

# ESTIMATIVA DA TEMPERATURA MÁXIMA DIÁRIA DO SOLO SOLARIZADO EM SANTA MARIA, RS.

Miguel Angelo SANDRI<sup>1</sup>, Nereu Augusto STRECK<sup>2</sup>, Flavio Miguel SCHNEIDER<sup>3</sup>,  
Galileo Adeli BURIOL<sup>3,4</sup>, Arno Bernardo HELDWEIN<sup>3,4</sup>.

## RESUMO

Obteve-se equações para estimar a temperatura máxima diária do solo solarizado a partir de dados meteorológicos medidos em estação meteorológica convencional. Foram utilizadas as temperaturas máximas diárias medidas a 2, 5, 10 e 20 cm de profundidade em solo solarizado de experimentos conduzidos à campo, em túneis baixos e em estufas na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul - RS e os dados meteorológicos registrados na Estação Meteorológica pertencente ao 8º Distrito de Meteorologia - 8º DISME, localizada a aproximadamente 100m dos experimentos. O elemento meteorológico que mais se relacionou com a temperatura máxima do solo solarizado foi a densidade de fluxo da radiação solar global incidente ( $R^2 = 0,50$  a  $0,83$ ). O acréscimo da temperatura do ar às 15h, às 21h e média diária, da insolação e da razão de insolação contribuíram para melhorar as estimativas ( $R^2 = 0,68$  a  $0,93$ ).

**Palavras-chave:** estimativa, temperatura do solo, solarização.

## INTRODUÇÃO

A solarização do solo consiste na cobertura do solo úmido com filme plástico transparente com o objetivo de elevar sua temperatura a níveis de inativação dos microorganismos (KATAN et al. 1976; KATAN & DEVAY, 1991). A percentagem de microorganismos mortos depende do nível térmico e do tempo de exposição, que são inversamente relacionados. A obtenção de temperatura acima de 40°C durante algum tempo (minutos, horas) por vários dias, já é suficiente para inativar grande número de fitopatógenos de solo (PULLMAN et al., 1981). Estes autores encontraram que, a 37°C, o tempo necessário para inativar 90% dos indivíduos da população variou de 2 a 4 semanas

---

<sup>1</sup> Acadêmico do Curso de Agronomia, Bolsista de Iniciação Científica, Departamento de Fitotecnia, UFSM, 95105-900, Santa Maria, RS. E-mail: a9420078@alunog.ufsm.br

<sup>2</sup> Professor Assistente, Depto de Fitotecnia, CCR, UFSM e Aluno de PhD em Agrometeorologia, Department of Agricultural Meteorology, SNRS, UNL, Lincoln, NE, USA, Bolsista CNPq(processo número:200010/98-0).

<sup>3</sup> Engº Agrº, Professor do Departamento de Fitotecnia, CCR, UFSM.

<sup>4</sup> Bolsista do CNPq.

enquanto que a 47°C foi de 1 a 6 h, dependendo do patógeno. VEIGA et al. (1998), trabalhando com *Sclerotinia sclerotiorum*, encontraram que em laboratório a temperatura letal se situa entre 50 e 55°C, com exposição durante 1h a 1,5h. No interior de estufa plástica, onde, num período de 60 dias a temperatura do solo solarizado atingiu valores acima de 60°C a 5cm de profundidade e acima de 50°C a 10cm, já aos 15 dias do início do experimento o controle dos esclerócios foi de 100%.

Portanto, observa-se que é importante o conhecimento dos limites das temperatura máximas, da frequência e da duração das mesmas acima destes limites para a inativação das distintas espécies de fitopatógenos do solo e a quantificação diária da temperatura nas diferentes profundidades do solo, durante o período de solarização. Neste último caso, as dificuldades adveem principalmente em função do custo para obtenção do instrumental de medida da temperatura do solo e da necessidade de pessoal para realizar as determinações. Desta forma, considerando que o aquecimento do solo depende diretamente dos elementos meteorológicos, basicamente da densidade de fluxo de radiação solar incidente, este trabalho objetiva estimar as temperaturas máximas do solo solarizado a partir dos elementos meteorológicos medidos em estação meteorológica convencional, os quais são geralmente de obtenção mais fácil.

## MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se os dados de temperatura máxima diária do solo solarizado (TMS) de experimentos realizados no Campo Experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul - RS (latitude: 29° 43'S, longitude: 53° 48'W e altitude: 95m). Foram conduzidos cinco experimentos no interior de estufa plástica, sendo as temperaturas do solo solarizado medidas a 2, 5, 10 e 20 cm de profundidade; dois no interior de túneis baixos com medidas de temperaturas a 2 e 5 cm; e três a céu aberto, com medidas de temperaturas a 2, 5 e 10 cm (Tabela 1).

As temperaturas máximas de cada dia medidas no solo solarizado foram correlacionada com os valores diários de densidade de fluxo de radiação solar global incidente, insolação, razão de insolação, temperatura do ar (mínima, máxima, média e das 9h, 15h e 21h) medida no abrigo meteorológico, a 1,5m acima do nível do solo, e velocidade média do vento entre as 9h e 15h a 2m acima do nível do solo. Estes elementos meteorológicos foram medidos na Estação Meteorológica pertencente ao 8° Distrito de Meteorologia do Ministério da Agricultura, localizada a aproximadamente 100m dos experimentos. A densidade de fluxo da radiação solar global diária foi estimada pelo modelo de ÅNGSTRÖM (1924), modificado por PRESCOTT (1940) e PENMAN (1948), com parâmetros mensais para Santa Maria propostos por ESTEFANEL et al. (1990). A temperatura média diária do ar ( $T_{m,ar}$ ) foi obtida pela equação:

$$T_{m_{ar}} = [T_{mínima} + T_{máxima} + T_{9h} + (2 * T_{21h})] / 5$$

Tabela 1. Experimentos de solarização do solo realizados no interior de estufa plástica, túnel baixo e a céu aberto em diferentes períodos. Santa Maria, RS.

Experimento	Período
a) Em estufa plástica:	
- Experimento I	17/12/92 a 07/03/93
- Experimento II	28/12/93 a 21/02/94
- Experimento III	24/08/94 a 24/09/94
- Experimento IV	23/12/95 a 21/02/96
b) Em túnel baixo	
- Experimento I	24/03/93 a 17/05/93
- Experimento II	31/12/93 a 15/02/94
c) A céu aberto	
- Experimento I	24/03/93 a 17/05/93
- Experimento II	28/10/93 a 26/12/93
- Experimento III	31/12/93 a 15/02/94

As temperaturas máximas diárias do solo solarizado dos diferentes experimentos e profundidades foi correlacionada com os elementos meteorológicos. Considerou-se como variável dependente a temperatura máxima do solo solarizado (TMS) e variáveis independentes os valores dos diferentes elementos meteorológicos. Para o cálculo utilizou-se o comando STEPWISE do SAS.

Para a validação dos modelos de regressão foram utilizados os dados de 15 dias distintos daqueles usados para gerar as equações. Com estes valores determinou-se a raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE):

$$RMSE = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 \right]^{0,5}$$

sendo  $O_i$  os dados observados,  $P_i$  os dados estimados e  $n$  o número de observações.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam os modelos de regressão para estimativa da temperatura máxima diária do solo solarizado em função dos dados meteorológicos medidos na Estação Meteorológica considerando, respectivamente, os experimentos realizados no interior de estufas, com medidas de temperaturas do solo a 2, 5, 10 e 20 cm de profundidade, no interior de túneis, medidas de temperaturas do solo a 2 e 5 cm, e a céu aberto, com medidas de temperaturas do solo a 2, 5 e 10 cm de profundidade.

Em todos os modelos e profundidades o elemento meteorológico que mais explica o

comportamento da temperatura máxima do solo solarizado é a densidade de fluxo de radiação solar global incidente. A incorporação de outros elementos como a temperatura do ar às 9h, às 15h, às 21h, mínima e média, a insolação e a razão de insolação contribuem para melhorar a estimativa, as melhores estimativas sendo obtidas com as temperaturas registradas no interior dos túneis, seguidas por aquelas a céu aberto e em estufa. Os coeficientes de correlação mais elevados foram obtidos com as temperaturas máximas medidas nas profundidades de 2cm e 5cm, Tabela 2, 3 e 4.

Os valores da raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE) mostram que o erro médio na estimativa da temperatura máxima varia de 2,71°C a 5,59°C. Para os modelos de regressão a céu aberto, a 10 cm de profundidade (Tabela 4), os valores de RMSE foram bem menores. Como neste caso utilizou-se um menor número de observações para gerar as equações, possivelmente tenha ocorrido um grande número de dias de tempo com céu límpido, originando valores de RMSE menores.

Tabela 2. Modelos de regressão (MOD) para a estimativa da temperatura máxima diária do solo solarizado (TMS) no interior de estufa plástica em função dos diferentes elementos meteorológicos medidos na estação meteorológica. Santa Maria - RS.

Modelo	Equação	R <sup>2</sup>	RMSE
<b>2 cm</b>			
MOD. 1	TMS=22,44+0,05555113( <b>K↓</b> )	0,57	5,51
MOD. 2	TMS=8,06+0,0430009( <b>K↓</b> )+0,71798749( <b>T15h</b> )	0,67	4,20
MOD. 3	TMS=4,84+0,07684959( <b>K↓</b> )+0,59023528( <b>T15h</b> )-14,0132727286( <b>n/N</b> )	0,69	4,31
MOD. 4	TMS=5,07+0,09328217( <b>K↓</b> )+0,90590215( <b>T15h</b> )-22,25892152( <b>n/N</b> ) -0,52229317( <b>T9h</b> )	0,71	4,63
<b>5 cm</b>			
MOD. 5	TMS=21,69+0,05196623( <b>K↓</b> )	0,58	5,31
MOD. 6	TMS=6,91+0,04496190( <b>K↓</b> )+0,76824231( <b>Tx</b> )	0,67	3,74
MOD. 7	TMS=4,50+0,08027892( <b>K↓</b> )+0,56306379( <b>Tx</b> )-1,08382501( <b>n</b> )	0,68	3,95
MOD. 8	TMS=2,65+0,09712447( <b>K↓</b> )-0,25658234( <b>Tx</b> )-1,77173073( <b>n</b> ) +0,67826535( <b>T15h</b> )	0,70	3,87
<b>10 cm</b>			
MOD. 9	TMS=21,96+0,04141955( <b>K↓</b> )	0,50	5,21
MOD. 10	TMS=6,21+0,03395684( <b>K↓</b> )+0,81851856( <b>Tx</b> )	0,64	3,14
MOD. 11	TMS=3,40+0,07521347( <b>K↓</b> )+0,5788331( <b>Tx</b> )-1,26610274( <b>n</b> )	0,67	3,26
MOD. 12	TMS=2,20+0,08612674( <b>K↓</b> )+0,04783097( <b>Tx</b> )-1,71175775( <b>n</b> ) +0,43940956( <b>T15h</b> )	0,68	3,27
<b>20 cm</b>			
MOD. 13	TMS=10,71+1,03611445( <b>T21h</b> )	0,47	4,02
MOD. 14	TMS=9,47+0,77649329( <b>T21h</b> )+0,01740672( <b>K↓</b> )	0,59	3,57
MOD. 15	TMS=3,84+0,42763945( <b>T21h</b> )+0,08444187( <b>K↓</b> )-2,02287984( <b>n</b> )	0,69	2,71

**K↓**=densidade de fluxo de radiação solar global incidente (cal.cm<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>); **T9h**=temperatura do ar às 9 horas (°C); **T15h**=temperatura do ar às 15 horas (°C); **T21h**=temperatura do ar às 21 horas (°C); **Tx**=temperatura média diária (°C); **n**=insolação (h) e **n/N**=razão de insolação. Todos os parâmetros dos modelos são significativos ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

Tabela 3. Modelos de regressão (MOD) para a estimativa da temperatura máxima diária do solo solarizado (TMS) no interior de túneis baixos em função dos elementos meteorológicos medidos na estação meteorológica. Santa Maria - RS.

Modelo	Equação	R <sup>2</sup>	RMSE
<b>2 cm</b>			
MOD. 1	TMS=22,69+0,06580552(K↓)	0,81	5,59
MOD. 2	TMS=8,83+0,05720404(K↓)+0,77204133(Tx)	0,90	5,00
MOD. 3	TMS=10,49+0,07776986(K↓)+0,59897481(Tx)-0,76789948(n)	0,91	4,85
MOD. 4	TMS=7,85+0,0855672(K↓)-0,1160243(Tx)-1,32455727(n)+0,73430987(T15h)	0,93	3,81
<b>5 cm</b>			
MOD. 5	TMS=20,57+0,06084619(K↓)	0,83	5,77
MOD. 6	TMS=8,57+0,05339613(K↓)+0,66869388(Tx)	0,90	5,24
MOD. 7	TMS=10,27+0,07441398(K↓)+0,49182340(Tx)-0,78477773(n)	0,92	4,98
MOD. 8	TMS=8,47+0,07974616(K↓)+0,00287397(Tx)-1,16544605(n)+0,50215503(T15h)	0,93	4,31

K↓=densidade de fluxo de radiação solar global incidente (cal.cm<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>); Tx=temperatura média diária (°C); T15h=temperatura do ar às 15 horas (°C); n=insolação (h). Todos os parâmetros dos modelos são significativos ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

Tabela 4. Modelos de regressão (MOD) para a estimativa da temperatura máxima diária do solo solarizado (TMS) a céu aberto em função dos diferentes elementos meteorológicos medidos na estação meteorológica. Santa Maria - RS.

Modelo	Equação	R <sup>2</sup>	RMSE
<b>2 cm</b>			
MOD. 1	TMS=19,17+0,05741624(K↓)	0,72	5,40
MOD. 2	TMS=3,59+0,04275431(K↓)+0,80568381(T15h)	0,82	4,40
MOD. 3	TMS=2,96+0,05391207(K↓)+0,79708309(T15h)-6,30287696(n/N)	0,84	4,12
MOD. 4	TMS=4,91+0,05839736(K↓)+1,06289423(T15h)-10,56918946(n/N)-0,40100704(T9h)	0,85	3,69
<b>5 cm</b>			
MOD. 5	TMS=17,61+0,05497832(K↓)	0,75	5,39
MOD. 6	TMS=2,78+0,04382804(K↓)+0,86181516(T21h)	0,87	4,33
MOD. 7	TMS=1,25+0,04796496(K↓)+0,59708489(T21h)+0,3321311(Tmin)	0,88	4,48
MOD. 8	TMS=-0,28+0,04552435(K↓)+0,36879492(T21h)+0,31879647(Tmin)+0,29484673(T15h)	0,89	4,31
<b>10 cm</b>			
MOD. 9	TMS=20,30+0,03862848(K↓)	0,71	1,83
MOD. 10	TMS=10,64+0,02933712(K↓)+0,51302598(T15h)	0,81	0,79

K↓=densidade de fluxo de radiação solar global incidente (cal.cm<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>); T9h=temperatura do ar às 9 horas (°C); T15h=temperatura do ar às 15 horas (°C); T21h=temperatura do ar às 21 horas (°C); n/N=razão de insolação; Tmin=temperatura mínima do ar (°C). Todos os parâmetros dos modelos são significativos ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

## CONCLUSÕES

É possível estimar a temperatura máxima diária do solo solarizado em diferentes situações a partir de elementos meteorológicos medidos na Estação Meteorológica Convencional.

O elemento meteorológico que mais explica o comportamento da temperatura máxima do solo solarizado é a densidade de fluxo de radiação solar global incidente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÅNGSTRÖM, A. Solar and terrestrial radiation. **Journal of Royal Meteorological Society**, v.50, p.121-126, 1924.
- ESTEFANEL, V., SCHNEIDER, F. M., BERLATO, A. M., et al. Insolação e radiação na região de Santa Maria, RS: I - Estimativa da radiação solar global incidente a partir dos dados de insolação. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v.20, n.3-4, p.203-218, 1990.
- KATAN, J., GREENBERGER, A.H.A., GRINSTEIN, A., et al. Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soilborne pathogens. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 66, n. 5, p. 683-688, 1976.
- KATAN, J., DEVAY, J.E. **Soil Solarization**. Florida: CRC Press, 1991. 267p.
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of Royal Society**, v. 193, p. 120-145, 1948.
- PRESCOTT, J. A. Evaporation from water surface in relation to solar radiation. **Trans. Roy. Soc. South Australia**, v. 64. n.1, p. 114-118, 1940.
- PULLMAN, G.S., DEVAY, J. E., GARBER, R.H. Soil solarization and thermal death: a logarithmic relationship between time and temperature for four soilborne pathogens. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 71, n. 9, p. 959-964, 1981.
- VEIGA, V.V., SCHNEIDER, F.M., HELDWEIN, A.B., BURIOL, G.A. Efeito da solarização no controle de *Sclerotinia sclerotiorum* e na modificação da temperatura do solo em estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 151-156, 1998.