

ISSN 0104-1347

Efeito da nebulização e ventilação natural na redução da temperatura do ar em ambiente protegido

Effect of the fog-system and natural ventilation on air temperature cooling in greenhouse

Raquel Aparecida Furlan¹, Marcos Vinícius Folegatti² e Paulo Cesar Sentelhas³

Resumo - Avaliou-se o efeito conjunto da ventilação natural (manejo de cortinas) e do sistema de nebulização com água à temperatura ambiente na redução da temperatura do ar através da distribuição temporal da temperatura, em ambiente protegido. O trabalho foi realizado na área experimental do Departamento de Engenharia Rural, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP. Para tanto, dois ambientes protegidos foram instalados no sentido leste-oeste, com as seguintes características: 6,4m x 17,5m (área total de 112m²); estrutura em ferro galvanizado; pé direito de 3,0m e altura total de 4,2m, cobertos com PVC SANSUY de espessura de 150 micra com tratamento para raios ultra violeta; janela zenital longitudinal de 1,5m x 17,5m. Para a coleta de dados de temperatura no interior do ambiente protegido, foram instalados termopares (cobre-constantan), formando malhas, constituindo um conjunto de 78 pontos de amostragem. Os dados foram armazenados a cada 15 minutos por dois sistemas de aquisição de dados (modelo: CR10 e CR7). A redução da temperatura do ar no interior do ambiente protegido através de nebulização e abertura de cortinas pôde ser constatada através da comparação entre o ambiente testemunha e o ambiente onde houve abertura de cortinas e nebulização. A combinação de manejo de cortinas e nebulização foi eficiente na redução de temperatura.

Palavras-chave: resfriamento do ar, abertura de cortinas, déficit de saturação, cultivo protegido, plasticultura.

Abstract - The objective of this work was to evaluate the effect of the fog-system and the natural ventilation (handling of curtains) on air temperature cooling in greenhouse. The spacial and temporal distribution of the temperature inside the greenhouse was analyzed. The measurements were made over a bare soil. This work was accomplished at the experimental area of the Department of Rural Engineering, of Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, University of São Paulo, in Piracicaba, state of São Paulo, Brazil. Two greenhouses were installed at the East-West direction, with the following characteristics: 6.4m x 17.5m (total area of 112m²); structure manufactured of galvanised iron; 3.0m high in the laterals and total height of 4.2m; PVC SANSUY cover of 0.15mm of thickness treated for ultra violet rays; zenithal windows of longitudinal opening of 1.50m x 17.5m. The air temperature data was measured inside the greenhouse using a network of 78 thermocouples (copper-constantan). The data was stored every 15 minutes by two dataloggers (model: CR10 and CR7). The reduction of the air temperature inside the greenhouse with fog-system and opening of curtains could be verified through the comparison with the data collected on standard greenhouse. The combination of the handling of curtains and the fog-system was the most efficient system to reduce the air temperature.

Key words: air temperature, handling curtains, vapor pressure saturation deficit, protected crop.

¹Engenheiro Agrônomo, Dr. em Irrigação e Drenagem, ESALQ/USP. Av. Pádua Dias, 11; Piracicaba, SP, CEP 13418-900. Fone (019) 429 4217. e-mail: raquel_furlan@bol.com.br

²Prof. Dr. Departamento de Engenharia Rural. ESALQ/USP. e-mail: mvfolega@carpa.ciagri.usp.br

³Prof. Dr. Departamento de Ciências Exatas. ESALQ/USP. e-mail: pcsentel@carpa.ciagri.usp.br

Introdução

Um problema a ser estudado em cultivos sob ambientes protegidos, como em estufas plásticas, nas regiões tropicais e subtropicais é a atenuação de altas temperaturas do ar que são prejudiciais ao crescimento e produção das culturas.

A temperatura do ar no interior do ambiente protegido está intimamente ligada ao seu balanço de energia. Depende, portanto, dos processos de incidência da radiação solar, reflexão e reirradiação pelos corpos no interior do ambiente protegido, condução através da cobertura e paredes, renovação do ar e troca de calor com o solo (FARIAS *et al.*, 1993). Desta forma, características que afetam tais processos de ganho e perda de energia, como volume de ar do ambiente protegido, condição atmosférica externa, área da superfície coberta, também condizionarão a temperatura do ar em ambientes protegidos.

Na região Sudeste, FARIA JÚNIOR *et al.* (1993) não encontraram diferenças entre ambiente protegido tipo capela e tipo teto em arco, cobertas com PEBD 75 μ , quanto à temperatura média, mínima e máxima, que foram, em média de 32,2°C, 21,8°C e 40,7°C, respectivamente. Entretanto, os ambientes protegidos proporcionaram maiores temperaturas máximas em comparação com o ambiente externo. PEZZOPANE (1994) também verificou no inverno, em Campinas, SP, maiores temperaturas máximas no interior do ambiente protegido, com amplitude térmica entre o interior e o exterior de aproximadamente 6,0°C. FOLEGATTI *et al.* (1997) observaram que, na primavera no Estado de São Paulo, os valores das temperaturas máxima, média e mínima do ar dentro do ambiente protegido foram sempre superiores aos do exterior (14,8%, 8,5% e 5,9%, respectivamente), com o menor valor das mínimas de 12,2°C e o maior valor das máximas de 42,2°C.

BURIOL *et al.* (1993), trabalhando no Rio Grande do Sul, verificaram médias das temperaturas mínimas do ar entre 1,0 a 3,0°C superiores às do ambiente externo. As temperaturas do ar encontradas por FERNANDES (1996) foram de 32,9°C e 28,8°C para as médias, e 17,3°C e 16,7°C para as mínimas, respectivamente, no interior e exterior de ambientes protegidos cultivados com crisântemo em Holambra, São Paulo.

O sistema de resfriamento por evaporação da água reduz a temperatura do ar no interior do ambiente protegido, devido a troca do calor sensível por

calor latente aumentando a quantidade de vapor d'água (MONTERO *et al.*, 1990). Uma das vantagens do sistema de resfriamento por nebulização citado por ALPI & TOGNONI (1991), é que este sistema permite o resfriamento em ambientes protegidos sem a necessidade de criar sombra e ao mesmo tempo permite forte intensidade de luz, proporcionando no verão, condições favoráveis para muitas espécies de plantas, tanto florais como hortícolas. O emprego da nebulização para diminuir a temperatura do ar depende do déficit de saturação do ar. Essa técnica será tão mais eficiente quanto maior for o déficit de saturação (ANDRIOLO, 1999).

MONTERO & ANTÓN (1994) comparando o clima externo e interno de ambientes protegidos similares, observaram que em um dia de verão em Barcelona, com umidade relativa média de 59,0%, ao meio dia, a temperatura do ar no ambiente protegido com nebulização foi 2,0 a 3,0°C menor em relação ao ambiente externo, enquanto que no ambiente protegido controle foi aproximadamente 6,0°C acima da temperatura externa.

A eficiência do sistema de nebulização diminui em áreas úmidas (MONTERO & ANTÓN, 1994; FANG, 1995). Os valores de umidade relativa do ar no interior dos ambientes protegidos são muito variáveis e estão intimamente relacionados aos valores de temperatura do ar. Assim, para um mesmo conteúdo de vapor d'água no ar, a umidade relativa é inversamente proporcional à temperatura (SEEMAN, 1979). A ocorrência de chuva, por sua vez, eleva a concentração de vapor d'água do ambiente, aumentando a pressão de vapor e a umidade relativa e diminuindo o déficit de saturação. Desta forma, o efeito de resfriamento por evaporação ficará reduzido. Entretanto, o resfriamento por evaporação é o mais efetivo método para baixar a temperatura do ar, tanto em ambientes protegidos em áreas secas como também em áreas úmidas, apesar de sua menor eficiência, durante as primeiras fases do desenvolvimento da cultura (MONTERO & ANTÓN, 1994).

Nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil, principalmente no Estado de São Paulo, tem ocorrido grande interesse de produtores em busca de novas tecnologias para o cultivo em ambiente protegido por plástico, o qual mostra-se mais vantajoso, possibilitando o aumento da produtividade, melhor qualidade dos produtos, produção fora de épocas convencionais e melhor preço. Entre as culturas cultivadas em ambiente protegido destaca-se a floricultura como a ati-

vidade que mais tem investido em tecnologia de produção no país, devido principalmente ao alto valor econômico que este produto atinge e do elevado nível de exigência do mercado consumidor. Sendo assim, com o cultivo de flores e hortaliças em ambiente protegido em plena expansão, a demanda por informações tecnológicas de manejo nas condições climáticas do Estado de São Paulo é crescente.

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito conjunto da ventilação natural (manejo de cortinas) e do sistema de nebulização com água à temperatura ambiente no resfriamento do ar através da distribuição temporal da temperatura do ar, em ambiente protegido coberto com plástico.

Material e métodos

O trabalho foi realizado na área experimental do Departamento de Engenharia Rural, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), em Piracicaba, SP. O solo do local do experimento é classificado como Terra Roxa Estruturada (Alfisol), série Luiz de Queiroz, plana. Foram instaladas duas estufas plásticas similares no sentido leste-oeste, com 6,4m de largura por 17,5m de comprimento, pé direito de 3,0m, filmes plásticos em PVC SANSUY com espessura de 150 μ m, janelas zenitais de abertura longitudinal de 1,50m de largura e comprimento de 17,5m, fechada com tela plástica de malha, com 30% de sombreamento, janelas laterais fechadas com sombrite, com 60% de sombreamento, e plástico removível. Foi realizada uma amostragem sistemática pelo uso de 78 termopares regularmente distribuídos nas três direções do espaço (x, y e z). Os termopares, constituídos de pares termo-elétricos de cobre-constantan, seco e úmido, foram instalados em micro-abrigos de PVC branco nos níveis correspondentes as alturas de 0,5m, 1,0m, 2,0m, 3,0m, sendo que na parte central da estufa foram instalados termopares a 4,0m em relação ao nível do solo (Figura 1a) e com espaçamento horizontal entre eles de 3m (Figura 1b).

Em cada um dos ambientes protegidos foram instalados cinco termopares envoltos à uma gaze umedecida para obtenção de umidade relativa. A posição destes termopares corresponde a posição ao lado da estaca de número 10, descrita anteriormente, Figura 1b. Os psicrômetros, constituídos de pares termo-elétricos de cobre-constantan sendo um seco e um umedecido por uma gaze embebida em água des-

tilada, foram instalados conforme procedimento utilizado por CUNHA et al. (1996), nas mesmas alturas correspondentes aos termopares de bulbo seco, ou seja, a 0,5m, 1,0m, 2,0m, 3,0m e 4,0m. Os dados foram armazenados a cada 15 minutos por dois sistemas de aquisição de dados, modelos: CR10 e CR7, da Campbell Sci.

O sistema de nebulização constituiu-se de duas linhas com um total de 70 bocais (espaçamento entre bocais de 0,20m), instalados à uma altura de 3,0m. O modelo utilizado foi o DAN FOGGER 7800 (Dan Sprinklers) e a densidade de 1,6m²/bico nebulizador. No sistema, foi aplicada uma pressão de 200kPa. A vazão dos bicos nebulizadores foi de 4 l/h. Procurou-se verificar a variação temporal de distribuição de temperatura do ar no ambiente protegido, através da abertura e fechamento das cortinas laterais e zenitais, bem como da nebulização.

A temperatura média do ar nos dois ambientes foi obtida pela média aritmética dos valores obtidos ao longo do dia nos 78 termopares instalados em cada um deles. No caso da umidade relativa, obteve-se a média usando-se os dados obtidos ao longo do

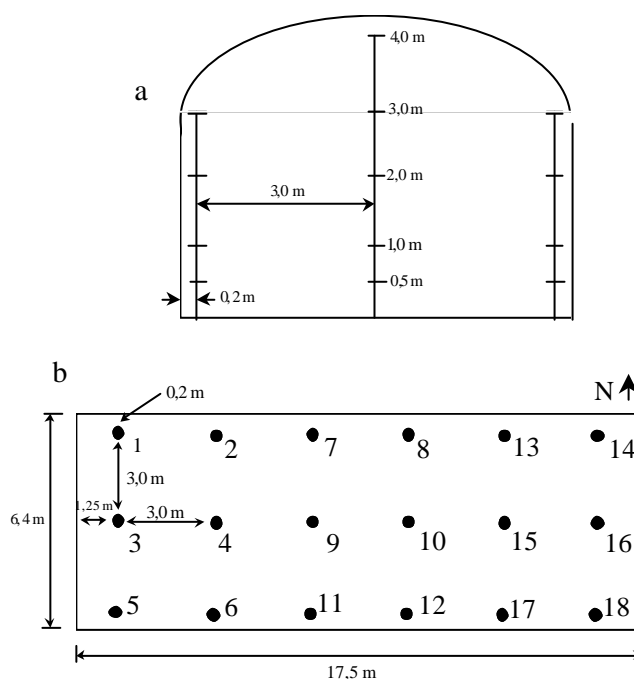


Figura 1 Representação esquemática da localização dos termopares na direção vertical no interior do ambiente protegido (a) e localização das estacas sustentadoras dos termopares na direção horizontal (b).

dia nos cinco termopares localizados no centro das estufas.

As informações meteorológicas externas foram obtidas na estação meteorológica automática instalada no posto agrometeorológico do Departamento de Ciências Exatas, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), com médias armazenadas a cada 15 minutos. A distância entre o posto e a área do experimento é de cerca de 400m.

No ambiente protegido (E1), com manejo das cortinas, a abertura da lateral a 1,0m de altura em relação ao nível do solo e a nebulização se deram entre as 9h e as 15h, sendo a nebulização intermitente, permanecendo 15 minutos ligada e 15 minutos desligada e assim sucessivamente. No ambiente protegido testemunha (E2), as cortinas permaneceram fechadas.

Os dias com maior entalpia e com condições de temperatura e umidade relativa do ar semelhantes (04/11/1999 e 01/12/1999) foram utilizados na comparação da eficiência da abertura das cortinas e da nebulização. Foi aplicado o teste t a 1% de probabilidade para se verificar se a abertura das cortinas e a nebulização tiveram efeito significativo sobre temperatura média do ar no ambiente protegido quando comparado com o ambiente protegido controle (cortinas fechadas e sem nebulização).

Resultados e discussão

A Tabela 1 apresenta os valores médios diários de temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar global observados durante os dias analisados. Observa-se que em relação à temperatura do ar e da umidade relativa, não houve grandes diferenças, enquanto que em relação à velocidade do vento e de densidade de fluxo de irradiância solar global esses dias foram bem distintos.

Tabela 1. Valores médios diários de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e irradiância solar global observados nos dias 04/11/99 e 01/12/99, obtidos no posto agrometeorológico do DCE/ESALQ/USP, em Piracicaba, SP.

Data	Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)	Velocidade do vento (m/s)	Radiação global (MJ/m ² .dia)
04/11/99	25,1	60,8	1,7	18,8
01/12/99	23,9	66,1	3,0	27,3

A Figura 2 apresenta a redução da temperatura média do ar no ambiente E1 onde as cortinas ficaram abertas a 1,0m de altura em relação ao nível do solo em comparação com o ambiente E2 e a temperatura do ar no ambiente externo durante o dia 04/11/99. Neste dia, as cortinas laterais foram abertas e acionado o sistema de nebulização às 9h e às 15h foram fechadas as cortinas e desligado o nebulizador. A temperatura média do ar neste intervalo foi de 47,1°C para o ambiente E2 e de 33,1°C para o ambiente E1, o que representa uma redução na temperatura média do ar de 29,7% (Figura 2). A temperatura média do ar externa, para esse intervalo, foi de 30,8°C, ficando o ambiente E1 com temperatura 7,6% superior à do ar externo e o ambiente E2 com a temperatura 52,9% acima da que ocorreu externamente.

A umidade relativa do ar média do ambiente E1, correspondente ao período em que o nebulizador esteve em funcionamento, foi de 54,3%, enquanto que a do ambiente E2 durante este mesmo período foi de 32,1%. O acréscimo na umidade relativa do ar média para este período foi de 69,3%.

A variação das temperaturas médias do ar nos ambientes E1 e E2 no dia 01/12/99 é apresentada na Figura 3. Neste dia, a cortina zenital foi aberta às 10h45min. Às 12h, as cortinas laterais do ambiente E1 foram abertas a 1,0m de altura em relação ao nível do solo. O acionamento do nebulizador iniciou-se às 12h45min e o seu desligamento às 14h30min.

A temperatura média do ar no ambiente E2, durante o período de manejo do ambiente E1, foi de 48,2°C e a temperatura média do ar para o ambiente E1 foi de 36,8°C, mostrando redução de 23,6%. Entretanto, a temperatura externa neste período foi de 29,6°C, representando um aumento da temperatura no ambiente E2 em relação a temperatura média externa de 62,5% e uma elevação da temperatura do ambiente E1 em relação a temperatura externa de 24,2%. Porém, considerando-se apenas o período de

nebulização, observa-se uma temperatura média do ar igual a 45,1°C no ambiente E2, a 32,2°C no ambiente E1 e a 30,5°C no ambiente externo. Assim, houve uma redução de 12,9°C entre as temperaturas médias dos dois ambientes (28,5%). A elevação da temperatura média do ar no ambiente E1 em relação à temperatura

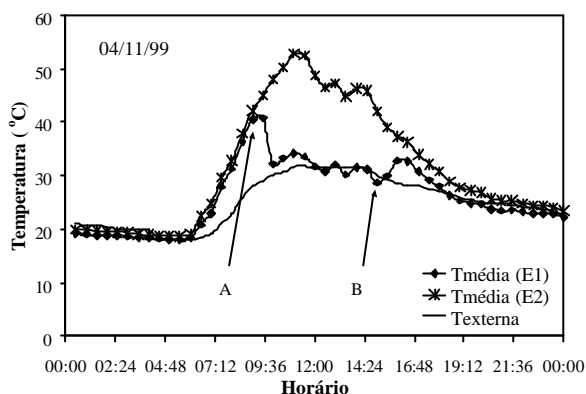


Figura 2 Variação da temperatura do ar no ambiente protegido (E1) com nebulização e cortinas abertas a 1,0m de altura em relação ao nível do solo, no ambiente protegido testemunha (E2) e no ambiente externo, durante o dia 04/11/99, em Piracicaba, SP. (A – abertura das laterais e início da nebulização (9h); B – fechamento das laterais e final da nebulização (15h)).

externa foi de 5,5% e a elevação da temperatura média do ambiente E2 foi de 47,6% em relação ao ambiente externo.

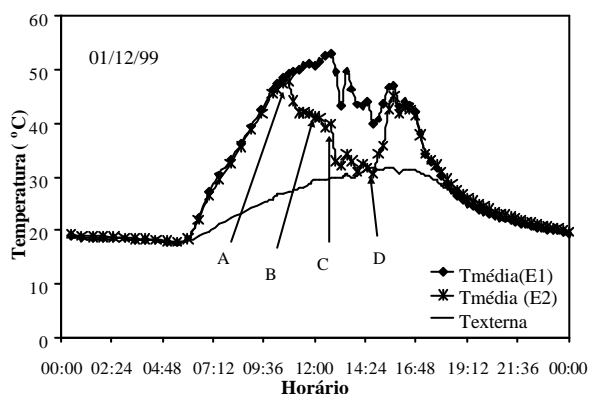


Figura 3 Variação da temperatura do ar no ambiente protegido (E1) com nebulização e cortinas zenital e laterais abertas a 1,0m de altura em relação ao nível do solo, no ambiente protegido testemunha (E2) e no ambiente externo, durante o dia 01/12/99, em Piracicaba, SP. (A – abertura da cortina zenital (10h45min); B – cortinas laterais abertas a 1,0m de altura (12h); C – início da nebulização (12h45min); D – final da nebulização (14h30min)).

A umidade relativa do ar média do ambiente E2, durante o período com abertura de cortinas e nebulização no ambiente E1, foi de 49,9% e a umidade relativa do ar média do ambiente E1 foi de 43,8%. A redução da umidade relativa do ar no ambiente E1 foi de 12,3% em relação ao E2, pois com a abertura das cortinas laterais e zenital houve redução da umidade relativa do ar pela troca de vapor d'água com o ambiente externo. Com a posterior nebulização, houve nova adição de água (vapor) no ambiente, voltando a elevar a umidade relativa (Figura 4).

Nas Figuras 2 e 3 observa-se este efeito da nebulização no abaixamento da temperatura. No dia 01/12/99, a temperatura do ambiente protegido com cortinas abertas e nebulização se equiparou à temperatura externa após o início da nebulização (Figura 2). O manejo combinado de abertura de cortinas e nebulização é um método eficiente de redução de temperatura em ambientes protegidos. A nebulização reduz as temperaturas a ponto de se igualarem e até ficarem inferiores à temperatura externa, conforme mostram MONTERO & ANTÓN (1994). O uso de ventilação forçada com ventiladores, poderia possivelmente melhorar a eficiência desse sistema, reduzindo ainda mais a temperatura. O resfriamento no dia 04/11/99 foi mais eficiente devido à renovação do ar no interior do ambiente protegido com velocidade do vento média do ambiente externo de 3 m/s. Já no dia 01/12/99, a velocidade do vento foi de 1,7 m/s (Tabela 1).

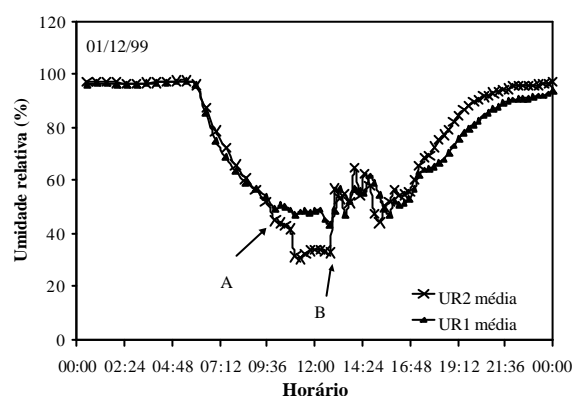


Figura 4 Variação temporal da umidade relativa do ar no ambiente E1 com cortinas abertas e nebulização (UR2 média) e no ambiente E2 (UR1 média) durante o dia 01/12/99, em Piracicaba, SP. (A – abertura da cortina zenital (10h45min) e abertura das cortinas laterais a 1,0m de altura (12h); B – início da nebulização (12h45min)).

Conclusões

A combinação de manejo de cortinas e de nebulização é um sistema eficiente na redução de temperatura, podendo reduzi-la no interior do ambiente protegido a níveis muito próximos aos observados externamente e em alguns casos com temperaturas abaixo desta. Só o uso de um método de redução da temperatura em ambientes protegidos pode não ser suficiente para reduzir a temperatura a um nível aceitável pelas culturas em períodos de elevadas temperaturas.

Referências bibliográficas

- ALPI, A., TOGNONI, F. **Cultivo en invernadero**. 3. ed. Madrid : Mundi-Prensa, 1991. 347 p.
- ANDRIOLO, J.L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria : Ed. da UFSM, 1999. 142 p.
- BURIOL, G.A., SCHNEIDER, F.M., ESTEFANEL, V. et al. Modificação na temperatura mínima do ar causada por estufas de polietileno transparente de baixa densidade. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria. v. 1, p. 43-49, 1993.
- CUNHA, R.C., BERGAMASCHI, H., BERLATO, M.A. et al. Balanço de energia em cultura de milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, p. 1-14, 1996.
- FARIA JÚNIOR, M. J., SENO, S., ARAÚJO, J. A. C. et al. Avaliação de cultivares de alface e de dois modelos de estufa com cobertura plástica, durante o verão, em Ilha Solteira-SP. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 2, n. 1, p. 119-128, 1993.
- FARIAS, J.R.B., BERGAMASCHI, H., MARTINS, S.R. et al. Alterações na temperatura e umidade relativa do ar provocadas pelo uso de estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria. v. 1, n. 1, p. 51-62, 1993.
- FANG, W. Greenhouse cooling in subtropical regions. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 399, p. 37-48, 1995.
- FERNANDES, A.L.T. **Monitoramento da cultura de crisântemo em estufa através do uso de lisímetro e estação agrometeorológica automatizados**. Piracicaba : ESALQ/USP, 1996. 96 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1996.
- FOLEGATTI, M.V., SCATOLINI, M.E., PAZ, V.P.S.P et al. Efeitos da cobertura plástica sobre os elementos meteorológicos e evapotranspiração da cultura de crisântemo em estufa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria. v. 5, n. 2, p. 155-163, 1997.
- MONTERO, J.I., ANTÓN, A., BIEL, C. et al. Cooling of greenhouse with compressed air fogging nozzles. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 281, p. 199-209, 1990.
- MONTERO, J.I., ANTÓN, A. Greenhouse cooling during warm periods. **Acta Horticulturae**, The Hague. v. 357, p. 49-61, 1994.
- PEZZOPANE, J. E. M. **Uso de estufa com cobertura plástica e de quebra ventos na produção de porta-enxertos de seringueira, na região de Campinas, S.P.** Piracicaba, 1994. 86 p. (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1994.
- SEEMAN, J. Greenhouse Climate. In: SEEMAN, J. et al. **Agrometeorology**. New York : Springer-Verlag, 1979. p. 165-178.