

INFORME TÉCNICO

(Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro)

V.1 N° 6 Ano 2021 ISSN 2763-7484



Biofumigação do Solo com Espécies da Família Brassicaceae: Uma Tecnologia em Potencial

Carlos Antônio dos Santos
Antonio Carlos de Souza Abboud
Margarida Goréte Ferreira do Carmo

© 2021 – UFRRJ / Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia
Rodovia BR-465, Km 07, s/n, Instituto de Agronomia, 23897-000, Seropédica-RJ.
<http://cursos.ufrj.br/posgraduacao/ppgf/informe-tecnico/>
informetecnicoppgf@gmail.com

INFORME TÉCNICO (Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro)

Volume: 1 Número: 6 Ano: 2021 ISSN: 2763-7484 DOI: <https://doi.org/10.29327/837780.1-6>

Conselho editorial

Dra. Margarida Goréte Ferreira do Carmo

Dr. Carlos Antônio dos Santos

Dr. Rogério Gomes Pêgo

Dr. Junior Borella

M.Sc. Gustavo Torres Dos Santos Amorim

Revisores *ad hoc*

Dra. Camila da Costa Barros de Souza

Dr. Júlio César Ribeiro

Fotos da capa

Carlos Antônio dos Santos

Projeto gráfico

Carolina F. de Carvalho, Carlos A. dos Santos

Ficha Catalográfica

Even3 Publicações

Contatos dos autores deste artigo:

carlosantoniokds@gmail.com; abboud@ufrj.br; gorete@ufrj.br

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Even3 Publicações, PE, Brasil)

I43

Informe Técnico [recurso eletrônico] / Carlos Antônio dos Santos, Antonio Carlos de Souza Abboud, Margarida Goréte Ferreira do Carmo; organizado pelo Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. – Vol. 1, n. 6 (nov/dez. 2021) – Rio de Janeiro: PPGF, UFRRJ, 2021.

Tema: Biofumigação do Solo com Espécies da Família Brassicaceae:
Uma Tecnologia em Potencial

Bimestral

DOI 10.29327/837780.1-6

ISSN 2763-7484

1. Fitotecnia - Periódico. 2. Biofumigação do solo. 3. Família Brassicaceae. I. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia.

II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. III. Título.

CDD 630

CDU 631

Elaborado por Amanda Rodrigues – CRB-4/1241

APRESENTAÇÃO

O INFORME TÉCNICO (Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro) foi idealizado em 2020 e implementado em 2021 com o propósito de divulgar resultados de pesquisas que resultaram em tecnologias ou informações prontamente aplicáveis e acessíveis aos produtores ou aos diversos profissionais que atuam em diferentes segmentos da produção vegetal. Com linguagem simples e direta, visa levar informações e/ou inovações aos agricultores, extensionistas, profissionais técnicos, agrônomos, estudantes e professores vinculados a área de Agronomia.

Cada número aborda um tema específico, relacionado às diferentes áreas de concentração e linhas de pesquisa do PPG-Fitotecnia/UFRRJ. Neste sexto número, “Biofumigação do solo com Espécies da Família Brassicaceae: Uma Tecnologia em Potencial”, serão apresentadas informações sobre a técnica conhecida como “biofumigação do solo”, bem como recomendações práticas e exemplos promissores com o seu uso.

A aplicação de biomassa de brássicas na biofumigação tem sido estudada visando o controle de uma série de fitopatógenos e com respostas positivas comprovadas cientificamente. O conhecimento aplicado sobre esta técnica avançou substancialmente nos últimos anos, apesar de ainda ser pouco conhecida e pouco utilizada no Brasil. Em alguns países como a Itália, por exemplo, já existem produtos/formulações comerciais a base de brássicas, bem como, cultivares selecionadas para uso específico na biofumigação. Este informe técnico, portanto, tem como objetivo difundir informações sobre esta técnica visando encorajar a realização de pesquisas e a sua utilização no Brasil. Esta técnica tem potencial para uso em áreas de cultivo de hortaliças, em sistemas convencionais e em sistemas de manejo orgânico ou de base agroecológica.

Comissão Editorial

INTRODUÇÃO

O cultivo intensivo associado a práticas inadequadas de manejo do solo e das culturas tendem a agravar os danos causados por patógenos habitantes do solo e a elevar as perdas de produtividade, no Brasil e no mundo (DIXON & TILSTON, 2010; LOPES & MICHEREFF, 2018). Cultivos sequenciados de espécies de uma mesma família, ou de espécies suscetíveis a um mesmo fitopatógeno, favorecem a sobrevivência e a disseminação de diferentes agentes causadores de doença de plantas como *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii*, *Fusarium* spp., *Pythium* spp., *Phytophthora* spp., *Erwinia* spp., *Ralstonia solanacearum*, *Meloidogyne* spp., e, conseqüentemente, o aumento da incidência e da severidade das respectivas doenças causadas. Este quadro pode não só afetar negativamente a produtividade e encarecer os custos de produção, como também inviabilizar, pelo menos temporariamente, o uso das áreas para o cultivo de espécies suscetíveis.

A fumigação do solo é uma técnica antiga e muito utilizada para o controle de pragas e fitopatógenos do solo, especialmente em cultivos convencionais intensivos e em cultivos protegidos. Nesta, produtos químicos voláteis e de ação não-específica são aplicados ao solo ou substrato como forma de controle desses agentes (LADHALAKSHMI et al., 2015; LEITE & LOPES, 2018). Como exemplo clássico, temos o brometo de metila (CH_3Br) que foi, historicamente, o mais utilizado e com cerca de 75% do seu uso a nível mundial associado a fumigação do solo de culturas hortícolas (EPSTEIN, 2014). Com a proibição do uso do brometo de metila (CH_3Br) criou-se uma lacuna no setor e fomentou-se a busca de novas opções. Atualmente existem dois ingredientes ativos registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil em substituição ao brometo de metila, o metam-sódico ($\text{C}_2\text{H}_4\text{NNaS}_2$) e o dazomete ($\text{C}_5\text{H}_{10}\text{N}_2\text{S}_2$) (AGROFIT, 2021), ambos precursores do composto volátil conhecido como isotiocianato de metila.

A esterilização do solo com fumigantes químicos é uma técnica incompatível com os sistemas de produção mais sustentáveis e que valorizam a atividade biológica do solo. Dentre as alternativas propostas está a “biofumigação”, hoje muito utilizada em países como Índia, Austrália e Itália. A biofumigação consiste na aplicação ou incorporação de resíduos

de plantas capazes de liberar compostos voláteis bioativos no solo. Entre as espécies mais utilizadas estão plantas da família Brassicaceae por apresentarem glucosinolatos em sua composição, em concentrações variáveis conforme a espécie e outras variáveis de ambiente e manejo. Os glucosinolatos, após hidrólise enzimática, liberam gases com ação biofumigante e bioativa contra uma série de microrganismos, incluindo agentes fitopatogênicos (SANTOS et al., 2021).

O procedimento requer o pré-cultivo da brássica seguido de incorporação da biomassa ao solo, o que traz benefícios adicionais como adição de matéria orgânica e consequente melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (KIRKEGAARD, 2009; CLARKSON et al., 2015). Além desta metodologia, outras formas de aplicação têm sido preconizadas como a aplicação de farelo das sementes de brássicas, que é o resíduo da extração do óleo, além de formulações líquidas e *pellets* produzidos a partir da mostarda etíope ou mostarda abissínia (*Brassica carinata*) (SANTOS et al., 2021).

Este informe técnico tem como objetivo apresentar a técnica de biofumigação do solo utilizando plantas da família Brassicaceae. O texto foi elaborado visando contemplar aspectos gerais sobre a técnica e seus benefícios, principais espécies utilizadas e formas de aplicação, recomendações de manejo e exemplos de resultados e avanços práticos obtidos com o uso da técnica.

ASPECTOS GERAIS SOBRE A TÉCNICA DE BIOFUMIGAÇÃO DO SOLO

Definição de biofumigação do solo

O termo “biofumigação” foi originalmente criado para descrever o processo de cultivo, fragmentação e incorporação de resíduos de brássicas (espécies pertencentes a família Brassicaceae), visando a liberação de compostos voláteis pela hidrólise dos glucosinolatos (GSLs) presentes nos tecidos destes vegetais (KIRKEGAARD et al., 1993). Esta hidrólise deve-se à presença da enzima conhecida comumente como mirosinase, que é fisicamente separada dos GSLs nos tecidos intactos destas plantas (ROSA et al., 1997; LADHALAKSHMI et al., 2015). Dentre os diferentes produtos biologicamente ativos resultantes da hidrólise dos GSLs, estão os isotiocianatos (ITCs) (SANTOS et al., 2021). Estes compostos, ao serem

liberados no solo, têm efeitos deletérios, cientificamente comprovados, contra uma série de fitopatógenos.

Nas últimas décadas, estudos científicos sobre esta técnica têm comprovado efeitos positivos no controle de doenças de plantas causadas por patógenos habitantes do solo, elucidado processos e mecanismos envolvidos, e permitido o desenvolvimento de tecnologias para a sua aplicação em cultivos comerciais. Parte destes avanços tecnológicos e demais experiências exitosas obtidas ao redor do mundo estão bem detalhadas em dois textos recentes de Santos et al. (2021) e de Dutta et al. (2019).

Biofumigação associada à solarização do solo

A biofumigação do solo, que também pode ser conhecida como desinfestação aeróbia do solo, pode ser combinada com outras técnicas como a solarização do solo (LADHALAKSHMI et al., 2015). A solarização do solo é o aproveitamento da energia solar para elevar a temperatura do solo, previamente umedecido e coberto com filmes de polietileno transparente (GAMLIEL & KATAN, 2009). Diversos estudos recentes apontam resultados positivos da combinação das duas técnicas com a justificativa de que os efeitos são potencializados, principalmente em regiões tropicais, como é o caso do Brasil, onde a radiação solar é abundante (ROS et al., 2008; VILLALOBOS et al., 2013; GAMLIEL & BRUGGEN, 2016).

Benefícios da biofumigação do solo com brássicas

Na biofumigação com a incorporação de biomassa de brássicas, além da liberação dos ITCs, conforme anteriormente mencionado, outros efeitos positivos também podem contribuir para a supressão de fitopatógenos habitantes no solo e para melhor desenvolvimento das plantas em sucessão. Dentre os quais, é possível mencionar o aumento do teor de matéria orgânica no solo e consequente melhoria de suas propriedades físicas, químicas e biológicas, influenciando na capacidade de retenção de água, ciclagem de nutrientes, estímulo à atividade microbiana e consequente melhoria na qualidade do solo (Figura 1).

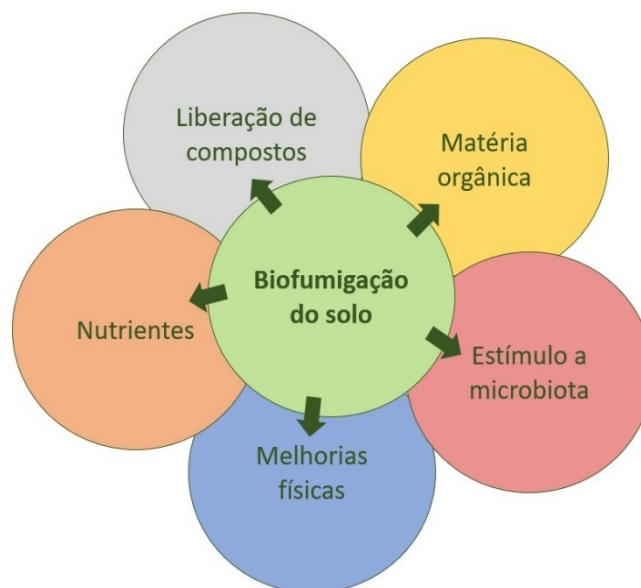


Figura 1. Benefícios da biofumigação do solo com biomassa de brássicas que incluem a liberação de compostos com propriedades biocidas (ITCs), fornecimento de matéria orgânica e de nutrientes, melhoria das propriedades físicas do solo e estímulo à atividade microbiana. Fonte: Elaborado pelos autores.

PRINCIPAIS ESPÉCIES DE BRÁSSICAS UTILIZADAS E SUAS FORMAS DE UTILIZAÇÃO

Principais espécies de brássicas utilizadas na técnica de biofumigação

As espécies de brássicas mais comumente utilizadas na biofumigação do solo pertencem aos gêneros *Brassica*, *Raphanus*, *Sinapis* e *Eruca*, como exemplo, a mostarda-marrom (*Brassica juncea*), mostarda-negra (*Brassica nigra*), mostarda-branca (*Sinapis alba*), rabanete (*Raphanus sativus*), rúcula (*Eruca sativa*), *Brassica oleracea* e suas variedades botânicas como o repolho (*B. oleracea* var. *capitata*) (MATTHIESSEN & KIRKEGAARD, 2006; CLARKSON et al., 2015; SANTOS et al., 2021). Na aplicação destes materiais o produtor poderá escolher uma das estratégias possíveis de utilização da técnica considerando as características do sistema de produção, as condições edafoclimáticas locais, eventuais custos e viabilidade de transporte, e a disponibilidade dos materiais.

Formas de utilização

A biofumigação do solo com espécies pertencentes a família Brassicaceae pode ser feita de diversas formas. O cultivo da brássica, seguido de sua incorporação como um adubo verde, é a estratégia mais utilizada. No entanto, a técnica também pode ser realizada por meio da inserção de brássicas de importância econômica nas sequências de rotação de culturas na área; por meio da aplicação de resíduos vegetais frescos ou secos provenientes de outra área; e por meio da aplicação de resíduos industriais, como tortas oriundas da prensagem e extração do óleo das sementes de brássicas. Em alguns países como a Itália, por exemplo, já existem produtos e formulações comerciais registrados com a marca Biofence® (*pellets* e líquido) e que contém altos teores de GSLs (SANTOS et al., 2021). Ainda, também são comercializadas sementes de algumas variedades de brássicas destinadas especificamente para a prática da biofumigação por conterem altos teores de GSLs. Com exemplo, podem ser citadas as cultivares cv. ISCI 20 e cv. ISCI 99 de *B. juncea* e Nemat de *E. sativa* (TRIUMPH, 2015).

Escolha das espécies de brássicas

Quando o produtor optar pela utilização das brássicas na forma de adubo verde, há aspectos importantes que devem ser considerados na escolha das espécies e cultivares: adaptação climática às condições locais, priorizando-se aquelas que tenham boa rusticidade e rendimento de biomassa; suscetibilidade à doenças, incluindo a que se pretende controlar (KIRKEGAARD, 2009; DONALD et al., 2010; LAZZERI et al. 2013). Por exemplo, em áreas com elevada distribuição de esporos resistentes de *Plasmodiophora brassicae*, patógeno específico das brássicas e causador da hérnia das crucíferas (SANTOS, 2020), o uso da biofumigação por meio da adubação verde com brássicas não deve ser recomendado por riscos ao aumento do potencial de inóculo no solo.

Incorporação ao solo

Na incorporação da biomassa de brássicas como adubo verde, alguns aspectos importantes devem ser considerados visando aumentar a eficiência da técnica. O máximo acúmulo de GSLs nos tecidos das brássicas

ocorre, em geral, durante o início do florescimento das plantas (KIRKEGAARD, 2009) sendo este, portanto, o período ideal para a sua incorporação ao solo. O corte e fragmentação da biomassa também interfere na sua eficiência. Quanto mais desuniforme e maiores os fragmentos, mais heterogênea será a sua distribuição e liberação dos compostos voláteis (MAWAR & LODHA, 2015). Logo, tanto a biomassa cultivada na área (adubo verde) quanto a biomassa trazida de outros locais, quando for o caso, devem ser bem fragmentadas e incorporadas ao solo, em profundidade de 15-20 cm, por meio de enxada rotativa ou grade de disco (KUMAR et al., 2018).

Importância da umidade do solo e do uso de filme plástico

A umidade do solo também é um aspecto muito importante que deve ser considerado na prática da biofumigação, pois a presença de água favorece a reação para a hidrólise dos GSLs presentes nos tecidos das brássicas. Com isso, é recomendado que após a fragmentação e incorporação, o solo seja irrigado até a capacidade de campo.

Como os compostos liberados na hidrólise dos GSLs são voláteis, as perdas podem ser parcialmente reduzidas se, após a incorporação e irrigação, for feita uma barreira física. Esta barreira pode ser feita com a cobertura do solo com filme plástico transparente, pela compactação ou selagem superficial com rolo compactador ou até mesmo com a irrigação. O uso do plástico não é obrigatório na biofumigação do solo, mas pode contribuir para o aumento de sua eficiência por potencializar a ação dos compostos liberados e por seus efeitos diretos devido ao aquecimento conforme anteriormente mencionado.

O plantio da cultura de interesse deve ser realizado somente após cerca de 15 dias ou mais da incorporação da massa verde ao solo. Este período é necessário para se minimizar eventuais problemas de fitotoxidez e para dissipação dos gases. O ideal é que sejam aguardadas de 3 a 4 semanas para o plantio da cultura de interesse (CLARKSON et al., 2015; SANTOS et al., 2021). Quando for feita a aplicação associada da biofumigação e solarização, o filme plástico deve ser retirado após o período discriminado acima, e o solo ligeiramente revolvido em seguida (Tabela 1). O plantio poderá ser feito 24 horas após o revolvimento, sendo

esse o tempo necessário para a liberação dos gases remanescentes (KUMAR et al., 2018).

Novas possibilidades de utilização e perspectivas de uso

A disponibilização de produtos derivados de sementes de brássicas e destinados para uso na biofumigação, bem como de sementes de cultivares específicas para uso nesta técnica ainda não estão disponíveis no Brasil. Dentre os materiais/produtos atualmente disponíveis em alguns países, estão resíduos como o farelo resultante da extração do óleo das sementes de algumas mostardas, como exemplo *B. carinata*, bem como formulações líquidas e *pellets* produzidas a partir destes materiais.

Os farelos ou tortas resultantes da prensagem das sementes de *B. carinata* para extração de óleo são ricos em GSLs e, portanto, de interesse para a produção de biofumigantes (KIRKEGAARD, 2009; LADHALAKSHMI et al., 2015). Estes materiais podem vir a ter grande aplicação para a produção de hortícolas por, além de conterem altos teores de GSLs, serem fontes de nitrogênio e outros nutrientes.

AGENTES CONTROLADOS E RESULTADOS PROMISSORES

Um estudo de meta-análises de dados coletados em 934 ensaios de biofumigação com resíduos de brássicas apontou redução da incidência de doenças e aumento, em torno de 30%, da produtividade em diferentes culturas (MORRIS et al., 2020), como as solanáceas, por exemplo.

Mais de 50 experiências promissoras de validação da biofumigação com espécies da família Brassicaceae estão detalhadas em Santos et al. (2021). Estas experiências incluem o uso da biofumigação no manejo de patógenos de solo (fungos e oomicetos, nematóides, bactérias e protozoários), sementes de plantas daninhas e insetos. Os resultados foram obtidos a partir de estudos com diversas espécies de importância, principalmente hortaliças como o tomate, batata, pimentas e pimentões.

Dentre os principais agentes controlados com o uso da biofumigação com brássicas podem ser exemplificados fitopatógenos como *Rhizoctonia solani*, *Verticillium dahliae*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Sclerotium rolfsii*, *Fusarium* spp. e *Phytophthora* spp., diferentes espécies de nematoides, especialmente do gênero *Meloidogyne*, e bactérias como a *Ralstonia*

solanacearum. Ainda, também é possível mencionar resultados promissores da biofumigação na redução do banco de sementes e propágulos de plantas daninhas presentes no solo (MATTHISSEN & KIRKEGAARD, 2006; DUTTA et al., 2019; PERNIOLA et al., 2019; SANTOS et al., 2021).

RESUMO GERAL SIMPLIFICADO DE RECOMENDAÇÕES PARA APLICAÇÃO PRÁTICA DA TÉCNICA DE BIOFUMIGAÇÃO DO SOLO

Tabela 1. Resumo de recomendações para realização da biofumigação do solo com uso de plantas da família Brassicaceae (brássicas ou crucíferas).

- ✓ Escolher a estratégia mais apropriada às condições da área de plantio, sendo: a) plantio das brássicas como adubos verdes; ou b) inserção de espécies de brássicas nos sistemas de rotação de culturas; ou c) aplicação de resíduos de brássicas frescos ou secos; ou d) utilização de torta/farelo obtido da prensagem das sementes de brássicas ou produtos/formulações comerciais (se disponíveis).
- ✓ Quando as espécies foram cultivadas na área para fins de biofumigação, escolher as mais adaptadas, rústicas e com maior produção de biomassa e teores de glucosinolatos (GSLs).
- ✓ Cortar e incorporar a biomassa quando as plantas iniciarem a floração, pois neste período ocorre os maiores teores de GSLs nos tecidos das plantas.
- ✓ Fragmentar bem o tecido vegetal antes da incorporação, pois fragmentos menores e mais bem homogeneizados no solo permitem maior liberação de compostos com propriedades contra fitopatógenos e outros.
- ✓ Irrigar a área até a capacidade de campo após a incorporação para favorecer a hidrólise dos GSLs no solo.
- ✓ A cobertura da área com filme plástico transparente é benéfica, porém opcional. Esta prática favorece o aprisionamento dos gases, e os efeitos do aumento da temperatura potencializa os efeitos da biofumigação.
- ✓ O plantio da cultura de interesse na área deve ser feito preferencialmente de 3 a 4 semanas após a incorporação dos resíduos no solo. Não deve ser realizado antes de 15 dias por riscos de fitotoxidez.
- ✓ Caso seja utilizado plástico na cobertura do solo, este deve ser retirado considerando os prazos anteriormente mencionados e o solo parcialmente revolvido para eliminação dos gases remanescentes. O plantio da cultura de interesse pode ser feito 24 horas após esta retirada.
- ✓ Os resultados com o uso da biofumigação podem ser variáveis em função da espécie utilizada na biofumigação, patógeno-alvo e fase do seu ciclo, além das características do solo da área de cultivo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A biofumigação pode ser uma estratégia importante no manejo integrado de doenças causadas por patógenos habitantes do solo. Resultados positivos foram observados ao redor do mundo em situações onde as metodologias tem sido aplicadas corretamente. Esta técnica foi desenvolvida e tem sido predominantemente utilizada com o uso das brássicas, que são as espécies da família Brassicaceae. Estas acumulam os glucosinolatos (GSLs) nos seus tecidos que, após hidrólise enzimática, liberam no solo os isotiocianatos (ITCs) com forte ação biocida. No entanto, apesar de não ter sido o alvo desta publicação, deve ser considerado que uma série de pesquisas e aplicações práticas com a técnica também tem sido feitas com o uso de resíduos de outros tipos de plantas, não-brássicas, bem como resíduos orgânicos, principalmente materiais ricos em nitrogênio (N).

Os avanços no conhecimento científico aplicado permitiram superar longo período de empirismo com o uso da biofumigação. Atualmente, as informações avançaram ao ponto de se conhecer os mecanismos de ação, moléculas predominantes, efeitos detalhados *in vitro* e *in vivo* sobre uma ampla gama de fitopatógenos, além de aplicações práticas com o desenvolvimento de produtos comerciais e cultivares específicas.

Esta técnica pode ter especial interesse para sistemas orgânicos de produção e em sistemas de produção de base agroecológica. Deve-se considerar, no entanto, que apesar dos múltiplos benefícios no solo conforme anteriormente discutido, este tipo de prática não é seletiva, e estudos que abordem os seus efeitos na microbiota benéfica do solo ainda são escassos. Ainda, em função da multiplicidade de fatores envolvidos, existe a necessidade de se realizarem estudos contextualizados às condições tropicais. Expectativas de aumento do uso da técnica a nível comercial são esperadas para os próximos anos, a exemplo do que tem ocorrido em outros países, especialmente na Europa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento

Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento e concessão de bolsas de estudo.

SOBRE OS AUTORES

Carlos Antônio dos Santos: Engenheiro agrônomo formado pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) (2015), Mestre e Doutor em Fitotecnia pela UFRRJ (2017, 2020, respectivamente). Atualmente é pesquisador (nível pós-doutorado) no Departamento de Fitotecnia (IA) da UFRRJ. **Antonio Carlos de Souza Abboud:** Engenheiro agrônomo formado pela UFRRJ (1982), Mestre em Agronomia (Ciências do Solo) pela UFRRJ (1986), e Doutor em Agroecologia pela Dalhousie University (1992); Professor Titular do Departamento de Fitotecnia (IA) da UFRRJ. **Margarida Goréte Ferreira do Carmo:** Engenheira agrônoma formada pela UFV (1985), Mestra e Doutora em Fitopatologia pela UFV (1989 e 1994, respectivamente); Professora Titular do Departamento de Fitotecnia (IA) da UFRRJ.

REFERÊNCIAS CITADAS

- AGROFIT. **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários do Ministério da Agricultura**. 2021. Disponível em: < <https://bityli.com/HKWf0>>. Acesso em 27 de setembro de 2021.
- CLARKSON, J. et al. **Biofumigation for the control of soil-borne diseases**. EPI-AGRI. Soil-borne diseases. 2015. Available from < <https://bityli.com/7e1JGP> > Acesso em 16 de setembro de 2021.
- DIXON, G. R.; TILSTON E. L. Soil-borne pathogens and their interactions with the soil environment. In: DIXON, G. R.; TILSTON, E. L. **Soil Microbiology and Sustainable Crop Production**. Dordrecht, Netherlands: Springer, 2010. Cap. 6, p. 197-271.
- DONALD, D. et al. **Managing Soilborne Diseases in Vegetables: Rotation with green manure and biofumigant crops shows disease control & yield benefits**. Victoria: Department of Primary Industries, 2010.
- DUTTA, T. K. et al. Plant-parasitic nematode management via biofumigation using brassica and non-brassica plants: Current status and future prospects. **Current Plant Biology**, v. 17, p. 17-32, 2019.
- EPSTEIN, L. Fifty Years Since Silent Spring. **Annual Review of Phytopathology**, v. 52, p. 377-402, 2014.
- GAMLIEL, A.; BRUGGEN, A. H. C. Maintaining soil health for crop production in organic greenhouses. **Scientia Horticulturae**, v. 208, p. 120-130, 2016.
- GAMLIEL, A.; KATAN, J. Control of plant disease through soil solarization. In: WALTERS, D. **Disease Control in Crops: Biological and Environmentally Friendly Approaches**. Oxford: Wiley-Blackwell, 2009. Cap. 10, p. 196-220.
- KIRKEGAARD, J.A. et al. Biofumigation - using *Brassica* species to control pests and diseases in horticulture and agriculture. In: WRATTEN, N.; MAILER, R. J. **Proceedings of the 9th Australian Research Assembly on Brassicas**. Wagga Wagga, The Assembly, 1993. p. 77-82.
- KIRKEGAARD, J. Biofumigation for plant disease control - from the fundamentals to the farming system. In: WALTERS, D. **Disease Control in Crops: Biological and Environmentally Friendly Approaches**. Oxford: Wiley-Blackwell, 2009. Cap. 9, p. 172-195.
- KUMAR, G. N. K. et al. Disease management by Biofumigation in organic farming system. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 7, n. 4, p. 676-679, 2018.
- LADHALAKSHMI, D. et al. Biofumigation in crop disease management. In: GANESAN, S. et al. **Sustainable Crop Disease Management using Natural Products**. Boston: CAB International, 2015. Cap. 19, p. 389-402.
- LAZZERI, L. et al. Bio-based products from *Brassica carinata* A. Braun oils and defatted meals by a second generation biorefinery approach. **Proc. 19th European Biomass Conference**. Berlin, Germany, 6-10, p. 1080-1092. 2011.
- LEITE, I. C. H.; LOPES, U. P. Controle químico de patógenos radiculares. In: LOPES, U. P.; MICHEREFF, S. J. (eds). **Desafios do Manejo de Doenças Radiculares Causadas por Fungos**. Recife: EDUFRPE, 2018. Cap. 11, p. 179-192.

- LOPES, U. P.; MICHEREFF, S. J. (eds). **Desafios do Manejo de Doenças Radiculares Causadas por Fungos**. Recife: EDUFRPE, 2018. 208p.
- MATTHIESSEN, J. N.; KIRKEGAARD, J. A. Biofumigation and enhanced biodegradation: opportunity and challenge in soilborne pest and disease management. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 25, p. 235-65, 2006.
- MAWAR, R.; LODHA, S. Suppression of soilborne plant pathogens by cruciferous residues. In: MEGHVANSI M.; VARMA A. (eds). **Organic Amendments and Soil Suppressiveness in Plant Disease Management**. Cham: Springer, 2015. Cap. 20, p. 413-433.
- MORRIS, E. K. et al. Effective methods of biofumigation: a meta-analysis. **Plant and Soil**, v. 446, p. 379-392, 2020.
- PERNIOLA, O. S. et al. Biofumigación con *Brassica juncea*: efecto sobre la flora arvense. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 118, n. 1, p. 25-35, 2019.
- ROS, M. et al. Effects of biosolarization as methyl bromide alternative for *Meloidogyne incognita* control on quality of soil under pepper. **Biology and Fertility of Soils**, v. 45, p. 37-44, 2008.
- ROSA, E. A. S. et al. GSLs in crop plants. **Horticultural Reviews**, v. 19, p. 99-215, 1997.
- SANTOS, C. A. **Produção de brássicas na Região Serrana do Rio de Janeiro: Relação entre atributos de solo, práticas de manejo, hérnia das crucíferas e contaminação por metais**. 2020. 122p. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020.
- SANTOS, C. A.; ABOUD, A. C. S. CARMO, M. G. F. Biofumigation with species of the Brassicaceae family: a review. **Ciência Rural**, v. 51, n. 1, p. 1-17, 2021.
- TRIUMPH ITALIA. **Catalogo**. 2015. Available from: <<https://bitly.com/N5cEaL>>. Acesso em 28 de setembro de 2021.
- VILLALOBOS, J. A. M.; VALLE, M. A. V.; RODRÍGUEZ, H. M.; COHEN, I. S. **Producción de chile (*Capsicum annuum* L.) a campo abierto con biofumigación del suelo**. Durango: INIFAP, 2013.

Realização:



Apoio:

