

**AVALIAÇÃO DE ELEMENTOS METEOROLÓGICOS EM ESTUFA PLÁSTICA EM
PELOTAS, RS**

**EVALUATION OF METEOROLOGICAL PARAMETERS INSIDE PLASTIC GREENHOUSE
IN PELOTAS, RS**

Maria Josefa Camacho¹, Francisco Neto de Assis², Sergio Roberto Martins³ e Marta Elena Gonzalez Mendez².

RESUMO

Este trabalho foi realizado na Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel"/UFPel, localizada a 31°52'32"S e a 52°21'24"W, visando quantificar a modificação na disponibilidade de radiação solar e na temperatura do ar no interior de estufa plástica. As avaliações foram realizadas em uma estufa tipo túnel alto coberta com polietileno de baixa densidade com 0,1 mm de espessura, orientada no sentido norte-sul, entre 01/11/92 e 30/11/93. Durante esse período foram coletados dados de temperatura máxima e mínima do ar diariamente e, densidade de fluxo de radiação solar global e difusa, quinzenalmente. A transmissividade à radiação solar global foi em média de 78% variando de 65% a 89%, sendo maior na primavera do que no outono. Durante o dia, a maior transmissividade da cobertura plástica ocorreu nas horas próximas do meio-dia. A fração difusa da radiação solar foi maior no interior da estufa. Comparando-se as médias decendiais das temperaturas observou-se que o efeito da cobertura plástica ocorreu sobre as temperaturas máximas, sendo somente em dois decêndios a temperatura máxima externa superior à interna. Os valores médios decendiais de temperatura mínima no interior da estufa foram inferiores no período compreendido entre o início de junho e início de outubro, sendo que na 1ª quinzena de junho registraram-se as maiores diferenças.

Palavras-chave: Estufa plástica, radiação solar, temperatura do ar.

SUMMARY

¹ Eng^a Agr^a, aluna do Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas. Cx. Postal, 354, 96001-970 Pelotas, RS

² Prof. Titular de Climatologia Agrícola - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

³ Prof. Adjunto de Climatologia Agrícola - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

An experiment was carried out in a greenhouse at Agronomy School Eliseu Maciel/UFPel (31°52'38"S latitude and 52°21'24"W longitude). The greenhouse was covered by low density polyethylene with 0.1 mm thickness localized in north-south sence. Experimental period was 11/01/92 to 11/30/93. Data of maximum and minimum temperature were collected daily and global and diffuse solar radiation each fifteen days. Transmissivity of global solar radiation varied between 65% to 89%, with an average of 78% being higher in spring than in fall. The highest daily transmissivity of the plastic cover occurs at mid-day. The diffusion fraction of solar radiation was higher inside the greenhouse than outside. The greater effect of the plastic cover on the air temperature was to increase the maximum air temperature. Only in two decades the maximum air temperature was greater outside than inside the greenhouse. Minimum air temperature were lower inside the greenhouse during early june to early october. The highest differences among outside and inside minimum air temperature were observed in the first half of june.

Key words: plastic greenhouse, solar radiation, air temperature.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas as técnicas de cultivo de hortaliças têm evoluído rapidamente de forma a poder aumentar o rendimento, melhorar a qualidade dos produtos e produzir na entressafra. No Rio Grande do Sul, desde a década de 80, as estufas e túneis altos e baixos revestidos com polietileno transparente de baixa densidade, têm sido usados como forma de proteger os cultivos contra as condições meteorológicas adversas. Assim, tornou-se importante conhecer a modificação dos elementos meteorológicos nas estufas e túneis plásticos.

A densidade de fluxo de radiação solar no interior da estufa é menor que a verificada externamente devido à reflexão e à absorção do plástico (BUGALHO SEMEDO, 1978; SEEMAN, 1979; ROBLEDO & MARTIN, 1988; CERMEÑO, 1990). Segundo BUGALHO SEMEDO (1978), cerca de 10 a 20% da radiação solar global incidente é refletida e absorvida pelos materiais de cobertura utilizados nas estufas e túneis. A fração da radiação que atravessa a cobertura plástica pode ser superior a 75% (ALPI & TOGNONI, 1984) com uma transmissividade média de 70 a 90% à radiação de onda curta incidente (GONZALEZ, 1985; ROBLEDO & MARTIN, 1988; FARIAS et al, 1993a; BURIOL et al, 1993b; BURIOL et al, 1995). A transmissividade à radiação de onda longa na ausência da camada de condensação é de 70 a 80% (TAPIA, 1981).

A temperatura do ar no interior das estufas difere da externa e depende da densidade de fluxo de radiação solar incidente no interior destas e do seu manejo. A variação da temperatura do ar depende também do tamanho da estufa e do volume de ar a ser aquecido (SEEMAN, 1979).

Alguns trabalhos já foram realizados no Rio Grande do Sul mostrando a modificação na temperatura do ar promovida pelas estufas e túneis plásticos. Em Pelotas, RS, FARIAS et al (1993b) demonstraram que o maior efeito da estufa é sobre a temperatura máxima diária. BURIOL et al (1993b) encontraram resultados semelhantes em túneis baixos cultivados com alface, em Santa Maria, RS, evidenciando o ganho térmico diurno no interior dos túneis. O efeito sobre a temperatura mínima diária do ar, no entanto, ainda é conflitante. FARIAS et al (1993b) obtiveram valores médios de temperatura mínima semelhantes no interior e exterior da estufa, em Pelotas, RS. BURIOL et al (1993b) relataram diferenças de até 6,4°C entre a temperatura mínima interior e exterior da estufa, em Santa Maria, RS. Estes trabalhos mostraram também que ocorrem dias em que a temperatura mínima do ar dentro da estufa é menor que fora, fenômeno denominado "inversão térmica", mas em condições atmosféricas distintas. Em Pelotas, RS, esta situação foi observada em noites límpidas e de ausência de vento (FARIAS et al, 1993b), enquanto que em Santa Maria, RS, a "inversão térmica" ocorreu em noites de vento forte, em estufas (BURIOL et al, 1993a) e em túneis baixos (BURIOL et al, 1993b).

O balanço térmico de uma estufa deve considerar a energia proveniente da radiação solar global que penetra na estufa e as perdas de energia devido à transmissividade da cobertura plástica à radiação emitida pelo solo e plantas, assim como as perdas por condução-convecção.

Este trabalho objetivou quantificar a transmissividade do polietileno de baixa densidade, utilizado na cobertura de estufas, à radiação solar global, seu efeito dispersante sob diferentes condições atmosféricas ao longo do ano e as alterações nas temperaturas máxima e mínima do ar em seu interior, na região de Pelotas, RS, Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Campus da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), localizado no município de Capão do Leão, Rio Grande do Sul (latitude: 31°52'32"S, longitude: 52°21'24"W e altitude: 13 m). Foi utilizada uma estufa plástica do tipo túnel alto, com área de 320 m², orientada no sentido norte-sul e ventilação pelas frontais. A estrutura da estufa era de ferro galvanizado de 3,5 cm de diâmetro, em forma de arcos e coberta com filme de polietileno transparente de baixa densidade, 0,1 mm de espessura e aditivado com anti-UV.

Durante o período de 30/10/92 a 30/11/93, foram medidas dentro e fora da estufa, a temperatura diária do ar e, a cada 15 dias, a densidade de fluxo de radiação solar global e difusa. Para medida da radiação

foi utilizado um piranômetro modelo LI 200 SB acoplado a um "QUANTUM/RADIO-METER/PHOTOMETER", modelo LI-185B. Para medida da radiação difusa colocou-se um disco de papelão com área de 602 cm², a 5 cm de distância do sensor para impedir a chegada da radiação solar direta. As observações foram feitas de hora em hora, entre as 8 h e 18 h na primavera-verão e entre as 8 h e às 17 h no outono-inverno, a uma altura de 1,5 m do solo e em 10 pontos no interior da estufa e, externamente, a 2 m de cada portão de entrada da estufa. Devido à utilização de um único sensor a primeira medição teve uma diferença de 10 minutos em relação à última. As medições iniciavam externamente em uma das entradas da estufa e terminavam na outra entrada.

A temperatura do ar foi medida no interior da estufa, com termohigrógrafo de marca "LAMBRECHT", de registro semanal, instalado no interior de um abrigo meteorológico localizado na parte central da estufa, a 1,5 m do solo. No ambiente externo foram utilizadas as observações efetuadas durante o período de realização do trabalho, na Estação Agroclimatológica da UFPel/EMBRAPA, situada a 300 m do local. A estufa esteve cultivada com tomateiro no período de 11/92 a 01/93, sem cultura de 02/93 a 04/93 e, de 05/93 a 11/93, com a cultura do morango.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios da densidade de fluxo de radiação solar global e difusa, no interior e fora da estufa, para os dias selecionados no período estudado. A densidade de fluxo de radiação solar global no interior da estufa foi sempre inferior aos valores obtidos fora da estufa, ficando entre 65% (dias limpos) e 89% (dias nublados) da observada externamente, com média de 78%. Estes resultados são comparáveis aos relatados por SEEMAN (1979), ALPI & TOGNONI (1984), ROBLEDO & MARTIN (1988), FARIAS et al (1993a) e BURRIOL et al (1995). A relação entre radiação difusa e radiação solar global mostrou que no interior da estufa, em média, 55% da radiação é difusa, variando de 27 a 91%, ao passo que externamente este valor foi de 45%, variando de 14 a 91%. Esta diferença de 10% é atribuída ao efeito dispersante do filme plástico, efeito este desejável segundo AMSEM (1980) e FARIAS et al (1993a), uma vez que a fração difusa é mais efetiva para a fotossíntese, pois, sendo multidirecional, penetra melhor entre as plantas, o que pode compensar, em parte, a relativa opacidade do filme plástico à radiação solar.

Os valores externos da fração difusa foram superiores aos observados internamente, somente quando a radiação solar global externa foi composta basicamente pela fração difusa (condição de dia nublado ou seminublado), coincidindo com os estudos de FARIAS et al (1993a) e BURRIOL et al (1995).

A transmissividade do material de cobertura da estufa à radiação solar depende de sua composição, espessura, tempo de exposição às condições ambientais, deposição de poeiras, ângulo de incidência dos raios

solares, orientação e arquitetura da estufa, condições atmosféricas no momento das determinações e condensação nas paredes internas do plástico (VILLELE, 1983; ALPI & TOGNONI, 1984; ROBLEDO & MARTIN, 1988). Na Figura 1 verifica-se que os valores de transmissividade do período mais quente (novembro) são ligeiramente superiores aos do período mais frio (maio). Durante o inverno a maior inclinação dos raios solares e a maior ocorrência e persistência da camada de condensação aumentaram a refletividade do plástico.

Tabela 1 - Densidade de fluxo de radiação solar global e radiação solar difusa e suas relações no interior e exterior da estufa. Pelotas, RS, Brasil, 1992 e 1993.

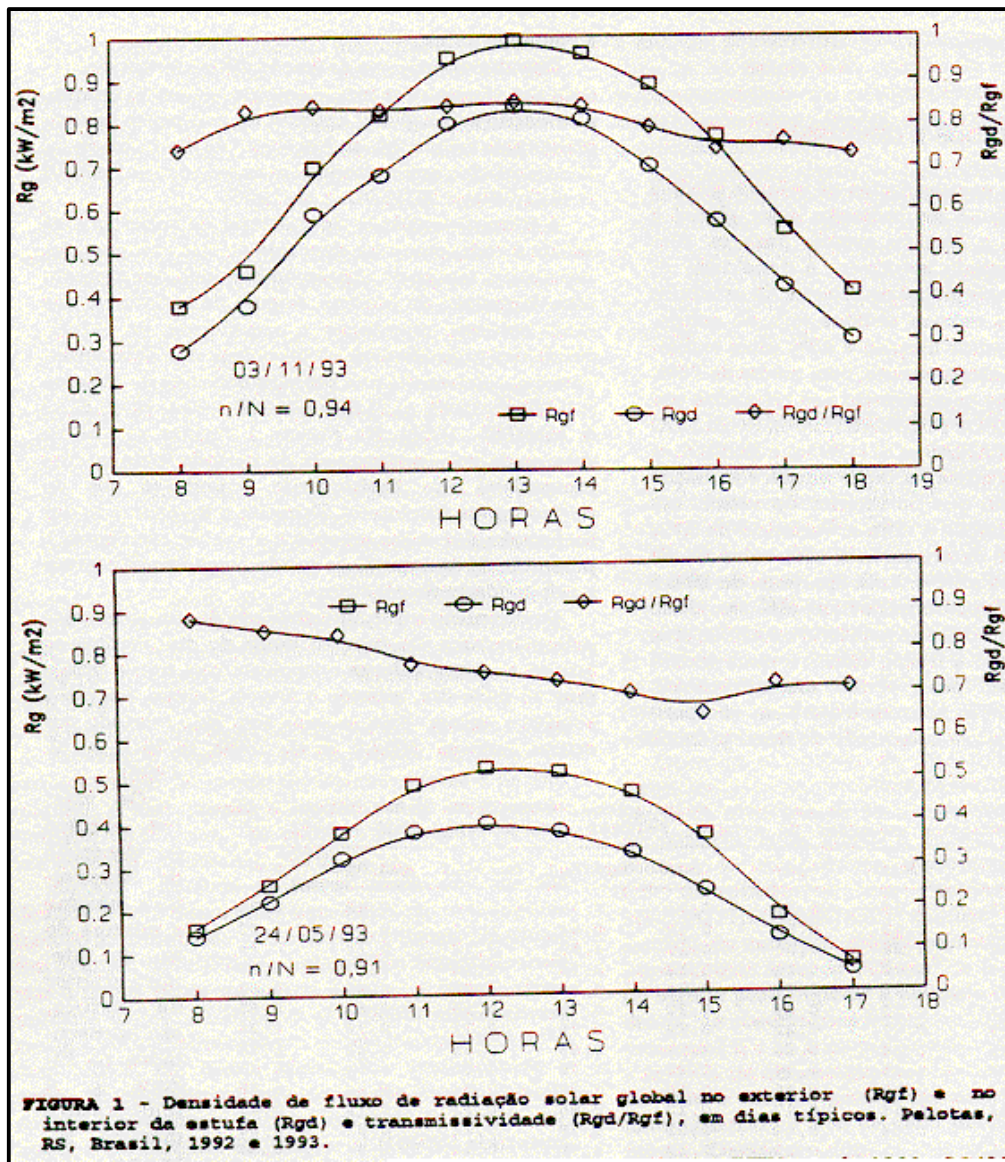
DIA	gf	Rdf	gd	Rdd	Rgd/Rgf	Rdf/Rgf	Rdd/Rgd	n/N
30-Oct-92	0,92	0,35	0,70	0,34	0,78	0,38	0,48	0,74
12-Nov-92	0,70	0,12	0,59	0,18	0,84	0,17	0,27	0,90
28-Nov-92	0,34	0,24	0,27	0,19	0,80	0,72	0,70	0,33
10-Dec-92	0,40	0,20	0,31	0,18	0,78	0,50	0,57	0,29
12-Dec-92	0,71	0,28	0,59	0,24	0,84	0,36	0,41	0,63
19-Jan-93	0,64	0,22	0,49	0,20	0,75	0,35	0,42	0,62
01-Fev-93	0,29	0,21	0,22	0,16	0,75	0,71	0,74	0,24
15-Fev-93	0,46	0,16	0,40	0,18	0,88	0,35	0,44	0,78
01-Mar-93	0,45	0,26	0,34	0,22	0,75	0,58	0,84	0,41
18-Mar-93	0,34	0,18	0,30	0,18	0,89	0,54	0,80	0,55
29-Mar-93	0,26	0,18	0,17	0,12	0,85	0,82	0,72	0,49
15-Apr-93	0,07	0,06	0,08	0,05	0,78	0,81	0,81	0,00
26-Apr-93	0,38	0,13	0,29	0,14	0,78	0,34	0,47	0,64
06-May-93	0,42	0,08	0,31	0,11	0,74	0,18	0,38	0,89
24-May-93	0,34	0,08	0,26	0,10	0,75	0,22	0,39	0,91
03-Jun-93	0,27	0,12	0,20	0,11	0,77	0,45	0,55	0,46
17-Jun-93	0,09	0,08	0,08	0,07	0,80	0,86	0,86	0,00
28-Jun-93	0,25	0,10	0,20	0,11	0,79	0,39	0,54	0,67
15-Jul-93	0,38	0,07	0,28	0,12	0,74	0,20	0,44	0,95
13-Aug-93	0,45	0,10	0,34	0,14	0,76	0,22	0,42	0,82
20-Aug-93	0,43	0,08	0,34	0,13	0,79	0,19	0,38	0,92
26-Aug-93	0,41	0,13	0,32	0,15	0,77	0,31	0,48	0,82
08-Sep-93	0,51	0,06	0,41	0,14	0,81	0,12	0,34	0,92
23-Sep-93	0,11	0,10	0,08	0,07	0,78	0,91	0,91	0,00
06-Oct-93	0,41	0,23	0,34	0,22	0,81	0,56	0,64	0,45
22-Oct-93	0,08	0,07	0,08	0,06	0,80	0,85	0,89	0,00
03-Nov-93	0,71	0,10	0,58	0,19	0,82	0,14	0,33	0,94
Média					0,78	0,45	0,55	

Rgf: radiação solar global externa (KW/m²); Rdf: radiação difusa externa (KW/m²); Rgd: radiação solar global interna (KW/m²); Rdd: radiação difusa interna (KW/m²); n/N: razão de insolação.

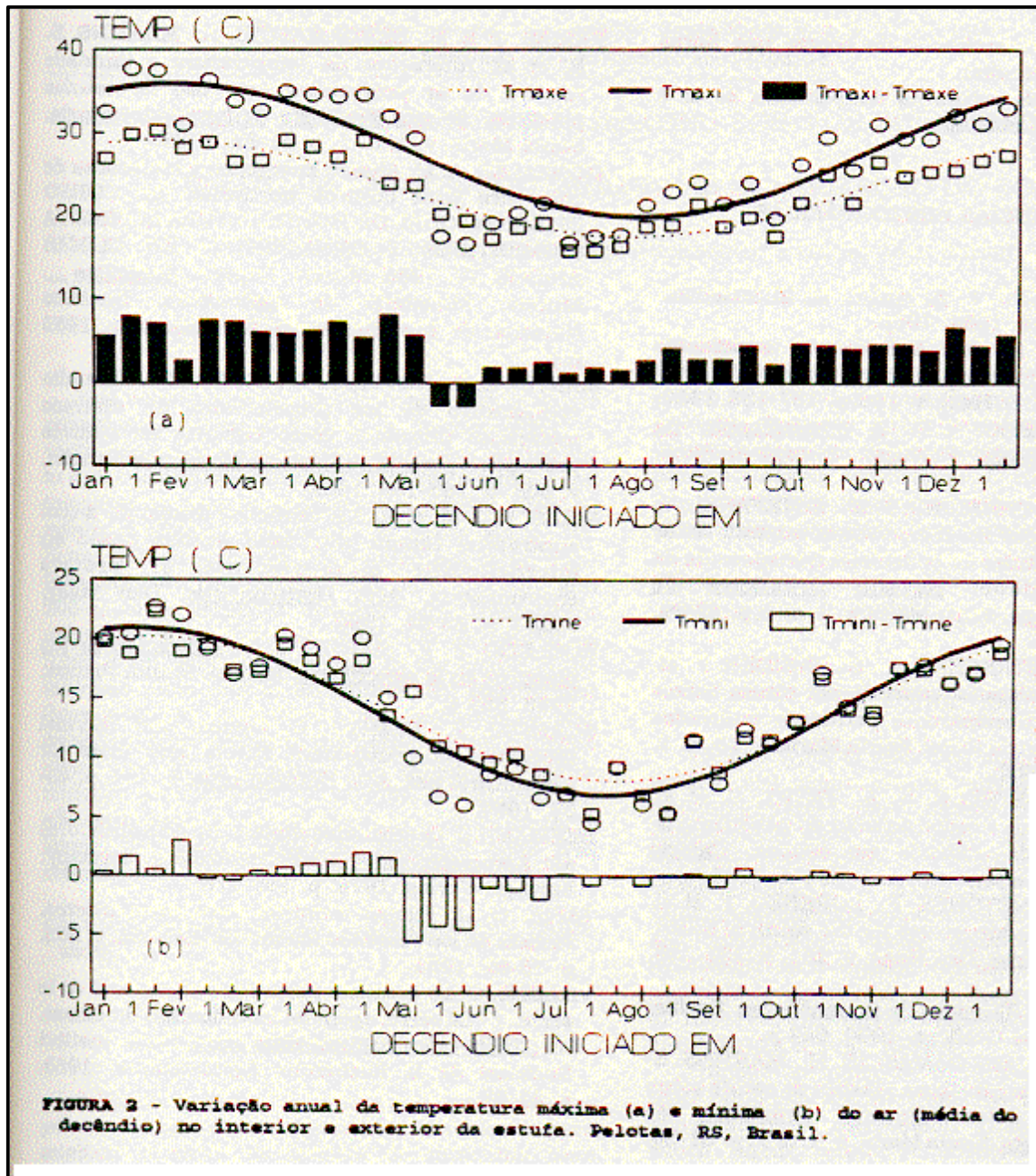
Observando a transmissividade da radiação solar pela cobertura plástica, ao longo do dia, verifica-se que os maiores valores ocorreram nas horas próximas ao meio-dia, quando o ângulo zenital dos raios solares é menor. Este aspecto tem sido relatado por outros autores (MILLS et al, 1990; BURIOL et al, 1995).

Os valores médios por decêndio de temperatura máxima e mínima do ar, no interior e exterior da estufa, são apresentados na Figura 2. A temperatura máxima interna, ao longo do ano, foi superior à externa, com exceção de dois decêndios, fato este atribuído a fluxo intenso de ar ocorrido pela ruptura do material

plástico próximo ao abrigo meteorológico. O efeito das estufas e túneis plásticos sobre a temperatura máxima do ar também foi constatado por outros pesquisadores (MARTIN et al, 1982; CASTILLA et al, 1990; FARIAS et al, 1993b; BURIOL et al, 1993b e 1995). O pequeno volume de ar e a menor remoção do ar nas estufas promovem o aquecimento do ar no interior, durante o período diurno, que se intensifica mantendo-se a estufa fechada.



Os valores de temperatura mínima do ar no interior da estufa foram inferiores aos observados externamente, no período compreendido entre junho e meados da primavera. As maiores diferenças foram observadas em um curto espaço de tempo, período no qual o plástico estava rompido. Menores valores de temperatura mínima do ar no interior da estufa, em relação ao exterior, também foram observados por FARIAS et al (1993b) para o mesmo local.



O efeito estufa da cobertura sobre a temperatura mínima do ar não é tão acentuado porque o plástico utilizado (PEBD), tem uma transmissividade de 60 a 80% à radiação emitida pelos corpos no interior da estufa, na ausência de camada de condensação (TAPIA, 1981; ROBLEDO & MARTIN, 1988). Além das perdas de calor por radiação, a estufa também perde energia por processo de condução-convecção através da cobertura, pelas aberturas existentes e pelo fluxo de calor no solo (MARTIN et al, 1982; SCAMONI & SEMPIO, 1984). A céu aberto também há perda de radiação, porém movimentos horizontais e verticais de massa de ar transportam energia térmica aquecendo o ambiente externo por substituição e mistura de camadas de ar. Esta substituição é diminuída ou não ocorre no interior da estufa à noite devido ao fechamento da mesma. Assim, em noites de vento calmo e céu limpo é possível a ocorrência de temperaturas internas

inferiores às verificadas externamente (desde que não haja formação de camada de condensação no plástico), fenômeno denominado "inversão térmica" por alguns autores (ALPI & TOGNONI, 1984; VILLELE, 1983). As condições atmosféricas que proporcionaram este fenômeno nas estufas parecem estar associados ao local e ao manejo da estufa. BURIOL et al (1993a) demonstraram que menores valores de temperatura mínima do ar em estufa em relação ao exterior ocorreram em Santa Maria, RS, em noites de vento forte. Os autores relatam que nas noites frias, calmas e de céu límpido há uma intensa formação de camada de condensação na superfície interna do filme plástico, o que reduz as perdas radioativas do interior da estufa, enquanto que as perdas radioativas no exterior são intensas e a renovação do ar é pequena. Foram nestas noites que ocorreram as maiores diferenças entre o interior e exterior da estufa (BURIOL et al, 1993a) e de túneis baixos (BURIOL et al, 1993b), em Santa Maria.

As maiores diferenças entre a temperatura máxima do ar do interior e exterior nos meses mais quentes do ano indicam que o modelo túnel alto apresenta dificuldade de ventilação devido a esta ser feita apenas pelas frontais. A elevada temperatura do ar nestes meses pode atingir níveis prejudiciais aos cultivos principalmente o tomateiro, pepino e alface, comumente cultivados nas estufas. Na estufa modelo Capela e suas variantes a ventilação deve ser mais eficiente já que esta pode ser realizada também pelas laterais.

No que se refere à temperatura mínima do ar esperava-se que o modelo túnel alto fosse mais eficiente por ser uma estufa melhor vedada. Portanto, continuam conflitantes os resultados obtidos em Santa Maria e Pelotas no que se refere ao "efeito estufa" proporcionado pelas estufas plásticas sobre a temperatura mínima do ar.

CONCLUSÕES

Considerando os resultados obtidos e as condições em que foi conduzido o presente trabalho, conclui-se que:

- No interior da estufa plástica a densidade de fluxo de radiação solar global é menor, mas a fração difusa é maior;
- A transmissividade do PEBD à radiação solar global na primavera é maior que no outono e, durante o dia, a maior transmissividade ocorre nas horas próximas ao meio-dia;
- O maior efeito da estufa na temperatura do ar é sobre os valores máximos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALPI, A., TOGNONI, F. El cultivo en invernadero. Lisboa: Presença, 1984. 196p.

- AMSEN, M. G. Ist leaf temperature a suitable parameter for greenhouse environment control? **Acta Horturae**, Den Haag, v. 106, p. 137-138, 1980.
- BUGALHO SEMEDO, C.M. **A intensificação da produção hortícola**. Portugal: Europa-América, 1978. 191 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, n. 1, p. 43-49, 1993.
- BURIOL, G. A., STRECK, N. A., SCHNEIDER, F. M. Modificação ambiental causada por túneis baixos de polietileno transparente perfurado cultivados com alface. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 23, n. 3, p. 261-266, 1993b.
- BURIOL, G. A., STRECK, N. A., PETRY, C. et al. Transmissividade à radiação solar do polietileno de baixa densidade utilizado em estufas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 1-4, 1995.
- CASTILLA, N., BRETONES, F., LORENZO, P. et al. New greenhouse structures for the south of Spain. **Acta Horticulturae**, Den Haag, v. 281, p. 153-158, 1990.
- CERMEÑO, Z. S. **Técnicas de invernaderos**. Sevilla: Pao Suministros Gráficos, 1990. 644 p.
- FARIAS, J. R. B., BERGAMASCHI, H., MARTINS, S. R. et al. Efeito da cobertura plástica de estufa sobre a radiação solar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 31-36, 1993a.
- FARIAS, J. R. B., BERGAMASCHI, H., MARTINS, S. R. et al. Alterações na temperatura e umidade relativa do ar provocadas pelo uso de estufas plásticas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 51-62, 1993b.
- GONZALEZ, A. M. Ahorro energético y materiales de cobertura para cultivos hortícolas. In: CURSO INTERNACIONAL DE HORTICULTURA INTENSIVA (COMESTIBLE Y ORNAMENTAL) EN CLIMAS ARIDOS, IV, 1985, Murcia, España, **Apostillas ...**, Murcia: Ministério de Agricultura, Instituto Nacional de Investigaciones Agrárias. v. 2, 1985 n.p.
- MARTIN, E. C., NOVOA, A. C., GOMES, S. J. Estudio comparativo de las propiedades de diversos materiales utilizados como cubierta en cultivos protegidos. **Revista de Plásticos Modernos**, España, v. 308, p. 185-189, 1982.
- MILLS, P. J. M. et al. A greenhouse design for a cool subtropical climate with mild winters based on microclimatic measurements of proters environments. **Acta Horticulturae**, Den Haag, v. 281. p. 83-94, 1990.
- ROBLEDO, F. P., MARTIN, L. V. **Aplicación de los plásticos en la agricultura**. Madrid: Mundi-Prensa, 1988. 553 p.
- SCAMONI, F., SEMPIO, C. Optical and thermal properties of transparent sheets and films for agricultural use. **Acta Horticulturae**, v. 154, p. 43-55, 1984.

SEEMANN, J. Greenhouse climate. In: SEEMAN, J. et alii, Agrometeorology. Berlin Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, 1979. p. 165-178.

TAPIA, G. J. Filmes térmicos para invernaderos. **Revista de los Plásticos Modernos**. España, v. 295, p. 75-82, 1981.

VILLELE, O. Le contexte climatique et cultural de la serre. 1 - La serre, agent de modification du climat. In: L'INRA et les cultures sous serre. Paris: Institut National de la Recherche Agronomique, 1983, p. 21-27.