

Controle Físico de Doenças Radiculares

*Raquel Ghini
Wagner Bettiol*

Introdução

Com o interesse crescente na redução dos impactos negativos da agricultura ao ambiente, grande ênfase vem sendo dada a outros métodos de controle de doenças de plantas, além dos métodos químicos. Os métodos alternativos têm que ser econômica, ambiental e tecnicamente viáveis, assegurando um efetivo controle sem causar distúrbios no equilíbrio biológico do agroecossistema.

Por esse motivo, o conceito de controle de patógenos radiculares vem sendo alterado nas últimas décadas. Inicialmente, o controle implicava na erradicação da população do patógeno, ignorando as conseqüências nos componentes bióticos não visados ou abióticos do solo. Apesar dessa abordagem resultar num efetivo controle, ficou comprovado que pode resultar em sérios desequilíbrios. Posteriormente, notou-se que um efetivo controle pode ser obtido sem erradicar o patógeno, interrompendo o ciclo da doença via manipulação de um dos componentes bióticos envolvidos na doença – população do patógeno, planta resistente e balanço microbiano – ou abióticos, sendo a meta final a redução da doença de forma econômica e ambientalmente viável.

Os métodos físicos, que incluem várias formas de energia física para o controle de patógenos radiculares, foram desenvolvidos obedecendo a essa seqüência. O tratamento térmico com vapor foi um dos primeiros a ser adotado e, posteriormente, a solarização foi desenvolvida, onde temperaturas mais amenas são atingidas, causando alterações menos drásticas nas comunidades do solo.

Cada alternativa disponível apresenta vantagens e desvantagens, sendo que os problemas têm que ser analisados caso a caso para a escolha do melhor método a ser utilizado. Porém, a integração de diferentes métodos parece ser a estratégia mais atraente, visto que pode resultar em um controle mais eficiente e duradouro.

Tratamento térmico do solo

Vapor

O tratamento do solo com vapor para o controle de microrganismos foi primeiramente proposto por B. Frank, na Alemanha, em 1888, e seu uso comercial nos Estados Unidos foi iniciado em 1893, por W.N. Rudd (Baker, 1962a). Apesar de ter sido desenvolvido há mais de um século, o uso de vapor para a desinfestação de solo está restrito, geralmente, a pequenas áreas devido ao custo do equipamento necessário para sua aplicação. Dessa forma, tem sido praticado em estufas, canteiros para produção de mudas ou campos de culturas altamente rendosas. O solo é coberto por uma lona plástica e o vapor a 80-100°C, produzido por uma caldeira, é injetado, promovendo o controle de patógenos, plantas daninhas e pragas, por meio da elevação da temperatura do solo (Figura 13.1). A vantagem do uso de vapor consiste no fato de não se tratar de um método químico, com ausência de resíduos, embora as altas temperaturas muitas vezes aumentem o teor de manganês a níveis fitotóxicos.

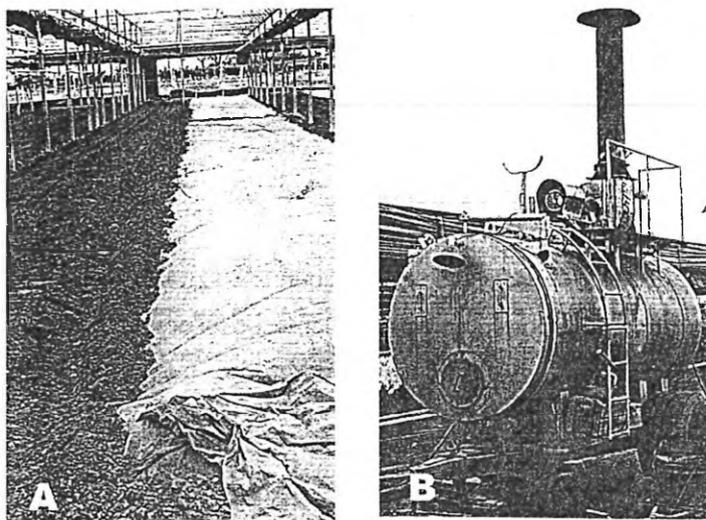


Figura 13.1. Tratamento de solo com vapor: A) solo coberto e vapor sendo injetado; B) caldeira a lenha (Fotos: Raquel Ghini).

De modo geral, o tratamento com vapor é feito por pelo menos 30 min., após as partes mais frias do canteiro terem atingido temperaturas superiores a 80°C (Baker & Roistacher, 1957). Tal elevação da temperatura durante a desinfestação pode causar diversas reações químicas no solo. A decomposição da matéria orgânica é acelerada, causando a liberação de amônia, dióxido de carbono e produtos orgânicos. Os materiais inorgânicos são degradados ou alterados, os nitratos e nitritos são reduzidos a amônia e a solubilidade ou disponibilidade dos nutrientes é modificada, podendo haver o acúmulo em nível tóxico, como o manganês, por exemplo. Alterações nas propriedades físicas do solo podem ocorrer com relação às capacidades de absorção e capilaridade, à estrutura, à cor e ao odor (Liegel, 1986).

A inespecificidade do tratamento com vapor, que pode ser considerada uma de suas vantagens, também é responsável por um de seus maiores problemas. De modo geral, as altas temperaturas atingidas tomam o tratamento não seletivo, resultando na erradicação dos microrganismos, criando espaços estéreis, denominados “vácuos biológicos”. O equilíbrio da comunidade microbiana do solo, construído após longa interação dos diversos componentes, é destruído ou profundamente modificado. A recolonização do solo é feita, basicamente, por microrganismos termotolerantes sobreviventes, microrganismos do solo adjacente não tratado, do ar, da água ou aqueles introduzidos com material vegetal.

A forma como é recolonizado o solo tratado é de grande importância para a ocorrência de doenças de plantas. A redução da população de antagonistas, como resultado do tratamento com vapor, geralmente significa uma rápida disseminação do patógeno reintroduzido, levando ao chamado efeito “boomerang”. Assim, cuidados devem ser tomados para evitar a entrada do patógeno no solo tratado.

Ramírez *et al.* (1994), utilizando o vapor para o controle de *Fusarium oxysporum* f.sp. *dianthi* em uma plantação comercial de cravos na Colômbia, observaram uma rápida reinfestação do patógeno no solo tratado. Após 12 semanas do plantio, a incidência da doença foi de aproximadamente 20%, sendo o dobro após 20 semanas e 50% na colheita (27 semanas). Porém, a comprovada eficiência do método na eliminação de patógenos radiculares tem garantido a sua utilização de forma tradicional em alguns cultivos, como, por exemplo, de ornamentais.

Um interessante equipamento portátil para desinfestação com vapor é descrito por Moyle & Hocking (1994).

Solarização do solo

Conceito e mecanismos

A solarização do solo foi desenvolvida em Israel, por Katan *et al.* (1976), e vem sendo utilizada

também em outros países, como Estados Unidos, Japão, Itália, Egito, Espanha e Brasil, entre outros (DeVay *et al.*, 1991; Ghini & Bettiol, 1995; Katan & DeVay, 1991; Souza, 1994).

A técnica consiste na utilização da energia solar para a desinfestação do solo, por meio da cobertura com um filme plástico transparente, antes do plantio (Figura 13.2). A solarização pode ser utilizada, tanto em condições de campo, em extensas áreas, como em cultivo protegido, e deve ser realizada preferencialmente durante o período de maior incidência de radiação solar.

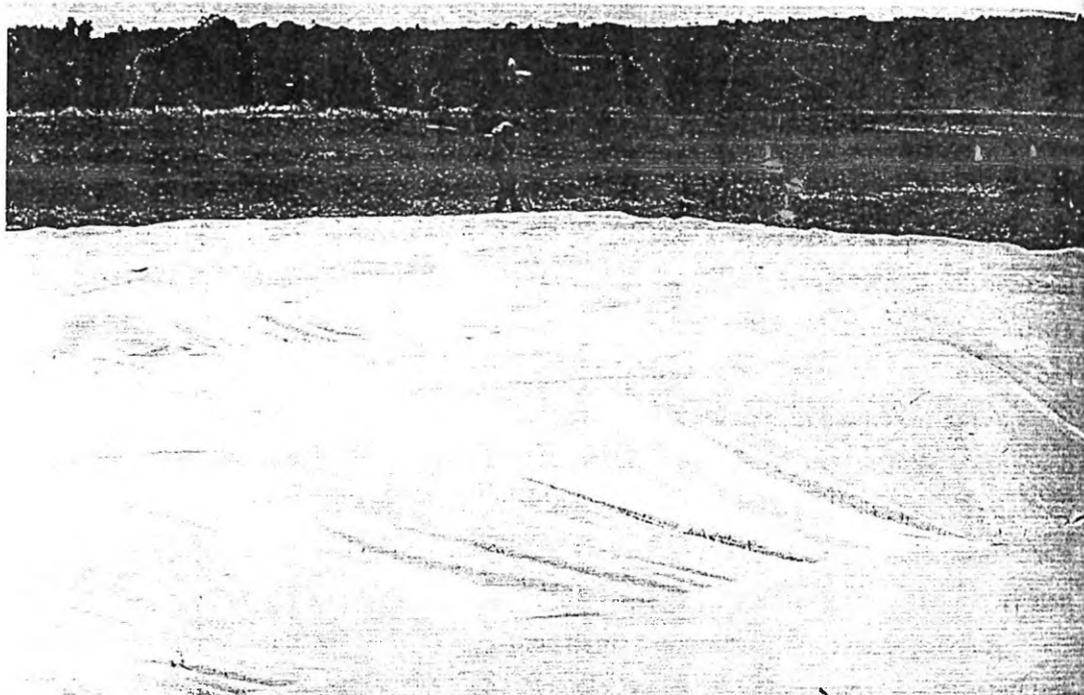


Figura 13.2. Tratamento de solo com solarização (Foto: Raquel Ghini).

Após a cobertura, as camadas superficiais do solo apresentam temperaturas superiores às do solo descoberto (Figura 13.3), sendo que o aquecimento é menor quanto maior for a profundidade. A inativação térmica de diversos patógenos apresenta, de modo geral, uma relação inversa entre tempo de exposição e temperatura, de forma que quanto menor a temperatura, um tempo maior de exposição é necessário para ocorrer a inativação das estruturas e vice-versa (Lefèvre & Souza, 1993a; Pullman *et al.*, 1981; Silva *et al.*, 1996; Viana & Souza, 1997). Por esse motivo, o filme plástico deve ser mantido por um período de tempo suficiente para que haja a inativação das estruturas localizadas nas camadas mais profundas do solo.

Parte da população de patógenos é morta pela exposição às maiores temperaturas, que geralmente ocorrem nas camadas superficiais do solo solarizado. A sensibilidade ao calor apresentada

por diversos patógenos de plantas pode indicar a possibilidade de controle através da solarização. Porém, apesar da exposição do patógeno ao calor ser um importante fator, não é o único mecanismo envolvido no controle. Os processos microbianos induzidos pela solarização podem contribuir para o controle da doença, já que o aquecimento do solo também atua sobre organismos não-alvo. Esses processos podem ter especial importância quando os efeitos acumulativos do calor são insuficientes para o controle do patógeno, como, por exemplo, nas camadas mais profundas do solo ou em climas menos favoráveis à solarização.

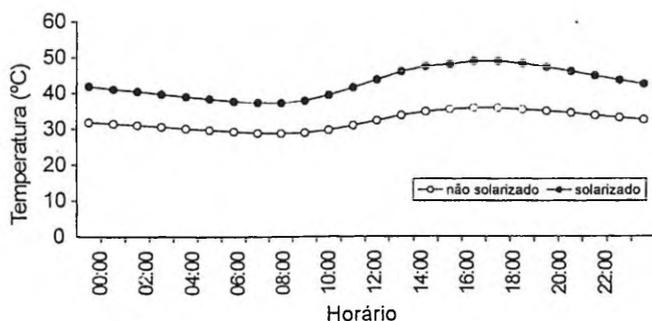


Figura 13.3. Temperaturas máximas do solo solarizado ou não solarizado, na profundidade de 10 cm, em Jaguariúna (SP), no mês de janeiro de 1993 (Ghini *et al.*, 1994).

Os propágulos dos patógenos, enfraquecidos pelas temperaturas subletais, dão condições e estimulam a atuação de antagonistas. Por exemplo, as temperaturas subletais produzem rachaduras em esclerócios, permitindo a penetração e a sua colonização por microrganismos antagonistas, como diversas espécies de bactérias (Lifshitz *et al.*, 1983).

Devido ao fato das temperaturas atingidas pelo solo durante a solarização serem relativamente baixas, quando comparadas com o aquecimento artificial (vapor), os seus efeitos nos componentes bióticos são menos drásticos, evitando a formação de "vácuos biológicos". Durante a solarização, as temperaturas atingidas permitem a sobrevivência de alguns grupos de microrganismos. De modo geral, os microrganismos parasitas de plantas são eliminados por temperaturas inferiores às necessárias para controlar os saprófitas, dentre eles muitos antagonistas (Tabela 13.1). Os parasitas possuem sistemas enzimáticos mais especializados do que os saprófitas, os quais colonizam uma maior gama de substratos. Sendo a desnaturação de enzimas um dos possíveis mecanismos de ação das altas temperaturas, os saprófitas apresentam maior termotolerância do que os patógenos (Baker, 1962b).

Tabela 13.1. Temperaturas letais para fungos de solo submetidos a 30 minutos de tratamento (adaptado de Baker & Roistacher, 1957 e Bollen 1969, 1985).

Temperatura (°C)	Saprófitas	Patógenos
> 90	<i>Tephrocybe carbonaria</i> , <i>Gilmaniella humicola</i>	
80 – 90	<i>Cladosporium staurophorum</i> , <i>Byssochlamys hivea</i> , <i>Eupenicillium</i> spp., <i>Neosartorya fumigata</i> , <i>Talaromyces flavus</i>	
70 – 80	<i>Gelasinospora cerealis</i> , <i>Penicillium thomy</i> <i>Trichophaea abundans</i> , <i>Mortierella</i> sect. <i>Isabellina</i>	
60 – 70	<i>Aspergillus fumigatus</i> <i>Trichoderma pseudokoningii</i>	<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>dianthi</i> <i>Olpidium brassicae</i>
50 – 60	<i>Trichoderma harzianum</i> <i>T. viride</i> , <i>Penicillium</i> spp. <i>Chaetomium</i> spp. <i>Doratomyces</i> spp. <i>Mortierella</i> spp. (excl sect. <i>Isabellina</i>) <i>Mucor</i> spp.	<i>Fusarium avenaceum</i> <i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>gladiolii</i> ; f.sp. <i>lycopersici</i> ; f.sp. <i>melongenae</i> <i>Fusarium roccolens</i> f.sp. <i>dianthi</i> <i>Plasmodiophora brassicae</i> <i>Synchytrium endobioticum</i> <i>Pythium ophanidermatum</i> <i>Phytophthora capsici</i>
< 50	<i>Pythium</i> spp.	<i>Colletotrichum coccodes</i> <i>Fusarium solani</i> f.sp. <i>phaseoli</i> <i>Didymella lycopersici</i> <i>Pythium sylvaticum</i> <i>Phomopsis scleroidioides</i> <i>Phialophora cinerescens</i> <i>Cylindrocladium destructans</i> <i>Verticillium dahliae</i> <i>Phytophthora cryptogea</i>

Enquanto populações de muitos microrganismos são reduzidas imediatamente após a solarização, diversos fungos termotolerantes, actinomicetos e *Bacillus* spp. são menos afetados ou até mesmo estimulados. Diversas *Pseudomonas* fluorescentes, conhecidas como colonizadoras benéficas de raízes e promotoras de crescimento, rapidamente colonizam o solo solarizado (Gamliel & Katan, 1993).

Como consequência, há uma alteração na composição microbiana, em favor de antagonistas, estimulando a supressividade do solo a patógenos e não é criado, portanto, o chamado “vácuo biológico”. A atividade microbiana que ocorre durante a solarização promove um controle biológico, em adição ao efeito térmico. Por esse motivo, a reinfestação de um solo solarizado é mais difícil do que um solo que sofreu um tratamento esterilizante, como no caso do vapor ou um biocida químico, como, por exemplo, a fumigação com brometo de metila. A maior dificuldade de reinfestação permite

que o tratamento com solarização dure por períodos maiores do que os demais tratamentos, isto é, por diversos ciclos da cultura sem a necessidade de repeti-lo.

Efeitos da solarização

Muitos trabalhos de pesquisa descrevem o controle de uma grande variedade de patógenos pela solarização. A lista de fungos controlados com a solarização é longa, incluindo: *Bipolaris sorokiniana*, *Didymella lycopersici*, *Fusarium* spp., *Plasmodiophora brassicae*, *Pyrenochaeta* spp., *Pythium* spp., *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia* spp., *Sclerotium* spp., *Thielaviopsis basicola*, *Verticillium* spp. e outros. Alguns fungos são altamente sensíveis à solarização, como *Verticillium dahliae* e *Phytophthora* spp. Entre as bactérias, estão *Agrobacterium tumefaciens* e *Streptomyces scabies* e entre os nematóides, *Criconeilla*, *Ditylenchus*, *Globodera*, *Helicotylenchus*, *Heterodera*, *Meloidogyne*, *Paratrichodorus*, *Paratylenchus*, *Pratylenchus*, *Xiphinema* e outros; porém os melhores resultados têm sido obtidos com a combinação da solarização com outros métodos de controle. Alguns patógenos apresentam controle parcial ou inconsistente, como *Macrophomina*, *Fusarium oxysporum* f.sp. *pisi* e *Meloidogyne* (Katan & DeVay, 1991).

No Brasil, Ghini *et al.* (1992) e Ghini *et al.* (1993) relataram o controle de *V. dahliae* em berinjela e tomate, além de maior crescimento de plantas e produção, após a solarização por 30 e 50 dias. Além destes, bons resultados foram obtidos com a solarização no controle de *Pythium* em crisântemo (Bettiol *et al.*, 1994), do nematóide da galha (*Meloidogyne javanica*) em quiabeiro (Bettiol *et al.*, 1996), de esclerócios de *Sclerotium cepivorum* (Cunha *et al.*, 1993a; Cunha *et al.*, 1993b; Nunes, 1992; Pereira *et al.*, 1996a), *Sclerotium rolfsii* (Ghini *et al.*, 1997) e *Sclerotinia sclerotiorum* (Pereira *et al.*, 1996b). Por outro lado, Dias (1997) não obteve sucesso com o uso da solarização para o controle da morte prematura do maracujazeiro, causada por *Fusarium*, devido à alta infestação do solo e à resistência do patógeno a altas temperaturas.

Apesar de ser um tratamento tipicamente de pré-plantio, a solarização do solo obteve sucesso no controle de patógenos radiculares de algumas culturas perenes instaladas no campo. Nessa situação, podem surgir problemas com a sombra das plantas no solo, reduzindo a eficiência do tratamento; a possibilidade do aquecimento causar danos às raízes (Stapleton *et al.*, 1993) e a necessidade de controlar o patógeno em maiores profundidades e por mais tempo do que quando a solarização é aplicada antes do plantio de culturas anuais. Em pomares estabelecidos, a solarização promoveu o controle de *V. dahliae* em pistache (Ashworth & Gaona, 1982) e oliveira (Tjamos *et al.*, 1991) e *Rosellinia necatrix* (anamorfo: *Dematophora necatrix*) em macieira (Freeman *et al.*, 1990; Szejnert *et al.*, 1987) e abacateiro (López-Herrera *et al.*, 1998).

A solarização “de espaços” dentro de estufas com a finalidade de erradicar o inóculo presente nas estruturas pode ser realizada fechando-se a estufa e pendurando-se plásticos verticalmente. Nessas condições, a temperatura interna é superior a 60°C, promovendo a eliminação do inóculo remanescente dos últimos cultivos (Katan, 1996).

Quanto ao efeito em micorrizas, os resultados de diferentes trabalhos são contraditórios. Porém, no Brasil, Lefèvre & Souza (1993b) não observaram efeitos na população de micorrizas, assim como Roque (1993) concluiu que a solarização não afetou a população nativa de *Rhizobium*.

Além do controle de patógenos, diversas plantas daninhas também podem ser controladas pela solarização. Em muitas hortas comerciais, a solarização está sendo utilizada visando apenas ao controle das plantas daninhas, visto que significa uma grande redução de mão de obra, como no caso da alface. Geralmente, plantas daninhas anuais são mais sensíveis à solarização do que as perenes. Apesar disso, Ricci *et al.* (1997) obtiveram um significativo controle de tiririca (*Cyperus rotundus*) com a solarização, sendo que posteriormente, durante a fase de cultivo de cenoura e feijão de vagem, não houve necessidade da realização de capinas manuais. Porém, Kuva *et al.* (1995) não obtiveram controle de tiririca após a realização da solarização em condições de outono-inverno, devido às baixas temperaturas atingidas pelo solo durante o período.

Um maior crescimento de plantas é freqüentemente observado nos solos solarizados, assim como uma maior produtividade. Esse efeito, que pode ocorrer mesmo na ausência de patógenos, deve-se a diversos processos desenvolvidos durante a solarização, que envolvem mudanças nos componentes bióticos e abióticos do solo. O maior crescimento é resultado do controle de pragas ou patógenos primários e/ou secundários, alteração da comunidade microbiana do solo em favor de antagonistas ou microrganismos promotores de crescimento, inativação térmica de plantas invasoras e liberação de nutrientes no solo, como por exemplo, nitrogênio (nas formas de amônia e nitrato), cálcio e magnésio, devido à morte e decomposição de parte da microbiota. Essas alterações, além de outras, como mudanças na composição gasosa do solo, liberação de substâncias voláteis, melhoria da estrutura do solo e penetração profunda da umidade, constituem um processo integrado que altera o ambiente do solo, resultando em maior crescimento e produção de plantas.

A principal alteração na composição do solo refere-se a um aumento no teor de nitrogênio, na forma de amônia e nitrato, cálcio e magnésio, além da maior condutividade elétrica. Esse efeito, provavelmente, é resultado da liberação de nutrientes minerais solúveis pela matéria orgânica e pelos microrganismos mortos pela ação do calor.

Aspectos práticos da aplicação da solarização

Recomenda-se realizar o tratamento de solarização durante o período de maior intensidade de radiação solar. Em Jaguariúna - SP, um levantamento das temperaturas do solo solarizado mostrou que, para a região, o período do ano mais favorável à solarização é o de setembro a março (Ghini *et al.*, 1994). Porém, as maiores temperaturas no solo solarizado são atingidas nos meses de novembro, dezembro e janeiro (Figura 13.4).

A principal característica do filme plástico utilizado é a transparência, que permite a passagem dos raios solares e promove de forma eficiente o efeito estufa e, assim, o maior aquecimento do solo. Os filmes pretos e de outras cores não são recomendados por não serem tão eficientes na elevação da temperatura do solo. A espessura do plástico tem influência sobre sua durabilidade e custo. Por esse motivo, plásticos com 25 a 50 mm têm sido recomendados. Plásticos mais espessos são mais caros, porém podem ser reaproveitados. Plásticos retirados de estufas podem ser utilizados para a solarização, mas apresentam uma eficiência reduzida, fazendo com que o tratamento tenha que ser prolongado para se obter os mesmos resultados, devido ao tratamento realizado durante a sua produção, não permitindo a passagem de todos os comprimentos de luz.

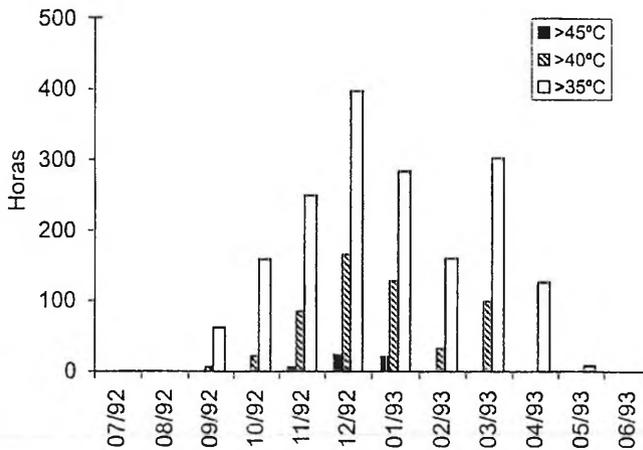


Figura 13.4. Número de horas acumuladas com temperaturas acima de 35°C, 40°C e 45°C em solo solarizado durante o período de julho de 1992 a junho de 1993, em Jaguariúna, SP (Ghini *et al.*, 1994).

Um polímero na forma líquida está sendo testado para ser utilizado no lugar do plástico convencional (Stapleton, 1990). Apesar de ainda estar em fase experimental, apresenta grande potencial de uso devido às vantagens quanto a aplicação no campo por meio de pulverização, o que facilita a operação de colocação do plástico.

A instalação do filme plástico em grandes áreas pode ser feita por máquinas especialmente desenvolvidas para tal finalidade ou manualmente, em áreas menores ou estufas. O terreno deve ser preparado de forma usual, isto é, por meio de aração e gradagem, eliminando-se galhos e outros materiais pontiagudos, que possam perfurar o plástico. A fixação do filme plástico é feita enterrando-se as suas bordas em sulcos no solo, de forma que permaneça sobre o terreno sem a formação de bolsas de ar, cobrindo toda a área a ser tratada. A emenda de dois filmes deve ser feita enterrando-se as bordas de ambos num único sulco.

Com a finalidade de aumentar a eficiência do tratamento, alguns testes foram realizados com uma camada dupla de plástico, onde o primeiro filme é colocado aderido ao solo e o segundo permanece suspenso por um túnel ou uma estrutura metálica, separado por um espaço de 15 a 60 cm (Ben-Yephet *et al.*, 1987; Duff & Connelly, 1993; Le Bihan *et al.*, 1997). A camada de ar entre os dois plásticos age como um isolante térmico, impedindo perdas de calor. As maiores temperaturas atingidas pelo solo fazem com que o período de tratamento possa ser reduzido, como ocorre na solarização em estufas fechadas.

A umidade do solo é importante para a eficiência do tratamento, visto que no solo úmido ocorre a germinação de estruturas de resistência dos patógenos, tornando-as mais sensíveis à ação da temperatura e dos microrganismos antagônicos. Assim sendo, o plástico deve ser colocado após uma chuva ou irrigação.

A área tratada com a solarização deve ser a maior possível e contínua. A solarização do solo em faixas não é recomendada devido à possibilidade de reinfestação do solo solarizado com o inóculo presente na faixa não tratada e devido ao "efeito de borda". Esse efeito é causado pelas menores temperaturas atingidas pelo solo nas bordas da área solarizada, devido à perda de calor para a área sem o plástico, resultando na sobrevivência de patógenos nesse local. Estima-se que em uma faixa de 60 cm nas bordas, aproximadamente, as temperaturas atingidas não são suficientes para um controle satisfatório (Grinstein *et al.*, 1995). Mesmo para o tratamento de canteiros, sugere-se que a solarização seja realizada em área contínua e os canteiros sejam construídos posteriormente. Assim, não se recomenda a solarização de uma área inferior a 3 x 4 m, aproximadamente.

Devido às dificuldades do agricultor em monitorar a temperatura do solo ou a população do patógeno durante a solarização, o controle de plantas daninhas constitui-se num excelente indicador da eficiência do método. A presença de plantas daninhas pode significar que as temperaturas atingidas não foram suficientes para um controle satisfatório. Quando a solarização é bem sucedida, há o controle efetivo de plantas invasoras.

O uso de herbicidas pode ser reduzido nos solos solarizados devido ao significativo controle apresentado. Outro motivo para a redução da quantidade de determinados herbicidas de pré-emergência

é o fato das populações de microrganismos decompositores de tais produtos poderem ser reduzidas com a solarização. Assim, há o aumento da eficiência e da persistência do herbicida no solo, podendo ser detectada, em certos casos, fitotoxicidade na cultura, mesmo com a aplicação da dose recomendada.

O tempo de tratamento deve ser o maior possível, isto é, enquanto o solo não estiver sendo cultivado, recomenda-se a permanência do filme plástico. Quanto maior o período de tratamento, melhores resultados serão obtidos, visto que o controle pode atingir maiores profundidades no solo, além de garantir uma maior porcentagem de mortalidade do patógeno. De modo geral, em condições de campo, o tempo necessário para o tratamento é de quatro semanas ou mais. Em condições de estufa, esse período pode ser reduzido, devido às maiores temperaturas obtidas na estufa fechada. Após o período de solarização, o plástico deve ser retirado do campo, podendo ser reaproveitado para nova solarização ou reciclado. A recontaminação do solo por meio, por exemplo, de material de propagação infectado ou água contaminada, deve ser evitada para garantir um efeito duradouro.

A solarização é uma tática de manejo de doenças que pode ser usada em um sistema de manejo integrado, aumentando as chances de um controle mais efetivo. Devido ao enfraquecimento das estruturas dos patógenos, durante a solarização, pode ocorrer um efeito sinérgico entre os diversos métodos adotados. Assim, a solarização pode ser associada, por exemplo, à incorporação de matéria orgânica no solo, à aplicação de fungicidas em subdosagens ou ao controle biológico, por meio do uso de um ou mais antagonistas para colonizar o solo solarizado. Matérias orgânicas, especialmente os resíduos de crucíferas (que apresentam alto teor de compostos que contém enxofre), liberam compostos voláteis tóxicos quando aquecidas (Gamliel & Stapleton, 1993a), aumentando os efeitos da solarização por meio do processo de biofumigação (Gamliel & Stapleton, 1993b; Keinath, 1996; Ramirez-Villapudua & Munnecke, 1987; Ramirez-Villapudua & Munnecke, 1988; Subbarao & Hubbard, 1996). Por outro lado, a cobertura com plástico previne ou retarda a perda desses produtos voláteis para a atmosfera, aumentando a eficiência do tratamento.

Todavia, é fundamental adaptar a solarização ao sistema de produção utilizado, compatibilizando-a com as outras táticas de manejo. Um exemplo interessante foi relatado por Chellemi *et al.* (1994) para o cultivo de tomate em clima úmido, na busca de uma alternativa ao brometo de metila. Diversos tipos de plástico foram testados, em combinação com diversos produtos químicos e incorporação de restos culturais. Ao final da solarização, o plástico não foi retirado do campo, ao invés disso, foi pintado de branco com tinta latex, e funcionou como um "mulch" para a cultura do tomate, de forma compatível com o sistema de produção em uso e com pouco incremento nos custos de produção.

A solarização tem-se mostrado viável para diversas culturas, apresentando principalmente as

vantagens decorrentes do fato de não ser um método químico, o que implica em menores impactos no ambiente e ausência de riscos ao homem.

A redução na incidência de doenças pode durar vários ciclos da cultura sem a necessidade de repetir o tratamento de solarização. O efeito prolongado é resultado da pronunciada redução na quantidade de inóculo associada a uma mudança no equilíbrio biológico do solo, em favor de antagonistas, induzindo a supressividade a patógenos e retardando a reinfestação.

Porém, a solarização do solo não pode ser considerada uma solução ideal para todos os problemas com patógenos radiculares. Diversas limitações restringem o seu uso, como a necessidade de máquinas para sua aplicação em extensas áreas; a incompatibilidade com a época de cultivo de algumas culturas; o custo proibitivo para culturas menos rentáveis; a necessidade do terreno permanecer sem ser cultivado durante o período; além de possíveis limitações climáticas.

Entretanto, devido à simplicidade e à segurança de aplicação, tanto para o agricultor quanto para o ambiente, a solarização pode ser considerada como uma alternativa para o controle de patógenos habitantes do solo dentro de um sistema de manejo integrado.

Tratamento térmico de substratos para a produção de mudas

A desinfestação de substratos para a produção de mudas em recipientes é um sério problema para muitos agricultores. As mudas infectadas e os substratos contaminados disseminam os patógenos para novas áreas, além de propiciar o surgimento de doenças desde o início do ciclo da cultura, podendo significar sérios prejuízos. O principal tratamento utilizado é a fumigação com brometo de metila, porém, a proibição desse produto, que deverá ocorrer nos próximos anos, gerou a necessidade da obtenção de alternativas para a desinfestação de substratos.

Substratos podem ser desinfestados em câmaras especiais, onde o vapor é injetado sob pressão, como no caso de autoclaves. As vantagens e desvantagens do sistema são semelhantes às apresentadas para o uso de vapor em campo.

Alguns pequenos agricultores utilizam fornos a lenha para promover o aquecimento do substrato e eliminação de patógenos. O processo é empírico, além de significar um consumo de lenha.

O primeiro equipamento utilizando a energia solar com tal finalidade foi denominado coletor solar plano (Armond *et al.*, 1990). O coletor era constituído por canaletas de chapa de alumínio, onde se colocava o solo. Posteriormente, Ghini & Bettiol (1991) substituíram as canaletas por tubos, com o objetivo de facilitar a carga e descarga de substratos.

O coletor desenvolvido consiste, basicamente, de uma caixa de madeira que contém tubos

metálicos (ferro galvanizado, alumínio, cobre e outros) e uma cobertura de plástico transparente, que permite a entrada dos raios solares (Figura 13.5). O solo é colocado nos tubos pela abertura superior e, após o tratamento, retirado pela inferior, por meio da força da gravidade. Os coletores devem ser instalados com exposição na face norte (no hemisfério sul) e um ângulo de inclinação semelhante à latitude local acrescida de 10°, para garantir a maior incidência de radiação solar durante o ano todo. A colocação de isolantes térmicos (isopor, lã de vidro) no fundo do coletor (entre a chapa de alumínio e a madeira) pode auxiliar a retenção do calor no interior da caixa.

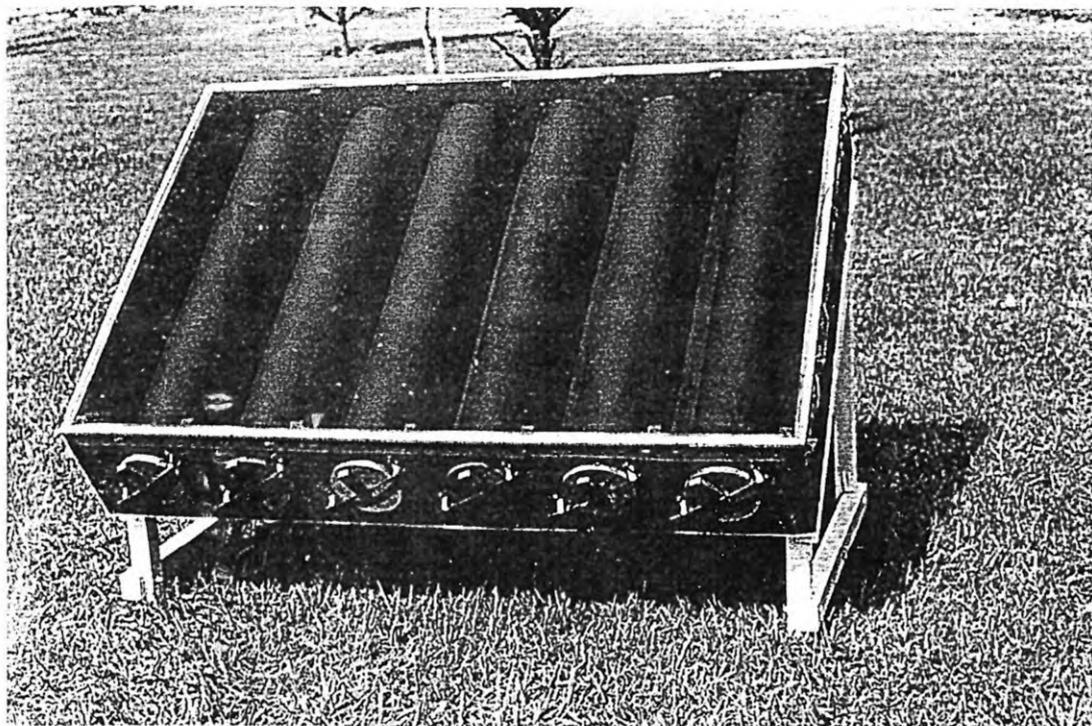


Figura 13.5. Coletor solar para desinfestação de substratos (Foto: Raquel Ghini).

Alguns patógenos habitantes do solo, como fungos, bactérias e nematóides, podem ser inativados no coletor em algumas horas de tratamento, devido às altas temperaturas atingidas (Figura 13.6), porém recomenda-se o tratamento por 1 ou 2 dias, durante qualquer período do ano. Ghini (1993) verificou que um dia de tratamento foi suficiente para o controle de *S. rolfsii*, *S. sclerotiorum*, *Fusarium solani* f.sp. *phaseoli* e *Pythium aphanidermatum*. Em outros testes com o coletor solar, Ghini *et al.* (1998) verificaram o controle de *Meloidogyne arenaria* em substratos para a produção de mudas de tomateiro.

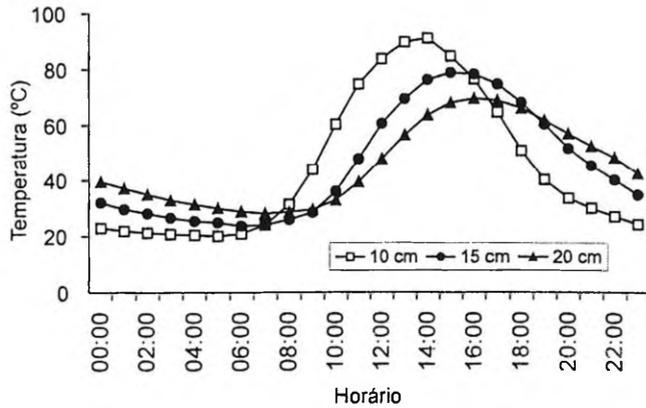


Figura 13.6. Temperatura média do solo no interior de coletores solares com tubos com diâmetro de 10, 15 e 20 cm (Ghini, 1993).

Em um trabalho de avaliação econômica da substituição do brometo de metila pelos coletores em um viveiro comercial, Ghini *et al.* (2000) estudaram os custos referentes à substituição no Núcleo de Produção de Mudanças da CATI, situado em São Bento do Sapucaí - SP. O volume de substrato tratado é de 400 m³/ano, demandando 200 latas de brometo (300 mL) ou 20 coletores solares (40 m³ de substrato/coletor/dia; 200 dias ao ano). A diferença para os custos anualizados de tratamento a favor do brometo de metila varia de R\$ 0,42 a R\$ 0,52/m³ de substrato, dependendo da taxa de juros usada. Porém, o trabalho não contempla as externalidades decorrentes de ambos os métodos quanto à saúde do aplicador, qualidade ambiental e problemas de resíduos. Quanto ao controle de fitopatógenos, foi verificado que um dia de tratamento nos coletores foi suficiente para erradicar a população de *Fusarium spp.*, *Phytophthora sp.*, *Meloidogyne sp.*, *Helicotylenchus sp.* e nematódos não parasitos. Atualmente, o Núcleo de Produção de Mudanças substituiu totalmente o brometo de metila pelos coletores.

O equipamento, quando comparado com outros sistemas tradicionais de desinfestação (autoclaves, fornos à lenha ou aplicação de brometo de metila) apresenta diversas vantagens: não consome energia elétrica ou lenha, é de fácil manutenção e construção, não apresenta riscos para o operador e tem baixo custo. Além disso, o uso do coletor permite a sobrevivência de microrganismos termotolerantes benéficos que impedem a reinfestação pelo patógeno, o que não ocorre nos tratamentos com brometo de metila e autoclaves que esterilizam o solo, criando um "vácuo biológico".

Sacos plásticos transparentes também podem ser utilizados para a desinfestação de substrato. Kaewruang *et al.* (1989) obtiveram controle de diversos fungos radiculares patogênicos a *Gerbera*

após tratamento do substrato (lotes de 30 kg) em sacos plásticos transparentes (60 x 65 cm, espessura de 0,2 mm) por 3 a 4 semanas ao sol. May (1994), utilizando sacos plásticos menores (20 x 25 x 4 cm, contendo 2 litros de material), concluiu que o tratamento de substrato pré-inoculado com *Phytophthora parasitica* controlou o patógeno no verão em 48 horas, porém o controle não ocorreu no inverno. Paralelamente, testes realizados no coletor solar demonstraram que houve a eliminação do patógeno nas duas estações em 24 horas, devido às maiores temperaturas alcançadas nos tubos dos coletores do que nos sacos plásticos. Os problemas relacionados ao uso de saco plástico se referem ao pequeno volume de substrato tratado, o longo tempo gasto para o tratamento e a necessidade de alterar a posição dos sacos plásticos de tempos em tempos para garantir um tratamento mais homogêneo.

Termoterapia de órgãos de propagação

O uso da termoterapia no controle de doenças de plantas teve início de uma forma empírica, no século passado, na Escócia, através do tratamento de bulbos de plantas ornamentais com água quente, antes do plantio. O principal objetivo é a obtenção de material de propagação vegetal livre de patógenos. Com tal propósito, a termoterapia é um método eficiente, que consegue eliminar os patógenos, tanto interna quanto externamente, dos tecidos do hospedeiro. A técnica tem sido usada para controlar doenças da cana-de-açúcar, cereais, hortaliças, ornamentais e frutíferas, porém tem sido limitada pelo empirismo e pela falta de utilização das informações publicadas.

O princípio básico da termoterapia reside no fato de que o patógeno é eliminado por tratamentos em determinadas relações tempo-temperatura que produzem poucos efeitos deletérios no material vegetal. Nesse caso, quanto maior for a diferença entre a sensibilidade térmica do hospedeiro e do patógeno, maiores serão as chances de sucesso da termoterapia.

No tratamento de bulbos de gladiolo tamanho 4/6 para o controle de *Fusarium oxysporum* f.sp. *gladioli*, Garcia-Jimenez & Alfaro-Garcia (1985) alertam para o fato de que há uma margem muito estreita entre a temperatura letal ao patógeno (53,3° e 57,2°C) e ao hospedeiro (57,2° e 60°C), tornando necessário um rigoroso controle da temperatura durante o tratamento. Dependendo da cultivar, a temperatura pode variar de 53° a 55°C por 30 minutos. A integração da termoterapia com o controle químico pode melhorar a eficiência do tratamento (Migheli & Garibaldi, 1994).

Vários fatores podem afetar a sensibilidade térmica, como o teor de umidade do material vegetal; a dormência; a idade e o vigor, especialmente das sementes; a condição das camadas externas do material a ser tratado; as condições de temperatura durante o desenvolvimento da planta; o tamanho do material e a suscetibilidade varietal (Baker, 1962b). Assim sendo, devido ao efeito de

diversas variáveis, a relação tempo-temperatura não pode ser reduzida a uma fórmula geral aplicável a todos os casos. Ela deve ser determinada experimentalmente, sendo que, de modo geral, é escolhida a menor temperatura letal ao patógeno, no menor tempo, resultando em um tratamento uniforme e com menor gasto de energia. Silva *et al.* (1987) conseguiram a erradicação total de *Tylenchulus semipenetrans* de mudas de citros infestadas artificialmente com 4000 larvas/planta, mediante imersão das raízes nuas em água a 50°C por 10 a 20 minutos.

O mecanismo de ação da temperatura, tanto no controle de patógenos quanto na injúria do hospedeiro é complexo, sendo que um ou vários fatores podem estar envolvidos, como desnaturação de proteínas, liberação de lipídeos, destruição de hormônios, asfixia de tecidos, destruição de reservas e injúria metabólica com ou sem acúmulo de intermediários tóxicos.

O tratamento pelo calor pode ser feito, basicamente, de duas formas: através de uma intensa e curta exposição, geralmente usada para erradicação de microrganismos, ou através de uma pouco intensa e longa exposição ao calor, utilizada para reduzir a concentração do patógeno na planta e, geralmente, associada à cultura de meristemas. Para tanto, o material de propagação pode ser tratado com água quente, ar quente ou vapor. De modo geral, o tratamento com água quente é feito com maiores temperaturas do que o método com ar quente. A associação com o tratamento químico, isto é, o uso de fungicidas dissolvidos na calda, pode aumentar a eficiência do tratamento.

Desinfestação de solução nutritiva em cultivo hidropônico

Em cultivos hidropônicos, uma vez introduzido um patógeno radicular, há uma rápida e uniforme disseminação do mesmo, levando a perdas significativas de produção. O inóculo pode ter origem na própria água usada no preparo da solução nutritiva, haja vista que, por exemplo, já foram encontrados propágulos de espécies fitopatogênicas de *Fusarium* em água de chuva coletada em coberturas de estufas. Muitas vezes por problemas econômicos ou de poluição ambiental, há a necessidade de se reutilizar a solução nutritiva, que geralmente se encontra contaminada. Nesses sistemas fechados onde há o reaproveitamento da solução nutritiva, a eliminação de patógenos é fundamental. Um dos principais problemas do tratamento é o volume de líquido a ser tratado. Além disso, outras fontes de contaminação devem ser identificadas e desinfestadas, como o material vegetal e recipientes. Com a finalidade de reduzir o risco devido aos fitopatógenos radiculares, estão sendo usados diversos métodos físicos de desinfestação da solução nutritiva, como o tratamento térmico e a radiação ultravioleta.

Os tempos de exposição e as temperaturas usadas no tratamento térmico são baseados nos dados disponíveis para o tratamento de solo com vapor. Via de regra, para o controle de fungos e vírus, é recomendado o tratamento a 95°C por 30 segundos (Runia, 1995).

O ultravioleta é uma radiação eletromagnética com comprimento de onda entre 100 e 400 nm. Alguns comprimentos de ultravioleta (200 a 280 nm, com um ótimo em 253,7 nm) apresentam altíssimo poder germicida, destruindo os microrganismos por reações fotoquímicas. De modo geral, o tratamento recomendado para a eliminação de vírus é de 250 mJ/cm² e para fungos, 100 mJ/cm² é suficiente (Runia, 1994). Stanghellini *et al.* (1984) controlaram *P. aphanidermatum* em solução nutritiva de um cultivo hidropônico de espinafre, usando uma fonte de ultravioleta que emitia 30 mW/cm²/s a 253,7 nm. Mas, houve necessidade de compensar a precipitação de ferro, cuja concentração diminuiu de 4,5 para 0,1 mg/mL após 24 horas do tratamento.

Outros métodos físicos

Apesar de apresentar pouca utilidade prática, o uso de microondas para a desinfestação de solo foi testado algumas vezes com sucesso para o tratamento de pequenas quantidades de solo (Ferriss, 1984). O solo (0,5 a 4 kg) foi acondicionado em sacos de polipropileno e tratado por alguns minutos em um forno microondas (2540 MHz, 625 W). O controle de *Pythium*, *Fusarium* e alguns nematóides foi obtido nessas condições. Quando comparado com autoclaves, o tratamento com microondas libera menor teor de nutrientes na solução do solo. A eficiência do tratamento depende da composição granulométrica do solo, do teor de umidade, da quantidade de solo e da duração da radiação. Em geral, os efeitos do tratamento com microondas parecem estar relacionados com o aquecimento do solo.

A cobertura do solo com filmes plásticos coloridos tem sido realizada com diversas finalidades, dentre as quais estão a maior conservação da umidade e o controle de plantas invasoras, porém alguns trabalhos têm demonstrado alterações na interação planta-patógeno. Nesse sentido, Fortnum *et al.* (1995) e Fortnum *et al.* (1997) observaram alterações na produção de ovos e galhas de *Meloidogyne incognita* em tomateiros crescidos com diferentes cores de cobertura plástica do solo.

Considerações finais

Num momento em que se discute a sustentabilidade da agricultura, tendo em vista a crescente preocupação com os aspectos ambientais, os métodos físicos tomam importância e voltam a ser estudados. A importância pode ser notada com o considerável aumento do uso de métodos físicos, como é o caso da solarização em diversos países. Muitos trabalhos de pesquisa, porém, ainda são necessários para o pleno desenvolvimento de métodos físicos de controle de patógenos radiculares.

Bibliografia

- Armond, G., Braga, C.A.S., Bettiol, W. & Ghini, R. Coletor solar plano para tratamento térmico do solo. *O Agrônomo* 42: 185-189. 1990.
- Ashworth Jr, L.J. & Gaona, S.A. Evaluation of clear polyethylene mulch for controlling *Verticillium* wilt in established pistachio nut groves. *Phytopathology* 72: 243-246. 1982.
- Baker, K.F. Principles of heat treatment of soil and planting material. *The Journal of Australian Institute of Agricultural Science* 28: 118-126. 1962a.
- Baker, K.F. Thermotherapy of planting material. *Phytopathology* 52: 1244-1255. 1962b.
- Baker, K.F. & Roistacher, C.N. Heat treatment of soil. In: Baker, K.F. (Ed.) *The U.C. System for Producing Healthy Container-grown Plants*. Berkeley. California Agriculture Experiment Station Extension Service. 1957. pp.123-137. (California Agriculture Experiment Station Extension Service Manual, 23).
- Ben-Yephet, Y., Stapleton, J.J., Wakeman, R.J. & DeVay, J.E. Comparative effects of soil solarization with single and double layers of polyethylene film on survival of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum*. *Phytoparasitica* 15: 181-185. 1987.
- Bettiol, W., Ghini, R., Galvão, J.A.H. & Zocchi, S.S. Solarização do solo para o controle de *Pythium* e plantas daninhas em crisântemo. *Scientia Agricola* 51: 459-462. 1994.
- Bettiol, W., Ghini, R., Cunha, M.I.B., Tratch, R. & Galvão, J.A.H. Solarização do solo para controle de *Meloidogyne javanica* em quiabeiro. *Horticultura Brasileira* 14: 158-160. 1996.
- Bollen, G.J. De invloed van het stomen op biologische eigenschappen van de grond. *Tuinbouwmededelingen* 32: 475-480. 1969.
- Bollen, G.J. Lethal temperatures of soil fungi. In: Parker, C.A., Rovira, A.D., Moore, K.J. & Worland, P.T.W. (Eds.) *Ecology and Management of Soilborne Plant Pathogens*. St. Paul. APS Press. 1980. pp.191-193.
- Chellemi, D.O., Olson, S.M., Mitchell, D.J., Secker, I. & McSorley, R. Adaptation of soil solarization to the integrated management of soilborne pests of tomato under humid conditions. *Phytopathology* 87: 250-258. 1994.
- Cunha, M.G., Zambolim, L., Vale, F.X.R., Chaves, G.M. & Alves, H. Efeito da solarização sobre a sobrevivência de escleródios de *Sclerotium cepivorum* no solo. *Fitopatologia Brasileira* 18: 55-60. 1993a.
- Cunha, M.G., Zambolim, L., Vale, F.X.R., Chaves, G.M. & Alves, H. Avaliação da solarização com filmes de polietileno transparente, preto ou branco no controle da podridão branca do alho (*Sclerotium cepivorum*). *Fitopatologia Brasileira* 18: 199-205. 1993b.

- DeVay, J.E., Stapleton, J.J. & Elmore, C.L. Soil Solarization. Rome. FAO. 1991.
- Dias, M.S.C. Efeito da solarização no controle da morte prematura de maracujazeiros (Tese de Doutorado). Botucatu. Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP. 1997.
- Duff, J.D. & Connelly, M.I. Effect of solarisation using single and double layers of clear plastic mulch on *Pythium*, *Phytophthora* and *Sclerotium* species in a nursery potting mix. Australasian Plant Pathology 22: 28-35. 1993.
- Ferriss, R.S. Effects of microwave oven treatment on microorganisms in soil. Phytopathology 74: 121-126. 1984.
- Fortnum, B.A., Decoteau, D.R. & Kasperbauer, M.J. Colored mulches affect yield of fresh-market tomato infected with *Meloidogyne incognita*. Journal of Nematology 29: 538-546. 1997.
- Fortnum, B.A., Decoteau, D.R., Kasperbauer, M.J. & Bridges, W. Effect of colored mulches on root-knot of tomato. Phytopathology 85: 312-318. 1995.
- Freeman, S., Szejnberg, A., Shabi, E. & Katan, J. Long-term effect of soil solarization for the control of *Rosellinia necatrix* in apple. Crop Protection 9: 312-316. 1990.
- Gamliel, A. & Katan, J. Suppression of major and minor pathogens by fluorescent pseudomonads in solarized and nonsolarized soils. Phytopathology 83: 8-75. 1993.
- Gamliel, A. & Stapleton, J.J. Characterization of antifungal volatile compounds evolved from solarized soil amended with cabbage residues. Phytopathology 83: 899-905. 1993a.
- Gamliel, A. & Stapleton, J.J. Effect of chicken compost or ammonium phosphate and solarization on pathogen control, rhizosphere microorganisms, and lettuce growth. Plant Disease 77: 886-891. 1993b.
- Garcia-Jimenez, J. & Aigaro-Garcia, A. Inspeccion Fitosanitaria del Bulbo de Gladiolo: Estudio Basico. Bogotá. Servicio contra Plagas e Inspección Fitopatológica. 1985. (Boletín del Servicio contra Plagas e Inspección Fitopatológica, 3).
- Ghini, R. A solar collector for soil disinfestation. Netherlands Journal of Plant Pathology 99: 45-50. 1993.
- Ghini, R. & Bettiol, W. Coletor solar para desinfestação de substratos. Summa Phytopathologica 17: 281-286. 1991.
- Ghini, R. & Bettiol, W. Controle físico. In: Bergamin Filho, A., Kimati, H., Amorim, A. (Eds.) Manual de Fitopatologia: Princípios e Conceitos. 3. ed. São Paulo. Agronômica Ceres. 1995. v.1, pp.786-803.
- Ghini, R., Bettiol, W. & Caldari Jr., P. Solarização do solo para o controle de *Sclerotium rolfsii* em feijoeiro. Summa Phytopathologica 23: 143-145. 1997.

- Ghini, R., Bettiol, W. & Souza, N.L. de. Solarização do solo para o controle de *Verticillium dahliae* em berinjela. *Fitopatologia Brasileira* 17: 384-388. 1992.
- Ghini, R., Inomoto, M.M. & Saito, E.S. Coletor solar no controle de *Meloidogyne arenaria* em substratos para produção de mudas. *Fitopatologia Brasileira* 23: 65-67. 1998.
- Ghini, R., Paraiba, L.C. & Lima, M.W.P. Determinação de período para solarização do solo na região de Campinas/SP. *Summa Phytopathologica* 20: 131-133. 1994.
- Ghini, R., Bettiol, W., Spadotto, C.A., Moraes, G.J., Paraiba, L.C. & Mineiro, J.L.C. Soil solarization for the control of tomato and eggplant *Verticillium* wilt and its effect on weed and micro-arthropod communities. *Summa Phytopathologica* 19: 183-189. 1993.
- Ghini, R., Marques, J. F., Tokunaga, T., Bueno, S. C. S. Controle de *Phytophthora* sp. e avaliação econômica do coletor solar para desinfestação de substratos. *Fitopatologia Venezuelana* 13: 11-14, 2000.
- Grinstein, A., Kritzman, G., Hetzroni, A., Gamliel, A., Mor, M. & Katan, J. The border effect of soil solarization. *Crop Protection* 14: 315-320. 1995.
- Kaewruang, W., Sivasithamparam, K. & Hardy, G.E. Effect of solarization of soil within plastic bags on root rot of gerbera (*Gerbera jamesonii* L.). *Plant and Soil* 120: 303-306. 1989.
- Katan, J. Soil solarization: integrated control aspects. In: Hall, R. (Ed.) *Principles and Practice of Managing Soilborne Plant Pathogens*. St. Paul. APS Press. 1996. pp. 250-278.
- Katan, J. & DeVay, J.E. *Soil solarization*. Boca Raton. CRC Press. 1991.
- Katan, J., Greenberger, A., Alon, H. & Grinstein, A. Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soil-borne pathogens. *Phytopathology* 66: 683-688. 1976.
- Keinath, A.P. Soil amendment with cabbage residue and crop rotation to reduce gummy stem blight and increase growth and yield of watermelon. *Plant Disease* 80: 564-570. 1996.
- Kuva, M.A., Alves, P.L.C.A. & Erasmo, E.L.A. Efeitos da solarização do solo com plástico transparente sobre o desenvolvimento de tiririca (*Cyperus rotundus* L.) em condições de outono-inverno. *Científica* 23: 331-341. 1995.
- Le Bihan, B. Le, Soulas, M.L., Camporota, P., Salerno, M.I. & Perrin, R. Evaluation of soil solar heating for control of damping-off fungi in two forest nurseries in France. *Biology and Fertility of Soils* 25: 189-195. 1997.
- Lefèvre, A.F.V. & Souza, N.L. Determinação da temperatura letal para *Rhizoctonia solani* e *Sclerotium rolfsii* e efeito da solarização sobre a temperatura do solo. *Summa Phytopathologica* 19: 107-112. 1993a.
- Lefèvre, A.F.V. & Souza, N.L. Efeito da solarização sobre algumas variáveis do solo. *Summa Phytopathologica* 19: 113-118. 1993b.

- Liegel, L.H. Effects of sterilization procedures on biological, chemical, and physical properties of soils: a review. *Turrialba* 36: 11-19. 1986.
- Lifshitz, R., Tabachnik, M., Katan, J. & Chet, I. The effect of sublethal heating on sclerotia of *Sclerotium rolfsii*. *Canadian Journal of Microbiology* 29: 1607-1610. 1983.
- López-Herrera, C.J., Pérez-Jiménez, R.M., Zea-Bonilla, T., Basallote-Ureba, N. & Melero-Vara, J.M. Soil solarization in established avocado trees for control of *Dematophora necatrix*. *Plant Disease* 82: 1088-1092. 1998.
- May, L.L. Controle biológico, físico e químico de *Phytophthora parasitica* Dastur em mudas de citros (Dissertação de Mestrado). Piracicaba. ESALQ-USP. 1994.
- Migheli, Q. & Garibaldi, A. Termoterapia e concia chimica di bulbo-tuberi di gladiolo infetti da *Fusarium oxysporum* f.sp. *gladioli*. *Atti Giornate Fitopatologiche* 3: 297-304. 1994.
- moys, a.I. & hocking, R.P. *In situ* soil steaming for the control of apple replant disease. *Applied Engineering in Agriculture* 10: 59-63. 1994.
- Nunes, M.E.T. Solarização do solo e seleção de microrganismos antagônicos para o controle de *Sclerotium cepivorum* Berk., agente causal da podridão branca da cebola (*Allium cepa* L.) (Dissertação de Mestrado). Piracicaba. ESALQ-USP. 1992.
- Pereira, J.C.R., Chaves, G.M., Zambolim, L., Matsuoka, K., Silva-Acuña, R. & Vale, F.X.R. Controle integrado de *Sclerotium cepivorum* Berk. pelo uso combinado de vermicomposto, solarização, *Trichoderma harzianum* e *Bacillus subtilis*. *Summa Phytopathologica* 22: 228-234. 1996a.
- Pereira, J.C.R., Chaves, G.M., Zambolim, L., Matsuoka, K., Silva-Acuña, R. & Vale, F.X.R. Controle integrado de *Sclerotinia sclerotiorum*. *Fitopatologia Brasileira* 21:254-260. 1996b.
- 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* 71: 959-964. 1981.
- Ramírez, F, Ramírez, A., Arbeláez, G. & Herrera, R. Control de *Fusarium oxysporum* f.sp. *dianthi* en clavel mediante tratamiento al suelo con vapor y el fumigante telone C-17. *Fitopatologia Colombiana* 18: 114-117. 1994.
- Ramirez-Villapudua, J. & Munnecke, D.E. Control of cabbage yellows (*Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans*) by solar heating of field soils amended with dry cabbage residues. *Plant Disease* 71: 217-221. 1987.
- Ramirez-Villapudua, J. & Munnecke, D.E. Effect of solar heating and soil amendments of cruciferous residues on *Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans* and other organisms. *Phytopathology* 78: 298-295. 1988.

- Ricci, M.S.F., Almeida, D.L. & Guerra, J.G.M. Efeito da Solarização na População Infestante de Tiririca (*Cyperus rotundus*) e na População de Hortaliças. Seropédica. Embrapa Agrobiologia. 1997. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 18).
- Roque, M.R.A. Efeitos de solarização do solo na simbiose de *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* Conn. e fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em feijoeiro (Dissertação de Mestrado). Botucatu. Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP. 1993.
- Runia, W.Th. Elimination of root-infecting pathogens in recirculation water from closed cultivation systems by ultra-violet radiation. *Acta Horticultrae* 361: 361-371. 1994.
- Runia, W.Th. A review of possibilities for disinfection of recirculating water from soilless cultures. *Acta Horticultrae* 382: 221-229. 1995.
- Silva, H.P., Monteiro, A.R. & Ferraz, L.C.C.B. Tratamento hidrotérmico de mudas de citros para a erradicação de *Tylenchulus semipenetrans*. *Nematologia Brasileira* 11: 143-152. 1987.
- Silva, S., Ceresini, P.C., Souza, N.L. De & Aguiar, L.F. Sensibilidade térmica micelial e esclerocial de isolados de *Rhizoctonia solani* GA 4 HGI. *Summa Phytopathologica* 22: 252-256. 1996.
- Souza, N.L. Solarização do solo. *Summa Phytopathologica* 20: 3-15. 1994.
- Stanghellini, M.E., Stowell, L.J. & Bates, M.L. Control of root rot of spinach caused by *Pythium aphanidermatum* in a recirculating hydroponic system by ultraviolet irradiation. *Plant Disease* 68: 1075-1076. 1984.
- Stapleton, J.J. Sprayable polymer mulches for soil solarization and soil sealing applications in the San Joaquin Valley of California. *Proceedings, 8th Congress of the Mediterranean Phytopathological Union, Agadir, Morocco*. 1990. pp.419-421.
- Stapleton, J.J., Paplomatas, E.J., Wakeman, R.J. & DeVay, J.E. Establishment of apricot and almond trees using soil mulching with transparent (solarization) and black polyethylene film: effects on *Verticillium* wilt and tree health. *Plant Pathology* 42: 333-338. 1993.
- Subbarao, K.V. & Hubbard, J.C. Interactive effects of broccoli residue and temperature on *Verticillium dahliae* microsclerotia in soil and on wilt in cauliflower. *Phytopathology* 86: 1303-1310. 1996.
- Sztejnberg, A., Freeman, S., Chet, I. & Katan, J. Control of *Rosellinia necatrix* in soil and apple orchard by solarization and *Trichoderma harzianum*. *Plant Disease* 71: 365-369. 1987.
- Tjamos, E.C., Biris, D.A. & Paplomatas, E.J. Recovery of olive trees with *Verticillium* wilt after individual application of soil solarization in established olive orchards. *Plant Disease* 75: 557-562. 1991.
- Viana, F.M.P. & Souza, N.L. Efeito da temperatura e da tensão de água do substrato na germinação de microscleródios de *Macrophomina phaseolina*. *Summa Phytopathologica* 23: 236-239. 1997.