

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE MINAS GERAIS – *CAMPUS* SÃO JOÃO EVANGELISTA
BACHARELADO EM AGRONOMIA

Kelmara de Souza Araújo

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE NEMATICIDAS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS
NO CONTROLE DE *Meloidogyne inornata*: ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS
PARA O CULTIVO DO TOMATEIRO NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

São João Evangelista

2025

KELMARA DE SOUZA ARAÚJO

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE NEMATICIDAS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS
NO CONTROLE DE *Meloidogyne inornata*: ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS
PARA O CULTIVO DO TOMATEIRO NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* São João Evangelista como exigência parcial para obtenção do grau de Bacharel em Agronomia

Orientador: Dr. Alisson José Eufrásio de Carvalho

Coorientador: D. Sc. Inorbert de Melo Lima

São João Evangelista

2025

A663a Araújo, Kelmara de Souza.

Avaliação da eficiência de nematicidas químicos e biológicos no controle de *Meloidogyne inornata*: estratégias sustentáveis para o cultivo do tomateiro no estado do Espírito Santo/ Kelmara de Souza Araújo – 2025.

33f.: il.

Orientador: Dr. Alisson José Eufrásio de Carvalho.

Coorientador: D. Sc. Inorbert de Melo Lima.

Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal Minas Gerais. *Campus* São João Evangelista, 2025.

1. Controle de *Meloidogyne inornata*. 2. Nematoides-das-galhas. 3. Nematicidas químicos e biológicos. I. Araújo, Kelmara de Souza. II. Instituto Federal de Minas Gerais *Campus* SJE. III. Título.

CDD 632.6257


Catálogo: Esther Soares Cunha - CRB-6/4333

Kelmara de Souza Araújo


**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE NEMATICIDAS QUÍMICOS E
BIOLÓGICOS NO CONTROLE DE *Meloidogyne inornata*: ESTRATÉGIAS
SUSTENTÁVEIS PARA O CULTIVO DO TOMATEIRO NO ESTADO DO ESPÍRITO
SANTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao curso Bacharelado em Agronomia do
Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus*
São João Evangelista como exigência parcial
para obtenção do grau de Bacharel em
Agronomia


Aprovada em 22/04/2025 pela banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 ALISSON JOSE EUFRASIO DE CARVALHO
Data: 23/05/2025 13:43:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Alisson José Eufrásio de Carvalho (Orientador) Instituto Federal
de Minas Gerais – *Campus* São João Evangelista

Documento assinado digitalmente
 INORBERT DE MELO LIMA
Data: 21/05/2025 19:31:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

D. Sc, Fitopatologia. Inorbet de Melo Lima (Coorientador)
Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural - Incaper

Documento assinado digitalmente
 ISMAEL RODRIGUES SILVA
Data: 21/05/2025 19:46:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ismael Rodrigues Silva
Engenheiro Agrônomo - Unicampo – Assistente Técnico Syngenta

RESUMO

Várias espécies de nematoides afetam a produção de tomate, causando prejuízos econômicos consideráveis. *Meloidogyne inornata* foi recentemente detectada no estado do Espírito Santo, causando danos significativos e suplantando a resistência de porta-enxertos comumente utilizados. Até o momento, desconhece-se a eficácia dos nematicidas comerciais no controle dessa espécie de nematoide-das-galhas. Nesse contexto, objetivou-se avaliar o efeito de nematicidas químicos e biológicos no controle de *M. inornata*. Foram avaliados os nematicidas químicos Verango Prime (fluopiram), Nimitz (fluensulfona) e Tymrium (ciclobutrifluram), bem como os nematicidas biológicos Quartzo (*Bacillus subtilis* + *B. licheniformis*), Certano (*B. velezensis*) e o estimulante radicular Bioasis (*B. aryabhatai*, *B. haynesii*, *B. circulans*). Considerou-se um estande de 10.000 plantas/ha e utilizou-se como referência a dose por hectare recomendada em bula para o controle de *M. incognita*. Cada parcela experimental foi composta por vasos de 3 litros contendo uma planta da cultivar Moriá. Três dias após o transplante, foi realizada a inoculação de 2.500 ovos + J2 de *M. inornata*/vaso. Doze horas após a inoculação, foram aplicadas as doses dos respectivos nematicidas. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, com oito tratamentos e oito repetições, incluindo duas testemunhas: uma absoluta (sem nematoide e sem nematicida) e uma infestada com nematoide, porém sem aplicação de nematicidas. Os tratamentos foram mantidos em estufa sob irrigação controlada por 42 dias. Ao final desse período, foram avaliadas a massa seca da parte aérea, a massa fresca do sistema radicular, o número total de ovos, o número de ovos por grama de raiz e o fator de reprodução de *M. inornata*. Os tratamentos contendo microrganismos em sua composição promoveram um desenvolvimento vegetativo significativo das plantas. O nematicida químico fluensulfona causou fitotoxicidade severa em plantas jovens de tomateiro. Tanto os nematicidas químicos quanto os biológicos proporcionaram controle significativo de *M. inornata*, com uma taxa de controle superior a 70%, podendo, portanto, ser recomendados nas doses indicadas em bula.

Palavras-chave: Controle de *Meloidogyne inornata*. Nematoides-das-galhas. Nematicidas químicos e biológicos.

ABSTRACT

Several nematode species negatively affect tomato production, resulting in considerable economic losses. *Meloidogyne inornata* was recently detected in the state of Espírito Santo, Brazil, causing significant damage and overcoming the resistance of commonly used rootstocks. To date, the efficacy of control nematicides in managing this root-knot nematode species remains unknown. In this context, the objective of this study was to evaluate the effectiveness of Chemical and biological nematicides in controlling *M. inornata*. The Chemical nematicides Verango Prime (fluopyram), Nimitz (fluensulfone), and Tymyrium (cyclobutrifluram) were tested, along with the biological nematicides Quartzo (*Bacillus subtilis* + *B. licheniformis*), Certano (*B. velezensis*), and the root stimulant Bioasis (*B. aryabhatai*, *B. haynesii*, *B. circulans*). A planting density of 10,000 plants/há was considered, and the dosages control followed the label recommendations for *M. incognita* as a reference. Each experimental plot was composed of 3-liter pots containing one tomato the cultivar Moriá. Three days after transplanting, 2,500 eggs + J2 of *M. inornata* were inoculated per pot. Twelve hours post-inoculation, the respective nematicides were applied. The experimente was conducted in a randomized complete block design with eight treatments and eight replicates, including two controls: one absolute (without nematode or nematicide) and one infested with nematode but without nematicide application. The treatments were maintained under greenhouse conditions with controlled irrigation for 42 days. At the end this period, the following parameters were evaluated: shoot dry mass, root fresh mass, total egg count, number of eggs per gram of root, and the reproduction factor of *M. inornata*. Treatments containing beneficial microorganisms promoted significant vegetative development in the tomato plants. The Chemical nematicide fluensulfone caused severe phytotoxicity in young tomato plants. Both Chemical and biological nematicides provided significant control of *M. inornata*, achieving control rates above 70%, and may therefore be recommended at label rates.

Keywords: Control of *Meloidogyne inornata*. Root-knot nematodes. Chemical and biological nematicides.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Área cultivada de tomateiro no estado do Espírito Santo entre outubro/2019 a outubro/2024.....	10
Figura 2 - Ciclo vida de <i>Meloidogyne spp.</i>	13
Figura 3 - Preparo do inóculo. A (Processamento do inóculo) e B (Contagem e calibração da amostra).	21
Figura 4 - Inoculação de ovos/J2 nas plantas de tomate.....	22
Figura 5 - Preparo de produto e distribuição dos tratamentos na casa de vegetação. A (Preparo dos produtos comerciais) e B (distribuição dos tratamentos).....	22

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
2 Referencial teórico	9
2.1 Importância da cultura do tomate no Brasil.....	9
2.2 Importância da cultura do tomate no Espírito Santo	10
2.3 Nematoides	11
2.4 <i>Meloidogyne spp.</i>	12
2.5 <i>Meloidogyne inornata</i>.....	13
2.6 Interação nematoides e tomateiro	14
2.7 Impacto nas plantas de tomate	15
2.8 Caracterização dos nematicidas	16
2.9 Nematicidas químicos.....	17
2.10 Nematicidas Biológicos.....	19
3 METODOLOGIA.....	20
4 RESULTADO E DISCUSSÃO	24
5 CONCLUSÃO.....	28
REFERÊNCIAS.....	29

1 INTRODUÇÃO

Considerando a dieta diária, o tomate destaca-se como uma das hortaliças mais importantes do mundo. É empregado como vegetal fresco e é utilizado como uma variedade de produtos processados, como sopas, sucos, molhos, pastas, enlatados e desidratados. No entanto, este importante vegetal é vulnerável a centenas de doenças ocasionados por diversos agentes bióticos como vírus, fungos, fitoplasma e nematoides.

Os nematoides-das-galhas, pertencentes ao gênero *Meloidogyne spp.*, estão entre os fitopatógenos mais devastadores da agricultura global, sendo responsáveis por perdas substanciais na produtividade de diversas culturas. No caso da tomaticultura, esses parasitas atacam as raízes das plantas, causando formação de galhas, comprometendo a absorção de água e nutrientes e favorecendo infecções secundárias por outros patógenos.

No estado do Espírito Santo, em especial, devido a sua estrutura agrária constituída de pequenas propriedades, a cultura do tomate é de extrema relevância econômica e social. Recentemente, a emergência de *M. inornata* na região trouxe novos desafios ao manejo fitossanitário. Essa espécie apresenta elevada agressividade e capacidade de suplantar a resistência conferida pelo gene Mi, amplamente utilizado em porta-enxertos de tomateiro. Tal característica torna indispensável a busca por estratégias eficazes e sustentáveis para o controle dessa nova ameaça.

Entre as ferramentas disponíveis para o manejo de nematoides-das-galhas, os nematicidas químicos e biológicos destacam-se como alternativas promissoras. Os nematicidas químicos, como fluopiram, fluensulfona e ciclobutrifluram, são amplamente reconhecidos por sua eficácia na redução populacional de *Meloidogyne spp.* Por outro lado, os nematicidas biológicos, com base em microrganismos como *Bacillus spp.*, vêm ganhando espaço devido ao menor impacto ambiental e ao potencial de promover o crescimento das plantas. Ambos os métodos possuem limitações e vantagens, reforçando a necessidade de avaliações específicas para *M. inornata* em condições locais.

Este estudo é particularmente relevante e inédito, pois busca validar a eficiência de nematicidas químicos e biológicos contra *M. inornata*, fornecendo subsídios para o desenvolvimento de estratégias integradas de manejo. Além de avaliar a eficácia no controle populacional, a pesquisa também analisará o impacto desses produtos no desenvolvimento vegetativo das plantas e possíveis efeitos fitotóxicos, aspectos cruciais para a adoção segura e eficiente dessas tecnologias no campo.

Assim, ao investigar e comparar a eficiência de diferentes nematicidas no controle de *M. inornata*, o presente trabalho almeja contribuir significativamente para a sustentabilidade da tomaticultura no Espírito Santo e em outras regiões impactadas. Os resultados esperados podem não apenas mitigar os danos causados por esse patógeno emergente, mas também servir de base para a formulação de protocolos técnicos que combinem produtividade e conservação ambiental.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância da cultura do tomate no Brasil

Considerando o somatório da produção de tomate destinado a indústria e mesa, o Brasil é o 9º maior produtor mundial de tomate, sendo que China, Índia e Estados Unidos lideram o ranking (Conab, 2019).

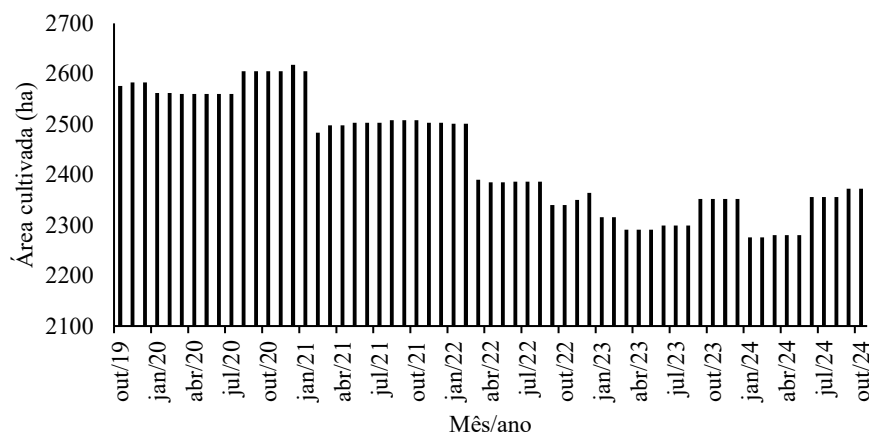
Os dados mais recentes mostram que o Brasil produziu no ano passado 4.166.017 t em uma área de 59.010 ha (IBGE, 2023). O estado de Goiás é o maior produtor de tomate nacional, em 14.489 ha, produz 29,82% da produção brasileira (IBGE, 2023).

Estima-se que a cadeia produtiva do tomate é responsável por gerar 5 a 6 empregos diretos/ha/ano e o mesmo número de empregos indiretos (Embrapa, 2022). Nesse sentido, a cultura gera uma intensa mão de obra devido a toda sua cadeia produtiva desde o plantio até a colheita.

2.2 Importância da cultura do tomate no Espírito Santo

O Espírito Santo, vem nos últimos 5 anos reduzindo a área plantada mensal, cultivando, em média, 2.352 ha/mês (Figura 1), o que representa 4,24% da área cultivada em território nacional, uma produção de 151.594 t o que corresponde a 3,63% da produção nacional (IBGE, 2023).

Figura 1 - Área cultivada de tomateiro no estado do Espírito Santo entre outubro/2019 a outubro/2024.



Fonte: IBGE, 2024.

No cenário nacional, o Espírito Santo não se destaca, pois seu foco é a produção de tomate destinado a mesa além de atender a demanda do mercado interno. O município de Afonso Cláudio, localizado na região Serrana capixaba, se destaca como um grande produtor dentro do Estado. O município possui uma área cultivada de 400 ha, o que representa 17% da área do Estado e entrega uma produção de 24.000 t, ou seja, 15,83% da produção do Estado (IBGE, 2023).

Outros municípios como Domingos Martins (12,53%), Santa Maria de Jetibá (10,88%), Alfredo Chaves (9,70%) e Venda Nova do Imigrante (7,96%) são importantes produtores de tomate e juntos eles representam 41,07% da produção de tomate capixaba (IBGE, 2023).

2.3 Nematoides

Os nematoides são organismos invertebrados caracterizados por um corpo em forma de fio, que apresenta um diâmetro fino e flexível, com extremidades anteriores e posteriores afuniladas. Essas variedades variam em comprimento entre 3 e 11 mm, não são segmentados, pseudocelômicos e exibem simetria bilateral (Khan; Mohiddin; Ahamad, 2018).

Embora a maioria dos nematoides de solo não tenha um modo de vida parasitário em relação às plantas, apenas uma fração restrita deles se destaca como fitoparasitas; os demais vivem com outros hábitos alimentares e são classificados como fugíveros, bacteriófagos, onívoros e predadores (Khan, 2008).

Essa pequena fração que parasitam plantas, independentemente de serem parasitas de raízes, caules ou folhas, possuem um estilete afiado e pontiagudo em suas extremidades anteriores. Este estilete é utilizado para perfurar a epiderme e a parede celular das plantas, permitindo que os nematoides se alimentem das células hospedeiras (Khan, 2008).

Os sintomas associados às raízes infectadas por fitonematoides variam amplamente dependendo da espécie de fitonematoide e do hospedeiro, podendo incluir formação de galhas, lesões, cistos, redução na estatura, necrose, baixo vigor vegetativo e redução na produtividade (Ravichandra, 2014). As raízes, por exemplo, infectada por fitonematoides geralmente apresentam uma coloração mais escura em comparação às raízes saudáveis. Além disso, essas raízes infectadas tendem a ser mais suscetíveis a infecções secundárias por bactérias e fungos oportunistas. E conseqüentemente, o crescimento das plantas apresenta atrofia, resultando em um tamanho inferior em relação às plantas não infectadas (Ravichandra, 2014).

A importância agrícola dos nematoides parasitas de plantas é equivalente a fungos, bactérias e vírus. Estima-se que entre 5% e 20% das perdas de rendimento em culturas agrícolas sejam atribuídas a infestações por fitonematoides, com variações que dependem do nível de inóculo, das espécies hospedeiras e das condições ambientais (Khan *et al.*, 2023). Em um estudo realizado por Nicol *et al.* (2011), foi estimado que as perdas decorrentes da interação fitonematoide/planta são de aproximadamente 14,6%. Além disso, o impacto econômico global dessas perdas pode variar significativamente, com estimativas de US\$ 100 bilhões anualmente (Sikora *et al.*, 2018) ou US\$ 175 bilhões (Tóthné Bogdányi *et al.*, 2021) ou até mesmo de US\$ 125 bilhões (Chitwood, 2003).

2.4 *Meloidogyne spp.*

O gênero *Meloidogyne spp.* é um grupo de nematoides de grande importância agrícola, com suas espécies amplamente distribuídas globalmente (Sasser *et al.*, 1983; Mohiddin, Khan 2014). Todas as culturas agrícolas, especialmente leguminosas, frutas, e plantas ornamentais, são altamente suscetíveis à infecção por *Meloidogyne spp.* (Khan, 1997). A infecção por esses nematoides pode comprometer a resistência das cultivares a outras doenças, como as causadas por *Fusarium*, *Xanthomonas* e *Pseudomonas* (Francl e Wheeler 1993; Khan, Sharma 2020).

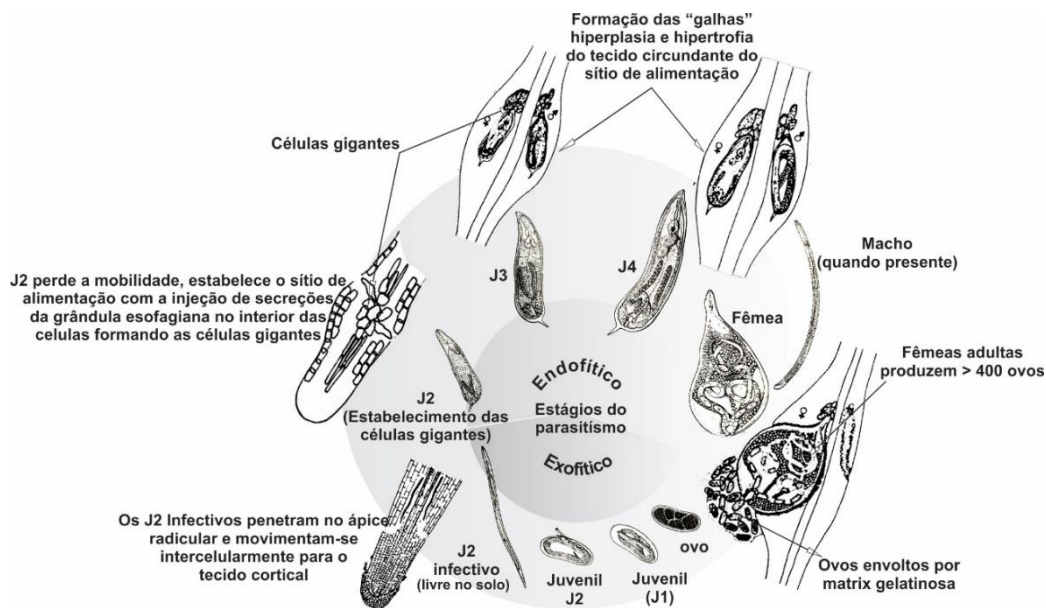
Os nematoides do gênero *Meloidogyne spp.* induzem a formação de galhas nas raízes das plantas infectadas (Khan, 2007), enquanto os sintomas acima do solo tendem a ser inespecíficos, além disso as plantas afetadas apresentam crescimento atrofiado, folhas amareladas, perda de vigor e queda prematura das folhas (Khan, 1997). A eficiência na absorção de água e nutrientes pelo sistema radicular é prejudicada, resultando em murcha durante algumas horas do dia (Khan; Khan 1987). Os nematoides do gênero *Meloidogyne spp.* são endoparasitas sedentários e estritamente obrigatórios que apresentam dimorfismo sexual acentuado. As fêmeas tornam-se obesas após a segunda muda, enquanto os machos mantêm uma forma vermiforme ao longo da vida. O estágio infectante é o segundo estágio juvenil (J2), que penetra nas raízes e migra intercelularmente até encontrar um local adequado para alimentação no tecido estelar em desenvolvimento (Khan, 2008).

A fêmea adulta deposita ovos em uma massa gelatinosa que pode conter entre 200-500 ovos / massa de ovo (Khan, 2023). Segundo Khan (2023), o ciclo de vida dos nematoides pode ser concluído em um período de 3 a 4 semanas, dependendo da espécie e das condições ambientais, permitindo que sejam completadas de duas a três gerações em uma única estação de cultivo (Figura 2). O tamanho e a forma das galhas variam conforme a planta hospedeira e a espécie de *Meloidogyne spp.*, sendo mais influenciados pela planta hospedeira (Khan, 2023). Em vegetais solanáceos como berinjela e tomate, as galhas são geralmente grandes e firmes, enquanto em monocotiledôneas como arroz e trigo, as galhas apresentam formas distintas (Khan, 2023).

2.5 *Meloidogyne inornata*

Utilizando-se dos materiais e métodos taxonômicos disponíveis em meados do século passado, Lordello em 1956 descreveu *Meloidogyne inornata* (Lordello, 1956), posteriormente outras revisões taxonômicas sugeriram uma estreita relação com *M. incognita*, Chitwood (1949), conforme apontado em estudos Whitehead (1968) e Hewlett, Tar (1983).

Figura 2 - Ciclo vida de *Meloidogyne spp.*



Fonte: Lima, 2024.

Lordello (1956) descreveu *Meloidogyne inornata* como distinta de *M. incognita* principalmente em três características: i) ovos mais largos; ii) a cabeça do juvenil de segundo estágio (J2) apresentando apenas um anel pós-labial em vez de três; e iii) o poro excretor feminino posicionado mais posteriormente. A população original de *M. inornata* foi isolada a partir de soja no Brasil (Lordello, 1956; Carneiro *et al.*, 2008).

Em 1997, em São Paulo, foi identificada uma espécie de nematoide das galhas atípica, com o fenótipo de esterase denominado de Est Y3 (Carneiro *et al.*, 2000), em Yacon (*Polymia sonchifolia*). No teste das hospedeiras diferenciadoras, a população do nematoide com fenótipo atípico se reproduziu em *Solanum lycopersicum* cv. Rutgers (tomateiro), *Nicotiana tabacum* cv. NC95 (tabaco), *Capsicum annum* cv. California Wonder (pimenta) e *Citrullus lanatus* cv. Charleston Gray (melancia) (Carneiro *et al.*, 2008).

Com base em estudos morfológicos, biológicos e bioquímicos, que comparou o isolado com outras espécies de *Meloidogyne spp.*, foi possível constatar que o isolado

nematoide encontrado em São Paulo se tratava da espécie descrita como *M. inornata* por Lordello, 1956 (Carneiro *et al.*, 2008).

Posteriormente, *M. inornata* foi identificada em outros hospedeiros como tabaco (*Nicotiana tabacum* L.), yacon (*Smallanthus sonchifolius*), feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e antúrio (*Anthurium andreaeanum*), tomateiro (Lordello, 1956; Carneiro *et al.*, 2008; Whitehead, 1968; Machado *et al.*, 2013; Guimarães *et al.*, 2016; Camara *et al.*, 2020).

2.6 Interação nematoides e tomateiro

Os tomateiros são vulneráveis a diversas espécies de nematoides, que podem causar danos significativos e levar à redução de rendimentos. Entre os nematoides que mais causam prejuízos a produção de tomate estão os nematoides das galhas do gênero *Meloidogyne*, particularmente *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* e *M. arenaria*. Essas espécies são particularmente prejudiciais em solos arenosos em regiões quentes e podem interagir com outros patógenos transmitidos pelo solo, exacerbando seus efeitos na saúde e produtividade do tomate (Greco, Di Vito, 2011; Pontes *et al.*, 2024). Além das espécies principais, outros nematoides das galhas menos comuns, incluindo *M. ethiopica*, *M. enterelobii* (anteriormente *M. mayaguensis*), *M. floridensis* e *M. polycephannulata*, também podem afetar plantas de tomate, particularmente em condições ambientais semelhantes (Greco; Di Vito, 2011).

Greco e Di Vito (2011) destacam que em climas mais frios, espécies como *M. hapla*, *M. chitwoodi* e *M. fallax* podem causar danos às plantações de tomate, demonstrando a natureza generalizada dos problemas de nematoides em diferentes regiões.

Além dos nematoides das galhas, as plantas de tomate também podem ser afetadas por espécies como *Nacobbus aberrans*, *Ditylenchus dipsaci*, *Globodera* spp. (incluindo *G. rostochiensis*, *G. pallida* e *G. tabacum*), *Pratylenchus* spp., *Rotylenchulus reniformis*, *Paratrichodorus* spp., *Tylenchorhynchus* spp., *Xiphinema* spp. e *Dolychodorus heterocephalus*. No entanto, esses nematoides são geralmente menos prejudiciais do que as variedades das galhas (Greco, Di Vito, 2011; Pontes *et al.*; Nekoval *et al.*, 2024).

2.7 Impacto nas plantas de tomate

A infestação de plantas de tomate por esses nematoides geralmente passa despercebida até que danos significativos tenham ocorrido. O ciclo de vida dos nematoides das galhas pode levar à reinfecção a cada 30 dias, agravando os problemas que eles criam em solos infestados. Os danos causados por esses nematoides são particularmente prejudiciais, pois prejudicam a absorção de água e nutrientes, resultando em sintomas como crescimento atrofiado, folhas amareladas e desenvolvimento deficiente dos frutos. Se não forem tratadas, essas infestações podem culminar em perda total da colheita (Darling *et al.*, 2023; Youssef, 2024; Samura *et al.*, 2024).

Os sintomas mais característicos abaixo do solo incluem a formação de galhas ou inchaços nas raízes de plantas de tomate infectadas. Essas galhas podem variar em tamanho, com espécies de nematoides mais agressivas, como *Meloidogyne enterolobii*, produzindo galhas maiores em comparação com espécies menos agressivas como *Meloidogyne hapla* (Youssef, 2024).

Como resultado, o manejo das populações de nematoides por meio de práticas como rotação de culturas, plantio de variedades resistentes, porta-enxerto e uso de nematicidas são fundamentais para manter as plantações de tomate saudáveis (Frey *et al.*, 2020; Kunwar *et al.*, 2015).

Por exemplo, Kunwar *et al.*, (2015) destacam que o rendimento das culturas de tomate enxertadas com porta-enxertos resistente aos nematoide das galhas pode ser 83% superior a testemunha, indicando que a resistência dos porta-enxertos desempenha um papel crucial no manejo de infestações de nematoides e na melhoria do rendimento geral. No entanto, o desafio se torna maior quando uma espécie de nematoide das galhas é capaz de se multiplicar com eficiência em porta-enxertos resistente.

Além da tecnologia dos portas-enxertos e da resistência genética, o manejo e controle de nematoides das galhas em plantas de tomate envolve várias estratégias que incorporam métodos agrônômicos tradicionais, tratamentos químicos e controles biológicos. Essas estratégias visam mitigar os danos causados pelos nematoides enquanto melhoram a saúde do solo e o rendimento da colheita.

2.8 Caracterização dos nematicidas

Visão geral dos nematicidas

Os nematicidas são agentes químicos ou biológicos usados para controlar nematoides parasitas de plantas. O mercado global de nematicidas atingiu um tamanho de aproximadamente US\$ 1,5 bilhão em 2023 e está projetado para crescer para US\$ 2,2 bilhões até 2032, refletindo uma taxa de crescimento anual composta de 4,3% durante o período previsto de 2023 a 2032 (Research; Markets, 2024). Este crescimento é impulsionado por fatores como o aumento da demanda por alimentos devido ao crescimento populacional, infestações de nematoides induzidas pelo clima e uma mudança para práticas agrícolas sustentáveis (IMARC, 2024).

Nematicidas químicos têm sido o método tradicional para gerenciar populações de nematoides em ambientes agrícolas. Várias formulações de nematicidas químicos, para aplicações comerciais e agrícolas, são registradas nas agências regulatórias de vários países. Embora eficazes no controle de nematoides, estes agentes químicos representam frequentemente riscos para organismos não alvo e para o ambiente, o que leva a preocupações crescentes relativamente ao seu impacto a longo prazo.

Os nematicidas biológicos, por outro lado, utilizam organismos naturais para controlar populações de nematoides. Este método está cada vez mais ganhando força devido a várias vantagens. Agentes de controle biológico, como fungos e bactérias, são frequentemente mais ecológicos, pois se degradam rapidamente e não persistem no ambiente, reduzindo potenciais riscos de exposição prejudicial a humanos e ecossistemas (Abd-Elgawad; Askary, 2020). Além disso, os produtos biológicos são normalmente isentos dos Limites Máximos de Resíduos (LMR), visam os nematoides e minimizam os danos a microrganismos benéficos e outros organismos não-alvo, nesse sentido essas características tornam os nematicidas biológicos uma alternativa atraente para os produtores que estão cada vez mais inclinados às práticas sustentáveis (Rahman *et al.*, 2024).

2.9 Nematicidas químicos

A utilização de métodos sintéticos para controle de nematoides no solo ocorre mais de um século. Os primeiros nematicidas eram classificados como fumigantes, no ano de 1871, Kuhn empregou bissulfeto de carbono para erradicar *Heterodera schachtii*, o experimento não foi bem sucedido, mas gerou encorajamento para continuar procurando novos nematicidas (Bunt, 1975; Taylor, 2003). Entre as duas guerras mundiais, surgiram compostos voláteis com propriedades nematicidas, como o gás cianídrico utilizado por Bars (1919) contra *Meloidogyne spp.*, e a cloropicrina, testada por Matthews (1919) e considerada eficaz (Bunt, 1975). O brometo de metila, descrito por Richardson e Johnson (1935), e o 1,3-dicloropropeno (DD), identificado por Carter em (1943), também se destacaram (Bunt, 1975). O dibrometo de etileno (EDB) descoberto por Christie (1945) e o 1,2-dibromo-3-cloropropano (DBCP) reportado por McBeth (1954), foram posteriormente reconhecidos como nematicidas eficazes (Bunt, 1975; Taylor, 2003). As pesquisas apontaram que o DBCP, mesmo sendo um nematicida fumigante, apresenta baixa fitotoxicidade e pode ser aplicado em diversas culturas (Bunt, 1975; Taylor, 2003).

Segundo Bunt (1975), embora os mecanismos de ação dos nematicidas à base de haleto de alquila, como DD, EDB e DBCP, ainda não sejam completamente compreendidos, há indícios de que atuam por meio de processos de oxidação ou alquilação de grupos tiol em proteínas. Em concentrações elevadas, esses compostos induzem morte rápida nos nematoides; no entanto, em condições normais de campo, o DBCP resulta em uma morte mais lenta, exigindo um monitoramento prolongado para avaliar sua eficácia, de acordo com Bunt (1975). A busca por nematicidas sistêmicos menos fitotóxicos que possam ser aplicados durante a fase de crescimento das plantas tem se intensificado devido às limitações dos fumigantes convencionais.

Os nematicidas não fumigantes mais utilizados incluem carbamatos e organofosfatos, ambos atuando como inibidores da acetilcolinesterase, embora sua alta toxicidade para invertebrados, organismos não-alvo e humanos tenha levado a restrições em seu uso (Opperman; Chang, 1990). Nos últimos anos, foram desenvolvidos e comercializados novos nematicidas não fumigantes e de baixa toxicidade para microrganismos não-alvo e para o meio ambiente (Faske, Hurd, 2015; Morris *et al.*, 2016).

A fluensulfona, um nematicida novo que pertence à classe química dos fluoroalquênios, foi registrada nos Estados Unidos em 2014, este composto é capaz de afetar a mobilidade dos nematoides, apresentando uma atividade nematicida irreversível que se

distingue dos efeitos nematostáticos observados em organofosforados e carbamatos (Oka;Shuker; Tkachi, 2009). Apesar de sua eficácia demonstrada no controle de *Meloidogyne*, o modo de ação da fluensulfona ainda não é completamente elucidado, e os estudos sobre suas metodologias de aplicação permanecem limitados (Morris *et al.*, 2016,2015; Oka, Shukar, & Tkachi, 2012; Oka *et al.*, 2009).

O fluopyram é um fungicida que atua como inibidor da respiração de fungos, especificamente inibindo a succinato desidrogenase no Complexo II, e foi avaliado quanto à sua eficácia no controle de nematoides parasitas de plantas, além de ser utilizado no manejo de fungos transmitidos pelo solo (Beeman, Tylka, 2018; Faske, Hurd, 2015). O fluopyram inibe seletivamente o Complexo II da cadeia respiratória mitocondrial em nematoides, o que leva a uma depleção rápida e severa da energia celular (ATP) do nematoide (Broeksma, 2014).

O ciclobutirfluram é um nematicida ainda na fase de registro no Brasil, que pertence ao grupo IRAC N-3, que atua como inibidor de transporte de elétrons, complexo mitocondrial II (Succinato-coenzima Q redutase), o alvo fisiológico atingido é a respiração (IRAC, 2022), e atua como fungicida, no controle de *Fusarium spp.*, ele age no complexo II (inibidor de succinato desidrogenase), alvo fisiológico é a respiração e pertence ao grupo FRAC-7 (FRAC, 2020).

Em todos os casos, os nematicidas químicos são registrados para o alvo, ou seja, para a espécie de nematoide e, até o momento, não há nenhum nematicida químico registrado para controle de *M. inornata* (Agrofit, 2025).

2.10 Nematicidas Biológicos

Nos últimos anos, diversos estudos foram realizados para investigar a utilização de microrganismo antagonistas como uma forma de estratégia para reduzir a população de fitonematoides (Abd-Elgawad *et al.*, 2021; Zheng *et al.*, 2016). Foram identificadas cepas com elevada atividade nematicida, com destaque para as cepas bacterianas dos gêneros *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Pasteuria* (Abally *et al.*, 2012; Abdel-Salam *et al.*, 2018).

No Brasil, bactérias do gênero *Bacillus spp.* estão amplamente presentes na maioria dos bionematicidas comerciais disponíveis no mercado (AGROFIT, 2025). Essas bactérias desempenham um papel crucial ao colonizarem a rizosfera, onde se associam às raízes das plantas. Estimuladas pelos exsudatos radiculares, formam uma barreira físico-química composta por suas células e pelos metabólitos que produzem (Hashem *et al.*, 2019). Essa barreira é eficaz na prevenção da penetração de nematoides nas raízes. Além disso, algumas linhagens de *Bacillus spp.* produzem substâncias tóxicas durante seu metabolismo, que agem em diferentes estágios do ciclo de vida dos nematoides, contribuindo para o seu controle (Kavitha *et al.*, 2012; Hu *et al.*, 2017).

O crescimento das bactérias na região próxima às raízes também provoca mudanças na composição química dos exsudatos radiculares. Essas alterações interferem no processo de reconhecimento das raízes pelos nematoides, que dependem da composição química desses exsudatos para localizar suas plantas hospedeiras (Hu *et al.*, 2017). Dessa forma, a ação de *Bacillus spp.* reduz a atratividade das raízes e dificulta o parasitismo.

Além de seu papel direto no controle de nematoides, as bactérias do gênero *Bacillus spp.* são rizobactérias promotoras de crescimento vegetal (termo em inglês, PGPR). Por meio da colonização endofítica das raízes, elas estimulam a produção de reguladores de crescimento, especialmente fitormônios, promovendo melhorias significativas no desenvolvimento das plantas (Santos *et al.*, 2018). Ademais, *Bacillus spp.* também atuam como indutores de resistência, ativando genes associados à Resistência Sistêmica Induzida (ISR), um mecanismo que fortalece as defesas naturais das plantas contra diversos patógenos (Choudhary; Johri, 2009).

Essa combinação de efeitos benéficos torna as bactérias do gênero *Bacillus spp.* uma ferramenta promissora no manejo integrado de nematoides e na promoção da saúde e produtividade das plantas.

Diante desse cenário, que se caracteriza pelo binômio agressividade e dispersão, ou seja, dispersão de *M. inornata*, espécie de alta agressividade e capaz suplantando os principais

genes de resistência à *Meloidogyne spp.* presente nos portas-enxerto, em áreas de cultivo tradicional de tomate, a pesquisa necessita dar resposta para qual tecnologia de controle (nematicida químico ou biológico) o tomaticultor deverá adotar afim de mitigar os efeitos adversos de *M. inornata* e otimizar sistema produtivo e garantir a sustentabilidade do cultivo de tomate no estado do Espírito Santo.

3 METODOLOGIA

Local: O experimento foi conduzido no mês de janeiro de 2024 na casa-de-vegetação do Centro de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação – Norte, do Instituto Capixaba de Pesquisa e Extensão Rural (CPDI-N – Incaper), município de Linhares-ES.

Preparo das mudas: Na casa de vegetação, as sementes de tomateiro do híbrido Moriá foram semeadas em bandejas contendo substrato comercial próprio para hortaliças. Quando as mudas apresentaram 4 folhas definitivas, foram transplantadas para os vasos.

Utilizou-se vasos de polietileno flexível com capacidade de 5 litros. O substrato utilizado nos vasos foi composto de uma mistura de solo + areia média (1:1), isentos de nematoides. Após o transplântio das mudas do híbrido Moriá, aguardou-se 3 dias e então o solo ao redor das mudas foi infestado com *M. inornata* e 12 horas depois foram aplicados os tratamentos correspondentes.

Preparo do inóculo e inoculação das plantas com *M. inornata*: a população original e pura de *M. inornata* (que foi confirmada fenótipo da isoenzima esterase via eletroforese) foi oriunda do município de Venda Nova do Imigrante, ES. A extração dos ovos de *M. inornata* foi obtida dessa população de *M. inornata*. Essa população foi previamente multiplicada em tomateiro Santa Cruz Kada por, no mínimo, 40 dias antes da extração e inoculação nos tomateiros do experimento.

A extração dos ovos e eventuais juvenis de nematoide, foi realizada segundo o método de Boneti e Ferraz (1981). As raízes foram picadas em pedaços de 1 a 2 cm e trituradas em liquidificador com solução de hipoclorito de sódio, a 0,5% por 20 segundos. Em seguida, a suspensão resultante foi submetida a um conjunto de peneiras de 200 mesh e de 500 mesh. A suspensão aquosa retida na peneira de 500 mesh foi recolhida e a contagem e calibração do inóculo foi realizada em microscópio ótico com o auxílio de uma lâmina de Peter. A suspensão final foi ajustada para 500 ovos/mL.

Para a calibração do inóculo, utilizou-se de uma pipeta para agitar a suspensão recolhida afim que fique homogeneizada; após a mistura da suspensão coletou-se, com o auxílio

de uma pipeta, cerca de 2-3 ml da suspensão do inóculo e transferir todo esse conteúdo para a câmara de Peters (Machado et al., 2019). A câmara de Peters é subdividida em 24 quadrados, e para a contagem pode-se realizar a leitura de 6 desses quadrados e multiplicado por 4, assim determinará o quantitativo de ovos de nematoides em 1 mL da suspensão. Após a leitura, a calibração do inóculo foi realizada pela seguinte equação: $C_1 * V_1 = C_2 * V_2$, onde C_1 = concentração inicial da suspensão de nematoides; V_1 = volume inicial da suspensão; C_2 = concentração final (desejada) da suspensão; V_2 = volume final da suspensão.

A inoculação foi efetuada colocando-se 5 ml da suspensão de inóculo em 4 orifícios equidistantes do caule da planta com 3,0 cm de profundidade.

O experimento foi conduzido em blocos casualizados (DBC) com oito tratamentos e oito repetições, sendo duas testemunhas: uma absoluta e uma com nematoide e sem nematicidas, os demais tratamentos continham nematoides e doses de nematicidas recomendadas pela bula do produto (Tabela 1). Para o cálculo de dose de volume de calda/planta, foi considerado que 10.000 plantas de tomate/ha, representado a realidade de cultivo do ES.

Figura 3 - Preparo do inóculo. A (Processamento do inóculo) e B (Contagem e calibração da amostra).



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Figura 4 - Inoculação de ovos/J2 nas plantas de tomate.



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Figura 5 - Preparo de produto e distribuição dos tratamentos na casa de vegetação. A (Preparo dos produtos comerciais) e B (distribuição dos tratamentos).



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Tabela 1 – Descrição dos tratamentos utilizados no experimento, seguindo as recomendações de doses de cada produto.

Tratamentos	Especificações dos tratamentos	Produto comercial
Tratamento 1	Testemunha Absoluta – sem nematoide e sem nematicidas	-
Tratamento 2	Testemunha com PI de 2500 <i>M. inornata</i> e sem nematicidas	-
Tratamento 3	PI de 2500 <i>M. inornata</i> + dose/planta correspondente a 1 L de Fluopiran/ha.	Verango Prime
Tratamento 4	PI de 2500 <i>M. inornata</i> + dose/planta correspondente a 0,2 L de Ciclobutrifluram/ha.	Tymirium
Tratamento 5	PI de 2500 <i>M. inornata</i> + dose/planta correspondente a 1 L de Fluensulfona/ha.	Nimitz
Tratamento 6	PI de 2500 <i>M. inornata</i> + dose/planta correspondente a 0,3 kg de <i>B. subtilis</i> + <i>B. licheniformis</i> /ha.	Quartzo
Tratamento 7	PI de 2500 <i>M. inornata</i> + dose/planta correspondente a 0,4 kg de <i>B. velezensis</i> isolado CNPSo 3602	Certano
Tratamento 8	PI de 2500 <i>M. inornata</i> + dose/planta correspondente a 0,2 kg de <i>B. aryabhatai</i> ; <i>B. haynesii</i> ; <i>B. circulans</i> /ha.	Bioasis

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Avaliações: Os tomates foram mantidos em estufa sob irrigação de gotejo controlada. Após 42 dias da aplicação dos tratamentos, as plantas de tomateiro foram avaliadas individualmente.

As plantas foram retiradas dos vasos e as raízes foram seccionadas da parte aérea e lavadas cuidadosamente sob água corrente. A massa seca da parte aérea (MSPA), e massa fresca do sistema radicular (MFSR), foram aferidas em balança analítica digital com duas casas decimais.

Análises nematológicas: Posteriormente, foi realizada a extração dos ovos de *M. inornata* do sistema radicular segundo o método de Bonetti e Ferraz (1981) foi realizada a determinação do número final de ovos e eventuais juvenis. Essa metodologia foi efetuada com auxílio da câmara de Peters, sob microscópio ótico conforme descrito anteriormente. Esse número final (população final) foi usado no cálculo do fator de reprodução (FR) que é a população final do nematoide (Pf) / população inicial (Pi), ou seja, a PI foi de 2500 ovos e eventuais juvenis utilizados na inoculação do nematoide, (Oostenbrink, 1966) e foi calculado o número de ovos/grama de raiz (OGR).

Análises: As médias fitotécnicas do tomateiro foram submetidas à análise de variância e comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Já os resultados obtidos de PF, OGR e FR foram transformados em $\sqrt{x} + 0,5$, e foram submetidos à análise de variância e as

médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Em ambas as análises estatísticas dos dados experimentais foram utilizado o programa computacional ASSISTAT, versão 7.5 beta (Silva; Azevedo, 2002).

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Na tabela 2, estão representadas as comparações das médias com base nas medidas fitotécnicas do tomateiro nos diferentes tratamentos, ou seja, sob efeito das doses recomendadas do produto + nematoides, sem presença de nematoides e sem produto e com presença de nematoides e sem produto.

Tabela 2 - Matéria seca da parte aérea (MSPA) e massa fresca do sistema radicular (MFSR) de tomateiro aos 42 dias após a aplicação no solo de nematicidas químicos e biológicos.

Tratamento	MSPA	MFSR
Testemunha absoluta	6,3 a	13,5 a
Testemunha c/ <i>M. inornata</i>	4,6 ab	10,2 ab
Fluopyran	3,9 b	8,8 b
Ciclobutrifluram	5,1 ab	11,1 ab
Fluensulfona	0,4 c	0,5 c
<i>B. subtilis</i> ; <i>B. licheniformis</i>	4,7 ab	8,8 b
<i>B. velezensis</i> CNPSo 3602	5,1 ab	10,0 ab
<i>B. aryabhatai</i> ; <i>B. haynesii</i> ; <i>B. circulans</i>	5,3 ab	11,2 ab
CV (%)	24,13	26,01

As médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não se diferem estatisticamente entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Com relação a MSPA, verificou-se que há uma diferença significativa entre os tratamentos. Sendo que a testemunha absoluta diferiu significativamente dos tratamentos químicos Fluopyran e Fluensufona (tabela 2). Os tratamentos biológicos não diferiram

estatisticamente dos resultados da testemunha absoluta e do ciclobutrifluram. No entanto, a aplicação de fluensulfona matou a maioria das plantas do tratamento.

De acordo com AGROFIT, (2024), bactérias do gênero *Bacillus spp.*, estão amplamente presente nos bionematicidas, no Brasil. Segundo Hashem *et al.* (2019), essas bactérias são estimuladas pelos exsudatos radiculares e formam um biofilme em volta da raiz, e esse biofilme funciona como uma barreira e confere a prevenção de penetração de nematoides nas raízes. De acordo com Santos *et al.* (2018), as bactérias do gênero *Bacillus spp.* são promotoras do crescimento radicular, pois através da colonização das raízes, elas conseguem estimular a produção de reguladores do crescimento, em especial fitormônios. Isso explica o fato de os tratamentos biológicos terem apresentado resultados satisfatórios nas avaliações fitotécnicas (MSPA e MFSR). Pois através da formação do biofilme nas raízes foi possível estimular o crescimento radicular o que refletiu na parte aérea das plantas. Os resultados desse estudo corroboram com os resultados de Cardozo e Araújo (2011) que em suas pesquisas constataram a promoção de crescimento aéreo, na cultura da cana, causada por bactérias do gênero *Bacillus spp.*, que indica que houve uma promoção de crescimento nas raízes.

O produto biológico contendo *B. aryabhatai*; *B. haynesii*; *B. circulans*, obteve um bom resultado no crescimento radicular e no ganho da parte aérea (Tabela 2), no entanto, esse produto está registrado como um regulador de crescimento e não possui registro como bionematicida. Com relação a MFSR, o bionematicida composto com *B. subtilis*; *B. licheniformis* apresentou o mesmo efeito do nematicida químico fluopyram e abaixo da MFSR da testemunha absoluta.

A redução do sistema radicular pode ser considerada uma fitotoxidez oculta, nesse sentido, o tratamento que se destaca dentre os nematicidas químicos é o que contém a molécula de Ciclobutrifluram, se comparado com os tratamentos biológicos, não teve diferença significativa e foi similar a testemunha absoluta. A molécula de fluopyram, apesar de ter conservado o sistema radicular, teve uma diferença significativa com os demais tratamentos, em relação as duas variáveis, em contrapartida o nematicida que contém Fluensulfona matou as plantas (Tabela 2)

Segundo Oka *et al.* (2009), o nematicida químico fluensulfona é uma molécula nova e pertencente a classe química fluoroalquênios. E que apesar de sua eficiência no manejo de *Meloidogyne spp.*, de acordo com Morris *et al.* (2016), possui o seu mecanismo de ação ainda desconhecido. E foi possível constatar no experimento que ele causa fitotoxidez, e que leva a morte tanto dos nematoides alvo como também da planta. Resultados semelhantes foi constatado por Giannakou *et al.* (2019), a molécula de fluensulfona causou fitotoxidez,

especialmente em solanáceas, ocasionando, principalmente, a redução de crescimento radicular, da parte aérea e morte de plantas. Por isso nas avaliações fitotécnicas e nematológica as médias de variação do tratamento contendo fluensulfona, obteve os piores resultados.

Na tabela 3 consta as análises nematológicas e é possível verificar uma diferença significativa entre os tratamentos. Os tratamentos mais significativos para o controle de nematoides foram os nematicidas químicos, com exceção da molécula química fluensulfona, que ocasionou uma fitotoxidez, e levou as plantas a morte. Portanto, a não multiplicação dos nematoides não é efeito da molécula sobre os ovos ou juvenis infectivos, e sim da falta de raízes aptas a multiplicação dos nematoides.

Tabela 3: Ovos totais (OT), Ovos/grama de raiz (OGR) e Fator de reprodução de *M. inornata* (FR) a diferentes nematicidas químicos e biológicos.

Tratamentos	OT	OGR	FR
Testemunha absoluta	0,0 c	0,0 c	0,0 c
Testemunha c/ <i>M. inornata</i>	2243,4 a	249,8 a	2,2 a
Fluopyran	163,4 c	19,4 c	0,2 bc
Ciclobutifluram	180,6 bc	17,8 c	0,2 bc
Fluensulfona	0,0 c	0,0 c	0,0 c
<i>B. subtilis</i> ; <i>B. licheniformis</i>	746,3 bc	86,1 bc	0,7 bc
<i>B. velezensis</i> CNPSo 3602	891,4 b	103,9 bc	0,9 b
<i>B. aryabhatai</i> ; <i>B. haynesii</i> ; <i>B. circulans</i>	1728,0 a	173,3 ab	1,7 a
CV (%)	64,19	94,20	64,19

As médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não se diferem estatisticamente entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Os demais tratamentos químicos contendo, ciclobutifluram e fluopyran, obtiveram resultados satisfatórios nas avaliações fitotécnicas e nematológicas (Tabela 2 e 3). É possível constatar que esses tratamentos foram eficazes no manejo do *Meloidogyne inornata* e que através dessa eficácia as variáveis, MSPA e MFSR, não sofreram perdas significativas com

a presença dos nematoides. A molécula de fluopyram possui ação nematostática e que até em baixas concentrações, foi eficaz no manejo de *Meloidogyne incognita* no tomateiro, de acordo com Silva *et al.* (2019). Ou seja, a molécula de fluopyram, causa a redução da população de nematoides, com base do seu modo de ação. Que de acordo com Broeksma (2014), essa molécula inibe a succinato desidrogenase no complexo II, que promove a inibição da respiração.

Por ser uma molécula nova no mercado, pesquisas sobre a molécula de ciclobutrifluram, são poucas, e as pesquisas relacionadas a esse produto possuem outros focos. Mas pode-se afirmar que essa molécula é eficaz no manejo de *Meloidogyne inornata*, pois ela conseguiu reduzir a população desses nematoides e promover um bom desenvolvimento das plantas.

Em relação as avaliações nematológicas, OGR e FR, as diferenças não foram significativas, entre os tratamentos com nematicidas químicos e biológicos.

Enquanto os nematicidas químicos reduziram em média 92% a quantidade de OT de *M. inornata*, os tratamentos biológicos reduziram 63,5%. Considerando o intervalo de tempo avaliado, o químico foi proporcionalmente mais eficiente. A multiplicação de nematoides foi maior, mas o ganho radicular e de parte aérea obtiveram bons resultados com uso dos biológicos. Mostrando que apesar dos tratamentos não serem tão eficazes na redução da população de nematoides, esses tratamentos conseguem formar um biofilme em volta da raiz para prevenir a entrada de nematoides, e esse biofilme de *Bacillus spp.*, auxiliam no crescimento radicular, pois essas bactérias são agentes reguladores de crescimento radicular. Então a planta não irá sentir um impacto maior com a presença de nematoides. Pois o sistema radicular irá crescer aumentando sua zona de contato, com esse aumento vem raízes mais novas que são especializadas em absorção de nutrientes e água, fazendo com que a planta consiga se desenvolver.

5 CONCLUSÃO

Os tratamentos que continham em sua composição microrganismos propiciaram a planta um desenvolvimento vegetativo significativo.

Nematicida químico Fluensulfona na dose que foi aplicada é capaz de ocasionar uma fitotoxicidade severa em plantas jovens de tomateiro.

Nematicidas químicos e biológicos se complementam. Pois nematicidas químicos conseguem reduzir a população de nematoides no solo mais eficientemente, e conseqüentemente o fator reprodução e ovos/grama de raiz, também são reduzidos. Os nematicidas biológicos conseguem manter a planta mais saudável, e melhorando as condições para que ela consiga se desenvolver.

Por isso esses produtos devem ser utilizados para se complementarem, entrando primeiramente com o nematicida químico para reduzir a população e após entrar com o produto biológico (principalmente com *Bacillus spp.*) para melhorar o crescimento radicular dessas plantas.

REFERÊNCIAS

- ABALLAY, E.; ÓRDENES, P.; MARTENSSON, A.; PERSSON, P. Effects of rhizobacteria on parasitism by *Meloidogyne ethiopica* on grapevines. **European Journal of Plant Pathology**, v. 135, n. 1, p. 137-145, 2013. DOI: 10.1007/s10658-012-0073-7.
- ABD-ELGAWAD, M. M. M.; ASKARY, T. H. Factors affecting success of biological agents used in controlling the plant-parasitic nematodes. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 30, art. 17, 2020. DOI: 10.1186/s41938-020-00215-2.
- ABD-ELGAWAD, M.M.M. Optimizing safe approaches to manage plant-parasitic nematodes. **Plants**, v. 10, n. 9, art. 1911, 2021. DOI: 10.3390/plants10091911.
- ABDEL-SALAM, M.S. *et al.* Improving the nematicidal potential of *Bacillus velezensis* and *Lysinibacillus sphaericus* against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* using protoplast fusion technique. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 28, art. 31, 2018. DOI: 10.1186/s41938-018-0034-3.
- AGROFIT. Produtos técnicos. Brasília, DF: Ministério da Agricultura e Pecuária, 2024. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 17 dez. 2024.
- BANORA, M. Y. **Impacting of root-knot nematodes on tomato: current status and potential horizons for its managing**. In: LOPS, F. (ed.). *Tomato Cultivation and Consumption: Innovation and Sustainability*. London: IntechOpen, 2023. DOI: 10.5772/intechopen.112868. Disponível em: <https://doi.org/10.5772/intechopen.112868>. Acesso em: 17 dez. 2024.
- BEEMAN, A. Q.; TYLKA, G. L. Assessing the effects of ILeVO and VOTiVO seed treatments on reproduction, hatching, motility and root penetration of the soybean cyst nematode, *Heterodera glycines*. **Plant Disease**, v. 102, n. 1, p. 107-113, 2018. DOI: 10.1094/PDIS-04-17-0585-RE.
- BOGDÁNYI, F. B. *et al.* Composted municipal green waste infused with biocontrol agents to control plant parasitic nematodes: a review. **Microorganisms**, v. 9, n. 10, art. 2130, 2021. DOI: 10.3390/microorganisms9102130.
- BONETI, J.I.S.; FERRAZ, S. Modificação do método de Hussey & Barker para extração de ovos de *Meloidogyne exigua* em raízes de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v. 6, supl., p. 553, 1981.
- BROEKSMA, A.; PUETZKUHL, K.; LAMPRECHT, S.; FUERSCH, H. Velum®: an evolutionary nematicide for efficient crop production. **Journal of Nematology**, v. 46, n. 2, p. 140-141, 2014.
- BUNT, J. A. **Effect and mode of action of some systemic nematicides**. Wageningen: H. Veenman & Zonen, 1975. Disponível em: <https://research.wur.nl/en/publications/effect-and-mode-of-action-of-some-systemic-nematicides/>. Acesso em: 20 dez. 2024.

CAMARA G.R., *et al.* First report of *Meloidogyne inornata* on *Smallanthus sonchifolius* in Brazil. **Plant Disease**, v. 104, n. 2, p. 595, 2020. DOI: 10.1094/PDIS-05-19-1056-PDN.

CARDOZO, R. B.; ARAÚJO, F. F. Multiplicação de *Bacillus subtilis* em vinhaça e viabilidade no controle da meloidoginose, em cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 12, p. 1283-1288, 2011. DOI: 10.1590/S1415-43662011001200010.

CARNEIRO, R. M. D. G., *et al.* Additional information on *Meloidogyne inornata* Lordello, 1956 (Tylenchida: Meloidogynidae) and its characterisation as a valid species. **Nematology**, v. 10, n. 1, p. 123-136, 2008. DOI: 10.1163/156854108783360131.

CARNEIRO, R. M. D. G.; ALMEIDA, M. R.A.; QUÉNÉHERVÉ, P. Enzyme phenotypes of *Meloidogyne spp.* populations. **Nematology**, v. 2, n. 6 p. 645-654, 2000. DOI: 10.1163/156854100509510.

CHITWOOD, D. J. Research on plant-parasitic nematode biology conducted by the United States Department of Agriculture - Agricultural Research Service. **Pest Management Science**, v. 59, n. 6-7, p. 748-753, 2003. DOI: 10.1002/ps.684.

CHOUDHARY, D. K.; JOHRI, B. N. Interactions of *Bacillus spp.* and plants with special reference to induced systemic resistance (ISR). **Microbiological Research**, v. 164, n. 5, p. 493-513, 2009. DOI: 10.1016/j.micres.2008.08.007.

DARLING, E. *et al.* A new biological product shows promising control of the northern root-knot nematode, *Meloidogyne hapla*, in greenhouse tomatoes. **Plants**, v. 55, n. 15, art. e20230023, 2023. DOI: 10.2478/jofnem-2023-0023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Importância. Brasília, DF: Embrapa. [s.d.]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/tomate/pre-producao/socioeconomia/importancia>. Acesso em 20 dez. 2024.

FASKE, T. R.; HURD, K. Sensitivity of *Meloidogyne incognita* and *Rotylenchulus reniformis* to fluopyram. **Journal of Nematology**, v. 47, n. 4, p. 316–321, 2015. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4755706/>. Acesso em: 17 dez. 2024.

FRANCL, L. J.; WHEELER, T. A. **Interaction of plant parasitic nematodes with wilt inducing fungi**. In: KHAN, M. W. (ed.). Nematode interactions, London: Chapman & Hall, 1993. p. 79-103. DOI: 10.1007/978-94-011-1488-2_5.

FREY, C. J. *et al.* High tunnel and grafting effects on organic tomato plant disease severity and root-knot nematode infestation in a subtropical climate with sandy soils. **HortScience**, v. 55, n. 1, p. 46-54, 2020. DOI: 10.21273/HORTSCI14166-19.

FUNGICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE (FRAC). FRAC code list 2020: fungal control agents sorted by mode of action (including FRAC code numbering). 2020. Disponível em: https://www.frac-br.org/_files/ugd/6c1e70_af87611de3ca44eb97834ce14fc3973c.pdf. Acesso em: 20 dez. 2024.

GIANNAKOU, I. O.; PANOPOULOU, S. The use of fluensulfone for the control of root-knot nematodes in greenhouse cultivated crops: efficacy and phytotoxicity effects. **Cogent Food & Agriculture**, v. 5, n.1, art.1643819, 2019. DOI: 10.1080/23311932.2019.1643819.

GRECO, N.; DI VITO, M. Main nematode problems of tomato. In: International Symposium on Tomato Diseases, 3., 2011. **Acta Horticulturae**, v. 914, p. 243- 249, 2011. DOI: 10.17660/ActaHortic.2011.914.44.

GUIMARÃES, L. M. B. *et al.* Resistência de Tomateiro à *Meloidogyne inornata*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 49., 2016, Maceió, AL. **Anais**. Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, 2016. Resumo.

HASHEM, A.; TABASSUM, B.; ABD-ALLAH, E. F. *Bacillus subtilis*: a plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, n. 6, p. 1291-1297, 2019. DOI: 10.1016/j.sjbs.2019.05.004.

HEWLETT, T.E.; TARJAN, A.C. Synopsis of the genus *Meloidogyne Goeldi*, 1887. **Nematropica**, v. 13, n. 1, p. 79-102, 1983. Disponível em: <https://journals.flvc.org/nematropica/article/view/63804>. Acesso em: 16 dez. 2024.

HU, H.J. *et al.* Endophytic *Bacillus cereus* effectively controls *Meloidogyne incognita* on tomato plants through rapid rhizosphere occupation and repellent action. **Plant Disease**, v. 101, n. 3, p. 448-455, 2017. DOI: 10.1094/PDIS-06-16-0871-RE.

INSECTICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE (IRAC). Nematicidas e Nematicidas Microbiológicos. 2022. Disponível em: https://www.irac-br.org/_files/ugd/2bed6c_3bce832eab3a42a1a1f8defc9cb7dc07.pdf. Acesso em: 20 dez 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção agrícola municipal: lavoura temporária. Alfredo Chaves, ES, 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/alfredo-chaves/pesquisa/14/10193>. Acesso em: 20 dez. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção agrícola municipal: lavoura temporária. Venda Nova do Imigrante, ES, 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/venda-nova-do-imigrante/pesquisa/14/10193>. Acesso em: 20 dez. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção agrícola municipal: lavoura temporária. Santa Maria de Jetibá, ES, 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/santa-maria-de-jetiba/pesquisa/14/10193>. Acesso em: 20 dez. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção agrícola municipal: lavoura temporária. Domingos Martins, ES, 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/domingos-martins/pesquisa/14/10193>. Acesso em: 20 dez. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção agropecuária: tomate 2023. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/tomate/es>. Acesso em: 20 dez. 2024.

KAVITHA, P. G.; JONATHAN, E. I.; NAKKEERAN, S. Effects of crude antibiotic of *Bacillus subtilis* on hatching of eggs and mortality of juveniles of *Meloidogyne incognita*. **Nematologia Mediterranea**, v. 40, n. 2, p. 203-206, 2012. Disponível em: <https://journals.flvc.org/nemamedi/article/view/87105>. Acesso em: 16 dez. 2024.

KHAN, M. R. Plant nematodes: *methodology, morphology, systematics, biology and ecology*. **New Hampshire**: Science Publishers, 2008. 360 p.

KHAN, M. R. **Prospects of microbial control of root-knot nematodes infecting vegetable crops**. In: CIANCIO, A.; MUKERJI, K. G. (ed.). General concepts in integrated pest and disease management. Dordrecht: Springer, 2007. p. 643–665. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4020-6063-2>. Acesso em: 16 dez. 2024.

KHAN, M. R.; HAQUE, Z.; KAUSAR, N. Management of the root-knot nematode *Meloidogyne graminicola* infesting rice in the nursery and crop field by integrating seed priming and soil application treatments of pesticides. **Crop Protection**, v. 63, p. 15-25, 2014. DOI: 10.1016/j.cropro.2014.04.020.

KHAN, M. R.; KHAN, M. W. Histo-physiological alternations induced by *Meloidogyne incognita* in tomato. **International Nematology Network Newsletter**, v. 4, p. 10-12, 1987.

KHAN, M. R.; MOHIDDIN, F. A.; AHAMAD, F. Inoculant rhizobia suppressed root-knot disease, and enhanced plant productivity and nutrient uptake of some field-grown food legumes. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science**, v. 68, n. 2, p.166-174, 2018. DOI: 10.1080/09064710.2017.1374448.

KHAN, M. R.; SHARMA, R. K. Fusarium-nematode wilt disease complexes, etiology and mechanism of development. **Indian Phytopathology**, v. 73, n. 4, p. 615–628, 2020. DOI: 10.1007/s42360-020-00260-0.

KHAN, M. R. Nematode pests of agricultural crops: a global overview. In: KHAN, M. R. (ed.). **Novel Biological and Biotechnological Applications in Plant Nematode Management**. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023. p. 3-45. DOI: 10.1007/978-981-99-2893-4_1.

KHAN, M. W. The four major species of root-knot nematodes: current status and management approach. **Indian Phytopathology**, v. 50, n. 4, p. 445-457, 1997. Disponível em: <https://epubs.icar.org.in/index.php/IPPJ/article/view/19894>. Acesso em: 16 dez. 2024.

KUNWAR, S. *et al.* Grafting using rootstocks with resistance to *Ralstonia solanacearum* against *Meloidogyne incognita* in tomato production. **Plant Disease**, v. 99, n. 1, p. 119-124, 2015. DOI: 10.1094/PDIS-09-13-0936-RE.

LORDELLO, L. G. E. *Meloidogyne inornata* sp. n., a serious pest of soybean in the state of

São Paulo, Brazil (Nematoda, Heteroderidae). **Revista Brasileira de Biologia**, v. 16, n. 1, p. 65-70, 1956.

MACHADO, A. C.Z.; SILVA, S. A.; FERRAZ, L. C. C. B. **Métodos em nematologia agrícola**. 1. ed., Piracicaba: Sociedade Brasileira de Nematologia, 2019. 184 p.

MORRIS, K. A. *et al.* Efficacy of various application methods of fluensulfone for managing root-knot nematodes in vegetables. **Journal of Nematology**, v. 48, n. 2, p. 65-71, 2016.

Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/305366698_Efficacy_of_Various_Application_Methods_of_Fluensulfone_for_Managing_Root-knot_Nematodes_in_Vegetables. Acesso em: 17 dez. 2024.

NEKOVAL, S. N. *et al.* Microorganism strains, environmentally friendly and biological preparations against *Meloidogyne hapla* Chitwood, 1949 and their impact on fruit quality and tomato crop structure. **Microorganisms**, v. 12, n. 12, art. 2586, 2024. DOI: 10.3390/microorganisms12122586.

NICOL, J. M. *et al.* Current nematode threats to world agriculture. In: JONES, J.; GHEYSEN, G.; FENOLL, C. (ed.). *Genomics and molecular genetics of plant-nematode interactions*. Heidelberg: Springer, 2011. p. 21-43. DOI: 10.1007/978-94-007-0434-3_2.

OKA, Y.; SHUKER, S.; TKACHI, N. Nematicidal efficacy of MCW-2, a new nematicide of the fluoroalkenyl group, against the root-knot nematode *Meloidogyne javanica*. **Pest Management Science**, v. 65, n. 10, p. 1082–1089, 2009. DOI: 10.1002/ps.1796.

OKA, Y.; SHUKER, S.; TKACHI, N. Systemic nematicidal activity of fluensulfone against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* on pepper. **Pest Management Science**, v. 68, n. 2, p. 268-275, 2012. DOI: 10.1002/ps.2256.

OPPERMAN, C. H.; CHANG, S. Plant-parasitic nematode acetylcholinesterase inhibition by carbamate and organophosphate nematicides. **Journal of Nematology**, v. 22, n. 4, p. 481-488, 1990. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2619087/>. Acesso em: 16 dez. 2024.

PONTES, K. B. *et al.* Efficacy of microbiological nematicides in controlling root-knot nematodes in tomato. **Frontiers in Agronomy**, v. 6, art. 1462323, 2024. DOI: 10.3389/fagro.2024.1462323.

RAHMAN, M. U., *et al.* Application of fungi as biological control strategies for nematode management in horticultural crops. **Phytopathology Research**, v. 6, art. 31, 2024. DOI: 10.1186/s42483-024-00257-6.

RAVICHANDRA, N. G. **Horticultural nematology**. New Delhi: Springer India, 2014. 412 p. DOI: 10.1007/978-81-322-1841-8.

SAMURA, A. E. Pests, diseases, growth and yield of tomato as influenced by variety and cultivation technology. **Journal of Plant Sciences**, v. 12, n. 5, p. 122-137, 2024. DOI: 10.11648/j.jps.20241205.11.

SANTOS, M. L. *et al.* Benefits associated with the interactions of endophytic bacteria and plants. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 61, e18160398, 2018. DOI: 10.1590/1678-4324-2018160431.

SASSER, J. N. **Plant-parasitic nematodes: the farmer's hidden enemy**. Raleigh: North Carolina State University; Consortium for International Crop Protection, 1989. 115 p.

SASSER, J. N.; EISENBACK, J. D.; CARTER, C. C.; TRIANTAPHYLLOU, A. C. The international *Meloidogyne* project: its goals and accomplishments. **Annual Review of Phytopathology**, v. 21, p. 271-288, 1983. DOI: 10.1146/annurev.py.21.090183.001415.

SIKORA, R. A.; CLAUDIUS-COLE, B.; SIKORA, E. J. **Nematode parasites of food legumes**. In: SIKORA, R. A.; COYNE, D.; HALLMANN, J.; TIMPER, P. (ed.). *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture*. 3. ed. Wallingford: CAB International, 2018. p. 290-345. DOI: 10.1079/9781786391247.0290.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2002.

SILVA, J. O. *et al.* Efficacy of new nematicides for managing *Meloidogyne incognita* in tomato crop. **Journal of Phytopathology**, v. 167, n. 4, p. 295-298, 2019. DOI: 10.1111/jph.12798.

SUMAC, A. Compêndio de Estudos da Conab - v.21 - tomate: análise dos indicadores da produção e comercialização no mercado mundial, brasileiro e catarinense. Brasília, DF: Companhia Nacional de Abastecimento, 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/institucional/publicacoes/compendio-de-estudos-da-conab/item/12529-compendio-de-estudos-da-conab-v-21-tomate-analise-dos-indicadores-da-producao-e-comercializacao-no-mercado-mundial-brasileiro-e-catarinense>. Acesso em: 20 dez. 2024.

TAYLOR, A. L. Nematocides and nematicides: a history. **Nematropica**, v. 33, n. 2, p. 225-232, 2003. Disponível em: <https://journals.flvc.org/nematropica/article/view/69679>. Acesso em: 16 dez. 2024.

WHITEHEAD, A. G. Taxonomy of *Meloidogyne* (Nematoda: Heteroderidae) with descriptions of four new species. **Transactions of the Zoological Society of London**, v. 31, n. 3, p. 263-401, 1968. DOI: 10.1111/j.1096-3642.1968.tb00368.x.

ZHENG, Z. *et al.* Nematicidal spore-forming Bacilli share similar virulence factors and mechanisms. **Scientific Reports**, v. 6, art. 31341, 2016. DOI: 10.1038/srep31341.