

# TRANSMISSIVIDADE A RADIAÇÃO SOLAR DO POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE UTILIZADO EM ESTUFAS<sup>1</sup>

## SOLAR RADIATION TRANSMISSIVITY THROUGH LOW DENSITY POLYETHYLENE USED IN GREENHOUSES

Galileo Adeli Buriol<sup>2</sup>    Nereu Augusto Streck<sup>3</sup>    Cláudia Petry<sup>4</sup>  
Flavio Miguel Schneider<sup>2</sup>

### RESUMO

Determinou-se a transmissividade à radiação solar do polietileno de baixa densidade utilizado em estufas. O experimento foi conduzido em uma estufa tipo Capela com dimensões de 10m x 25m, coberta com polietileno transparente de baixa densidade, com espessura de 100µm e aditivado com anti-UV, instalada no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, RS - Brasil. A radiação solar global diária incidente no interior e exterior da estufa foi medida no período de julho de 1991 a janeiro de 1992 e também a fração difusa da radiação solar em dias com diferentes condições atmosféricas e de condensação no filme plástico durante o período de maio a julho de 1993. A transmissividade média da radiação solar global foi de 56,2% nas primeiras horas do dia e de 81,3% nas horas próximas ao meio-dia. A fração difusa da radiação solar global foi mais elevada no interior da estufa do que no exterior, evidenciando o efeito dispersante do plástico e da condensação do vapor d'água na superfície interna do filme.

**Palavras-chave:** radiação solar, estufa plástica, transmissividade, radiação difusa

### SUMMARY

The transmissivity of the solar radiation by polyethylene cover used in plastic greenhouses was evaluated in the Central Region of the Rio Grande do Sul State, Brazil. The study was carried out inside a 10m x 25m greenhouse covered with low density transparent polyethylene with 100µm thickness, located at Federal University of Santa Maria. Incoming global solar radiation inside and outside was measured daily during July, 1991 to January, 1992. The effect of polyethylene cover on diffuse solar radiation was determined during 1993 year. The average transmissivity of global solar radiation was 56.2% early in the morning and 81.3% at near noonday. Diffuse solar radiation proportion was higher inside than outside the greenhouse and enhanced when water condenses on the inner surface of the film.

<sup>1</sup> Trabalho financiado pela Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS).

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Dr. e MSc., respectivamente, Professor Titular do Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais (CCR), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). 97119-900, Santa Maria, RS, Brasil. Bolsista do CNPq. Autor para correspondência.

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo, aluno do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, CCR, UFSM. Bolsista do CNPq.

<sup>4</sup> Engenheiro Agrônomo, Bolsista Recém-Mestre da FAPERGS.

**Key words:** solar radiation, plastic greenhouse, transmissivity, diffuse radiation.

## INTRODUÇÃO

Para a cobertura de estufa durante o período invernal, deve-se utilizar materiais que possuam elevado "efeito estufa", ou seja, que apresentem transmissividade máxima para a radiação solar e mínima para a radiação infravermelha emitida pelo solo e corpos existentes no seu interior. Dentre os materiais utilizados, o vidro apresenta as características que proporcionam o maior "efeito estufa", com uma transmissividade em torno de 90% para a radiação solar e quase nula para a radiação infravermelha. Entre os plásticos utilizados nas estufas, o polivinil (PVC) possui uma transmissividade à radiação solar de aproximadamente 82%, e o acetato de etil-vinil (EVA) e o polietileno de baixa densidade (PEBD) em torno de 80%. Para a radiação infravermelha emitida no interior da estufa, a transmissividade média é de aproximadamente 30% para o PVC, de 60% para a EVA e de 80% para o PEBD (ALPI & TOGNONI, 1978; ROBLEDO & MARTIN, 1981; VILLELE, 1983). Destes materiais, o polietileno de baixa densidade é aquele que apresenta propriedade óptica menos indicadas para a utilização em estufas. Porém, nos Estados do Sul do Brasil, em função principalmente do seu custo, é o mais usado pelos agricultores, utilizando-se com mais frequência o filme de 100µm de espessura e aditivado com anti-UV.

A transmissividade do filme de polietileno à radiação solar global incidente e à radiação infravermelha emitida no interior da estufa depende principalmente 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 (ALPI & TOGNONI, 1978; ROBLEDO & MARTIN, 1981; VILLELE, 1983; BAILLE & BRUN, 1983; MONTERO et al., 1985). Desta forma, a transmissividade é variável para cada tipo de plástico, tempo de utilização e região de execução do trabalho, sendo necessário quantificá-la para se ter conhecimento da disponibilidade de radiação solar para as culturas no interior das estufas. FARIAS et al. (1983), em trabalho realizado em Pelotas, RS, verificou que os valores de transmissividade à radiação solar no intervalo das 11h às 13h, variaram de 65 a 90%, sendo em média 83%. Nos dias límpidos, a radiação difusa no interior da estufa foi 100% do que a verificada externamente.

O presente trabalho objetiva determinar a transmissividade à radiação solar do filme de polietileno de baixa densidade utilizado em estufas na região de Santa Maria, RS.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Campo Experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, RS (latitude: 29°41'S, longitude: 29°48'W e altitude: 95m). A estufa utilizada foi do tipo Capela com 25m de comprimento, 10m de largura, 3m de altura na cumeeira e 2m nas laterais, com cobertura e laterais de polietileno transparente aditivado (anti-UV), de 100µm de espessura e orientada no sentido leste-oeste.

Determinou-se a densidade de fluxo da radiação solar global e difusa incidentes no interior e exterior da estufa, a 1,5m acima da superfície do solo. A radiação solar global foi medida através de dois actinógrafos tipo Robitsch (FUESS), sendo um instalado no centro da estufa e o outro no exterior, a aproximadamente 100m ao sul da estufa. Os actinógrafos foram aferidos com auxílio de um piranômetro tipo Eppley. As determinações foram realizadas no período de 1º de julho de 1991 a 21 de janeiro de 1992. O polietileno foi instalado 3 meses antes do início das determinações.

Em função de problemas nos gráficos dos actinógrafos (manchas de tinta e registros incompletos), observações de 30 dias foram excluídas utilizando-se, desta forma, dados de 171 dias. A área de cada actinograma abrangida pelo registro foi determinada com auxílio de uma mesa digitalizadora, sendo os valores obtidos transformados em  $W.m^{-2}$ . Determinou-se, para cada dia, o valor do primeiro, segundo, terceiro e quarto período do dia, correspondendo, respectivamente, do início do registro da radiação solar até 9:30h, de 9:30h até 12:00h, de 12:00h até 14:30h e de 14:30h até o final do registro de radiação solar. Também coletou-se o valor pontual máximo ocorrido em cada dia. Em razão da ocorrência de sombreamento nas últimas horas do dia causado por árvores existentes no lado oeste e próximas à estufa, o quarto período do dia foi desconsiderado na análise dos resultados, não sendo possível, desta forma, analisar o total diário.

A fração difusa da radiação solar global incidente foi determinada com o auxílio de um sensor piranômetro LICOR, instalado a 1,50m acima do nível do solo, tanto na parte central da estufa como no exterior, a cerca de 10m ao sul desta. Para tanto, o sensor foi protegido da incidência direta dos raios solares por um semi-círculo metálico pintado de branco, com 0,30m de raio e 0,10m de largura. Estas determinações foram realizadas durante os meses de maio a julho de 1993, tendo sido instalado o polietileno no mês de março deste ano. As medidas foram realizadas em 15 dias, no período entre 11 e 13 horas, dentro e fora da estufa com 14 leituras em cada dia. Elegeram-se dias ensolarados e nublados, com e sem presença de condensação na superfície interna do filme de polietileno. Os dias nublados caracterizaram-se pelo completo cobrimento do céu causado pela presença de frente fria sobre a região. Em um dia

típico, as leituras foram realizadas das 07h as 18h, com intervalo de uma hora e com três repetições/hora.

A transmissividade (T) do polietileno à radiação solar global foi determinada pela relação:

$$T = \frac{K_i \downarrow}{K_o \downarrow} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

Onde:  $K_i \downarrow$  e  $K_o \downarrow$  = densidade de fluxo da radiação solar global incidente no interior e exterior da estufa, respectivamente.

Calculou-se o coeficiente de correlação entre os valores de densidade de fluxo da radiação solar global incidente nos diferentes períodos do dia e o valor pontual máximo medidos no exterior e interior da estufa. Os valores médios mensais destas variáveis foram obtidos pela média aritmética dos dados diários.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios da transmissividade à radiação solar global pelo filme de polietileno no período de julho de 1991 a janeiro de 1992, considerando os diferentes períodos do dia. Verifica-se que a transmissividade do filme de polietileno é menor no primeiro período do dia, com valores mínimos nas primeiras horas da manhã e máxima em torno do meio dia. As causas da diminuição da transmissividade no início do dia são a maior inclinação dos raios solares incidentes e a formação de uma camada de água pela condensação do vapor d'água na superfície interna do filme de polietileno, a qual é intensa pela manhã. Nas horas do dia em que ocorre a máxima incidência de radiação solar, a camada de condensação é mínima ou não existe, determinando uma maior transmissividade.

Tabela 1. Transmissividade média do polietileno à radiação solar global incidente em diferentes períodos do dia com o valor máximo diário e respectivos coeficientes de correlação (r) entre as densidades de fluxo incidente no exterior e interior da estufa. Santa Maria, RS, Brasil, 1991/92.

Período do dia	Transmissividade								r (Int/Ext)
	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	MÉDIA	
1º período	62,6	62,2	64,2	52,5	57,0	48,7	46,2	56,2	0,8131
2º período	71,0	81,7	92,9	81,7	86,9	81,6	77,7	81,9	0,9144
3º período	73,8	83,0	84,7	82,4	85,8	79,9	75,0	80,7	0,9114
Máximo diário	77,6	84,2	87,0	85,5	87,4	84,7	82,3	84,1	0,9147

O coeficiente de correlação entre os valores de densidade de fluxo da radiação solar global incidente no interior e exterior da estufa foi menor no primeiro período do dia do que nos outros. Isto indica que a disponibilidade de energia solar no interior da estufa, nas primeiras horas do dia, é menos dependente da energia solar no exterior da estufa.

O efeito da condensação sobre a transmissividade pode ser melhor evidenciado com os dados da Tabela 2. Nos dias em que não ocorreu condensação na superfície interna do plástico da cobertura da estufa a transmissividade à radiação solar global foi mais elevada do que nos dias em que houve condensação, tanto em dias límpidos como em dias nublados. Resultados diferentes também foram observados para a radiação solar difusa. Nos dias límpidos o seu valor, assim como a percentagem de radiação difusa em relação à global, foi maior no interior do que no exterior da estufa. Isso se deve ao poder dispersante do filme de polietileno. Quando ocorreu condensação do vapor d'água na parte interna do plástico este fenômeno se intensificou e a percentagem de radiação difusa no interior da estufa passou de 22% para 31%. O efeito desta camada de condensação sobre a fração difusa da radiação solar pode ser também evidenciado na Figura 1. Neste dia houve condensação na superfície interna do plástico até aproximadamente as 14 horas. A partir desta hora ocorreu uma diminuição na diferença da radiação difusa entre o exterior e o interior e um aumento na transmissividade à radiação solar global.

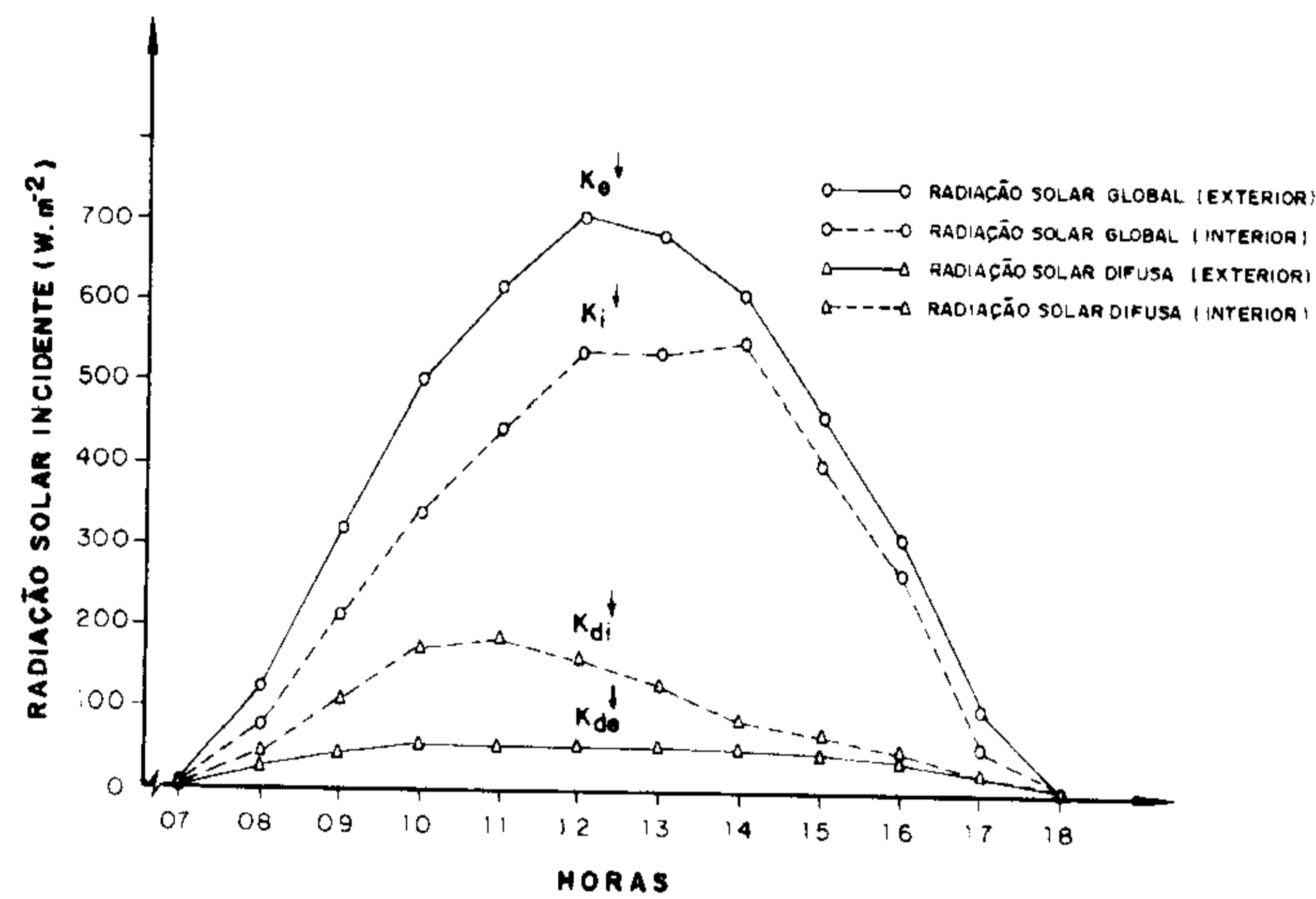
É importante ressaltar que a radiação solar difusa é mais eficiente na penetração do dossel vegetal, já que é multidirecional. O mesmo não se verifica com a radiação solar direta que é unidirecional e, portanto, favorece o autosombreamento das folhas inferiores pelas superiores. Esta hipótese pode colaborar, em parte, para explicar o maior crescimento das plantas em ambientes protegidos em relação as plantas cultivadas em ambiente externo, apesar da radiação solar global incidente ser menor nos primeiros (ALPI & TOGNONI, 1978; ROBLEDO & MARTIN, 1981).

A camada de condensação na superfície interna do filme plástico apresenta aspectos positivos e negativos. Com relação às doenças, não é desejável pois aumenta o risco de ocorrência no interior da estufa, já que aumenta a umidade relativa do ar e o tempo de molhamento das folhas. No entanto durante a noite, apresenta um aspecto positivo ao atenuar a transmissividade do polietileno a radiação de onda longa, aumentando assim o efeito estufa da cobertura (ALPI & TOGNONI, 1978; ROBLEDO & MARTIN, 1981). Além disto, pelos resultados obtidos, durante o período diurno aumenta o poder dispersante do plástico, o que pode compensar, em parte, a atenuação da radiação solar global no interior das

**Tabela 2.** Densidade de fluxo ( $W.m^{-2}$ ) da radiação solar global ( $K\downarrow$ ) e difusa ( $K_e\downarrow$ ), transmissividade (T) e porcentagem da radiação solar difusa em relação global ( $D\%$ ) incidentes no interior (I) e exterior (E) da estufa em dias com diferentes condições de tempo e situação do filme. Santa Maria, RS, Brasil, 1993.

Condição de tempo	Situação do filme	N	Radiação Solar Global ( $K\downarrow$ )			Radiação solar Difusa ( $K_e\downarrow$ )		D%	
			I	E	T(%)	I	E	I	E
Dia límpido	Sem condensação	3	582,8	666,7	87,4	129,1	98,6	22,1	14,8
	Com condensação	8	438,9	599,9	73,1	167,0	74,4	38,0	12,4
Dia nublado	Sem condensação	1	95,8	134,3	71,3	78,8	104,8	82,8	78,0
	Com condensação	1	80,3	134,6	59,7	68,0	108,3	84,7	80,5

N = número de dias de observação.



**Figura 1.** Densidade de fluxo da radiação solar global ( $K\downarrow$ ) e difusa ( $K_e\downarrow$ ) incidentes no exterior (E) e interior (I) da estufa no dia 06.05.1993, dia típico de sol. Santa Maria, RS, Brasil.

Os resultados de transmissividade média encontrados neste trabalho para a densidade de fluxo de radiação solar global durante as primeiras horas do dia são inferiores àqueles obtidos por FARIAS et al. (1993) na região de Pelotas - RS e aos encontrados em outros países (ALPI & TOGNONI, 1978; ROBLEDO & MARTIN, 1981; VILLELE, 1983). Este aspecto é particularmente importante em regiões e/ou épocas do ano em que a camada de

condensação no filme plástico das estufas é intensa ou não é removida. Entretanto, considerando-se os valores de transmissividade obtidos nas horas do dia de maior densidade de fluxo de radiação solar global (Tabela 1) quando a radiação incide com menor inclinação na superfície da cobertura da estufa e a camada de condensação no filme de polietileno é menos espessa e/ou inexistente, os valores de transmissividade são similares aos encontrados na literatura.

Os valores reduzidos da transmissividade do polietileno a partir do mês de outubro (Tabela 1) podem estar associados ao envelhecimento do plástico. No entanto, estudos mais detalhados deverão ser realizados para melhor

evidenciar esta possibilidade, pois o polietileno utilizado neste experimento já tinha 3 meses de uso quando foram iniciadas as determinações.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALPI, A., TOGNONI, F. *Culturas em estufas*. Lisboa: Editorial Presença, 1978. 196 p.
- BAILLE, A., BRUN, R. Les moyens de limiter les deperditions thermiques. In: INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE. *L'INRA et les cultures sous serre*. Paris: INRA, 1983. p. 55-65.
- FARIAS, J.R., 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, 1993.
- MONTERO, J.I., CASTILLA, N., GUTIERRES de RAVÉ et al. Climate under plastic in the Almeria. *Acta Horticulturae*, Hagne, v. 179, p. 227-234, 1985.
- ROBLEDO, F.P., MARTIN, L.V. *Aplicación de los plásticos en la agricultura*. Madrid: Mundi-Prensa, 1981. 552 p.
- VILLELE, O. de. La serre, agent de modification du climat. In: INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE. *L'INRA et les cultures sous serre*. Paris: INRA, 1983, p. 21-27.