

Cultivo Protegido: Aspectos Microclimáticos¹

PAULO CESAR SENTELHAS² e ANTONIO ODAIR SANTOS²

² Seção de Climatologia Agrícola, Instituto Agrônomo, CP 28, CEP 13001-970, Campinas, SP

1. INTRODUÇÃO

O cultivo de flores e hortaliças em ambientes protegidos é uma atividade que se encontra em franca expansão no Brasil. A principal vantagem dessa técnica consiste na possibilidade de produção nos períodos de entressafra, permitindo maior regularização da oferta e melhor qualidade dos produtos. Além disso, os cultivos protegidos representam hoje o ramo da atividade agrícola que mais recursos tem investido para a produção e a geração de empregos permanentes (ARRUDA et al., 1994).

O cultivo em ambientes protegidos consiste numa tecnologia de produção amplamente consolidada em países como a Espanha, Itália, Holanda, França, Japão e Estados Unidos. No Brasil, apesar de sua crescente utilização, essa tecnologia ainda carece de informações relativas ao efeito da proteção ambiental - principalmente em se tratando de estufas plásticas - às variáveis meteorológicas e a sua influência no crescimento e desenvolvimento das culturas.

Ainda, as condições continentais do território nacional - regiões climaticamente bem distintas - exigem a realização de estudos regionais visando determinar as potencialidades e limitações dessa tecnologia (SCHNEIDER et al., 1993).

2. ALTERAÇÕES MICROCLIMÁTICAS PROVOCADAS PELO USO DE ESTUFAS COM COBERTURA PLÁSTICA

O emprego de estufas plásticas é responsável por alterações em diversos elementos meteorológicos, tornando viável a produção de vegetais em épocas ou lugares cujas condições climáticas são críticas. No entanto, nem todas as modificações microclimáticas são benéficas aos cultivos. São descritas, a seguir, as principais alterações microclimáticas provocadas pelo uso de estufas plásticas.

2.1. Radiação Solar Global

A radiação solar global incidente no interior de uma estufa coberta com plástico é sempre menor que a que incide sobre uma superfície livre (PEZZOPANE, 1994). A redução da densidade de fluxo de radiação solar no interior da estufa é devida aos processos de reflexão e de absorção pela cobertura plástica.

Segundo SEEMAN (1979), a absorção depende da composição química e da espessura do material plástico, as quais, além de reduzir a densidade de fluxo da radiação solar, possuem efeito seletivo, isto é, permitem a passagem de certas faixas espectrais e reduzem a transmitância de outras faixas de

¹ Palestra apresentada no 10º Congresso Brasileiro de Floricultura e Plantas Ornamentais, Campinas, Setembro de 1995.

comprimento de onda. Já a reflexão é condicionada pelas características da superfície da cobertura e pelo ângulo de incidência da radiação solar.

O material plástico mais empregado atualmente em cultivos protegidos - o polietileno transparente de baixa densidade (PEBD) - apresenta boa transparência à radiação solar (onda curta), com uma transmissividade, em média, de 70 a 90% da radiação incidente, podendo atingir entre as 14 e 16 horas o máximo de 93 a 95% (FARIAS et al., 1993a). No entanto, o PEBD também é bastante permeável à radiação terrestre (onda longa) - em torno de 80% - sendo, assim, muito pequeno o seu efeito estufa (BURIOL et al., 1993). Outros tipos de plástico - conhecidos como plásticos térmicos, como, por exemplo, aqueles que contém o copolímero EVA - têm transparência menor à radiação de onda lon-

ga, diminuindo, assim, a perda noturna de energia. Na Figura 1, pode-se verificar o efeito da cobertura plástica com PEBD com relação à radiação solar global e difusa.

Observa-se que, apesar da redução da radiação solar global dentro da estufa, ocorre um aumento da fração da radiação difusa em relação ao ambiente externo que, segundo Robledo de Pedro (1987) citado por PEZZOPANE (1994), é muito importante, pois a radiação difusa é multidirecional, podendo ser melhor aproveitada pelas plantas.

2.2. Temperatura do ar

A temperatura do ar no interior de estufas plásticas está intimamente ligada ao balanço de energia, que irá depender de fatores como: tamanho da estufa, propriedades óticas da cobertura e das condições meteorológicas locais (BURIOL et al., 1993).

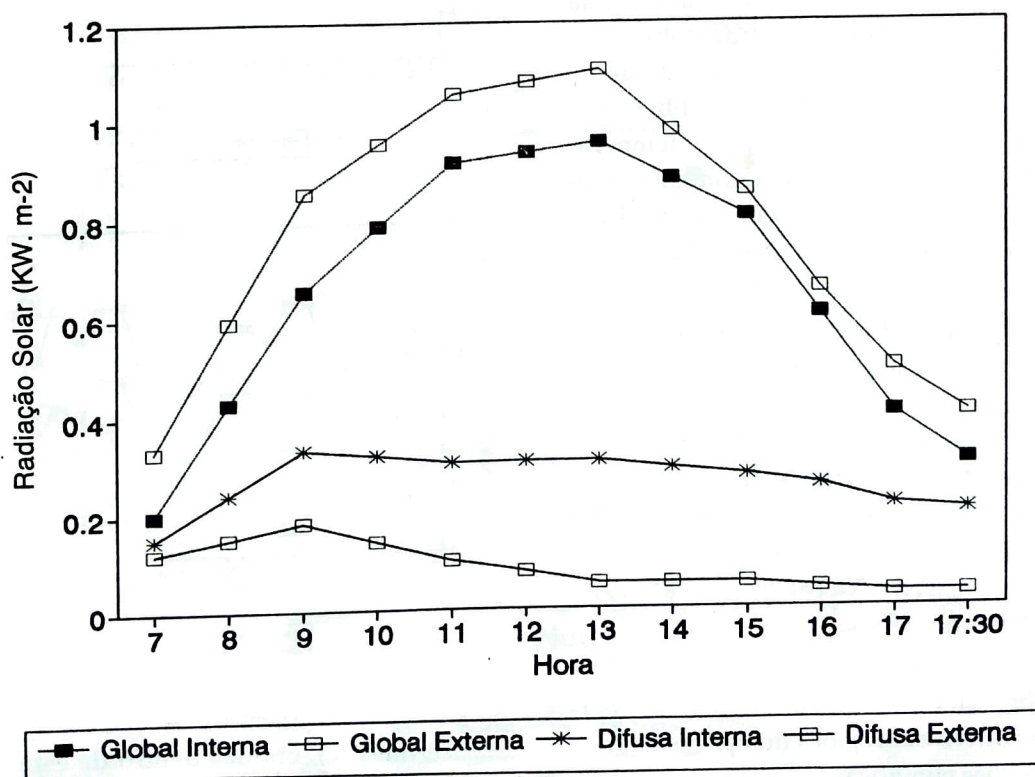


Figura 1. Radiação solar global e difusa, observadas no interior de uma estufa coberta com PEBD e ao ar livre, ao longo do dia 17/11/89, em Pelotas, RS. Fonte: Farias et al. (1993a)

Durante o dia, devido à radiação líquida positiva, a superfície aquece a parcela de ar próxima a ela, desencadeando um processo convectivo. Dentro da estufa, este processo é interrompido pela cobertura plástica que impede a ascensão do ar quente, provocando a elevação das temperaturas durante o período diurno (PEZZOPANE, 1994). Com isso, as temperaturas máximas atingem valores bem mais elevados do que no exterior, como se pode observar na Figura 2a. Quando esse incremento de temperatura no interior da estufa atinge níveis muito elevados, tal efeito pode ser minimizado com a abertura lateral ou superior da estufa ou utilizando-se um sistema de ventilação (MARTINS & GONZALEZ, 1995).

À medida que o sol vai-se pondo, o balanço de radiação vai-se tornando negativo (PEZZOPANE et al., 1995a) devido à alta transmissividade do PEBD à radiação de onda longa (80%), permitindo a perda noturna de energia. Com isso, a temperatura do ar no interior de estufas cobertas com PEBD sofre uma queda acentuada, tendendo a temperatura mínima a ser igual ou ligeiramente superior ao ambiente externo (Figura 2b), indicando uma maior amplitude térmica (Figura 2c).

Dependendo das condições, a temperatura noturna no interior da estufa pode ser menor que a observada externamente. Isto pode ocorrer em noites com ventos moderados a fortes associados a céu limpo, pois, na condição interior, devido à ausência de mistura mecânica das camadas de ar influentes, a perda de energia se torna intensa, o que causará a inversão térmica (BURIOL et al., 1993; FARIAS et al., 1993b).

O efeito das estufas com cobertura plástica sobre a temperatura do ar, além de permitir o cultivo em regiões ou épocas em que as condições climáticas são limitantes, possibilita também sua utilização na abreviação do ciclo da cultura em época normal de culti-

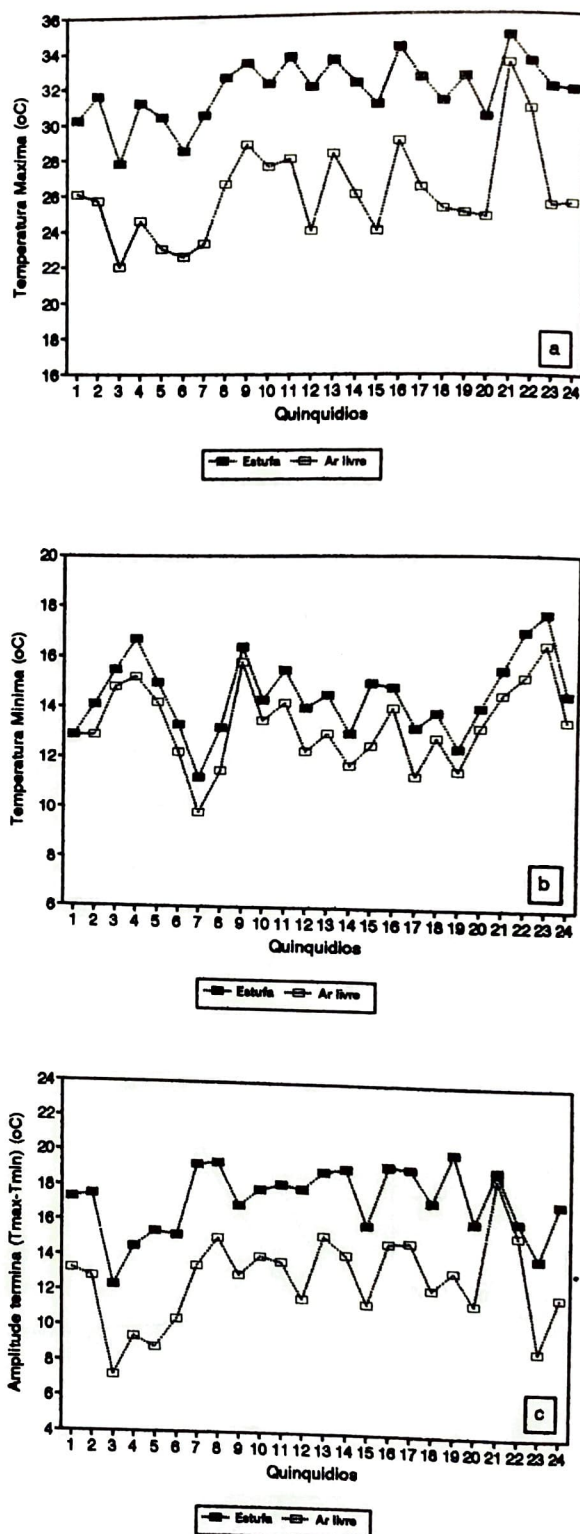


Figura 2. Médias quinquidiais da temperatura máxima (a), mínima (b) e da amplitude térmica (c), obtidas dentro de estufa coberta com PEBD e ao ar livre, durante o inverno de 1993 em Campinas, SP. Fonte: Pezzopane et al. (1994)

vo devido ao maior acúmulo de energia pelas plantas, através do conceito de Graus-dia. Na Figura 3, temos um exemplo da utilização da estufa para esse fim, destinando-se, principalmente, à produção de mudas.

Para a determinação da temperatura média diária do ar dentro de estufas, PEZZOPANE et al. (1995b) sugerem o seguinte modelo:

$$T_{med} = (T_9 + 2 * T_{21} + T_{max} + T_{min}) / 5$$

onde:

T_9 é a temperatura do ar às 9 horas (°C);

T_{21} é a temperatura do ar às 21 horas;

T_{max} é a temperatura máxima do ar;

T_{min} é a temperatura mínima do ar.

Esse modelo mostrou valores bastante próximos dos obtidos pela média real.

2.3. Temperatura do solo

A temperatura do solo é o elemento do ambiente que determina a velocidade de germinação e emergência das plântulas (SCHNEIDER et al., 1993). Em determinados ambientes, a temperatura adequada do solo para a germinação e desenvolvimento inicial das plantas somente é atingida com a utilização de estufas plásticas.

SCHNEIDER et al. (1993), em experimentos realizados em Santa Maria, RS, verificaram que tanto as temperaturas máximas como as mínimas do solo são incrementadas com o uso de estufas plásticas, apesar do menor fluxo de radiação solar em seu interior. Segundo os autores, isso se explica devido à existência de um menor volume de ar

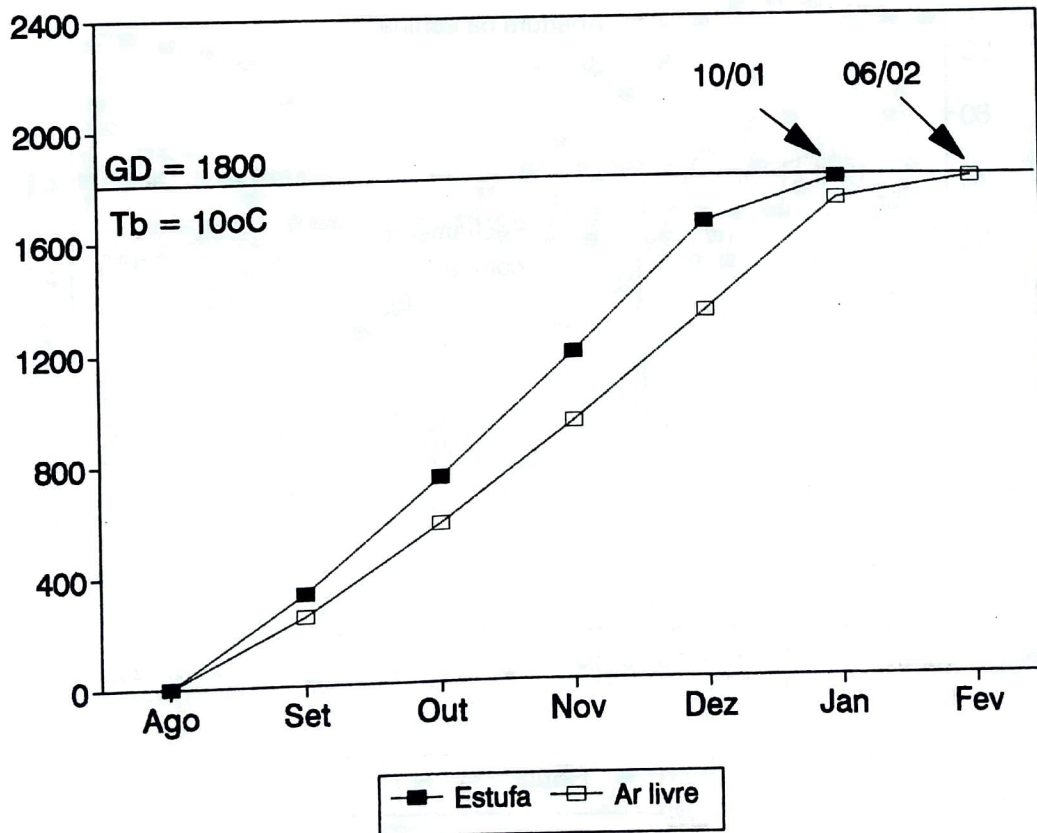


Figura 3. Simulação do efeito da estufa com cobertura plástica sobre o acúmulo de graus-dia de desenvolvimento de uma cultura hipotética.

dentro da estufa e a uma menor renovação do ar junto à superfície, reduzindo a transferência de energia na forma de calor latente e sensível, ocasionando um maior fluxo de calor para o solo e acentuando o seu aquecimento.

2.4. Umidade do ar

Os valores de umidade relativa do ar no interior de estufas são muito variáveis, sendo inversamente proporcionais aos valores de temperatura do ar (FARIAS et al., 1993b). Desta forma, com o aumento da temperatura, durante o período diurno, a umidade relativa diminui no interior da estufa, tornando-se praticamente igual à umidade observada externamente. Porém, durante a noite, a umidade relativa aumenta bastante -

chegando quase sempre a 100% - devido à queda acentuada de temperatura verificada neste período e à retenção de vapor d'água pela cobertura plástica.

Na Figura 4, são apresentados valores de umidade relativa do ar obtidos por PEZZOPANE (1994) dentro e fora da estufa plástica coberta com PEBD, em um dia em que houve manejo da estufa. Verifica-se que, enquanto a cortina permaneceu fechada, houve muita diferença entre a umidade dentro e fora da estufa, devido a não-renovação de ar. Com a abertura das cortinas laterais, a umidade caiu rapidamente, ficando próxima aos valores observados externamente, voltando a se elevar com o fechamento das cortinas a partir das 17 horas.

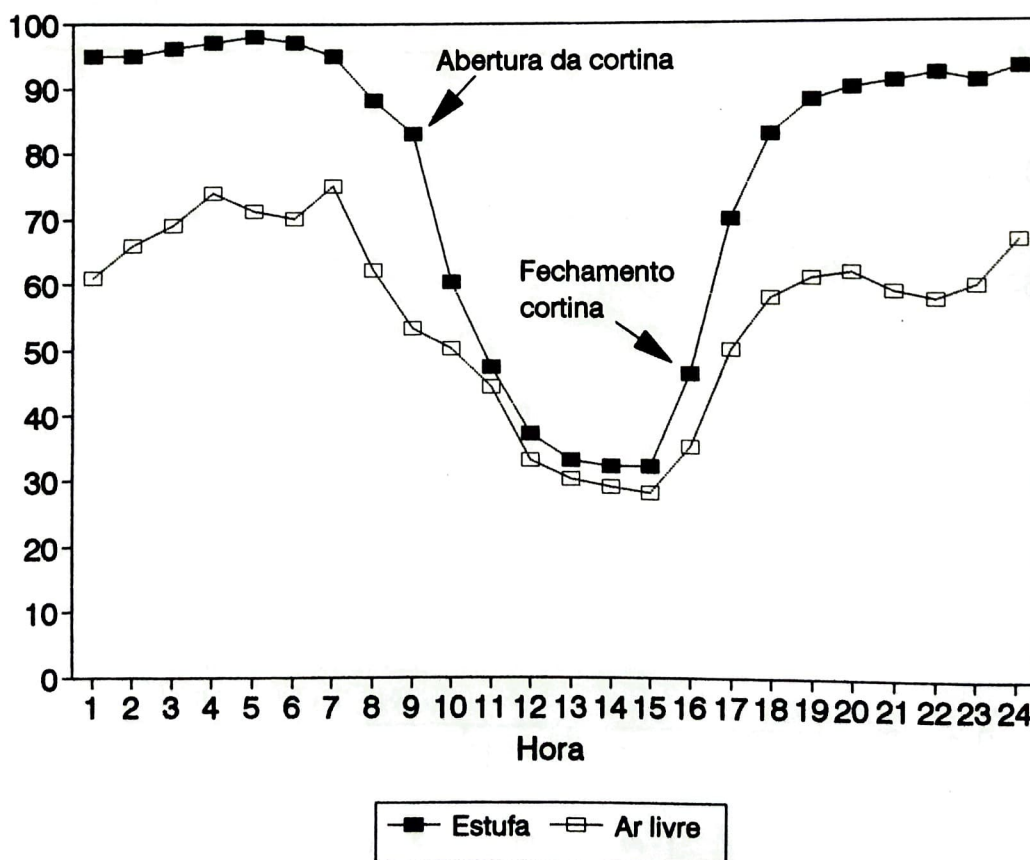


Figura 4. Comportamento da umidade relativa do ar dentro de uma estufa com cobertura plástica (PEBD) e ao ar livre, ao longo do dia (06/07/93) em Campinas, SP. Fonte: Pezzopane (1994).

2.5. Duração do período de molhamento (DPM)

A ocorrência de doenças em plantas é resultante de uma complexa inter-relação patógeno-hospedeiro-ambiente físico (BURRAGE, 1978).

O orvalho ou a duração com que ele permanece sobre as plantas (DPM) é de grande importância nos processos epidemiológicos, favorecendo a germinação dos esporos de fungos e sua penetração nas folhas através dos estômatos.

Apesar de a temperatura do ar ser um fator menos limitante do que a umidade no desenvolvimento de doenças, a combinação do binômio temperatura-DPM é que irá de-

terminar o sucesso ou insucesso do processo infeccioso.

O uso de estufas plásticas, apesar de proporcionar modificações microclimáticas favoráveis aos cultivos, provoca certas condições desfavoráveis, como a elevação acentuada da umidade e, conseqüentemente, da duração do período de molhamento nas folhas das plantas sob sua proteção. Isso favorece o estabelecimento de doenças fúngicas em relação ao ambiente externo.

Na Figura 5 podemos verificar o comportamento da DPM dentro e fora da estufa, obtido por PEZZOPANE et al. (1995c). A DPM dentro da estufa sempre foi maior ou igual à observada ao ar livre, com valores sempre superiores a 15 horas.

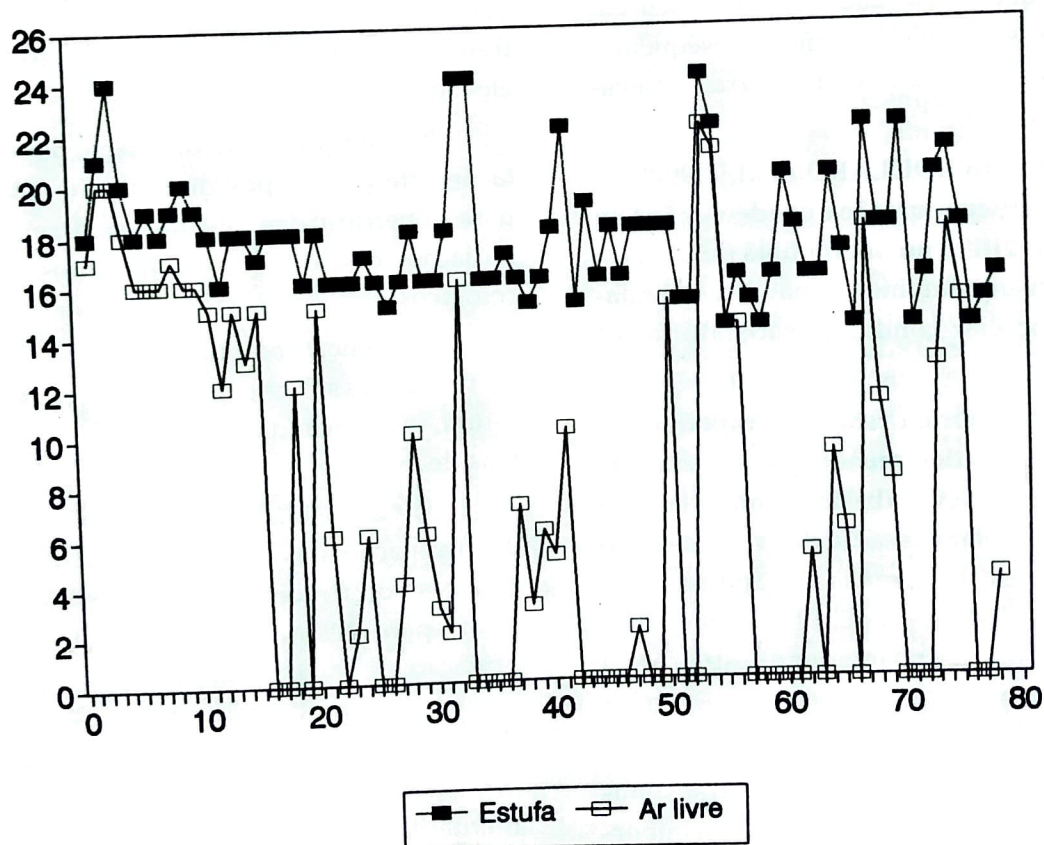


Figura 5. Duração do período de molhamento (DPM) observado no interior de uma estufa coberta com PEBD e ao ar livre, durante o período junho-setembro de 1993, em Campinas, SP. Fonte: Pezzopane et al. (1995c).

No exterior, em muitos eventos não ocorreu molhamento foliar (DPM = 0) devido à presença de turbulência (vento).

Desse modo, foram verificados no exterior, apenas 30 dias com DPM maior do que 10 horas - valor considerado como mínimo necessário para o início do processo infeccioso - enquanto que no interior da estufa foram observados 78 dias com DPM maior ou igual a 10 horas, em 78 dias de registros, indicando um maior potencial para a ocorrência de doenças.

2.6. Evapotranspiração

A cobertura plástica utilizada em estufas promove alterações tanto no balanço de radiação quanto no balanço energético em relação ao seu exterior, o que, conseqüentemente, também irá alterar as taxas de evapotranspiração.

Segundo BOULARD et al. (1990), os processos de evaporação e condensação têm influência direta no microclima de uma estufa e, conseqüentemente, na sua capacidade de propiciar condições satisfatórias às culturas.

No interior da estufa, a evapotranspiração é, em média, menor que a verificada externamente, devido basicamente à redução da radiação solar e da ação dos ventos - principais fatores da demanda evaporativa da atmosfera (HANAN et al., 1978). Em geral, a evapotranspiração no interior da estufa é 60 a 80% inferior à que ocorre no exterior (ROSENBERG et al., 1989).

O comportamento da evapotranspiração no interior de estufas é de extrema importância para o conhecimento das exigências hídricas das plantas cultivadas em estufas, uma vez que a irrigação será a única forma de suprimento de água (FARIAS et al., 1994).

3. NECESSIDADES DE PESQUISAS EM MICROMETEOROLOGIA SOB CONDIÇÕES DE CULTIVO PROTEGIDO

Em função do crescente aumento da utilização da técnica de cultivos protegidos, principalmente nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, para produção de culturas de alto investimento e rentabilidade é necessário que as pesquisas em micrometeorologia sejam direcionadas de modo a elevar a eficiência dessa tecnologia.

Entre as principais linhas de pesquisa a serem implementadas, destacamos:

a) Manejo: técnicas de manejo que permitam evitar condições microclimáticas desfavoráveis, tais como: temperaturas extremamente baixas ou elevadas, umidade elevada etc.;

b) Coberturas: identificação da resposta de diferentes tipos de material plástico para cobertura das estufas com relação à radiação solar e a outros elementos meteorológicos;

c) Doença: comportamento de diferentes patógenos sob as condições alteradas pela estufa, identificando condições críticas e formas de evitá-las;

d) Necessidade hídrica das culturas: determinação das exigências hídricas das culturas sob condições microclimáticas de estufa, para racionalização do uso de água de irrigação;

e) Estrutura: desenvolvimento de sistemas de aquecimento e arrefecimento com base em material de baixo custo e fontes energéticas alternativas, como solar e eólica;

f) Automação: desenvolvimento de sistemas de irrigação com ciclos de abertura e fechamento automáticos com base nas necessidades hídricas das culturas.

4. LITERATURA CITADA

- ARRUDA, F. B., FUJIWARA, M., CALHEIROS, R., PIRES, R. C. M., SAKAI, E. A agricultura irrigada frente a administração dos recursos hídricos do Estado de São Paulo. Trabalho Técnico da Comissão Técnica da Agricultura Irrigada e Drenagem. Campinas. Instituto Agrônômico. 14p. 1994.
- BOULARD, T., RAZAFINJOHANY, E., BAILLE, A., JAFFRIN, A., FABRE, B. Performance of greenhouse heating system with a phase change material. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.52, p.303-318, 1990.
- BURIOL, G. A., SCHNEIDER, F. M., ESTEFANEL, V., ANDRIOLO, J. L., MEDEIROS, S. L. P. 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.
- BURRAGE, S. W. Monitoring the environment in relation to epidemiology. In: SCOTT, P. R. BAINBRIDGE, A. ed. *Plant Disease Epidemiology*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1978. p.93-110.
- FARIAS, J. R. B., BERGAMASCHI, H., MARTINS, S. R., BERLATO, M. A. Efeito da cobertura plástica de estufa sobre a radiação solar. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.1, p.31-36, 1993a.
- FARIAS, J. R. B., BERGAMASCHI, H., MARTINS, S. R., BERLATO, M. A., OLIVEIRA, A. C. B. Alterações na temperatura e umidade relativa do ar provocadas pelo uso de estufa plástica. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.1, p.51-62, 1993b.
- FARIAS, J. R. B., BERGAMASCHI, H., MARTINS, S. R. Evapotranspiração no interior de estufas plásticas. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.2, p.17-22, 1994.
- HANAN, J. J., HOLLEY, W. D., GOLDBERRY, K. L. *Greenhouse Management*. Berlin; Springer-Verlag, 1978. 530p.
- MARTINS, S. R., GONZALEZ, J. F. Avaliação do resfriamento em estufa plástica mediante sistema de ventilação e nebulização. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.3, p.13-18, 1995.
- PEZZOPANE, J. E. M. O uso de estufa com cobertura plástica e de quebra-ventos na produção de porta-enxertos de seringueira, na região de Campinas, SP. Piracicaba: ESALQ/USP, 1994, 87p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia).
- PEZZOPANE, J. E. M., PEDRO JR., M. J., ORTOLANI, A. A., MEYER, N. Radiação líquida e temperatura de folha no interior de estufa com cobertura plástica, durante o período noturno. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.3, p.1-4, 1995a.
- PEZZOPANE, J. E. M., PEDRO JR., M. J., PEZZOPANE, J. R. M., SENTELHAS, P. C. Estimativa da temperatura média em estufas com cobertura plástica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9, 1995, Campina Grande, PB. *Anais...* Campina Grande: UFPB, 1995b, p.58-59.
- PEZZOPANE, J. E. M., PEZZOPANE, J. R. M., SENTELHAS, P. C., PEDRO JR., M. J., ORTOLANI, A. A. Duração do período de molhamento foliar no interior de estufas plásticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9, 1995, Campina Grande, PB. *Anais...* Campina Grande: UFPB, 1995c, p.316-318.
- ROSENBERG, N. J., MCKENNEY, M. S., MARTIN, P. Evapotranspiration in a greenhouse - warmed world: a review and simulation. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.47, p.303-320, 1989.
- SCHNEIDER, F. M., BURIOL, G. A., ANDRIOLO, J. L., ESTEFANEL, V., STRECK, N. A. Modificação na temperatura do solo causada por estufas de polietileno transparente de baixa densidade em Santa Maria, RS. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.1, p.37-42, 1993.
- SEEMAN, J. *Agrometeorology*. Berlin: Springer-Verlag, 1979. p.165-178.