

MODIFICAÇÕES FÍSICAS CAUSADAS PELA SOLARIZAÇÃO DO SOLO

PHYSICAL MODIFICATION CAUSED BY SOIL SOLARIZATION

Flavio Miguel Schneider¹, Nereu Augusto Streck² e Galileo Adeli Buriol¹

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA -

RESUMO

A solarização, método de controle de patógenos de solo, consiste na cobertura do solo úmido com filme de polietileno transparente, nos meses de verão, visando elevar a temperatura da camada superficial do solo a níveis de inativação. Esta revisão analisa as modificações no balanço de energia e no regime térmico do solo causadas pela solarização. O uso de plástico transparente, sobre o solo úmido, reduz os fluxos de calor latente e sensível e aumenta acentuadamente o fluxo de calor para o solo. Comparativamente com o solo desnudo, ocorre uma elevação dos valores da onda diária de temperatura do solo, sem alteração significativa da amplitude térmica.

Palavras-chave: solarização, balanço de energia, temperatura do solo.

SUMMARY

Soil solarization is one of the methods to control soilborne pathogens. It consists in covering a wet soil with a transparent polyethylene film, during the summer months aiming to increase the temperature of superficial

¹ Professor Titular, Bolsista do CNPq - Departamento de Fitotecnia/CCR/UFSM - 97.119-900 - Santa Maria, RS.

² Engº Agrº, Bolsista do CNPq - Aluno do CPG em Agronomia/CCR/UFSM - 97.119-900 - Santa Maria, RS.

soil layers until inactivation levels. This review analyses the energy balance and temperature regime modification caused by soil solarization. The use of clear mulch on a wet soil reduces the sensible and latent fluxes and significantly increases soil heat flux. Compared with bare soil there is an increase of the daily temperature cycle without a substantially modifying the temperature variation.

Key words: soil solarization, energy balance, soil temperature.

INTRODUÇÃO

O cultivo intensivo de uma área na agricultura normalmente acarreta perdas devidas a fitopatógenos de solo. A rotação de culturas, em muitos casos, não pode ser recomendada pois a falta de mercado para muitos produtos, de disponibilidade de área por parte do agricultor e o grande número de hospedeiros atacados por estes patógenos inviabilizam o processo. Em pequenas propriedades e culturas intensivas este fato é mais marcante. GARIBALDI (1988) cita que até a consolidação do cultivo de hortaliças em ambiente parcialmente protegido na Europa ocorreram perdas de até 100% da produção de estufas devido a fitopatógenos de solo.

Métodos físicos e químicos são recomendados para erradicação de patógenos de solo. Os produtos químicos utilizados, entretanto, apresentam alta toxicidade, elevado custo, criam ilhas de maior concentração e um vácuo biológico que facilita a reinfestação (TOUSSON et al, 1970). A solarização é um dos métodos físicos de erradicação, desenvolvido recentemente por KATAN et al (1976) em Israel. Consiste na cobertura do solo úmido com filme de polietileno transparente nos meses mais quentes do ano, com objetivo de elevar a temperatura das camadas superficiais do solo a níveis suficientes para inativar grande número de patógenos, artrópodos, nematóides e plantas invasoras de propagação por sementes do solo.

O princípio da solarização como método de controle de patógenos é similar ao método de esterilização denominado Tindalização, que consiste na exposição intermitente dos microorganismos a 60°C por 1 hora durante 3 dias (RANGEL, 1940). Na solarização o objetivo é alcançar temperatura acima de 50°C por algum tempo (minutos ou horas) durante vários dias, pois este valor inativa grande parte dos fitopatógenos em menos de uma hora de exposição (PULLMAN et al, 1981a). O controle de doenças pela solarização, no entanto, não é atribuído apenas à elevação na temperatura do solo, mas também a produção de substâncias voláteis como o dióxido de carbono, etileno e outras substâncias tóxicas aos fungos (KAEWRUANG et al, 1989). Entre as

vantagens do método destaca-se o baixo custo, facilidade de implantação, não utilização de produtos químicos tóxicos, homogeneidade na distribuição da temperatura e uso de uma fonte de energia renovável (KATAN, 1981).

Após os primeiros trabalhos de solarização realizados por KATAN et al (1976) em Israel, a quantificação da elevação da temperatura do solo solarizado foi realizada em vários países, com condições climáticas e edáficas diferentes. Assim, a partir da década de 80 trabalhos conduzidos no Kênia (GURNAH & MUTEA, 1982), Estados Unidos (PULLMAN et al, 1981b; STAPLETON et al, 1985), Iraque (HASSAN & HUSSAIN, 1986), Itália (GARIBALDI, 1988), México (STAPLETON & GARZA-LOPES, 1988), Austrália (KAEWRUANG et al, 1989), Espanha (MELERO et al, 1989) e Índia (KUNAR & YADURAJU, 1992) apresentam um aumento médio de 10°C na temperatura do solo proporcionado pela cobertura com materiais transparentes.

Na literatura existe relato de efeito benéfico da solarização sobre culturas como da beringela (KATAN et al, 1976), amendoim (GRINSTEIN et al, 1979), batata, cenoura (KATAN, 1980), cebola (KATAN et al, 1980), algodão anual (PULLMAN et al, 1981b; MELERO et al, 1989), girassol (PULLMAN et al, 1981b), pimentão, couve chinesa, rabanete, alface (STAPLETON et al, 1985), tomate (KATAN, 1980; 1981; GOISQUE et al, 1984; Mc SORLEY & PARRADO, 1986; AL-KAYSSI et al, 1990; PATEL et al, 1991), gergelim (STAPLETON & GARZA-LOPES, 1988), gérbera (KAEWRUANG et al, 1989), melão (MELERO et al, 1989) e soja (KUNAR & YADURAJU, 1992). Os aumentos na produtividade destas culturas foram superiores a 35% e em muitos casos acima de 100% em relação a parcela não solarizada.

Tendo em vista os vários trabalhos realizados em diferentes locais, pode-se inferir a faixa de 52°N a 38°S de latitude como a mais favorável para a solarização, em função da disponibilidade de energia solar (KATAN et al, 1987). O objetivo desta revisão é analisar as modificações no balanço de energia e no regime térmico do solo causadas pela técnica da solarização do solo.

RECOMENDAÇÕES

A solarização utiliza o calor como agente físico inativador dos patógenos de solo, proporcionado pelo maior armazenamento líquido de energia no solo coberto com filme plástico transparente. As seguintes recomendações são necessárias para aumentar a sua eficiência (KATAN, 1981):

- a) Uso de materiais de cobertura com maior transparência possível à radiação solar;
- b) A técnica deve ser aplicada durante época do ano com maior disponibilidade de energia solar;
- c) O solo coberto deve ser mantido com teor de umidade próximo a capacidade de campo, durante a solarização, para aumentar a sensibilidade térmica das estruturas de resistência dos patógenos e a condução de energia no solo;
- d) A espessura do filme plástico deve ser o menor possível, de preferência inferior a 100 μ , sendo ideal 25-30 μ ;
- e) Como a temperatura máxima diminui com a profundidade do solo, é necessário que o período da solarização seja de no mínimo 4 semanas, para que haja efeito nos fitopatógenos das camadas inferiores.

MODIFICAÇÕES FÍSICAS

O regime térmico de um solo com cobertura (mulching) é uma função do balanço global de radiação (Q^*) e das propriedades térmicas do solo. O balanço global de radiação na superfície de um solo com mulching pode ser expresso pela seguinte equação:

$$Q^* = (1 - R_{oc})T_{oc} K \downarrow + T_{ol} L \downarrow + \epsilon_c \delta T_c^4 - \delta T_s^4 \quad 1$$

Onde: R_{oc} = albedo de onda curta da superfície do solo;

T_{oc} e T_{ol} = transmissividade da cobertura para a radiação de onda curta e de onda longa, respectivamente;

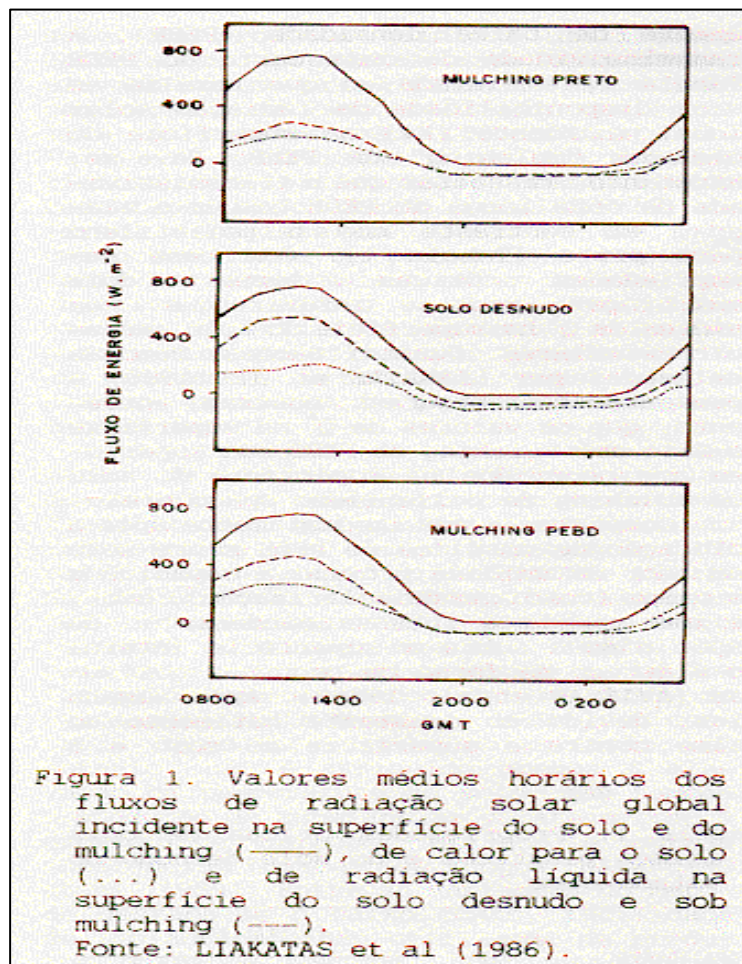
$K \downarrow$ e $L \downarrow$ = densidades de fluxo de radiação solar global e de onda longa incidentes no mulching, respectivamente;

ϵ_c = emissividade do mulching;

T_c e T_s = temperaturas absolutas do mulching e da superfície do solo, respectivamente;

δ = constante de Stefan-Boltzmann = $56,7 \times 10^{-9} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$.

Na técnica do "mulching", o material mais utilizado é o polietileno opaco (PO), geralmente preto, e na solarização preconiza-se o uso do polietileno transparente de baixa densidade (PEDB). A transmissividade de onda curta do PEDB (Tabela 1) é elevada, o que resulta em maior disponibilidade de radiação solar global incidente ($K\downarrow$) na superfície do solo com "mulching" de PEDB. Deve-se, entretanto, ressaltar que a transmissividade de onda longa do PEDB também é elevada, em contraste com o polietileno opaco preto (Tabela 1). Com base nas propriedades óticas destes dois "mulchings", pode-se inferir que os valores de Q^* na superfície do solo seriam muito similares. Quantificações, como as realizadas por LIAKATAS et al (1986) e apresentadas na Figura 1, mostram, entretanto, que os valores de Q^* na superfície do solo com mulching de PEDB são superiores aos ocorridos na superfície do solo com mulching de polietileno opaco preto.



Constata-se que imediatamente após a colocação de um filme de PEDB sobre solo com teor de umidade próximo a capacidade de campo (condição da solarização), ocorre uma rápida e intensa condensação do vapor d'água sobre a superfície interna do plástico na forma de pequenas gotículas (AVISSAR et al, 1986a). Após alguns dias, devido ao constante batimento do filme contra a superfície do solo e à grande amplitude térmica diária imposta ao mulching partículas finas de solo ficam aderidas ao plástico e forma-se um filme razoavelmente uniforme de água na superfície interna do PEDB (AVISSAR et al, 1986a). Estas alterações modificam as propriedades óticas e influem no Q^* da superfície de um solo com mulching de PEDB.

Tabela 1. Propriedades óticas de dois filmes plásticos e do solo desnudo no estado seco.

Propriedades	Solo desnudo	Polietileno*	
		Opaco preto	Transparente
Refletividade			
Onda curta	0,24	0,09	0,25
Onda longa		0,01	0,03
Transmissividade			
Onda Curta		0,02	0,93
Onda longa		0,14	0,78
Emissividade	0,96	0,98	0,97

* - espessura do filme de 125µm
 Fonte: LIKATAS et al (1986)

A Tabela 2 apresenta os valores médios ponderados das propriedades óticas do PEDB novo e envelhecido, devido ao uso no campo, com e sem gotículas de água aderidas. Constata-se que um filme novo cobrindo um solo com teor de umidade na capacidade de campo (que terá gotículas aderidas) transmite menos energia solar que um filme envelhecido seco ou com filme de água. Como os filmes novos de PEDB são hidrofóbicos (AVISSAR et al, 1986a), o vapor d'água condensa na forma de gotículas diminutas, o que aumenta o espalhamento e a reflexão de energia solar. Quando ocorre o envelhecimento do PEDB à campo, esta propriedade é eliminada devido ao efeito do tempo e das partículas finas de solo que aderem ao plástico (AVISSAR et al, 1986a). Consequentemente, forma-se um filme mais homogêneo de água na superfície interna do PEDB, o que aumenta a sua transmissividade à radiação solar global incidente.

Tabela 2. Valores médios ponderados das propriedades óticas do polietileno transparente em diferentes situações de uso.

Situação do Filme	Propriedades óticas (%)					
	Radiação Solar Global			Radiação de Onda Longa		
	T*	R	A	T	R	A
Novo e seco	80,9	14,0	5,1	83,5	12,6	3,8
Novo e úmido**	43,5	37,4	19,1	38,4	31,4	30,2
Velho e seco	49,3	43,7	7,0	50,1	42,1	7,8
Velho e úmido	58,8	20,3	20,9	31,7	35,0	33,3

*T, R e A = coeficientes de transmissividade, refletividade e absortividade, respectivamente.
 **úmido = filme com gotas de água aderidas.

A presença de gotículas de água também atenua a transmissividade do PEDB à radiação de onda longa (Tabela 2; ROBLEDO & MARTIN, 1981). Constata-se, entretanto, que a atenuação na transmissividade à radiação de onda longa do PEDB envelhecido e com filme de água é muito maior que a atenuação na transmissividade à radiação de onda curta. Na solarização, portanto, ocorre um aumento do efeito estufa, resultando em uma maior radiação líquida na superfície do solo, já constatada por LIAKATAS et al (1986) (Figura 1), que será utilizada como fluxo de calor para o solo (S), calor sensível (H) e calor latente (LE).

O balanço de energia na superfície de um solo solarizado pode ser expresso pela seguinte equação (MAHRER & KATAN, 1981):

$$(1 - R_{oc})T_{oc}K \downarrow + T_{ol}L \downarrow +$$

$$+ e_c dT_c^4 - dT_s^4 - S - H - LE = 0 \quad (2)$$

Os fluxos S, H e LE podem ser obtidos com as seguintes expressões (MAHRER & KATAN, 1981; AVISSAR et al, 1986b):

$$S = K(\partial T/\partial z) \quad (3)$$

$$H = 0,4 \rho \cdot c_p (T_s - T_c)^{4/3} \quad 4$$

$$LE = \rho L (T_s - T_c)^{1/3} (q_s - q_c) \quad 5$$

Onde: K = condutividade térmica do solo:

ρ = densidade do ar;

L = calor latente de vaporização;

c_p = calor específico do ar;

q_s e q_c = umidade específica saturada nas temperaturas da superfície do solo e do mulching, respectivamente.

Na solarização, a maior parte da energia disponível na superfície do solo é utilizada em fluxo de calor para o solo (Figura 1). LIAKATAS et al (1986) encontraram valores médios de fluxo máximo de calor para o solo e de armazenamento líquido de energia no solo 20% e 33%, respectivamente, superiores aos ocorridos no solo desnudo (Tabela 3). Como a umidade relativa da camada de ar, existente entre a superfície do solo e o PEDB, sempre está próxima a saturação, existe uma redução significativa do fluxo de calor latente, comparativamente com o solo desnudo. A barreira física do PEDB também reduz o fluxo de calor sensível entre a superfície do solo e a atmosfera, apesar de existir contato solo-PEDB em alguns pontos e de ocorrer transferência de energia por condução entre o ar e o plástico. Estimativas realizadas por MAHRER (1979) evidenciaram que aproximadamente 80% do incremento no fluxo de calor para o solo solarizado deve-se a redução nos fluxos de calor latente e sensível e apenas 20% ao efeito estufa proporcionado pelo polietileno transparente de baixa densidade.

Tabela 3. Valores máximos de fluxo de calor para o solo ($S_{\text{máx}}$) e médio de armazenamento líquido diário de energia (Armaz) no solo desnudo e coberto com polietileno transparente de baixa densidade (PEBD).

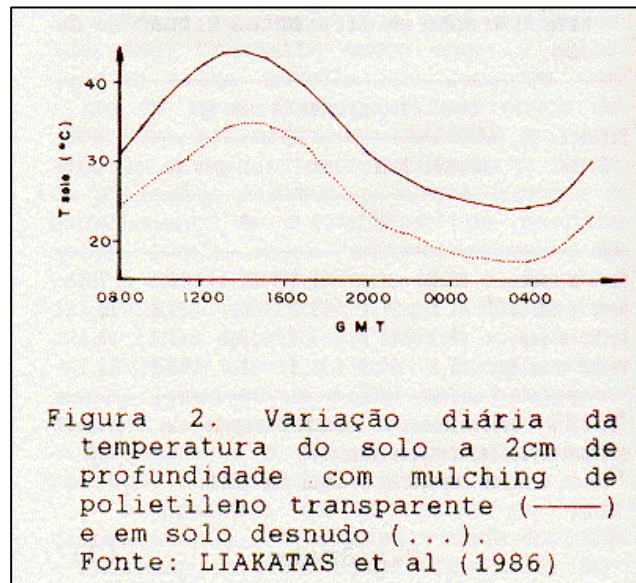
Data	$S_{\text{máx}}$ (W.m^{-2})	
	Desnudo	Com PEBD
13/06/76	211	268
25/06/76	195	268
27/07/76	192	190
Armaz* ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$)	6,1	8,4

* Valor médio dos três dias de observação.
Fonte: LIAKATAS et al (1986)

Considerando que na técnica da solarização, o solo deve ser mantido com teor de umidade próxima à capacidade de campo, as suas propriedades térmicas fundamentais, condutividade térmica (K) e calor específico (c), terão um acréscimo nos seus valores (SCHNEIDER, 1979). Este acréscimo na condutividade térmica permite que o maior fluxo de calor no solo solarizado seja melhor distribuído com a profundidade e não fique concentrado junto à superfície, fato que ocorreria se o solo estivesse seco ou com baixo teor de umidade. Resultados obtidos por MOENCH & EVANS (1970) mostraram que os valores de K de um solo de textura barro-arenosa variaram de $0,60 \times 10^{-3} \text{ cal.cm}^{-1}.\text{°C}^{-1}.\text{s}^{-1}$, para o solo seco, à $5,95 \times 10^{-3} \text{ cal.cm}^{-1}.\text{°C}^{-1}.\text{s}^{-1}$ para o solo saturado, o que evidencia que no solo solarizado ocorre uma maior transferência de energia entre as camadas do solo.

O acréscimo no fluxo de calor para o solo e no armazenamento líquido de energia resultam em elevação da temperatura do solo, princípio utilizado pelo método da solarização no controle de patógenos de solo. Dados experimentais (MAHRER, 1979; AVISSAR et al, 1986b; LIAKATAS et al, 1986) mostraram que, diferentemente do que ocorre com o uso de mulching de polietileno preto que reduz a amplitude térmica, no solo solarizado a amplitude térmica é similar a do solo desnudo. O que se verifica é um deslocamento de toda a

onda de temperatura do solo solarizado para valores mais elevados (Figura 2). A temperatura média, portanto, do solo solarizado é aumentada mas não ocorre uma alteração acentuada na sua amplitude.



Quantificações realizadas em diversos locais mostraram um aumento variável de 3 a 18°C na temperatura do solo solarizado e a ocorrência de valores máximos de até 62°C, obtido por KUNAR & YADURAJU (1992) a 5 cm de profundidade na Índia (Tabela 4). Semelhantemente ao solo desnudo, a variação diária da temperatura do solo solarizado em cada profundidade e da amplitude térmica com a profundidade seguem o movimento periódico amortecido, princípio utilizado por MAHRER (1979), MAHRER & KATAN (1981) e MAHRER et al (1984) no desenvolvimento de modelos numéricos, baseados em elementos meteorológicos e nas propriedades térmicas do solo e óticas do PEDB, de estimativa do regime térmico do solo solarizado. As variações que existem entre os locais estão associadas às propriedades térmicas do solo e à disponibilidade de energia solar durante o período de solarização (KATAN et al, 1976; CHEN & KATAN, 1980; KATAN, 1980; 1981; RUBIN & BENJAMIN, 1983; KASSABY, 1985; HASSAN & HUSSAIN, 1986; MELERO et al, 1989; LODHAS et al, 1991; KUNAR & YADURAJU, 1992).

Na área solarizada existe gradiente horizontal de temperatura, em cada profundidade, principalmente próximo a borda da área solarizada. Resultados obtidos por MAHRER & KATAN (1981) evidenciaram que a temperatura máxima a 5 cm de profundidade, foi 8°C superior ao solo desnudo no centro da área solarizada e

apenas 6°C superior a 10 cm da borda. O gradiente horizontal da temperatura é maior na camada superficial do solo e torna-se menor nas camadas mais profundas e menos afetadas pela presença do mulching. O menor aquecimento na área próxima à borda geralmente exige um tempo maior de solarização para o controle dos patógenos de solo (MAHRER & KATAN, 1981). Este aspecto é particularmente importante quando a solarização é aplicada em canteiros, onde a relação superfície lateral de perda de energia por superfície receptora é grande. Com base nos resultados de eficiência relativa obtidos por MAHRER & KATAN (1981), deve-se evitar o emprego da solarização em áreas com menos de 1,40 m de largura.

Tabela 4. Temperaturas máximas ocorridas no solo solarizado em alguns locais.

TEMPERATURA (°C)	PROFUNDIDADE (cm)	LOCAL	FONTE
52,0	5	Israel	KATAN et al (1976)
45-49*	15	EUA	STAPLETON & DEVAY (1982)
55,6	5	Iraque	HASSON & HUSSAIN (1986)
45,0	2	Inglaterra	LIKATAS et al (1986)
50,0	5	Itália	GABIBALDI (1988)
49,0	23	México	STAPLETON & GARZA-LOPES(1988)
55,9	0**	Espanha	MELERO et al (1989)
62,0	5	Índia	KUNAR & YADURAJU (1992)

*Vários locais
**0=superfície do solo.

Além das modificações físicas, devido à alteração na dinâmica da água, como a intensificação da ascensão capilar, e o aumento da taxa de mineralização da matéria orgânica, ocorrem modificações nas propriedades químicas do solo. CHEN & KATAN (1980) encontraram aumento nas concentrações de formas minerais disponíveis na solução do solo como NO_3^- , NH_4^+ , k_+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} na camada superficial do solo solarizado. Resultado similar foi obtido por KUNAR & YADURAJU (1992). Este aumento na disponibilidade de alguns nutrientes explica, em parte, a resposta das culturas à solarização em áreas isentas de patógenos (CHEN & KATAN, 1980; KATAN, 1981; STAPLETON et al, 1985; HAYNESS, 1987; ABDEL-ROHIN et al, 1988; KAEWRUANG et al, 1989).

CONCLUSÃO

O método da solarização ao aumentar o fluxo de calor para o solo possibilita a elevação significativa dos valores de temperatura máxima e média, principalmente na camada superficial do solo. Tendo em vista a ocorrência de valores térmicos que inativam grande número de patógenos de solo, o baixo custo do método e a não utilização de produtos químicos tóxicos, a solarização do solo é uma alternativa promissora no controle de patógenos de solo, principalmente em estufas plásticas e túneis que não podem, a cada ano, serem trocados de local.

Recomenda-se que a pesquisa teste o método em vários locais e quantifique além da resposta da cultura, as modificações físicas, químicas e biológicas resultantes do seu emprego. Com base nos modelos numéricos desenvolvidos por MAHRER (1979), MAHRER & KATAN (1981) e MAHRER et al (1984) e que estimam o regime térmico do solo solarizado, recomenda-se a estimativa do tempo médio que a temperatura do solo, em cada profundidade, permanece acima das temperaturas de inativação dos patógenos, informação necessária no planejamento do emprego do método da solarização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDEL-RAHIM, M.F., SATOUR, M.M., MICKAIL, K.Y. et al. Effectiveness of soil solarization in furrow-irrigated Egyptian soils. **Plant diseases**, v. 72, p. 143-146, 1988.
- ALKAYSSI, A.W., AHMED, S., HUSSAIN, R. Influence of soil solarization on salts movement and distribution. **Hort. Abst.**, v. 60, n. 10, p. 16, 1990.
- AVISSAR, R., MAHRER, Y, MARGULIES, L. et al. Field aging of transparent polyethylene mulches: I. Photometric properties. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 50, p. 202-205, 1986a.
- AVISSAR, R., NAOT, O., MAHRER, Y. et al. Field aging of transparent polyethylene mulches: II. Influence on the effectiveness of soil heating. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 50, p. 205-209, 1986b.
- CHEN, Y., KATAN, J. Effect of solar heating of soil by transparent polyethylene mulching on their chemical properties. **Soil Science**, v. 130, n. 5, p. 271-277, 1980.
- GARIBALDI, A. The use of plastic materials for solar heating of soil. **Hort. Abst.**, v. 58, n. 10, p. 702, 1988.
- GOISQUE, M.J., LOUVET, H., MARTEN, C. et al. The solar sterilization of soil in greenhouses.

- Plasticulture**, n. 64, p. 32-38, 1984
- GRINSTEIN, A., KATAN, J., RAZIK, A.A. et al. Control of *Sclerotium rolfsii* and weeds in peanuts by solar heating of the soil. **Plant Disease Reporter**, v. 63, n. 12, p. 1056-1059, 1979.
- GURNAH, A.M., MUTEA, J. Effects of mulches on soil temperatures under Arabica coffee at Kabete, Kenya. **Agricultural Meteorology**, v. 25, p. 237-244, 1982.
- HASSON, A.M., HUSSAIN, R., Effect of solarization on soil temperature under aridic conditions. **Plasticulture**, n. 72, p. 15-22, 1986.
- HAYNES, R.J. The use of polyethylene mulches to change soil microclimate as revealed by enzyme activity and biomass nitrogen, sulphur and phosphorus. **Biol. Fertil. Soil**, v. 5, p. 235-240, 1987.
- KAERUANG, W., SIVASITHAMPARAM, K., HARDDY, G.E. Effect of soil solarization of soil within plastic bags on root rot of gerbera (*Gerbera jamesonii*, L.). **Plant and Soil**, v. 120, p. 303-306, 1989.
- KASSABY, F.Y. Solar-heating of soil control of damping-off diseases. **Soil Biol. Biochem.**, v. 17, n. 4, p. 429-434, 1985.
- KATAN, J., GREENBERGER, A.H.A., ALON, H. et al Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soilborne pathogens. **Phytopathology**, v. 66, n. 5, p. 683-688, 1976.
- KATAN, J., Solar pasteurization of soils for disease control: status and prospects. **Plant Disease**, v. 64, n. 5, p. 450-454, 1980.
- KATAN, J., ROTEM, I., FINKEL, Y. et al. Solar heating of the soil for the control of the pink root and other soilborne diseases in onions. **Phytoparasitica**, v.8, p. 39-50, 1980.
- KATAN, J. Solar heating (solarization) of soil for control of soilborne pest. **Ann. Rev. Phytopathology**, v. 19, p. 211-236, 1981.
- KATAN, J., GRINSTEIN, A., GREENBERGER, A. et al. The first decade (1976-1986) of soil solarization (solar heating): A chronological bibliography. **Phytoparasitica**, v. 15, n. 3, p. 229-255, 1987.
- KUNAR, B., YADURAJU, N.T. Effects of solarization on the temperature and physico-chemical properties of soils. **Plasticulture**, n. 94, p. 13-20, 1992.
- LIAKATAS, A., CLARK, J.A., MONTEITH, J.L. Measurements of the heat balance under plastic mulches. I - Radiation balance and soil heat flux. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 36, p. 227- 239, 1986.
- LODHAS, S., SINGH, M., SHARMA, B.M. Solarization brings down soilborne pathogens in arid lands. **Indian Farming**, v. 40, n. 10, p. 12-13, 1991.

- MAHRER, Y. Prediction of soil temperature of a soil mulched with transparent polyethylene. **Journal of Applied Meteorology**, v. 18, p. 1263-1267, 1979.
- MAHRER, Y., KATAN, J. Spatial soil temperature regime under transparent polyethylene mulch: numerical and experimental studies. **Soil Science**, v. 131, n. 2, p. 82-87, 1981.
- MAHRER, Y., NAOT, O., RAWITZ, E. et al. Temperature and moisture regimes in soils mulched with transparent polyethylene. **Soil Sc. Soc. Amer. J.**, v. 48, p. 362-367, 1984.
- McSORLEY, R., PARRADO, J.L. Application of soil solarization to rockdale soil in a tropical environment. **Nematologica**, v. 16, n. 2, p. 125-140, 1986.
- MELERO, J.M., GONZALES, R., GOMES, J. et al. La solarización de suelos mediante acolchado en Andalucía. **Plasticulture**, n. 82, p. 73-82, 1989.
- MOENCH, A.F., EVANS, D.D. Thermal conductivity and diffusivity of soil using a cylindrical heat source. **Proceedings of the Soil Science Society of America**, v. 34, p. 377-381, 1970.
- PULLMAN, G.S., DEVAY, J.E., GARBER, R.H. Soil solarization and thermal death: A logarithmic relationship between time and temperature for four soilborne plant pathogens. **Phytopathology**, v. 71, n. 9, p. 959-964, 1981a.
- PULLMAN, G.S., DEVAY, J.E., GARBER, R.H. et al. Soil solarization: effects on verticillium wilt of cotton and soilborne populations of *Verticillium dahliae*, *Pythium* spp., *Rhizoctonia solani* and *Thielaviopsis basicola*. **Phytopathology**, v. 71, n. 9, p. 954-959, 1981b.
- PATEL, D.J., PATEL, H.V., PATEL, S.K. Comparative efficacy of LDPE films cover for soil solarization in control of root-knot nematodes in tomato nurseries. **Plasticulture**, n. 91, p. 33-36, 1991.
- RANGEL, F.J. **Técnicas Fitopatológicas**. São Paulo: Kosmos, 1940. 65p.
- ROBLEDO, F.P., MARTIN, L.V. **Aplicación de los plásticos en la agricultura**. Madrid: Mundi-Prensa, 1981. 552p.
- RUBIN, B., BENJAMIN, A. Solar heating of the soil: Effect on weed control and on soil incorporated herbicides. **Weed Science**, v. 31, p. 819-825, 1983.
- SCHNEIDER, F.M. **Comportamento e propriedades térmicas do solo Santa Maria**. Piracicaba, SP, 1979. 77p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queirós", 1979.
- STAPLETON, J.J., DEVAY, J.E. Effect of soil solarization on population of selected soilborne microorganisms

and growth of deciduous fruit tree seedlings. **Phytopathology**, v. 72, p. 323-326, 1982.

STAPLETON, J.J., QUICK, J., DEVAY, J.E. Soil solarization: effect on soil properties, crop fertilization and plant growth. **Soil Biol. Biochem.**, v. 17, n. 3, p. 369-373, 1985.

STAPLETON, J.J., GARZA-LOPES, J.G. Mulching of soil with transparent (solarization) and black polyethylene films to increase growth of annual and perennial crops in southwestern Mexico. **Tropical Agriculture**, v. 65, n. 1, p. 29-33, 1988.

TOUSSON, T.A., BEGA, R.V., NELSON, P.E. **Root diseases and soil-borne pathogens**. Berkeley and Los Angeles: University of California Press, 1970. 252p.