

**BIOFUMIGAÇÃO ASSOCIADA À SOLARIZAÇÃO NO
CONTROLE DE *Meloidogyne incognita* EM ALFACE**

Tassiana Borges Silva
Eng^a. Agrônoma

TASSIANA BORGES SILVA

**BIOFUMIGAÇÃO ASSOCIADA À SOLARIZAÇÃO NO CONTROLE DE
Meloidogyne incognita EM ALFACE**

Orientador: Prof^a. Dr^a. Gleina Costa Silva Alves

Dissertação apresentada ao Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas para obtenção do título de MESTRE.

Urutaí – GO
2021

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- Tese Artigo Científico
 Dissertação Capítulo de Livro
 Monografia – Especialização Livro
 TCC - Graduação Trabalho Apresentado em Evento
 Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____

Nome Completo do Autor: Tassiana Borges Silva

Matrícula: 2019101330540240

Título do Trabalho: Biofumigação associada à solarização no controle de *Meloidogyne incognita* em alface.

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 04/05/2021

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

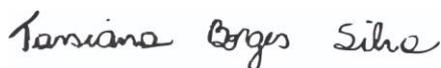
DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Araguari, 04/05/2021.

Local Data



Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

SSI586 Silva, Tassiana
b Biofumigação associada à solarização no controle de
 Meloidogyne incognita em alface / Tassiana Silva;
 orientadora Gleina Alves. -- Urutaí, 2021.
 17 p.

 Dissertação (Mestrado em Mestrado em Proteção de
 Plantas) -- Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí,
 2021.

 1. Nematóide. 2. Galhas. 3. Lactuca sativa. 4.
 Isotiocianatos. 5. Brássicas. I. Alves, Gleina,
 orient. II. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

FOLHA DE APROVAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Título da dissertação: Biofumigação associada à solarização no controle de *Meloidogyne incognita* em alface.

Orientadora: Profa. Dra. Gleina Costa Silva Alves

Autora: Tassiana Borges Silva

Dissertação de Mestrado APROVADA em 26 de março de 2021, como parte das exigências para obtenção do Título **MESTRA EM PROTEÇÃO DE PLANTAS**, pela Banca Examinadora especificada a seguir:

Profa. Dra. Gleina Costa Silva Alves

Dr. Jadir Borges Pinheiro

Prof. Dr. Leonardo de Castro Santos

IF Goiano - Campus

Urutaí

Embrapa

IF Goiano - Campus Rio

Verde

DEDICATÓRIA

À minha mamãe, Inês.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por ter me concedido força e perseverança nos momentos em que pensei em desistir.

À minha mãe e irmãs por terem me apoiado e incentivado.

Ao meu pai, que mesmo ausente fisicamente senti sua energia comigo em muitos momentos durante a trajetória do curso.

Aos meus amigos que me auxiliaram na realização deste sonho, em especial à Beliza, Thayne, Michelle e Luciana.

À professora Dra. Gleina Costa Silva Alves, pelo suporte e tempo dedicado para a realização deste trabalho.

Ao Dr. Jadir Borges Pinheiro e ao Dr. Leonardo de Castro Santos, por terem aceitado o convite de compor a banca examinadora e pela contribuição no trabalho.

Aos estagiários do laboratório de nematologia do IFGoiano, em especial ao Denilson por toda a colaboração na execução dos experimentos. Sem eles, esses resultados não seriam possíveis.

Ao Instituto Federal Goiano e ao Programa de Pós-Graduação, pela oportunidade na realização do mestrado.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação do Instituto Federal Goiano, pelos conhecimentos transmitidos.

Muito obrigada!!!

SUMÁRIO

<u>RESUMO</u>	v
<u>ABSTRACT</u>	vii
<u>INTRODUÇÃO</u>	1
<u>OBJETIVOS</u>	3
<u>MATERIAL E MÉTODOS</u>	4
<u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	7
<u>REFERÊNCIAS</u>	16

RESUMO

A alface (*Lactuca sativa*) é a folhosa de maior importância nacional. Porém, seu cultivo é influenciado pela incidência de patógenos, entre eles os nematoides, principalmente os do gênero *Meloidogyne* spp. Atualmente técnicas que não agridam o meio ambiente e que são voltadas para o cultivo orgânico de hortaliça tem sido desenvolvidas. Dentre as estratégias para controle desses fitonematoídeos, estão as técnicas de biofumigação e a solarização. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar a eficácia da biofumigação com resíduos de couve e repolho em associação ou não com solarização para o controle de *M. incognita* na cultura da alface. Os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x3+1 com quatro repetições. Sendo o primeiro fator a presença ou ausência de solarização do solo com plástico transparente de polietileno de 150 μ de espessura e o segundo a biofumigação com resíduos de couve (*Brassica oleracea* var. *acephala*), repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*) ou ausência de resíduos. O fator adicional utilizou-se da aplicação de nematicida microbiológico NEMAT[®] (*Paecilomyces lilacinus*). A parcela experimental consistiu em um vaso de três litros contendo uma planta de alface cv 'Vera'. Inicialmente, foram utilizadas plantas de tomate para o estabelecimento da população inicial de *M. incognita* no solo. Nos tratamentos submetidos à solarização e biofumigação, a matéria fresca foi incorporada ao solo e o vaso coberto por 30 dias com plástico de polietileno transparente. Para o processo apenas de biofumigação, a matéria fresca de repolho ou couve, conforme o tratamento, foi incorporada ao solo sete dias antes do transplântio das mudas de alface. Após a aplicação dos tratamentos, mudas de alface cv. 'Vera' foram transplantadas para os vasos contendo o solo tratado, e conduzidas por 55 dias. Foram avaliados: massa fresca da parte aérea e da raiz, número de ovos e nematoides nas raízes, número de nematoides em 200 cm³ de solo. A incorporação de resíduos de brássicas possibilitou um melhor desenvolvimento das plantas de alface, com incrementos da massa fresca das raízes e da parte aérea. Além disso, a população de *M. incognita* no solo nos tratamentos submetidos à biofumigação com repolho, independentemente do uso de solarização, bem como aquele com apenas solarização e a testemunha padrão com o nematicida microbiológico foram capazes de zerar o número de nematoides no solo. Os tratamentos com a presença de resíduos de couve, com o uso ou não da solarização foi capaz de reduzir o número de nematoides. Concluiu-se que a associação das técnicas de biofumigação com brássicas e solarização nas condições em que o experimento foi conduzido foi eficiente como estratégia para controle de *M. incognita*.

Palavras-chave: Nematóide; Galhas; *Lactuca sativa*; Isotiocianatos, Brássicas.

ABSTRACT

The lettuce (*Lactuca sativa*) is nationally the most important leaf vegetables. However, its cultivation is influenced by the incidence of pathogens, like the nematodes, mainly those of the genus *Meloidogyne* spp. Nowadays, techniques that are not aggressive for the environment and that prefer the organic cultivation of the vegetables, have been developed. Between among the strategies for the control of these phytonematodes, are the biofumigation and the solarization. Therefore, the objective of the present study was the assessment of the efficacy of the biofumigation with residues of kale and cabbage with association or not with solarization for the control of *M. incognita* in lettuce cultivation. The experiments were conducted entirely in randomized factorial scheme 2x3+1 with four repetitions. The first factor was the presence or absence of soil solarization, with transparent polyethylene plastic of 150 μ thickness and the second was the biofumigation with kale residues (*Brassica oleracea* var. *acephala*), cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*), or the absence of residues. The additional factor was the application of microbiological nematicide NEMAT® (*Paecilomyces lilacinus*). The experimental part consisted in a three liters bowl containing a 'Vera' lettuce. Initially, tomato plants were used for the establishment of the inicial population of *M. incognita* on the soil. In the treatments that were submitted to solarization and biofumigation, the fresh matter was incorporated into the soil and to the covered bowl for 30 days with the transparent polyethylene plastic. For the biofumigation process only, the fresh materia of cabbage or kale, according to the treatment, was incorporated to the soil seven days before the transplant of lettuce seedings. After the application of the treatments, 'Vera' lettuce seedings were transplanted into bowls containing the treated soil, and conducted for 55 days. The following were evaluated: fresh mass off the aerial part and the root, number of eggs and nematodes on the roots, number of nematodes in 200 cm² of the soil. The incorporation of brassicas residues enabled a better development of the lettuce plants, with increments of the fresh mass of the roots and the aerial part. In addition to that, the population of *M. incognita* on the soil, in the treatments submitted to biofumigation with cabbage, regardless of the use of solarization, such as that with only solarization and the standart witness with the microbiologic nematicide were able to annul the number of nematodes on the soil. The treatments with the presence of kale residues, with the use or not of solarization, were able to reduce the number of nematodes. We concluded that the association of techniques of biofumigation with brássicas and the solarization in the conditions that the experiment was conducted was efficient as a strategie of *M. incognita*.

Keywords: Nematode; galls; *Lactuca sativa*; Isothiocyanates, Brassicas.

INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa*) é a hortaliça folhosa mais difundida e de maior importância econômica no Brasil (PINHEIRO et al., 2020). Estima-se que no Brasil sejam cultivados aproximadamente 80 mil hectares dessa hortaliça por ano (ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI E FRUTI, 2018). Dados mais específicos são de difícil acesso, uma vez que no caso de hortaliças folhosas a comercialização se dá, normalmente, de forma direta entre produtores e o consumidor final.

A cadeia produtiva de alface apresenta vários desafios. O principal deles é o controle de doenças, sobretudo em cultivo de verão. Dentre os problemas fitossanitários que acometem a cultura da alface, os fitonematoides têm destaque no Brasil (LOPES et al., 2010), principalmente os do gênero *Meloidogyne*, com maior importância para as espécies *M. incognita* e *M. javanica* (PINHEIRO et al., 2017).

O ataque de nematoides do gênero *Meloidogyne* em áreas produtoras de alface, causa injúrias severas ao sistema radicular, como o surgimento de galhas e a redução no volume e tamanho de raízes. Porém, os danos também são diretamente observados na parte aérea da planta, como redução de quantidade (produtividade) e qualidade das folhas, o que reduz seu valor de mercado (FERRAZ; BROWN, 2016).

Para o manejo de nematoides na cultura da alface, espera-se que a ferramenta adotada tenha elevada eficiência e demande pouco tempo desde a aplicação até o controle. Tradicionalmente, o controle químico é aquele que melhor se adequa a essas exigências, porém a falta de nematicidas registrados para a cultura é um gargalo (PINHEIRO et al., 2020). Ainda, o uso indiscriminado de produtos químicos sem registro para a cultura pode causar danos ao meio ambiente, contrapondo às exigências do mercado consumidor, sobretudo aqueles com maior apelo por produtos orgânicos.

Portanto, táticas de manejo alternativas que contribuem para uma agricultura sustentável têm sido utilizadas. A solarização consiste na cobertura do solo por uma película plástica por algumas semanas anteriormente ao plantio (NEVES et al., 2007; KANAAN et al., 2016). A cobertura do solo somada à umidade e a alta radiação solar elevam a temperatura nas camadas superficiais e então promovem o controle dos nematoides, uma vez que pode alcançar temperaturas de até 60°C e temperaturas acima de 35°C causam danos ao desenvolvimento de nematoides (SILVA, 2011; ALVES, 2020). Ainda, a solarização induz processos na microbiota do solo que auxiliam no controle de fitonematoides (KATAN; DEVAY, 1991). Para nematoides

do gênero *Meloidogyne*, a solarização pode reduzir em até 99% o número de galhas e até 83% o número de ovos na cultura do feijão (SILVA et al., 2006; AL-HAZMI et al., 2017).

Além do uso como única estratégia de controle, a solarização tem apresentados maior eficiência quando combinada à biofumigação. A biofumigação é a incorporação de materiais orgânicos no solo, a fim de que sua decomposição libere compostos orgânicos voláteis (COV), capazes de controlar patógenos de solo (STAPLETON; DEVAY, 1986).

Quando a biofumigação é realizada com brássicas, dentre os COV liberado está o isotiocianato (ITC) que tem ação herbicida, fungicida, bactericida e nematicida (HANSCHEN; WINKELMANN, 2020; SANTOS et al., 2021). Os ITCs são reconhecidos como o subproduto mais tóxico, liberados após a hidrólise enzimática do composto glucosinolatos (sulfatos, isotiocianatos, tiocianatos, nitrilas e enxofre) (GIMSING; KIRKEGAARD, 2009; NTALLI; CARBONI, 2017). Esse composto apresentou 100% de eficiência no controle de *M. javanica* em tomateiro cultivado em vasos em casa de vegetação, o que comprova também sua ação nematicida (NEVES, 2003). Neves et al. (2007) concluíram que a biofumigação do solo com resíduo de brócolis e repolho reduziu o número de galhas e ovos de *M. javanica* presentes nas raízes de tomateiro em 23 e 85%, respectivamente, em relação a testemunha. Quando a técnica foi empregada em conjunto com a solarização, no número de galhas causadas por *M. javanica* reduziu em 60% e o número de ovos reduziu em 90% (NEVES et al., 2007).

Para a adoção da biofumigação como estratégia de controle de nematoides, é necessário compreender a eficiência e a aplicabilidade das moléculas de origem vegetal, bem como sua interação com outras estratégias de controle. Dessa forma, possibilita-se o manejo de nematoides sem oferecer riscos à saúde e ao meio ambiente, além de propor uma alternativa eficiente para os produtores de alface (SILVA et al., 2019), principalmente os produtores orgânicos de hortaliças.

OBJETIVO

Avaliar a eficácia da biofumigação com couve e repolho em associação ou não com solarização para o controle de *M. incognita* na cultura da alface em casa de vegetação.

MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos concomitantemente em casa de vegetação no Instituto Federal Goiano (IF GOIANO), Campus Urutaí, GO (17°29'3" S, 48°12'46" O, e 723 m de altitude). No período de outubro de 2019 a abril de 2020.

Os experimentos apresentaram os mesmos tratamentos e delineamento, sendo este o de blocos inteiramente casualizados em esquema fatorial 2 x 3 + 1 com quatro repetições. A parcela experimental foi composta por um vaso de três litros de capacidade contendo uma planta de alface, cultivar 'Vera'. Os tratamentos utilizados se basearam na incorporação, ou não, de resíduos de repolho (*Brassica oleracea* var. capitata) ou couve (*Brassica oleracea* var. acephala) ao solo bem como a cobertura, ou não, do solo com plástico transparente de polietileno de 150 μ de espessura. Além da testemunha, que não foi feito nenhum controle, foi utilizado um tratamento adicional com aplicação de nematicida microbiológico NEMAT[®] (*Paecilomyces lilacinus*), como testemunha padrão (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização dos tratamentos experimentais. Urutaí - GO, 2021.

TRATAMENTOS	RESÍDUO	COBERTURA
T1	Repolho (250 g)	Com
T2	Couve (60 g)	Com
T3	Sem resíduo	Com
T4	Repolho (250 g)	Sem
T5	Couve (60 g)	Sem
T6	Testemunha sem controle	-
T7	Testemunha padrão	-

O substrato utilizado nos vasos do experimento, e da multiplicação prévia do inóculo foi constituído de solo argiloso e areia, na proporção de 1:1. O solo foi previamente autoclavado à 120 kgf de pressão e temperatura de 120°C por 20 minutos.

Para a multiplicação dos nematoides, foi semeado cinco sementes de tomate cv 'Santa Cruz Kada' (Paulista) por vaso. Foi realizado um desbaste deixando duas plantas de tomate por vaso. O substrato foi infestado com suspensão de 2.700 ovos/J2 de *M. incognita* por plantas. A inoculação foi realizada em três orifícios no solo, distanciados a dois centímetros da haste das plântulas e a uma profundidade de um centímetro. Os tomateiros permaneceram por mais 60 dias nos vasos para multiplicação do inóculo.

O inóculo foi cedido pelo laboratório de nematologia da Embrapa Hortaliças, onde a identificação da espécie foi feita através de eletroforese de isoenzimas de acordo com metodologia proposta por Carneiro & Almeida (2001).

Após esse período, a parte aérea dos tomateiros foram retiradas, as raízes incorporadas e o solo revolvido. Anteriormente a instalação dos experimentos, foram retiradas amostras de solo dos vasos, visando quantificar a população inicial de juvenis de segundo estágio de *M. incognita*.

Buscando pela aplicabilidade prática da biofumigação a campo, e considerando que após a colheita de repolho e couve, restam, em média 250 g e 60 g de matéria fresca no solo, respectivamente, utilizou-se essas quantidades de matéria fresca para o processo de biofumigação do solo.

Para os tratamentos que contaram com a solarização, 30 dias antes do transplântio das mudas de alface, foram incorporados ao solo 250 g de repolho (T1) e 60 g de couve (T2) por vaso, os quais foram cobertos com o plástico transparente de polietileno de 150 μ de espessura. O T3 não recebeu incorporação de restos culturais, apenas a cobertura com plástico de polietileno transparente durante os mesmos 30 dias.

Nos tratamentos sem solarização (T4 e T5), a incorporação do material de 250 g de repolho e 60 g de couve, foi realizado sete dias antes do transplante das mudas de alface.

Após a conclusão dos procedimentos de solarização e biofumigação (30 dias para os tratamentos com cobertura com plástico e sete dias para os tratamentos sem cobertura com plástico), foram coletadas novamente amostras de solo para a quantificação de J2 de *M. incognita* presentes no solo.

Para o tratamento usado como testemunha sem controle (T6) não foram realizadas nem a incorporação de matéria fresca de brássicas nem a cobertura dos vasos com plástico transparente. Enquanto que para a testemunha padrão (T7) foi realizada a aplicação do produto comercial NEMAT[®], de acordo com a recomendação do fabricante (600 g ha⁻¹). Os cálculos foram realizados de acordo com o volume dos vasos e o produto aplicado utilizando-se um conta gotas.

As mudas de alface cv 'Vera' utilizadas nos experimentos foram adquiridas em um viveiro comercial em Uberlândia-MG e estavam com três folhas. As plantas de alface foram colhidas 55 dias após o transplântio das mudas, respeitando a recomendação para a cultivar.

Após a colheita, a parte aérea foi separada das raízes, sendo ambas pesadas em balança

de precisão, para a avaliação da massa fresca da parte aérea e da raiz. Nas raízes, foi avaliado número de ovos e eventuais J2 de *M. incognita* ao final do experimento, de acordo com os métodos propostos por Jenkins (1964) e Coolen; D'Herde (1972) respectivamente. No solo foi quantificado o número J2 de *M. incognita* em 200 cm³ de solo.

Os dados foram submetidos às pressuposições (normalidade e homogeneidade), pelos testes de Shapiro-Wilk Shapiro e Barlett. Então, foi realizada análise de variância pelo teste F. As médias foram comparadas pelos testes Modelo Linear Geral (GLM) da família Poisson, teste Tukey, LSD, SNK, todos a 5% de significância. O estudo estatístico foi realizado no software R versão 3.5.3 (R Development Core Team, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Experimento I

Comparando o tratamento adicional aos demais tratamentos, observou-se que as plantas do tratamento adicional, utilizadas no ensaio como testemunha padrão/microbiológica (*P. lilacinus*), apresentaram massa fresca de raiz estatisticamente superior aos demais tratamentos (biofumigação e solarização) (Tabela 2). Esses resultados indicam que a presença de microorganismos nematicidas possibilitou um maior desenvolvimento das raízes das plantas.

Tabela 2. Massa fresca da raiz e da parte aérea de alface em relação ao adicional e o fatorial. Urutaí - GO, 2021.

TRATAMENTO	RAÍZ	PARTE AÉREA
Adicional	19,50 a	7,45 b
Fatorial	3,41 b	16,34 a
C.V. (%)	24,75	14,28
P-Valor	0,001	0,001

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste Tukey ($p > 0,05$).

Para a massa fresca da parte aérea das plantas de alface, a média dos tratamentos apresentou 119% superior às plantas tratadas com o produto biológico (Tabela 2). Diante desses resultados, pode-se inferir que provavelmente, as plantas do tratamento com nematicida microbiológico, direcionaram mais energia para o desenvolvimento das raízes em detrimento ao crescimento da parte aérea, e conseqüentemente tiveram seu desenvolvimento comprometido.

Analisando a interação entre os fatores biofumigação e solarização, observou-se que para os tratamentos submetidos à solarização, a combinação com a biofumigação não interferiu na produção da massa fresca das plantas de alface. Por outro lado, na ausência da solarização, o uso da biofumigação proporcionou incremento da massa fresca da parte aérea (Tabela 3).

Tabela 3. Massa fresca da parte aérea de alface em relação à incorporação de brássicas para a biofumigação e a solarização com plástico transparente de polietileno. Urutaí - GO, 2021.

BIOFUMIGAÇÃO	COM SOLARIZAÇÃO	SEM SOLARIZAÇÃO
Couve	9,87 aB	25,35 aA
Repolho	10,67 aB	32,22 aA
Sem resíduo	9,62 aA	10,30 bA
C.V. (%)	14,28	
P-Valor	0,001	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e de mesma letra maiúscula na linha não diferem pelo teste Tukey ($p > 0,05$).

Observando-se a biofumigação, quando se utilizou de resíduos de couve ou repolho, na ausência de solarização, as plantas apresentaram massa 157% e 202% superiores àquelas em que a cobertura plástica do solo foi utilizada, respectivamente. Tais resultados podem ser explicados pela adição de nutrientes ao sistema, por meio da incorporação de brássicas ao solo, beneficiando o desenvolvimento da parte aérea de plantas de alface (Figura 1). Assim, o processo de solarização não é justificável quando o objetivo é a produção de parte aérea de alface.



Figura 1. Distribuição das plantas de alface de acordo com os tratamentos. Plantas tratadas por meio de biofumigação com resíduo de repolho e sem solarização (T4) em destaque com setas vermelhas.

No tratamento testemunha, no qual não foi realizado o controle de nematoide, a massa fresca da parte aérea não distinguiu estatisticamente do tratamento conduzido apenas com a presença da solarização (Tabela 3).

Analisando os fatores isoladamente, observou-se que a presença de resíduo incorporado

ao solo (biofumigação), independente da cultura utilizada, possibilitou incrementos na massa fresca da raiz em relação às plantas que não foram submetidas ao tratamento com biofumigação. Os tratamentos com a biofumigação apresentaram acréscimo da massa fresca da raiz de 42% quando se utilizou o resíduo da couve e 233% quando utilizado resíduo de repolho em relação aos tratamentos sem resíduo de brássicas (Tabela 4). O aumento da massa fresca da raiz em detrimento da redução da população de nematoides, quando utilizada a biofumigação, pode ser consequência da liberação de gases tóxicos e compostos nematicidas, aliados à melhoria de características físico-químicas e ainda pelo aumento da atividade microbiana do solo (RITZINGER; FANCELLI, 2006; COUTINHO et al., 2009; SILVA et al., 2016).

Tabela 4. Massa fresca das raízes de plantas de alface em relação as técnicas de biofumigação e solarização aplicadas ao solo. Urutá - GO, 2021.

BIOFUMIGAÇÃO	MASSA FRESCA DA RAIZ
Couve	2,53 a
Repolho	5,93 a
Sem resíduo	1,78 b
C.V. (%)	24,74
P-Valor	0,24
SOLARIZAÇÃO	MASSA FRESCA DA RAIZ
Com	2,15 b
Sem	4,68 a
C.V. (%)	24,75
P-Valor	0,23

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste Lsd ($p > 0,05$).

Para o fator solarização, ao analisar a massa fresca da raiz na presença ou ausência da cobertura do solo com o plástico transparente de polietileno observou-se menor massa nos tratamentos com solarização (Tabela 4). Quando as mudas de alface foram transplantadas para solo sem solarização, apresentaram acréscimo de 118% na massa fresca das raízes em comparação com as plantas cultivadas em vasos cujo solo foi submetido à solarização. Contrapondo o encontrado por Neves et al. (2007), que estudando o cultivo de plantas de tomate em solos submetidos à solarização e solos sem presença de nematoides, não foi observado diferenças na massa da parte aérea. Resultados obtidos por Silva et al. (2006) também demonstraram que a massa fresca de raízes não sofreu interferência da solarização.

Em relação à população de juvenis de segundo estágio de *M. incognita* no solo, antes do transplante das mudas de alface, os tratamentos submetidos à biofumigação com repolho, independentemente do uso de solarização, bem como aquele com apenas solarização e o tratamento padrão com o nematicida microbiológico foram capazes de zerar o número de J2 de *M. incognita* no solo. Os tratamentos com a presença de resíduos de couve sem o uso da solarização, reduziu o número de juvenis de segundo estágio em aproximadamente 23% (Tabela 5). Os efeitos benéficos da biofumigação na redução de nematoides se justificam pela liberação de gases tóxicos, exsudatos nematicidas e ainda pela melhoria da estrutura físico-química do solo.

Tabela 5. População de juvenis de segundo estágio de *Meloidogyne incognita* em relação a combinação da biofumigação das brássicas com e sem solarização bem como a testemunha microbiológica. Urutaí - GO, 2021.

BIOFUMIGAÇÃO ¹	SOLARIZAÇÃO	PI	J2ASB	PFs	PFr
Repolho	Com	54,75 c	0,00 a	0,00 a	0,50 b
Couve	Com	17,25 a	18,00 b	0,00 a	0,25 b
Sem resíduo	Com	182,00 a	0,00 a	0,00 a	0,25 b
Repolho	Sem	105,00 b	0,00 a	0,00 a	1,50 b
Couve	Sem	31,00 d	24,00 b	0,75 a	1,75 b
T. sem controle	-	31,00 d	23,00 b	0,75 a	0,25 b
T. microbiológico	-	19,50 e	0,00 a	0,50 a	0,00 a

T: testemunha; PI: população inicial, J2ASB: J2 após solarização e biofumigação; PFs: população final no solo; PFr: população final na raiz. ¹Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste Gln da Família Poisson ($p > 0,05$).

Em relação a população final de J2 de *M. incognita* na raiz, o tratamento com *P. lilacinus* foi o único que não apresentou nematoides nas raízes das plantas de alface. Por outro lado, a população final de juvenis de segundo estágio no solo, não diferiu entre os tratamentos, embora o número final de J2 no solo após a colheita da alface foi nulo para os tratamentos que utilizaram de solarização, bem como para o tratamento que utilizou biofumigação com repolho na ausência de solarização (Tabela 5). Al-Hazmi et al. (2017) também observaram que a solarização do solo reduziu as galhas nas raízes e a reprodução dos nematoides em *Phaseolus vulgaris*.

Aliado às técnicas de controle utilizadas, que em sua maioria reduziram a população inicial de nematoides, a baixa população final de *M. incognita* pode também estar ligada à possível resistência da cultivar, ‘Vera’, utilizada no experimento. Essa cultivar foi relatada por

Pinheiro et al. (2020) como sendo resistente a *M. incognita* (fator de reprodução 0,80) e suscetível a *M. javanica* (fator de reprodução 4,90). A possível resistência da cultivar ao nematoide estudado, pode ter afetado negativamente a reprodução e o desenvolvimento do patógeno. Porém, Sgorlon et al. (2018) classificaram essa mesma cultivar como sendo suscetível ao *M. incognita* (fator de reprodução 2,88). A diferença observada nos fatores de reprodução, e portanto, na susceptibilidade ou resistência da cultivar ao patógeno podem ser consequência da influência de fatores abióticos não avaliados nos experimentos.

Experimento II

Analisando o tratamento adicional em relação aos demais, observou-se que as plantas utilizadas no ensaio como testemunha padrão/microbiológica (adicional), apresentaram plantas de alface com massa fresca de parte aérea 53% menor que os tratamentos do fatorial. Esse resultado indica que a presença de matéria orgânica no solo possibilita a produção de plantas maiores, e conseqüentemente, com maior massa (Tabela 6). O maior desenvolvimento da parte aérea pode estar relacionado à liberação de nutrientes pela decomposição dos resíduos das plantas incorporadas.

Tabela 6. Massa fresca de raiz e parte aérea de alface em relação ao tratamento adicional e fatorial, biofumigação e solarização. Urutaí - GO, 2021.

TRATAMENTO	RAIZ	PARTE AÉREA
Adicional	2,58 a	7,42 b
Fatorial	6,67 a	15,91 a
C.V. (%)	23,22	15,21
P-Valor	0,03	0,0447
BIOFUMIGAÇÃO	RAIZ	PARTE AÉREA
Couve	5,75 a	13,90 b
Repolho	10,04 a	23,00 a
Sem resíduo	4,22 a	10,83 b
SOLARIZAÇÃO	RAIZ	PARTE AÉREA
Com	5,27 a	12,12 b
Sem	8,06 a	19,70 a
C.V. (%)	23,22	15,21
P-Valor	0,054	0,0198

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste Snk ($p > 0,05$).

Para o processo de biofumigação, ao analisar o tipo de matéria orgânica incorporada ao solo, observou-se que a presença do repolho incrementou em 66% a massa fresca da parte aérea de alface em comparação à couve e 112% em relação à não incorporação de matéria orgânica. Para a massa fresca das raízes não foi observado diferença estatísticas entre os tratamentos (Tabela 6).

O incremento de massa fresca da parte aérea observado no tratamento com biofumigação com repolho deve-se às maiores quantidades de matéria orgânica incorporada ao solo (Figura 2). A incorporação de matéria orgânica propicia alterações físicas, químicas e biológicas no solo, além de proporcionar melhor nutrição de plantas e torná-las mais tolerantes ao ataque de nematoides (ALVES, 2020). A incorporação do material vegetal ao solo também foi eficiente em relação ao ganho de massa da parte aérea das plantas de tomate independente da presença do nematoide, o que indica que a incorporação de brássicas promove um ganho de massa das plantas. (NEVES et al., 2007). Portanto, a incorporação de brássicas resultou em ganho de massa da parte aérea das plantas, o que pode trazer como consequência o aumento da produtividade.



Figura 2. Distribuição das plantas de alface de acordo com os tratamentos. Plantas tratadas com biofumigação com resíduo de repolho e sem solarização (T4) em destaque com setas vermelhas.

Em relação ao processo de solarização, a massa fresca da parte aérea foi 39% menor que aquelas cultivadas em solos sem a aplicação dessa técnica. Para a massa fresca das raízes, o fator cobertura do solo não influenciou os resultados (Tabela 6). Divergindo do observado

por Baptista et al. (2006) que ao avaliaram o desenvolvimento e a produção precoce de tomateiro observaram maior altura, massa da matéria fresca e seca da parte aérea e massa de frutos nas plantas crescidas em solo solarizado.

As populações de J2 de *M. incognita* no solo antes do transplântio das mudas de alface estão representadas na Tabela 7. Observou-se que a biofumigação e a solarização, associadas ou não foram capazes de reduzir a população de nematoide no solo.

Tabela 7. População de nematoide em relação a combinação da biofumigação das brássicas com e sem solarização e testemunha microbiológica. Urutaí - GO, 2021.

RESÍDUO ¹	COBERTURA	PI	J2ASB	PFs	PFr	Or
Repolho	Com	108,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	
Couve	Com	34,00 d	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
Sem resíduo	Com	108,00 a	0,00 a	0,00 a	1,00 b	0,00 a
Repolho	Sem	30,00 d	0,00 a	0,00 a	1,75 b	0,00 a
Couve	Sem	69,75 b	0,00 a	0,00 a	0,25 b	0,25 b
T. microbiológico	-	51,00 c	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a

T: testemunha; PI: população inicial; J2ASB: J2 após solarização e biofumigação; PFs: população final no solo, PFr: população final na raiz; Or: ovos na raiz. ¹Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste Gln da Família Poisson ($p > 0,05$).

Neves et al. (2007) observaram que a incorporação de resíduos de brássicas ao solo e posterior cobertura com plástico, resultou no maior controle de *M. javanica*, reduzindo o número de galhas em até 61% em relação à testemunha em tomateiros. Esses mesmos autores também afirmam que a biofumigação com brássicas independente da solarização é eficiente na redução do número de ovos de nematoide.

Em relação a população de nematoide na raiz, os tratamentos com *P. lilacinus* e aqueles com biofumigação com couve e repolho associadas a solarização, apresentaram redução da população do patógeno. Em relação ao número de ovos na raiz, os tratamentos com incorporação de couve sem solarização e a testemunha sem controle foram estatisticamente diferente dos demais tratamentos, apresentando maior número de indivíduos.

Tais resultados apontam que a incorporação de material vegetal ao solo é uma importante ferramenta para o controle de nematoides. Elhajji; Horrigue-Rauani (2012) afirmam que a solarização, isolada ou em combinação com outros métodos, é eficaz para o controle de *M. javanica* na cultura da batata, uma vez que foi capaz de reduzir a multiplicação dos nematoides e melhorou o crescimento e produção das plantas. Dessa forma, a combinação

dessas técnicas é uma saída viável para controle de nematoides em áreas de produção orgânica, por apresentarem alta taxa de controle e se adequarem às exigências desse setor (REDDY, 2011).

Na condição experimental em que o presente trabalho foi conduzido a biofumigação do solo com resíduos de repolho e couve é uma estratégia eficaz para o controle de *M. incognita* em casa de vegetação. Essa ferramenta teve a capacidade de reduzir a população de nematoides no solo e nas raízes das plantas de alface. Ainda, a incorporação do material vegetal proporcionou maior massa de parte aérea das plantas quando comparado com solo tratado com nematicida microbiológico. A solarização também foi eficaz no controle da população de nematoides, porém a associação resultou em menor massa fresca da parte aérea e das raízes das plantas.

Visto que o mercado consumidor de alface é majoritariamente abastecido por pequenos produtores, a biofumigação e a solarização são sugeridas como técnicas economicamente viáveis e com menores danos ao meio ambiente para o controle de nematoides. Ainda, as técnicas atendem às necessidades de produtores de hortaliças orgânicas, sendo eficiente ainda, para o controle de nematoides em outras culturas.

De acordo com os resultados, o controle de nematoides é potencializado pela associação de técnicas de manejo. Representadas pela sucessão de cultura com a alface sendo cultivado em sequência de couve ou repolho e o uso de resíduos dessas culturas para a biofumigação, o manejo físico representado pela solarização do solo antes do cultivo, bem como a controle biológico e genético devido à resistência da cultivar utilizada.

Tais resultados dão origem a uma nova linha de pesquisa, que deve indicar a melhor quantidade de resíduos vegetais a ser utilizada na biofumigação, bem como o período mais adequado para o tratamento do solo e a adequação das técnicas a outras plantas ou variedades. Portanto, o trabalho será repetido utilizando outras cultivares de alface tanto do grupo crespo, quanto do grupo americano, com o objetivo de complementar os resultados e recomendar a melhor metodologia para que pequenos produtores possam aplicar a campo. A partir desses resultados será possível produzir boletim técnico com todas as informações necessárias para que os produtores apliquem essas técnicas da forma mais simples possível.

REFERÊNCIAS

AL-HAZMI, A. S. et al. Comparative efficacy of different approaches to managing *Meloidogyne incognita* on green bean. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 24, p. 149-154, 2017.

ALVES, A. P. C. **Manejo integrado do nematoide-das-galhas na cultura da alface**. 2020. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Departamento Acadêmico de Ciências Agrárias, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2020.

ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI & FRUTI. In: Kist, B. B. et al. (Eds). Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2018. 96 p.

BAPTISTA, M. J. et al. Solarização do solo e biofumigação no cultivo protegido de tomate. **Horticultura Brasileira**, v. 24, p. 47-52, 2006.

CARNEIRO, R. M. D. G.; ALMEIDA, M. R. A. Técnica de eletroforese usada no estudo de enzimas dos nematóides de galhas para identificação de espécies. **Nematologia Brasileira**. Brasília: v. 25, p. 555–560, 2001.

COOLEN, W. A.; D'HERDE, C. J. A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue. **State Nematology na Entomology Research Station**, 77p, 1972.

COUTINHO, M. M. et al. Incorporação de farinha de sementes de mamão (*Carica papaya* L.) para o controle de *Meloidogyne javanica*. **Nematologia Brasileira** v. 33, p. 162-168, 2009.

ELHAJJI, L.; HERRIGUE-RAOUANI, N. Efficiency of solarization and incorporation of cattle manure in management of *Meloidogyne javanica* (Treub.) Chitwood and *Globodera pallida* (stone) Behrens associated with potato. **Pest Technology**, v. 6, p. 75–78, 2012.

FERRAZ, L. C. C. B.; BROWN, D. J. F. **Nematologia de plantas: fundamentos e importância**. Manaus: Norma Editora, 2016. Disponível em: <<http://nematologia.com.br/files/livros/1.pdf>>. Acesso em: 21 jun. 2019.

GIMSING, A. L.; KIRKEGAARD, J. A. Glucosinolates and biofumigation: fate of glucosinolates and their hydrolysis products in soil. **Phytochemistry Reviews**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 299-310, 9 jul. 2008.

HANSCHEN, F. S.; WINKELMANN, T. Biofumigation for Fighting Replant Disease- A Review. **Agronomy**, [S.L.], v. 10, n. 3, p. 1-16, 20 mar. 2020.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Reporter**, v. 48, n. 9, p. 692, 1964.

KANAAN, H. et al. The interdependent effects of solar disinfestations and compost maturity level on soil microbial activity. **Phytoparasitica**, [S.L.], v. 44, n. 1, p. 55-64, fev. 2016.

- KATAN, J.; DEVAY, J. E. Soil Solarization. CRC Press, Boca Raton (FL) EUA, 1991, 267 p.
- LOPES, C. A.; QUEZADO-DUVAL, A. M.; REIS, A. **Doenças da alface**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2010. 68 p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/hortalicas/busca-de-publicacoes/-/publicacao/866064/doencas-da-alface>>. Acesso em: 21 jun. 2019
- NEVES, W.S. 2003. **Atividade nematicida de extratos de pimenta malagueta, mostarda e alho sobre *Meloidogyne javanica*** (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Viçosa – Departamento de Fitopatologia, Viçosa (MG).
- NEVES, W.S., L.G. FREITAS, M.M. COUTINHO, D.F. PARREIRA, S. FERRAZ; M.D. COSTA. Biofumigação do solo com espécies de brássicas para o controle de *Meloidogyne javanica*. **Nematologia Brasileira**, v.31, n.3, p. 195-201, 2007.
- NTALLI, N.; CABONI, P. A review of isothiocyanates biofumigation activity on plant parasitic nematodes. **Phytochemistry Reviews**, [S.L.], v. 16, n. 5, p. 827-834, 24 jan. 2017.
- PINHEIRO, J. B. et al. Characterization of lettuce genotypes for resistance to root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.). **Horticultura Brasileira**, [S.L.], v. 38, n. 3, p. 239-245, set. 2020.
- PINHEIRO, J. B. 2017. Nematoides em Hortaliças. 1º. ed. Brasília: Embrapa Hortaliças, v1. 194p.
- REDDY, P. P. Biofumigation and solarization for management of soil borne plant pathogens, v. 431. Scientific publishers, Jodhpur, 2011.
- RITZINGER, C. H. S. P; FANCELLI, M. Manejo integrado de nematoides na cultura da bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, p. 331-338, 2006.
- SANTOS, C. A. dos; ABBOUD, A. C. de S.; CARMO, M. G. F. do. Biofumigation with species of the Brassicaceae family: a review. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 51, n. 1, e20200440, 2021.
- SGORLON, L. F. F. et al. Host status of crispy-leaf lettuce cultivars to root-knot nematodes. **Bioscience Journal**, p. 1319-1325, 2018.
- SILVA, F. J. et al. Rizobactérias associadas a materiais orgânicos no controle de nematoides das galhas em tomateiro. **Horticultura Brasileira**, Vitoria da Conquista, v. 34, n. 1, p. 59-65, Mar. 2016.
- SILVA, G. S. Métodos Alternativos de Controle de Fitonematoides. **Revisão Anual de Patologia de Plantas (RAPP)**, v. 19, p. 81-152, 2011.
- SILVA, J. C. P. et al. **Compostos orgânicos voláteis no controle de fitonematoides**. Lavras: UFLA, 2019. 109 p.

SILVA, M. G. et al. Efeito da solarização, adubação química e orgânica no controle de nematoides em alface sob cultivo protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 24, p. 489-494, 2006.

STAPLETON, J. J.; DEVAY, J. E. Soil solarization: a non-chemical approach for management of plant pathogens and pests. **Crop Protection**, [S.L.], v. 5, n. 3, p. 190-198, jun. 1986.