

ISSN 0104-1347

Disponibilidade de radiação solar para hortaliças cultivadas em ambiente protegido no período invernal no Estado do Rio Grande do Sul

Solar radiation availability for horticultural crops in protected environment during winter in the State of Rio Grande do Sul, Brazil

Galileo Adeli Buriol¹, Isabel Lago², Arno Bernardo Heldwein³, Flavio Miguel Schneider⁴ e Jerônimo Luiz Andriolo³

Resumo - Foram determinadas as disponibilidades de radiação solar para os seis meses mais frios do ano no Estado do Rio Grande do Sul, objetivando o cultivo de hortaliças de verão em ambiente protegido. Utilizaram-se as médias mensais de radiação solar global estimada a partir da insolação média mensal de 31 Estações Meteorológicas. Dos valores médios de radiação solar foi subtraída a fração de 20% considerando que o filme plástico utilizado nas estufas transmite em torno de 80% da radiação solar incidente. Para cada mês as médias foram plotadas em um mapa do Estado e traçadas as isolinhas de diferentes valores de radiação solar com intervalos de $0,5 \text{ MJ.m}^2.\text{dia}^{-1}$. Constatou-se que nos meses de junho e julho os valores médios de radiação solar em todo o Estado estão abaixo de $8,4 \text{ MJ.m}^2.\text{dia}^{-1}$ e que, no mês de maio, em algumas regiões, também estão abaixo deste valor. Em função disso recomenda-se que a sementeira ou transplante no interior das estufas sejam realizados de tal forma que o período de floração e produção das plantas não ocorra nos meses de junho e julho.

Palavras-chave: Limite trófico, estufa e túnel plástico, mapa de radiação solar global.

Abstract - The availability of solar radiation during the six coolest months was determined for the Rio Grande do Sul State, aiming the growth of summer horticultural crops in protected environment. Monthly averages of global solar radiation estimated from sunshine duration of 31 meteorological stations were used. Solar radiation data were multiplied by 0.8 to take into account plastic transmissivity. Monthly maps were created using isolines of solar radiation with $0.5 \text{ MJ.m}^2.\text{day}^{-1}$ intervals. It was observed that solar radiation is below the lower threshold ($8.4 \text{ MJ.m}^2.\text{day}^{-1}$) for summer crops in the entire State during June and July, and in some regions during May. Therefore, it is recommended that sowing or transplanting should be performed in order to have plant flowering and yield out of the months of June and July.

Key words: lower threshold, plastic greenhouse and tunnel, solar radiation maps.

Introdução

A produtividade das culturas em ambiente protegido, no período invernal, é determinada basicamente pela disponibilidade de radiação solar (GARY et al., 1996). Para o tomateiro o limite trófico

tomado como referência é de $8,4 \text{ MJ.m}^2.\text{dia}^{-1}$ (FAO, 1990). Para as hortaliças de verão como a beringela, pimenteiro, pepineiro, meloeiro e aboboreira induz-se que o limite trófico seja semelhante a esse valor, $8,4 \text{ MJ.m}^2.\text{dia}^{-1}$.

¹Eng. Agr., Centro Universitário Franciscano - UNIFRA e Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais, UFSM, 97105-900 Santa Maria, RS. Bolsista do CNPq.

²Aluna do Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria, Bolsista BIC/FAPERGS.

³Eng. Agr., Departamento de Fitotecnia, UFSM, 97105-900 Santa Maria, RS. E-mail: heldwein@creta.ccr.ufsm.br. Bolsista do CNPq.

⁴Eng. Agr., Departamento de Fitotecnia, UFSM, 97105-900 Santa Maria, RS.

Analisando-se os valores médios de radiação solar global para as diferentes estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul (INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS, 1989; CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2005) constata-se que, em muitos locais, nos meses de inverno, ocorrem valores inferiores ao limite trófico para os cultivos de verão. Existe, entretanto, uma variação importante desse elemento meteorológico entre as diferentes Regiões Climáticas (BERLATO, 1971; BERGAMASCHI & DIDONÉ, 1981; INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONOMICAS, 1989; BURIOL *et al.*, 2000; CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2005) e, para um mesmo local e mês, entre anos (BURIOL *et al.*, 2000; CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2005). Isto indica que, para avaliar a potencialidade de produção de hortaliças em ambiente protegido durante o período de inverno no Estado é importante que sejam caracterizadas as disponibilidades de radiação solar nas diferentes Regiões Climáticas.

No interior dos ambientes protegidos a densidade de fluxo de radiação solar é menor do que no exterior, em função da refletância e absorvância do material de cobertura. O plástico utilizado em estufas e túneis na Região Sul do Brasil é o polietileno de baixa densidade (PEBD), material que apresenta transmissividade à radiação solar em torno de 70 % a 90% (ALPI & TOGNONI, 1984; GONZALES, 1985; ROBLEDO & MARTIN, 1988). Resultados similares de transmitância pelo filme plástico utilizado em estufas foram obtidos em diferentes locais e épocas do ano no Brasil (FARIAS *et al.*, 1993; BURIOL *et al.*, 1995; CAMACHO *et al.*, 1995; GALVANI, 2001; CUNHA & ESCOBEDO, 2003; ASSIS, 2004).

A atenuação da radiação solar pelo plástico é compensada, em parte, pela propriedade dispersante do polietileno, que enriquece de fração difusa do fluxo de radiação solar global no interior da estufa (MARTINEZ GARCIA, 1978; FARIAS *et al.*, 1993; BURIOL *et al.*, 1995; CAMACHO *et al.*, 1995). Tendo em vista que a radiação solar difusa é multidirecional, penetrando melhor entre as plantas, seu efeito sobre a fotossíntese é mais efetivo.

Em função do exposto, é imprescindível o conhecimento da distribuição geográfica da radiação solar disponível às plantas cultivadas em ambiente protegido nos meses mais frios do ano, no Estado. O presente trabalho teve como objetivo determinar a distribuição espacial da disponibilidade de radiação solar global no Estado do Rio Grande do Sul para as

olerícolas de verão cultivadas durante os meses mais frios do ano, em ambiente protegido.

Material e métodos

Foram utilizados os dados de radiação solar global média mensal estimada a partir da insolação média mensal de 37 estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Na Tabela 1 estão relacionadas as estações meteorológicas, suas coordenadas geográficas e instituição a que pertencem.

Para a estimativa da radiação solar global utilizou-se o modelo de regressão (BERLATO, 1971):

$$R_s = RA (0,23 + 0,46 n/N) \quad (1)$$

em que R_s e RA são, respectivamente a radiação solar global incidente na superfície terrestre e a recebida no topo da atmosfera a 30° de latitude Sul, em $\text{Cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$; n e N , respectivamente a insolação medida na estação meteorológica e a duração astronômica do dia em horas e décimos de horas; a e b , constantes de proporcionalidade. Os valores originalmente obtidos em $\text{Cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ foram convertidos em $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. Optou-se pela utilização dos dados de radiação solar global estimados a partir dos valores de insolação em função de que as estações meteorológicas com registros de radiação solar global são em menor número (INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS, 1989) e que, ainda, em algumas destas estações meteorológicas estes dados da série histórica de registros não são homogêneos ao longo do período de observações (CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2005).

Os valores médios mensais de n foram obtidos de INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS (1989), MACHADO (1950) e de RA e N calculados utilizando as equações (OMETTO, 1981):

$$RA = \int_n^p S (\bar{D} - D)^2 \cos Z dt \quad (2)$$

$$N = \frac{2.h}{15} \quad (3)$$

em que m e tp representam os instantes do nascer e do pôr do sol, respectivamente, S a constante solar, \bar{D} a distância média Terra-Sol, D a distância Terra-

Tabela 1. Coordenadas geográficas das estações meteorológicas utilizadas na estimativa da radiação solar global incidente no interior de estufas plásticas no Estado do Rio Grande do Sul.

Localidade	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)	Instituição
Alegrete	29° 46' 59"	55° 46' 59"	96	FEPAGRO
Bagé	31° 20' 13"	54° 06' 21"	216	INEMET
Bagé	31° 20' 14"	54° 05' 59"	214	FEPAGRO
Cachoeirinha	29° 57' 36"	51° 04' 22"	4	FEPAGRO
Caxias do Sul	29° 10' 25"	51° 12' 21"	740	INEMET
Cruz Alta	28° 38' 21"	53° 36' 34"	473	INEMET
Encruzilhada do Sul	30° 32' 35"	52° 31' 20"	420	INEMET
Encruzilhada do Sul	30° 32' 35"	52° 31' 20"	420	FEPAGRO
Erechim	27° 37' 46"	52° 16' 33"	760	FEPAGRO
Farroupilha	29° 14' 30"	51° 26' 20"	702	FEPAGRO
Guafba	30° 04' 25"	51° 43' 42"	46	FEPAGRO
Ijuí	28° 23' 17"	53° 54' 50"	448	FEPAGRO
Iraí	27° 11' 45"	53° 14' 01"	222	INEMET
Jaguarão	32° 33' 32"	53° 23' 20"	11	FEPAGRO
Júlio de Castilhos	29° 13' 26"	53° 40' 45"	516	FEPAGRO
Osório	29° 40' 49"	50° 13' 56"	32	FEPAGRO
Passo Fundo	28° 15' 39"	52° 24' 33"	678	INEMET
Passo Fundo	28° 15' 41"	53° 24' 45"	709	FEPAGRO
Pelotas	31° 45' 00"	52° 21' 00"	7	INEMET
Porto Alegre	30° 03' 53"	51° 13' 19"	10	INEMET
Quarai	30° 23' 17"	56° 26' 53"	100	FEPAGRO
Rio Grande	32° 01' 44"	52° 05' 40"	8	INEMET
Rio Grande	32° 01' 02"	52° 09' 32"	15	FEPAGRO
Santa Maria	29° 41' 25"	53° 48' 42"	95	INEMET
Santa Maria	29° 41' 24"	53° 48' 42"	153	FEPAGRO
Santa Vitória do Palmar	33° 31' 14"	53° 21' 47"	6	INEMET
Santana do Livramento	30° 53' 18"	55° 31' 56"	210	FEPAGRO
Santo Augusto	27° 54' 16"	53° 45' 14"	380	FEPAGRO
São Borja	28° 39' 44"	56° 00' 44"	99	FEPAGRO
São Gabriel	30° 20' 27"	54° 19' 01"	109	FEPAGRO
São Luiz Gonzaga	28° 23' 53"	54° 58' 18"	254	INEMET
Taquari	29° 48' 15"	51° 49' 30"	76	FEPAGRO
Tramandaí	29° 56' 22"	50° 30' 12"	3	FEPAGRO
Uruguaiana	29° 45' 23"	57° 05' 12"	69	INEMET
Uruguaiana	29° 45' 23"	57° 05' 37"	74	FEPAGRO
Vacaria	28° 30' 09"	50° 56' 12"	955	FEPAGRO
Veranópolis	28° 56' 14"	51° 33' 11"	705	FEPAGRO

Sol no dia considerado e Z o ângulo zenital, sendo:

$$\cos Z = \sin \psi \cdot \sin \delta + \cos \psi \cdot \cos \delta \cdot \cos h, \quad (4)$$

em que ψ é a latitude do local, δ a declinação solar no dia considerado e h o ângulo horário:

$$\cos h = -(\operatorname{tg} \psi \cdot \operatorname{tg} \delta) \quad e \quad (5)$$

$$h = \arccos -(\operatorname{tg} \psi \cdot \operatorname{tg} \delta) \quad (6)$$

Do valor médio estimado de radiação solar global de cada estação meteorológica foi subtraída a fração de 20%, considerando que no interior das estufas chega somente em torno de 80% da radiação solar incidente no local, em função da transmissividade do PEBD. Estes valores de radiação

solar global foram plotados num mapa hipsométrico do Estado, com escala 1:50 000, e traçadas as isolinhas com intervalos de $0,5 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$. Realizou-se a representação cartográfica da radiação solar global média para os meses de abril, maio, junho, julho, agosto e setembro, meses de menor insolação e com temperaturas mais baixas do ano.

Resultados e discussão

A Figura 1 apresenta a distribuição geográfica da radiação solar global média incidente no interior das estufas plásticas no Estado do RS para os meses de abril, maio, junho, julho, agosto e setembro,

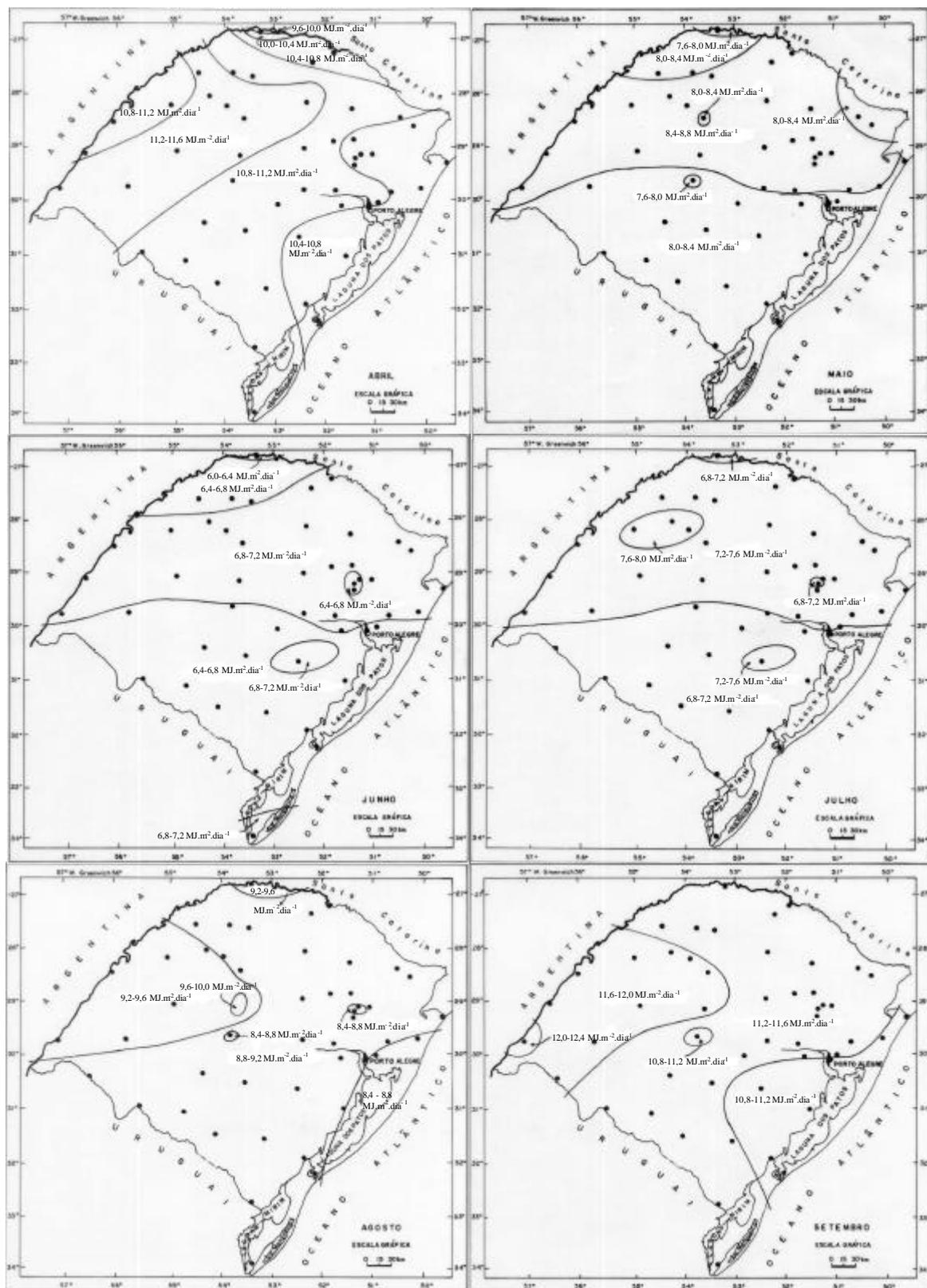


Figura 1. Distribuição geográfica da disponibilidade de radiação solar global, média mensal, incidente no interior de ambientes protegidos cobertos com PEBD, no Estado do Rio Grande do Sul, nos meses de abril, maio, junho, julho, agosto e setembro.

respectivamente. Observa-se que no mês de junho, em todo o Estado, os valores médios são baixos, oscilando de 6,7 a 7,2 MJ.m².dia⁻¹. No mês de julho e maio os valores médios também são baixos. Isto se deve à maior declinação do sol nestes meses e a ocorrência de um elevado número de dias com nevoeiro (INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS, 1989).

Nos meses de abril, agosto e setembro, quando os dias são mais longos, os valores médios de radiação solar global em todas as regiões do Estado são superiores ao limite trófico de 8,4 MJ.m².dia⁻¹.

Na distribuição geográfica da radiação solar global observa-se que em extensas áreas geográficas onde os valores médios de radiação são similares. Entretanto, dentro dessas áreas existem locais com valores de radiação que se afastam daqueles. Assim, no mês de junho, na parte sul do Estado, as estações meteorológicas de Piratini e Santa Vitória do Palmar caracterizam-se por apresentar valores mais elevados daqueles normalmente ocorrentes nesta região e as estações de Farroupilha e Iraí, na parte norte do Estado, valores mais baixos. Isto se deve, possivelmente, a fatores geográficos locais como a forma do relevo e a extensão e orientação dos vales e rios que influenciam as variáveis do clima, principalmente a formação de nevoeiros, e/ou permitindo maior ou menor inclinação de incidência da radiação solar.

Nos meses de maio, junho e julho os valores médios mensais diminuem do norte para o sul do Estado. Os valores variam de 7,4 a 8,8 MJ.m².dia⁻¹ em maio, de 6,4 a 7,2 MJ.m².dia⁻¹ em junho e de 6,8 a 8,0 MJ.m².dia⁻¹ em julho. Observa-se que nas Regiões Climáticas da Serra do Nordeste, Alto Vale do Uruguai, extremo leste do Planalto, Serra do Sudeste e Litoral Sul existem microregiões com valores distintos de radiação solar global. Os valores baixos que ocorrem em Iraí, região do Alto Vale do Uruguai, devem-se ao elevado número de dias com nevoeiro (MACHADO, 1950) e na Serra do Nordeste (Caxias) e extremo leste do Planalto (Vacaria), principalmente ao elevado número de dias com chuva (INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS, 1989). No caso dos valores mais elevados observados na Serra do Sudeste (Encruzilhada do Sul), devem-se, possivelmente, às condições orográficas e no extremo sul do Litoral, em julho, ao menor número de dias com chuva (INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS, 1989).

Nos meses de abril, agosto e setembro a radiação solar global é distribuída de forma mais regular, indicando que nestes meses o fator continentalidade tem grande influência na distribuição geográfica da disponibilidade de radiação e que, nos meses de maio, junho e julho é o fator latitude que mais interfere. Esta forma de distribuição geográfica da radiação solar global em maio, junho e julho, distinta daquela de abril, agosto e setembro, também foi observada por CARGNELUTTI FILHO et al. (2005).

A distribuição geográfica da radiação solar indica que, nos meses de junho e julho, os valores no interior dos ambientes protegidos cobertos com PEBD são inferiores a 8,4 MJ.m².dia⁻¹ em todo o Estado do Rio Grande do Sul. Resultados semelhantes podem ser constatados também nas cartas de radiação solar global média decendial elaboradas por INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS (1989) & CARGNELUTTI FILHO et al. (2005). Nesses meses, na maior parte dos dias a densidade de fluxo de radiação solar incidente no interior dos túneis e estufas pode não ser suficiente para o crescimento e produção das hortaliças de verão.

Constata-se, na Figura 1, que a maior disponibilidade de radiação solar, nos seis meses comparados, ocorre nas Regiões Climáticas das Missões, Baixo Vale do Uruguai e Planalto. Infere-se que, nessas regiões, mesmo nos meses mais frios, o risco de prejuízo na produção por insuficiência de energia solar é menor. Entretanto o risco de ocorrência de temperaturas mínimas letais às plantas é mais elevado que em regiões como a Depressão Central, Litoral e Alto Vale do Uruguai.

Esses resultados confirmam a prática atualmente empregada pelos produtores do RS, de realizar dois cultivos distintos em ambiente protegido. No primeiro cultivo, o subperíodo entre o início e o final da floração deve ocorrer até o final do mês de maio, para que o crescimento dos frutos e término da colheita possa ocorrer até meados de junho. O segundo cultivo pode ser iniciado em julho, pois a floração e frutificação ocorrerá nos meses subseqüentes quando é baixa ou nula a ocorrência de níveis limitantes de radiação solar. Ressalta-se entretanto, que as exigências radiativas são variáveis entre espécies e também entre cultivares ou híbridos. Dessa forma, os limites apresentados nesse trabalho devem ser tomados apenas como referenciais para o planejamento anual dos cultivos em ambiente protegido no RS.

Referências bibliográficas

ALPI, A.; TOGNONI, F. **Cultivo en invernadero**. Madrid: Mundi-Prensa, 1999. 347 p.

ASSIS, S. de. Efeito da orientação da estufa de polietileno na radiação solar, em estações distintas do ano. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 219-226, 2004.

BERGAMASCHI, H.; DIDONÉ, I.A Distribuição da Radiação Global no Estado do Rio Grande do Sul. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 139-148, 1981.

BERLATO, M. Radiação Global no Estado do Rio Grande do Sul. **Agronomia Sul Riograndense**, Porto Alegre, v. 5, p. 115-131, 1971.

BURIOL, G.A. et al. Transmissividade a radiação solar do polietileno de baixa densidade utilizado em estufas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 1-4, 1995.

BURIOL, G.A. et al. Disponibilidade de radiação solar nos meses mais frios do ano para o cultivo do tomateiro no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 113-120, 2000.

CAMACHO, M.J. et al. Avaliação de elementos meteorológicos em estufa plástica em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 3, p. 19-24, 1995.

CARGNELUTTI FILHO, A. et al. **Radiação solar global no Estado do Rio Grande do Sul - Tabelas de probabilidades**. Porto Alegre: FEPAGRO/SCT, 2005. 44p.

CUNHA, A.R. da; ESCOBEDO, J.F. Alterações micrometeorológicas causadas pela estufa plástica e seus efeitos no crescimento e produção da cultura do pimentão. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 15-26, 2003.

FAO - **Protected cultivation in the mediterranean climate**. Roma: FAO, 1990. 313 p. (Plant Production and Protection Paper, n. 90).

FARIAS, J.R.B. et al. Efeitos da cobertura plástica de estufas sobre a radiação solar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, p. 31-36, 1993.

GALVANI, E. **Avaliação agrometeorológica do cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) em ambientes protegidos e a campo, em ciclos de outono-inverno e primavera-verão**. Botucatu: UNESP, 2001. 124 p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP. 2001.

GARY, C. et al. Un modèle simplifié de prévision du rendement et du calibre de la tomate. In: **Séminaire de L' AIP "Serres"**. Alenja: INRA, 1996. 10 p.

GONZALES, A. M. Ahorro energético y materiales de cobertura para cultivos hortícolas. In: CURSO INTERNACIONAL DE HORTICULTURA INTENSIVA (COMESTIBLE Y ORNAMENTAL) EM CLIMAS ÁRIDOS, IV., 1985, Murcia, Espanha. **Apostilas...**, Murcia: Ministerio da Agricultura, Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. v. 2, n.p. , 1985.

INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS. **Atlas Agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre: Secretaria da Agricultura e Abastecimento, 1989, v. 1, 102 p.

MARTINEZ GARCIA, P.F. **Características climáticas de los invernaderos de plástico**. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, 1978. 43 p. (Hoja Técnica, 19).

MACHADO, F.P. **Contribuição ao Estudo do Clima do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1950, 91 p.

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ceres, 1981, 425 p.

ROBLEDO, F.P.; MARTIN, L.V. **Aplicación de los plásticos em la agricultura**. Madrid: Mundi - Prensa, 1988, 553 p.