et al. (2009) observaram que o crescimento vegetal é alterado de acordo com a localização da planta na casa de vegetação. Essa variabilidade influencia em processos fisiológicos dos vegetais (Nordli et al., 2011; Grewal et al., 2011; Abdel-Ghany, 2011) o que pode ocasionar desuniformidade no desenvolvimento entre as plantas e provocar queda na produção. Cardoso & Klar (2011) avaliaram a distribuição espacial da evaporação, o teor de umidade e o armazenamento de água no solo e observaram que nas extremidades ocorreu maior produção de alface, tal como também foram observados maiores valores de evaporação e armazenamento de água no solo.

Nas Figuras 4, 5 e 6 é evidenciada a variabilidade espacial da umidade relativa do ar, em todos os horários (9, 12 e 16 h)

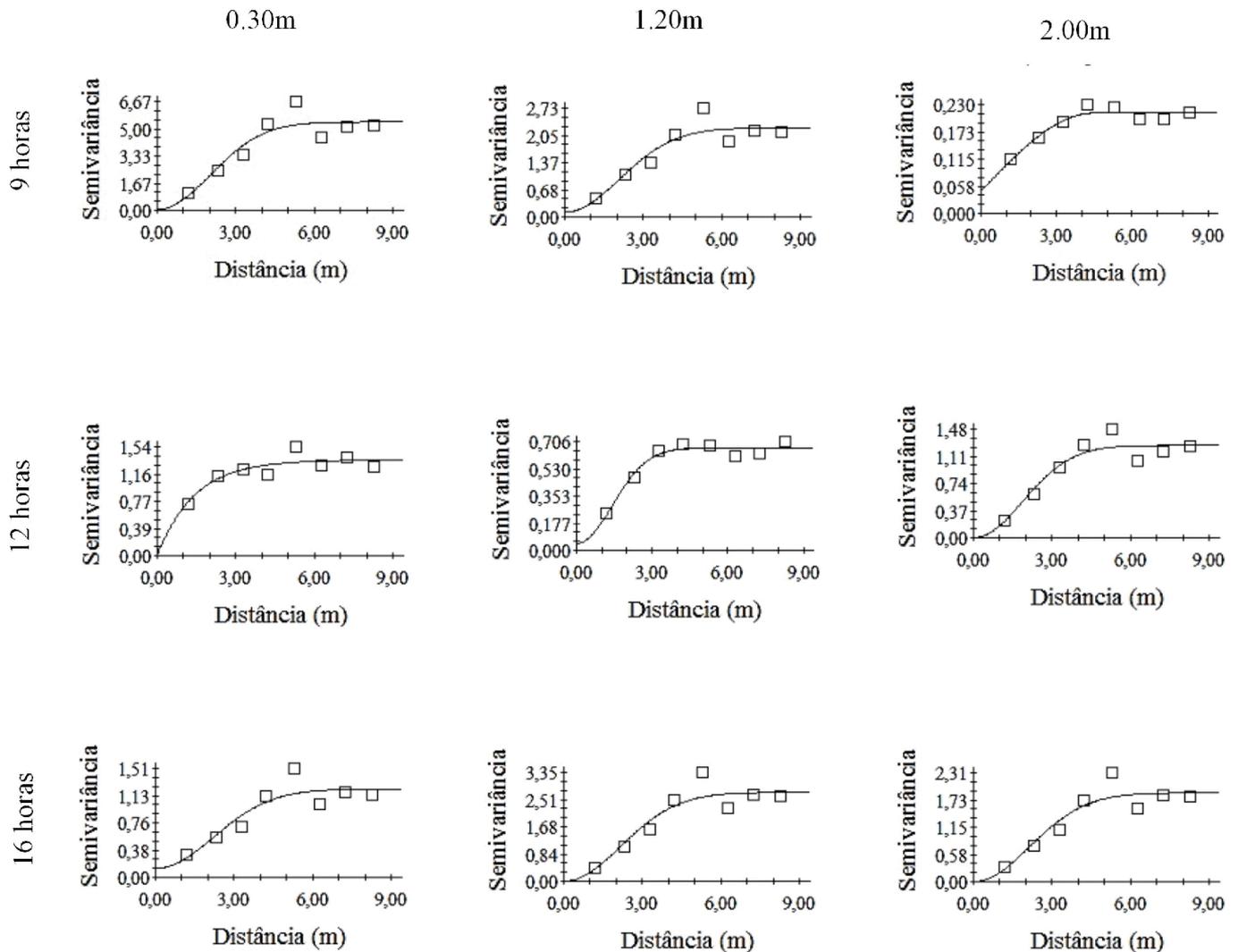


Figura 3. Variogramas da distribuição espacial da umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação, às 9 h, 12 h e 16 h, nas alturas de 0,30, 1,20 e 2,00 m

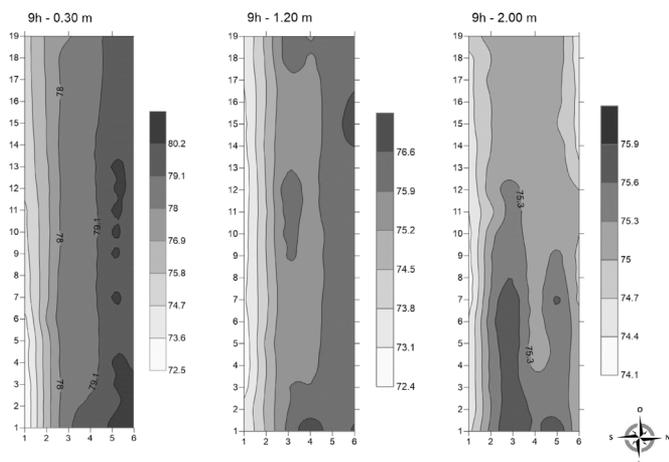
Tabela 2. Parâmetros dos variogramas ajustados para os modelos gaussiano, esférico e exponencial, nos horários das 9, 12 e 16 h

Altura (m)	Modelo de variograma	Nugget variance(Co)	Sill (Co+C)	Alcance (m)	R <sup>2</sup>	C/Co+C
9 h						
0,30	Gaussiano	0,0600	5,4180	4,9363	0,849	0,989
1,20	Gaussiano	0,1220	2,2360	5,1269	0,854	0,945
2,00	Esférico	0,0477	0,2124	4,44	0,908	0,775
12 h						
0,30	Exponencial	0,001	1,3550	4,23	0,785	0,999
1,20	Gaussiano	0,045	0,666	3,45	0,946	0,932
2,00	Gaussiano	0,001	1,261	4,59	0,892	0,999
16 h						
0,30	Gaussiano	0,123	1,221	5,40	0,815	0,899
1,20	Gaussiano	0,001	2,731	5,32	0,859	1,000
2,00	Gaussiano	0,001	1,878	5,23	0,858	0,999

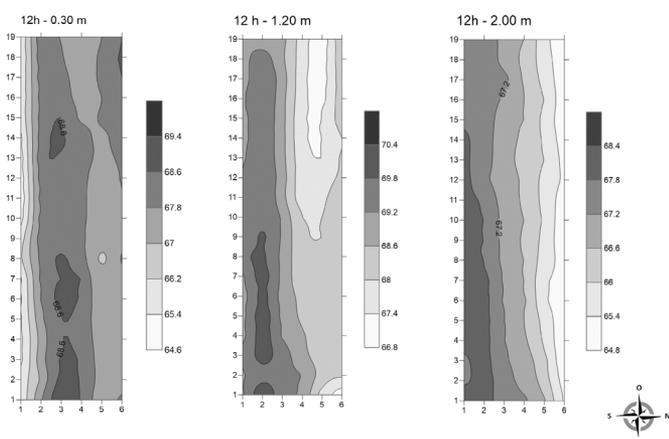
e em todas as alturas (0,30, 1,20, e 2,00 m) em que foram realizadas as medições, o que também pode ser observado na Tabela 1, na qual é constatada amplitude máxima de 7,8% da umidade relativa do ar dentro da casa de vegetação, no horário das 9 h, a 0,30 m de altura. Alguns estudos mostram que esta variação é devida a temperatura do ar e a radiação solar exercerem influência sobre a umidade relativa (Kolokotsa et al., 2010). Tanny et al. (2009) concluíram, estudando o efeito

de telas de sombreamento (sombrite) no microclima no interior de uma casa de vegetação, que a tela induz uma camada limite estável e serve como barreira física contra a movimentação vertical do ar e reduz a temperatura do ar e o déficit de vapor de pressão durante o dia e aumenta levemente a temperatura do ar durante a noite.

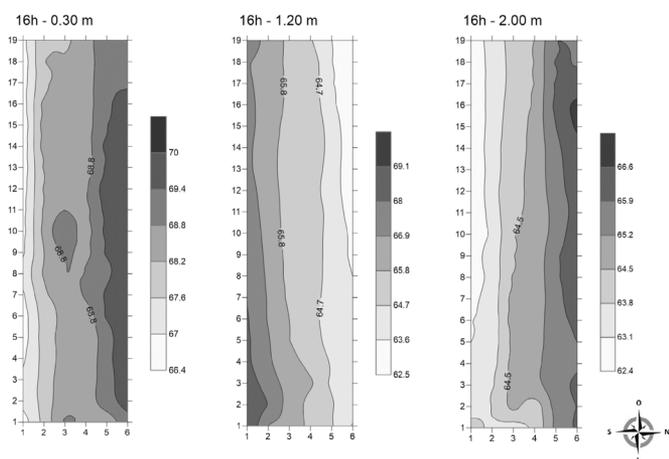
Outros pesquisadores concluíram que no interior da casa de vegetação existe movimentação do ar no sentido vertical e o



**Figura 4.** Distribuição espacial da umidade relativa do ar (%) no interior da casa de vegetação no horário das 9 h nas alturas de 0,3 (A), 1,20 (B) e 2,00 (C) m



**Figura 5.** Distribuição espacial da umidade relativa do ar (%) no interior da casa de vegetação no horário das 12 h nas alturas de 0,3 (A), 1,20 (B) e 2,00 (C) m



**Figura 6.** Distribuição espacial da umidade relativa do ar (%) no interior da casa de vegetação no horário das 16 h nas alturas de 0,3 (A), 1,20 (B) e 2,00 (C) m

clima pode comportar-se com padrões específicos em diferentes alturas de amostragem (Bojacá et al., 2009; Zeng et al., 2009; Tanny et al., 2008). Assim, os resultados encontrados sugerem que o microclima no interior da casa de vegetação pode ser tão dinâmico quanto no ambiente externo (Kittas & Bartzanas,

2007; Zhao et al., 2011) pelo número de variáveis que podem exercer influência em ambientes de cultivo protegido.

## Conclusões

A umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação apresentou dependência espacial forte em todas as alturas e horários avaliados, com valor médio de 94,85%.

A radiação solar influencia diretamente na umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação alterando a variabilidade desta variável, nos três horários e alturas estudados. No entanto, deve-se levar em consideração a distância entre as amostras no detalhamento do comportamento da umidade relativa do ar em casas de vegetação.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e ao CNPq, pela concessão das bolsas de estudo.

## Literatura Citada

- Abdel-Ghany, A. M. Solar energy conversions in the greenhouses. *Sustainable Cities and Society*, v.1, p.219-226, 2011.
- Abdel-Ghany, A. M.; Helal, I. M. A. Solar energy utilization by a greenhouse: General relations. *Renewable Energy*, v.36, n.1, p.189-196, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2010.06.020>>
- Andriotti, J. L. S. Fundamentos de estatística e geostatística. 3.ed. São Leopoldo, RS: Unisinos, 2009. 165p.
- 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*, v.65, n.2, p.219-227, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2008.10.001>>.
- Braga, M. B.; Klar, A. E. Plastic tunnel orientation and irrigation management of pepper (*Capsicum annum*, L.). *Irriga*, v.8, n.1, p.69-77, 2003. <<http://200.145.140.50/ojs1/viewarticle.php?id=184&layout=abstract>>. 24 Set. 2013.
- Cardoso, G. G. G.; Klar, A. E. Variabilidade espacial na produção da alface em ambiente protegido. *Irriga*, v.16, n.4, p. 382-384, 2011. <<http://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/309>>. 24 Set. 2013.
- Cunha, A. R.; Martins, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. *Irriga*, v.14, n.1, p.1-11, 2009. <<http://200.145.140.50/ojs1/include/getdoc.php?id=938&article=396&mode=pdf>>. 05 Jan. 2012.
- Duhan, D.; Pandey, A.; Gahaulaut, K. P. S.; Pandey, R. P. Spatial and temporal variability in maximum, minimum and mean air temperatures at Madhya Pradesh in central India. *Comptes Rendus Geoscience*, v.345, n.1, p.3-21, 2013. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.crte.2012.10.016>>.

- Farmer, J.; Matthews, R.; Smith, J. U.; Smith, P.; Singh, B. K. Assessing existing peatland models for their applicability for modeling greenhouse gas emissions from tropical peat soils. *Environmental Sustainability*, v.3, n.5, p.339-349, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1016/J.COSUST.2011.08.010>>.
- Golden Software. Surfer versão 10.3.705. Golden, 2011. Software.
- Grewal, H. S.; Maheshwari, B.; Parks, S. E. Water and nutrient use efficiency of a low-cost hydroponic greenhouse for a cucumber crop: an Australian case study. *Agricultural Water Management*, v.98, n.5, p.841-846, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2010.12.010>>.
- Kittas, C.; Bartzanas, T. Greenhouse microclimate and dehumidification effectiveness under different ventilator configurations. *Building and Environment*, v.42, n.10, p.3774-3784, 2007. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.020>>.
- Klar, A. E.; Jadoski, C. J.; Maggi, M. F.; Ramiro, J.; Santos, A. B. A. Distribuição da energia no interior de uma estufa plástica no período do inverno. *Irriga*, v.11, n.2, p.257-265, 2006. <<http://200.145.140.50/ojs1/viewarticle.php?id=38&layout=abstract>>. 24 Set. 2013.
- Kolokotsa, D.; Saridakis, G.; Dalamagkidis, K.; Dolianits, S.; Kaliakatsos, I. Development of an intelligent indoor environment and energy management system for greenhouses. *Energy Conversion and Management*, v.51, n.1, p.155-168, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2009.09.007>>.
- López-Moreno, J. I.; Pomeroy, J. W.; Revuelto, J.; Vicente-Serrano, M. Response of snow processes to climate change: spatial variability in a small basin in the Spanish Pyrenees. *Hydrological Processes*, v.27, n.1, p.2637-2650, 2013. <<http://dx.doi.org/10.1002/hyp.9408>>.
- Maggi, M. F.; Lima, A. S.; Jadoski, C.; Wagner, M. V.; Ribeiro, F. L.; Klar, A. E. Horizontal spacialization of evaporation in protected environment in Botucatu - SP. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, v.2, n.1, p.44-50, 2009. <<http://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/article/view/426>>. 24 Set. 2013.
- Mustafaraj, G.; Lowry, G.; Chen, J. Prediction of room temperature and relative humidity by autoregressive linear and nonlinear network models for an open office. *Energy and Buildings*, v.43, n.6, p.1452-1460, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.02.007>>.
- Nordli, E. F.; Strom, M.; Torre, S. Temperature and photoperiod control of morphology and flowering time in two greenhouse grown *Hydrangea macrophylla* cultivars. *Scientia Horticulturae*, v.127, n.3, p.372-377, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.019>>.
- Omid, M.; Shafaei, A. Temperature and relative humidity changes inside greenhouse. *International Agrophysics*, v.19, n.2, p.153-158, 2005. <<http://www.old.international-agrophysics.org/pl/zeszyty.html?stan=detail&vol=19&num=2&paper=468&i=9>>. 05 Jan. 2012.
- Panwar, N. L.; Kaushik, S. C.; Kothari, S. Solar greenhouse an option for renewable and sustainable farming. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.15, n.8, p.3934-3945, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.030>>.
- Robertson, G. P. GS+: Geostatistics for the environmental sciences - GS+ User's Guide. Plainwell: Gamma Desing Software, 1998. 152p.
- Sapounas, A. A.; Nikita-Martzopoulou, C. H.; Spiridis, A. Prediction the spatial air temperature distribution of an experimental greenhouse using geostatistical methods. *Acta Horticulturae*, v.801, n.1, p. 495-500. 2008. <[http://www.actahort.org/books/801/801\\_54.htm](http://www.actahort.org/books/801/801_54.htm)>. 05 Jan. 2012.
- Silva, M. A. A.; Escobedo, J. F.; Galvani, M. Influência da cultura do pimentão (*Capsicum annuum* L.) nos elementos ambientais em ambiente protegido. *Irriga*, v.7, n.3, p.230-240, 2002. <<http://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/266/159>>. 05 Jan. 2012.
- Soni, P.; Salokhe, V. M.; Tantau, H. J. Effect of screen mesh size on vertical temperature distribution in naturally ventilated tropical greenhouses. *Biosystems Engineering*, v.92, n.4, p.469-482, 2005. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.08.005>>.
- Stanghellini, C.; Dai, J.; Kempkes, F. Effect of near-infrared-radiation reflective screen materials on ventilation requirement, crop transpiration and water use efficiency of a greenhouse rose crop. *Biosystems Engineering*, v.110, n.3, p.261-271, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.08.002>>.
- Tanny, J.; Cohen, S.; Grava, A.; Naor, A.; Lukyanov, V. The effect of shading screens on microclimate of apple orchards. *Acta Horticulturae*, v.807, n.1, p.103-108, 2009. <[http://www.actahort.org/books/807/807\\_11.htm](http://www.actahort.org/books/807/807_11.htm)>. 24 Set. 2013.
- Tanny, J.; Teitel, M.; Barak, M.; Esquira, Y.; Amir, R. The effect of height on screenhouse microclimate. *Acta Horticulturae*, v.801, n.1, p.104-114, 2008. <[http://www.actahort.org/books/801/801\\_6.htm](http://www.actahort.org/books/801/801_6.htm)>. 24 Set. 2013.
- Terra, V. S. S.; Reisser Júnior, C.; Timm, L. C.; Carvalho, F. L. C.; Pereira, J. F. M. Análise espacial da temperatura e umidade relativa do ar em um pomar de pessegueiro, no município de Morro Redondo-RS. In: Inamasu, R. Y. (Eds.). *Agricultura de precisão: Um novo olhar*. São Carlos-SP: Cubo, 2011. p.207-211.
- Umali, B. P.; Oliver, D. P.; Forrester, S.; Chittleborough, D. J.; Hutson, J. L.; Kookanab, R. S.; Ostendorf, B. The effect of terrain and management on the spatial variability of soil properties in an apple orchard. *Catena*, v.93, p.38-48, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2012.01.010>>.
- Zeng, C. Z.; Bie, Z. L.; Yuan, B. Z. Determination of optimum irrigation water amount for drip-irrigated muskmelon (*Cucumis melo* L.) in plastic greenhouse. *Agricultural Water Management*, v.96, n.4, p.595-602, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2008.09.019>>.
- Zhang, M.; Li, M.; Wang, W.; Liu, C.; Gao, H. Temporal and spatial variability of soil moisture based on WSN. *Mathematical and Computer Modelling*, v.58, n.1, p.826-833, 2013. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.mcm.2012.12.019>>.
- Zhao, C. J.; Li, M.; Yang, X. T.; Sun, C. H.; Qian, J. P.; Ji, Z. T. A data-driven model simulating primary infection probabilities of cucumber downy mildew for use in early warning systems in solar greenhouses. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.76, n.2, p.306-315, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2011.02.009>>.
- Zimback, C. R. L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade. Botucatu: Faculdade de Ciência Agrônoma/UNESP, 2001. 114p. Tese Livre-Docência.