



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

KAROLINE BARBOSA PONTES

**EFICIÊNCIA DE NEMATICIDAS MICROBIOLÓGICOS NO
CONTROLE DE NEMATOIDES DAS GALHAS NA CULTURA
DO TOMATE**

Londrina
2022

KAROLINE BARBOSA PONTES

**EFICIÊNCIA DE NEMATICIDAS MICROBIOLÓGICOS NO
CONTROLE DE NEMATOIDES DAS GALHAS NA CULTURA
DO TOMATE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Universidade Estadual de Londrina - UEL,
como requisito para a obtenção do título de
Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Simões Azeredo
Gonçalves

Londrina
2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Pontes, Karoline Barbosa.

EFICIÊNCIA DE NEMATICIDAS MICROBIOLÓGICOS NO CONTROLE DE NEMATÓIDES DAS GALHAS NA CULTURA DO TOMATE / Karoline Barbosa Pontes. - Londrina, 2022.
61 f.

Orientador: Leandro Simões Azeredo Gonçalves.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2022.
Inclui bibliografia.

1. Agronomia - Tese. 2. Manejo genético - Tese. 3. Manejo biológico - Tese. 4. Nematóide - Tese. I. Gonçalves, Leandro Simões Azeredo. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 63

KAROLINE BARBOSA PONTES

**EFICIÊNCIA DE NEMATICIDAS MICROBIOLÓGICOS NO
CONTROLE DE NEMATOIDES DAS GALHAS NA CULTURA
DO TOMATE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Estadual de
Londrina - UEL, como requisito para a
obtenção do título de Mestre em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Orientador

Dr. Leandro Simões Azeredo Gonçalves
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Membro 2

Dra. Andressa Cristina Zamboni Machado
Instituto de Desenvolvimento Rural – IDR -
Paraná

Prof. Membro 3

Dra. Karina Maria Lima Milani
Stoller

Londrina, 30 de junho de 2022.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Leandro Simões Azeredo Gonçalves, meu orientador e amigo de todas as horas, que acreditou em meu potencial acadêmico e acompanhou cada evolução do trabalho. No qual não mediu esforços em me orientar, compartilhar conhecimentos e auxiliar para que pudéssemos obter o sucesso do trabalho.

A toda equipe do LEBA- Laboratório de Ecofisiologia e Biotecnologia Agrícola da Universidade Estadual de Londrina, por me auxiliarem no decorrer dos experimentos e avaliações.

À Prof^a Dra. Andressa C Z Machado por compartilhar conhecimentos teóricos e práticos com tanto carinho, a fim de contribuir com minha formação acadêmica, e toda equipe do laboratório de Nematologia do IDR-Paraná, por todo apoio, paciência e dedicação em me auxiliar no desenvolvimento dos ensaios.

A CAPES pelo auxílio financeiro.

Aos produtores Keiko Mori e Adilson Mori, por acreditar em nosso trabalho e gentilmente ceder suas propriedades para realização de nossos ensaios.

A minha família, namorado e amigos pelo incentivo, por me acompanhar nos experimentos e avaliações, por participar e entender meus momentos de alegria e nervosismo, por nunca questionarem a minha capacidade de evolução diária e serem o meu suporte em todas as circunstâncias sempre me ofertando amor, carinho e compreensão.

Acima de tudo, a Deus, pelo dom da vida e por me conceder discernimento em todas as minhas decisões, à Nossa Senhora por interceder a meu favor e ser meu exemplo de humildade e amor ao próximo.

A todos que contribuíram direta e indiretamente para minha formação acadêmica e pessoal, para a realização e conclusão deste trabalho, minha sincera gratidão.

"Isto é uma ordem: sê firme e corajoso. Não te atemorizes, não tenhas medo, porque o Senhor está contigo em qualquer parte para onde fores".

Josué 1:9

RESUMO

PONTES, KAROLINE BARBOSA. **Eficiência de nematicidas microbiológicos no controle de nematoides das galhas na cultura do tomate.** 2022. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2022.

Os nematoides das galhas (RKNs) são considerados um dos principais fatores limitantes para a produção de tomate, causando enormes perdas econômicas. Diversas medidas de controle vêm sendo empregadas para controle de RKNs em áreas infestadas, como por exemplo, rotação ou sucessão de culturas com espécies não hospedeiras, utilização de cultivares resistentes e aplicação de nematicidas químicos e/ou biológicos. Portanto, o presente trabalho teve como objetivos avaliar o efeito de controle de diferentes produtos biológicos contra diferentes espécies de *Meloidogyne* na cultura do tomate, em casa de vegetação, e avaliar esses produtos em condições de campo visando verificar os seus efeitos nas populações de nematoides associadas à raiz e nas características agrônômicas e físico-químicas de frutos de plantas de tomate enxertadas e não-enxertadas. Para tanto, seis produtos biológicos de diferentes empresas foram avaliados, sendo: Ag109 (AgBio, *Bacillus velezensis*), Votivo Prime® (BASF, *B. firmus*), Quartzo® (FMC, *B. subtilis* e *B. licheniformis*), Veraneio® (Koppert, *B. amyloliquefaciens*), Nemat® (Ballagro, *Purpureocillium lilacinum*) e Rizotec® (Stoller, *Pochonia chlamydosporia*). Para o estudo de casa de vegetação, esses produtos foram avaliados para o controle de três espécies de nematoides das galhas (*M. incognita*, *M. javanica* e *M. enterolobii*). Em condições de campo, foram instalados experimentos em duas localidades no município de Uraí, Paraná. Ambas as propriedades agrícolas adotam o sistema de cultivo orgânico e apresentam histórico de perdas ocasionadas por nematoides. Em cada local, foram realizados dois experimentos (mudas enxertadas e não-enxertadas), das cultivares Trindade® (HM.Clause) e Graziani® (Sakata), respectivamente nos locais 1 e 2. Para ambos os locais, o porta-enxerto utilizado foi a cultivar Woodstock® (Sakata). O delineamento estatístico adotado foi o de blocos ao acaso, com três repetições. As características avaliadas foram: i) produção (Kg planta⁻¹), ii) massa média do fruto (MMF), iii) comprimento do fruto (CF), iv) diâmetro do fruto (DF), v) firmeza do fruto (FIRM), vi) espessura do pericarpo do fruto (EP), vii) teor de sólidos solúveis totais (TSS), viii) açúcares redutores (AR), ix) acidez titulável (AT), x) vitamina C (VITC), xi) fenóis totais (FT) e xii) atividade antioxidante pelo método DPPH (α , α -diphenyl- β -picrylhydrazyl). No final do experimento, foram realizadas coletas de raízes para determinação do número de ovos + juvenis de *Meloidogyne* por grama de raiz. Para os estudos de casa de vegetação, foi observada maior patogenicidade ao tomateiro de *M. javanica* e *M. enterolobii* em comparação a *M. incognita*. Os nematicidas microbiológicos foram mais efetivos para controle de *M. javanica*, enquanto, para *M. incognita*, os produtos avaliados não foram efetivos. Para os estudos de campo, a maioria dos nematicidas microbiológicos avaliados foi efetiva para incremento da produção por planta. No entanto, quando analisada a população de *Meloidogyne* no campo, a aplicação dos nematicidas microbiológicos não foi efetiva para o controle em plantas sem porta-enxerto. Por sua vez, nas plantas enxertadas os tratamentos Ag109, Veraneio, Rizotec e Nemat potencializaram a redução da população de *Meloidogyne* nas raízes, com reduções médias de 68,47, 57,97, 77,29 e 56,70%, respectivamente,

indicando a efetividade do manejo integrado de nematicidas microbiológicos e porta-enxerto resistente na cultura do tomate. Além disso, o uso combinado dessas duas medidas de controle não alterou a qualidade nutricional dos frutos do tomate.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum*, *Meloidogyne* spp., agentes de biocontrole, porta-enxerto, manejo integrado de doenças.

ABSTRACT

PONTES, KAROLINE BARBOSA. **Efficiency of microbiological nematicides in the control of root-knot nematodes in tomato crop.** 2022. Dissertation (Master degree in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2022.

Root-knot nematodes (RKNs) are considered one of the main limiting factors for tomato production causing high economic losses. Several control measures have been used to control RKNs in infested areas, such as crop rotation or succession with non-host species, use of resistant cultivars and application of chemical and/or biological nematicides. Therefore, the present work aimed to evaluate the effect of different biological nematicides in the control of different species of *Meloidogyne* in tomato plants under greenhouse, and to evaluate the effect of these products under field conditions on nematode populations associated with tomato roots and on agronomic and physicochemical characteristics of fruits of grafted and non-grafted tomato plants. For that, six biological nematicides from different companies were evaluated: Ag109 (AgBio, *Bacillus velezensis*), Votivo Prime® (BASF, *B. firmus*), Quartzo® (FMC, *B. subtilis* and *B. licheniformis*), Veraneio® (Koppert, *B. amyloliquefaciens*), Nemat® (Ballagro, *Purpureocillium lilacinum*) and Rizotec® (Stoller, *Pochonia chlamydosporia*). Under greenhouse, these products were evaluated for the control of three species of nematodes (*M. incognita*, *M. javanica*, and *M. enterolobii*). Under field conditions, experiments were carried out in two locations in the municipality of Uraí, Paraná. Both farmers are cultivated in the organic system and have a history of losses caused by nematodes. For each site, two experiments were performed (grafted and non-grafted seedlings), using the cultivars Trinidad® (HM.Clause) and Graziani® (Sakata), respectively for sites 1 and 2. For both sites, the rootstock used was the resistant cultivar Woodstock® (Sakata). The statistical design adopted was the randomized blocks, with three replicates. The characteristics evaluated were: i) yield (Kg plant⁻¹), ii) fruit weight (MMF), iii) fruit length (CF), iv) fruit diameter (DF), v) fruit firmness (FIRM), vi) fruit pericarp thickness (EP), vii) total soluble solids (TSS), viii) reducing sugars (AR), ix) titratable acidity (AT), x) vitamin C (VITC), xi) total phenols (TF), and xii) antioxidant activity by the DPPH method (α , α -diphenyl- β -picrylhydrazyl). At the end of the experiment, tomato roots were sampled to determine the number of *Meloidogyne* eggs + juveniles per gram of root. In the greenhouse studies, a higher pathogenicity was observed for *M. javanica* and *M. enterolobii* compared to *M. incognita*. The biological nematicides were more effective in the control of *M. javanica*, while no effective control was observed for *M. incognita*. In the field studies, most of the biological nematicides evaluated were effective in increasing yields per plant. However, when analyzing the population of *Meloidogyne* in the field, the application of biological nematicides was not effective in plants without the resistant rootstock. On the other hand, in the grafted plants, the treatments Ag109, Veraneio, Rizotec, and Nemat improved the reduction of the *Meloidogyne* population in the roots, with reductions of 68.47, 57.97, 77.29, and 56.70%, respectively, indicating the effectiveness of integrated management using biological nematicides and resistant rootstock in tomato crops. Furthermore, the combined use of these two control measures did not affect the nutritional quality of tomato fruits.

Key-words: *Solanum lycopersicum*, *Meloidogyne* spp., biocontrol agents, rootstock, integrated management of diseases.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Imagens dos experimentos realizados no município de Uraí (Experimentos I e II) na cultura do tomateiro utilizando diferentes nematicidas microbiológicos.	27
Figura 2. Imagens do sistema radicular do tomate (com e sem porta-enxerto) com aplicação de diferentes nematicidas microbiológicos no experimento 1.	39
Figura 3. Imagens do sistema radicular do tomate (com e sem porta-enxerto) com aplicação de diferentes nematicidas microbiológicos no experimento 2.	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Nematicidas microbiológicos utilizados para o controle de nematoides das galhas na cultura do tomate.	25
Tabela 2. Anova <i>type statistic</i> e médias para avaliação de diferentes nematicidas microbiológicos para controle de <i>Meloidogyne incognita</i> , <i>M. javanica</i> e <i>M. enterolobii</i> em casa de vegetação.	30
Tabela 3. Teste de bonferroni para avaliação de diferentes nematicidas microbiológicos para controle de <i>Meloidogyne incognita</i> , <i>M. javanica</i> e <i>M. enterolobii</i> em casa de vegetação	32
Tabela 4. Análise de variância para produção (Kg planta ⁻¹) em tomates tratados com diferentes nematicidas microbiológicos e avaliados em dois locais com plantas com e sem porta-enxertos resistentes.	33
Tabela 5. Análise de comparação de médias para produção (Kg planta ⁻¹) em tomates tratados com diferentes nematicidas microbiológicos e avaliados em dois locais com plantas com e sem porta-enxertos resistentes	33
Tabela 6. Análise de variância para características físico-químicas de frutos de tomates em plantas tratadas com diferentes nematicidas microbiológicos e avaliadas em dois locais com plantas com e sem porta-enxertos – Experimento 1.....	34
Tabela 7. Análise de variância para características físico-químicas de frutos de tomates em plantas tratadas com diferentes nematicidas microbiológicos e avaliadas em dois locais com plantas com e sem porta-enxertos – Experimento 2.....	37
Tabela 8. Análise de comparação de médias para massa média, comprimento e diâmetro do fruto (MMF, CF e DF, respectivamente) em plantas de tomate tratadas com diferentes nematicidas microbiológicos e avaliadas no experimento 2.	38
Tabela 9. Anova <i>type statistic</i> para número de ovos + juvenis de <i>Meloidogyne</i> spp. por grama de raiz em raízes de tomates tratados com diferentes nematicidas microbiológicos e avaliados em dois locais com plantas com e sem porta-enxertos	38
Tabela 10. Número de ovos + juvenis de <i>Meloidogyne</i> spp. por grama de raiz em raízes de tomates tratadas com diferentes nematicidas microbiológicos e avaliadas em dois locais com plantas com e sem porta-enxertos.....	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1	IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO TOMATEIRO	14
2.2	PRINCIPAIS DOENÇAS DO TOMATEIRO.....	15
2.3	NEMATOIDES	17
2.4	PRINCIPAIS FORMAS DE CONTROLE POPULACIONAL DE NEMATOIDES	18
2.4.1	Controle Cultural.....	19
2.4.2	Controle Químico.....	19
2.4.3	Controle Biológico.....	20
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1	EXPERIMENTO EM CASA DE VEGETAÇÃO.....	24
3.2	EXPERIMENTO EM CAMPO – PRODUÇÃO E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DOS FRUTOS	26
3.3	EXPERIMENTO EM CAMPO – NÚMERO DE OVOS + JUVENIS DE <i>MELOIDOGYNE</i> POR GRAMA DE RAIZ.....	28
3.4	ANÁLISE DE DADOS.....	28
4	RESULTADOS	30
4.1	EXPERIMENTO EM CASA DE VEGETAÇÃO.....	30
4.2	EXPERIMENTO EM CAMPO – PRODUÇÃO E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DOS FRUTOS	31
4.3	EXPERIMENTO EM CAMPO – NÚMERO DE OVOS + JUVENIS DE <i>MELOIDOGYNE</i> POR GRAMA DE RAIZ.....	35
5	DISCUSSÃO	40
6	CONCLUSÃO.....	44
7	REFERÊNCIAS.....	45

1 INTRODUÇÃO

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) está entre as hortaliças mais importantes do mundo em termos de área de cultivo, produção, uso comercial e consumo. Além do sabor, os frutos do tomate apresentam altos teores de compostos benéficos à saúde, como os compostos fenólicos (ácidos fenólicos e flavonóides), carotenoides (licopeno, α e β caroteno), vitaminas (ácido ascórbico e vitamina A) e glicoalcalóides (tomatina) que atuam como antioxidantes, antimutagênico, anti-inflamatório e antiaterogênica (CHAUDHARY *et al.*, 2018; SALEHI *et al.*, 2019). Segundo os dados da FAO (2022), a estimativa da produção mundial é de 187 milhões de t com crescimento médio de 3,0 milhões t ano⁻¹ nos últimos dez anos.

Muitos são os desafios encontrados para a produção do tomate, sendo as doenças de solo um importante fator limitante devido à forte influência na produtividade e à dificuldade na erradicação de alguns patógenos em sistema de cultivo (CHENG *et al.*, 2021). Dentre essas doenças, os nematoides das galhas (RKNs) são considerados um dos principais fatores limitantes para a produção do tomate, causando enormes perdas econômicas (BARBARY *et al.*, 2015; SHILPA *et al.*, 2022). Os RKNs são endoparasitas sedentários obrigatórios que, ao penetrarem as raízes do seu hospedeiro, migram para o cilindro vascular, onde iniciam uma séria de mudanças na raiz, resultando na formação de galhas e no desenvolvimento de células de alimentação especializadas, chamadas “células gigantes”, em seu hospedeiro (MILLIGAN *et al.*, 1998; CASTAGNONE-SERENO *et al.*, 2013). Essas alterações reduzem a absorção de água e nutrientes pelo sistema radicular, resultando em redução no crescimento e rendimento da cultura (HOFMANN E GRUNDLER, 2007). Além disso, tais infecções nas plantas aumentam a suscetibilidade da planta a outros patógenos do solo e formam complexos de doenças com outros microrganismos patogênicos do solo (OKA *et al.*, 2000; BACK *et al.*, 2002).

A maioria das espécies de RKNs infectam naturalmente plantas de tomate. No entanto, as espécies predominantes de *Meloidogyne* que infectam o tomateiro em todo o mundo são *M. javanica*, *M. incognita*, *M. arenaria*, *M. hapla* e, mais recentemente, *M. enterolobii* (EL-SAPPAH *et al.*,

2019; PHILBRICK *et al.*, 2020). Diversas medidas de controle vêm sendo empregadas para controle de RKNs em áreas infestadas, como por exemplo, rotação ou sucessão de culturas com espécies não hospedeiras, utilização de cultivares resistentes e aplicação de nematicidas químicos e/ou biológicos (BARBARY *et al.*, 2015). O gene dominante *Mi-1.2*, introgridido de um acesso da espécie *S. peruvianum* L. (SMITH, 1944), vem sendo amplamente utilizado como fonte de resistência a RKNs, conferindo resistência a diferentes espécies de *Meloidogyne* (GABRIEL *et al.*, 2022). No entanto, sua expressão fenotípica pode ser prejudicada por altas temperaturas do solo e pela ocorrência de populações virulentas capazes de suprimir e/ou superar a ação desse gene (EL-SAPPAH *et al.*, 2019; GABRIEL *et al.*, 2022; HAJIHASSANI *et al.*, 2022). Além disso, a resistência em cultivares de tomate mediada pelos genes *Mi* não controla *M. enterolobii* (PHILBRICK *et al.*, 2020). Nesse contexto, medidas integradas são consideradas importante estratégia de controle.

A aplicação de nematicidas químicos é comumente usada para controle de RKNs. No entanto, a maioria desses produtos (por exemplo, aldicarbe e brometo de metila) foram retirados do mercado devido ao seu impacto negativo na saúde humana e no meio ambiente (OKA, 2020; MWAMULA *et al.*, 2022). Nesse contexto, o uso de agentes de controle biológico para o manejo de RKNs vem ganhando destaque, com crescimento significativo desse mercado (SARITHA; TOLLAMADUGU, 2019). No Brasil, 52 nematicidas microbiológicos foram registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), sendo esses produtos à base de diferentes espécies de *Bacillus* (*B. firmus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. methilotrophicus* e *B. linheniformis*) e fungos, com destaque para *Pochonia chlamydosporia* e *Purpureocillium lilacinum*.

Bacillus spp. possuem diferentes mecanismos para redução dos fitonematoides, tais como: *i*) regulação do comportamento dos nematoides, interferindo no reconhecimento do hospedeiro, *ii*) competição por nutrientes, *iii*) promoção de crescimento de plantas, *iv*) resistência sistêmica induzida, e *v*) produção de metabólitos que inibem a eclosão de ovos, reduzem a sobrevivência de juvenis e/ou matam os nematoides diretamente (ENGELBRECHT *et al.*, 2018; ALOO *et al.*, 2019; DIMKIC *et al.*, 2022). As espécies *P. chlamydosporia* e *P. lilacinum* são amplamente estudadas para o

controle de fitonematoides, atuando, principalmente, no parasitismo de ovos e fêmeas, indução de resistência nas plantas e na promoção de crescimento vegetal (LI *et al.*, 2015; AHMAD *et al.*, 2021).

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivos avaliar o efeito de controle de diferentes nematicidas biológicos contra diferentes espécies de *Meloidogyne* na cultura do tomate, em casa de vegetação, e avaliar esses produtos em condições de campo visando verificar os seus efeitos nas populações de nematoides associadas à raiz e nas características agronômicas e físico-químicas de frutos de plantas de tomate enxertadas e não-enxertadas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO TOMATEIRO

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) é uma espécie cultivada por grande parte dos países, tem sua origem na costa oeste da América do Sul, onde as temperaturas variam entre 15 a 19° C e os índices de chuva são pouco intensos, o que permite o desenvolvimento da cultura (BRANDÃO FILHO *et al*, 2018). Essa espécie é considerada uma das principais hortaliças consumidas no mundo, com produção de 182,3 milhões de toneladas em aproximadamente 4,8 milhões de hectares em 2018, em que o Brasil se estabelece como o 10º maior produtor mundial (FAO, 2020).

O tomateiro tem seu florescimento e frutificação em diversas condições climáticas, isso possibilita que em países de clima tropical, como o Brasil, ocorra mais de uma safra por ano (CEASA, 2017). A tomaticultura é praticada em quase todas as regiões brasileiras, espalhadas em 50 mil propriedades. A produção deste fruto possui dois segmentos, os tomates de mesa e os tomates para indústria, sendo destes, 63% representados pelo tomate de mesa e 37% pelos tomates para indústria (HORTIFRUTI, 2020).

Segundo o Censo Agrícola de 2017 realizado pelo IBGE, o tomate se destaca como o fruto com maior índice de produção e que distribui maior renda para os agricultores, com a estimativa de produção de 1,9 milhão de toneladas ao ano e movimentando R\$ 3,5 bilhões (HORTIFRUTI, 2020). No ano de 2018, o estado do Paraná apresentou uma área plantada de 119,5 mil hectares, com produção de 235,6 mil toneladas, resultando em aproximadamente R\$ 522 milhões (DERAL, 2019). Por outro lado, o tomateiro pode ser afetado por diversos fatores de origem abiótica, como excesso ou déficit hídrico, deficiência nutricional, cultivo em áreas degradadas, variações de temperatura, e por fatores bióticos, que são causados por diversas pragas e doenças (ARAUJO e MENEZES, 2009).

O fruto tem composição variada, contendo diversos compostos nutricionais importantes. Seu consumo é considerado como um indicador de bons hábitos alimentares e um estilo de vida saudável, já que em sua

composição apresenta alto teor de vitaminas A, C e E, folatos, sais minerais como fósforo, cálcio, potássio, sódio e ferro. Ainda é fonte de compostos antioxidantes, situados como licopeno, β -caroteno, compostos fenólicos, flavonoides, ácido ascórbico e açúcares solúveis (VALDIVIA-NÁJAR *et al.*, 2018; STAJCIC *et al.*, 2015). No entanto, a combinação de temperatura e umidade relativa do ar elevadas pelo clima tropical favorece o aparecimento de doenças, principalmente causadas por patógenos de solo, que prejudicam a produção e composição nutricional do fruto, fazendo com que este perca valor comercial (LOPES; BOITEUX; ESCHEMBACK, 2015).

2.2 PRINCIPAIS DOENÇAS DO TOMATEIRO

As doenças de plantas são causadas pela presença do patógeno no ambiente, hospedeiro suscetível e condições climáticas favoráveis para a infecção. O controle de doenças que acometem o tomateiro está entre os maiores desafios da cultura e é apontado como um dos principais fatores que limitam maiores produtividades das cultivares (MELO e VILELA, 2005). Nesse contexto, são necessárias medidas de controle visando minimizar o efeito desses patógenos (MENG, 2013; RODRIGUES *et al.*, 2013).

Identificar corretamente a doença bem como sua epidemiologia é indispensável para definir as vias de manejo do patógeno, pois uma identificação errônea pode acarretar o uso de medidas que não sejam eficazes no controle do patógeno e provocar danos ao ambiente, além de reduzir a produtividade (ALVARENGA *et al.*, 2013). Um dos principais fatores que mais têm limitado o crescimento da produtividade das cultivares modernas estão relacionados, principalmente, às doenças causadas por patógenos de solo, como os fungos, a murcha-bacteriana causada pela bactéria *Ralstonia solanacearum* e nematoides, principalmente os nematoides das galhas (*Meloidogyne* spp. Göeldi) (RODRIGUES *et al.*, 2013).

Dentre as doenças do tomateiro, as doenças fúngicas são predominantes e com alto potencial de dano econômico, sendo que cerca de 15% dos custos de produção da cultura são atribuídos ao uso de fungicidas no controle desses patógenos (LOPES e ÁVILA, 2005). As doenças fúngicas de maior incidência no tomate são: a requeima (*Phytophthora infestans*), que

coloniza a parte aérea da planta, afetando folíolos, caule e fruto, apresenta manchas irregulares de coloração verde-escura e aspecto encharcado, resultando em necrose e adquirindo coloração marrom-escura. Essa doença pode ocorrer em qualquer fase do desenvolvimento da cultura e se destaca por causar sérios prejuízos, principalmente em regiões de clima ameno e de umidade relativa elevada.

A septoriose (*Septoria lycopersici*) pode ocorrer em todas as regiões de cultivo, mas é mais severa em regiões com elevada umidade e temperaturas amenas. É caracterizada pelo aparecimento de manchas pequenas de borda marrom escura, centro acinzentado e pode possuir um halo clorótico e, em condições de alta incidência, as lesões coalescem tomando grandes áreas da superfície foliar (LOPES; BOITEUX; ESCHEMBACK, 2015).

Alguns fungos fitopatogênicos são capazes de sobreviver no solo pela formação de estruturas de resistência na ausência de hospedeiros, viabilizando sua sobrevivência em áreas de cultivo por longos períodos, dificultando seu controle. Doenças como murcha de fusarium (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*) e murcha de verticillium (*Verticillium dahliae*), causadas por fungos de solo, representam grande prejuízo no cultivo do tomateiro. O controle de doenças fúngicas de solo é realizado principalmente pelo desenvolvimento e utilização de cultivares resistentes. Outras doenças causadas por fungos têm sido manejadas de forma eficiente por meio da aplicação de controle químico (LOPES; BOITEUX; ESCHEMBACK, 2015).

Doenças causadas por bactérias estão entre os principais problemas fitossanitários, pois são facilmente disseminadas por vias aéreas e hídricas, por máquinas, insetos e animais e infectam a planta por meio de aberturas naturais e ferimentos (EMBRAPA, 2020). Alguns gêneros de bactérias merecem atenção especial pela sua maior frequência nas lavouras, acarretando danos econômicos, como é o caso de *Ralstonia solanacearum* (AVILA *et al.*, 2005; DENNY, 2006). O controle de doenças causadas por bactérias na cultura do tomateiro é considerado difícil, pois fica restrito à medidas preventivas. O controle químico com antibióticos e fungicidas cúpricos pode não surtir efeito eficaz, devido ao aparecimento de cepas resistentes a esses produtos (AVILA *et al.*, 2005).

2.3 NEMATOIDES

Pertencentes ao filo Nematoda e ao grupo dos metazoários de grande incidência, resultando em 90% dos organismos multicelulares presentes na Terra, os nematoides são divididos em grupos tróficos distintos, como os parasitas de planta, os fungívoros, os onívoros, os bacteriófagos e aqueles que se alimentam de organismos eucariotos unicelulares (OLIVEIRA *et al.*, 2020). Dos patógenos de solo que interferem no desenvolvimento e produtividade da cultura do tomateiro, os nematoides se destacam pelo numeroso índice de espécies de hortaliças que são hospedeiras do nematoide das galhas (*Meloidogyne* spp.) (CASTILLO *et al.*, 2017). A população deste fitopatógeno tem aumentado devido à intensa produção destas hortaliças, pelas grandes áreas já infestadas, o deslocamento de máquinas e animais e à falta de cultivares resistentes (PINHEIRO, 2019).

Nematoides fitopatogênicos são causadores de perdas de aproximadamente US \$157 bilhões na economia mundial (LIU *et al.*, 2020). De acordo com Machado (2015), no Brasil a perda causada por nematoides na agricultura está em torno de R\$ 35 bilhões. De acordo com os fitossanitaristas brasileiros, os nematoides das galhas (*Meloidogyne* spp.) são os grandes responsáveis por essas perdas relacionadas às principais culturas agrícolas (BRANDÃO FILHO *et al.*, 2018).

O gênero *Meloidogyne* é causador de expressivos danos em muitas hortaliças cultivadas, como alface, pimenta, pimentão, melão, melancia, abóboras e tomates, causando danos significativos no sistema produtivo dessas hortaliças que resultam em mais de 10% de queda no rendimento total das safras (LIU *et al.*, 2020). De acordo com Carvalho (2017), no ano de 1855 houve o primeiro relato de ocorrência deste gênero, onde observou-se a formação de galhas no sistema radicular na cultura do pepino.

No sistema radicular, o principal sintoma é a formação de galhas, com hiperplasia das células infectadas que influenciam na capacidade de absorção de água e nutrientes. Nas folhas, apresenta manchas cloróticas, além de redução de porte da planta, o que afeta diretamente no desenvolvimento e produtividade da mesma (DAHLIN *et al.*, 2019; CARVALHO, 2017).

Dentre as espécies de *Meloidogyne*, as que mais afetam a cultura do tomateiro são *M. incognita*, *M. javanica* e *M. arenaria*, distribuídas em diversas e distintas áreas, com alto índice de plantas hospedeiras. A espécie *M. enterolobii* vem afetando inclusive culturas que já apresentavam resistência às demais espécies de *Meloidogyne* (PINHEIRO, 2019).

Este gênero é considerado endoparasita sedentário, as fêmeas possuem um formato piriforme, depositam seus ovos em matriz gelatinosa, que, por sua vez, estando em ambiente e temperatura favorável, há a eclosão do estágio J2 (juvenil), de corpo filiforme, que penetra nas raízes das plantas, estabelecendo um sítio de alimentação e formando células gigantes que nutrem o parasita até que este atinja o estágio adulto, passando antes por mais três ecdises. As fêmeas produzem uma matriz gelatinosa onde conseguem produzir cerca de 500 ovos, o que colabora para uma proliferação rápida e para os consequentes danos às culturas (OLIVEIRA, 2018).

2.4 PRINCIPAIS FORMAS DE CONTROLE POPULACIONAL DE NEMATOIDES

Por terem ampla variedade de plantas hospedeiras, o controle destes patógenos é considerado extremamente difícil, por serem habitantes do solo e se multiplicarem rapidamente em condições de umidade e temperatura adequadas, sendo necessárias medidas de manejo combinadas para uma melhor eficiência de controle (LIU *et al.*, 2020; PINHEIRO *et al.*, 2014).

O método de exclusão deve ser a primeira medida a ser adotada, para que o patógeno não entre na área a ser cultivada; após estabelecimento do parasita na área de plantio, medidas como o controle químico, genético e cultural devem ser associadas para o controle populacional do parasita (PINHEIRO, 2019; OLIVEIRA, 2020). Uma técnica muito importante é o uso de híbridos com resistência, utilizados como enxerto para controle de doenças causadas por patógenos de solo (LOPES e MENDONÇA, 2014). O porta-enxerto é uma planta que desejamos que tenha resistência aos patógenos, boa taxa de enraizamento e crescimento, com maior vigor, e resistência a déficit hídrico, entre outras características (WENDLING *et al.*, 2006).

2.4.1 Controle Cultural

Os manejos culturais que contribuem no controle populacional de nematoides são a prevenção, a rotação de culturas, o alqueive e a utilização de plantas com ação antagonista (OLIVEIRA, 2020).

A prevenção é basicamente evitar a entrada do patógeno na área a ser cultivada, utilizando mudas tratadas e certificadas, evitar compartilhar maquinário e implementos agrícolas, pois partículas de solo que possam ficar nos equipamentos podem estar contaminadas. Rotação de culturas utilizando plantas que não são hospedeiras do patógeno ou possuem ação antagonista têm por objetivo eliminar esse organismo por falta de alimento. Para o controle da população de nematoides por este método, indica-se a utilização de plantas como crotalária, mamona, amendoim e braquiárias (PINHEIRO, 2019).

2.4.2 Controle Químico

A utilização de nematicidas químicos no controle populacional do patógeno pode ser considerada uma medida eficiente, porém, possuem um valor elevado de três a quatro vezes a mais no investimento de produção, além de alguns nematicidas mais antigos apresentarem alta toxicidade para o ambiente e o ser humano (ROSSI, 2016).

Os nematicidas que são aplicados diretamente no solo são classificados em duas categorias, que se diferenciam pela forma em que se movimentam no solo, sendo os fumigantes e os não fumigantes, podendo também ser classificados pela composição, química ou biológica. Já os defensivos pertencentes à classe dos fumigantes são provenientes de formulações líquidas que, quando em contato com o ar, são vaporizadas, fazendo com que suas moléculas se desprendam e se movam no solo em profundidade. Tal mecanismo tem um amplo espectro de ação, podendo matar fungos, bactérias, outros organismos de solo e até sementes, pois são aplicados em doses altas, o que causa danos ambientais e fitotoxidez (MACHADO, 2016).

A classe dos não fumigantes é considerada como de menor

toxidez, sendo em maioria formulações granuladas, porém alguns se apresentam também na forma líquida. No mercado existem diversos nematicidas de ação sistêmica utilizados no tratamento de sementes que, associados a outras práticas de manejo, demonstram eficiência no controle de nematoides, principalmente os pertencentes aos grupos químicos dos organofosforados e carbamatos. Os carbamatos e organofosforados são moléculas inibidoras da enzima acetilcolinesterase, que impede a inativação da acetilcolina, fazendo com que o nematoide tenha uma superestimulação das terminações nervosas, acarretando convulsão, paralisação e posterior morte (GUARNIERI, 2018; GUEDES, 2017).

Dos nematicidas registrados no Brasil, a grande maioria é voltada às culturas da soja, milho, cana-de-açúcar, café e algodão. As moléculas mais utilizadas nesses produtos são: abamectina, benfuracarbe, carbosulfano, casudafós, tiodicarbe, fenamifós, dazonete, terbufós, fluopyram e fluensulfona (GUARNIERI, 2018; AGROFIT, 2021).

Dos mecanismos de ação dos nematicidas químicos, os que são inibidores da acetilcolinesterase pertencem aos grupos químicos: cadusafós, fenamifós, tiodocarbe, imidacloprido+tiodicarbe e terbufós. Já a molécula que inibe a acetilcolinesterase e os canais de cloro é a abamectina, que interrompe a transmissão do impulso nervoso, resultando na paralisia e morte do nematoide. Fluopyram é inibidor da succinato desidrogenase, enquanto fluensulfona apresenta atividade nematicida, porém ainda se desconhece seu mecanismo de ação (AGROFIT, 2021).

2.4.3 Controle Biológico

O controle biológico se dá por um fenômeno natural que regula a população de plantas e microrganismos por agentes biológicos, denominados inimigos naturais, que promovem o equilíbrio do ambiente. Tal controle pode ocorrer naturalmente por meio do equilíbrio biológico natural ou de forma induzida envolvendo um ou mais organismos (HELING, 2017).

O controle por vias biológicas consiste no uso de microrganismos vivos (inimigos naturais) ou moléculas bioativas (metabólitos) que, ao serem produzidos em larga escala, possuem a capacidade de suprimir

e controlar patógenos. São considerados microrganismos antagonistas fungos, vírus, protozoários ou bactérias, que podem ser encontrados em diversas partes do solo e da planta e, desta forma, são classificados como microrganismos endofíticos (MONTEIRO, 2002; LI *et al.*, 2018). Os organismos endofíticos atuam colonizando o córtex das raízes, os vasos condutores, as células da epiderme e os espaços intercelulares, sem disputar com os organismos de solo, pois possuem capacidade de sobreviver nos tecidos vegetais (MACHADO, 2016).

Microrganismos denominados rizobactérias possuem efeito de fitorremediação contra fitopatógenos. Esses organismos interagem com o sistema radicular das plantas e, através de seus compostos voláteis e mecanismos de inibição, podem provocar degradações químicas e até eliminação de patógenos do solo (ALVES, 2011).

Dentre os organismos mais utilizados em formulações nematicidas estão bactérias, especialmente as do gênero *Bacillus* spp. e *Pasteuria nishizawae*, e fungos, como *Trichoderma* spp., *Pochonia clamydosporea* e *Purpureocillium lilacinum* (AGROFIT, 2021). Dos nematicidas que têm como princípio ativo organismos fúngicos, quatro foram registrados no Brasil utilizando *Trichoderma* spp., tendo eles os alvos *Pratylenchus brachyurus* e *P. zaeae*; este fungo coloniza endofiticamente as raízes das plantas, causando a indução de alterações no sistema fisiológico da planta, fazendo com que esta ative seus mecanismos de defesa. Tentando impedir que *Trichoderma* spp. colonizem o sistema radicular, a planta reforça as paredes celulares e acumula compostos antimicrobianos (MACHADO, 2022; MEYER *et al.*, 2019).

O fungo *Purpureocillium lilacinum* é um parasita de ovos, juvenis e adultos de nematoides, possui capacidade quitinolítica que garante a eficácia do parasitismo. As hifas deste fungo secretam quitinases e proteases, que são enzimas extracelulares que atuam na degradação da camada externa do ovo e da cutícula do corpo de juvenis e fêmeas; as hifas se nutrem do conteúdo das células para manutenção do desenvolvimento fúngico. Seu alvo principal são os nematoides do gênero *Meloidogyne*. Além da ação bionematicida, o fungo também induz a resistência em plantas através da ativação das rotas metabólicas ligadas aos ácidos salicílico ou jasmônico

(MACHADO, 2022).

Rosa (2020) relata que nematicidas biológicos à base de *P. lilacinum* e *T. harzianum* já são comercializados e demonstraram eficácia no controle populacional de nematoides em áreas cultivadas. Estes compostos bioativos têm ação antagonista, micoparasitismo, antibiose, colonizam ovos de nematoides, além de produzirem hormônios benéficos que atuam como promotores de crescimento das plantas (ROSA, 2020; MENEZES, 2017).

Pochonia chlamydosporia possui modo de ação semelhante a *P. lilacinum*, é uma espécie saprofítica quando há ausência de planta e nematoides hospedeiros, com comportamento endofítico, ativando os mecanismos de defesa das plantas contra os patógenos de solo, bem como os nematoides. Os conídios e hifas de *P. chlamydosporia* são estruturas do fungo sensíveis, sendo necessário associar a quitosana como fonte de energia para melhor atuação do fungo em ensaios *in vitro* (MACHADO, 2022).

Dos organismos bacterianos presentes em bionematicidas, *P. nishizawae* é um parasita obrigatório do nematoide *Heterodera glycines* (AGROFIT, 2021). Os endósporos desta bactéria são estruturas bastante resistentes, o que favorece a sobrevivência do organismo em condições desfavoráveis; tal estrutura adere à cutícula do nematoide enquanto o patógeno se movimenta pelo solo e o organismo entra em ação colonizando o interior do juvenil e degradando seu sistema reprodutivo (MACHADO, 2022).

Já o organismo que está presente em mais de 60% dos nematicidas comercializados no Brasil são bactérias do gênero *Bacillus*, que têm como mecanismo de ação a colonização da rizosfera, se desenvolvendo junto ao sistema radicular da planta, onde há a produção de exsudatos radiculares liberados pelas plantas, além de metabólitos e células da bactéria, que criam uma barreira físico-química no entorno das raízes, evitando a penetração dos nematoides. Tais exsudatos produzidos pela bactéria alteram os exsudatos naturais do sistema radicular, causando confusão no reconhecimento destes pelos nematoides. Além de ação nematicida, bactérias do gênero *Bacillus* são rizobactérias promotoras de crescimento de plantas, com sua colonização endofítica induzem a produção de fitormônios responsáveis pelo desenvolvimento da planta e podem atuar também ativando genes que induzem a resistência sistêmica (MACHADO, 2022).

Mesmo que ainda apresentem limitações técnicas e comerciais para os produtos biológicos serem inseridos no manejo integrado de controle de nematoides, o controle biológico está sendo alvo de diversas pesquisas em vários países com a seleção de organismos antagonistas ao patógeno e com desenvolvimento de formulações estáveis para estes produtos (MACHADO; KANEKO; PINTO, 2016).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em duas etapas, o primeiro experimento foi implantado em casa de vegetação localizada na Universidade Estadual de Londrina (UEL), na cidade de Londrina – PR, em setembro de 2021, onde foi avaliado o controle populacional de três nematoides (*M. incognita*, *M. javanica* e *M. enterolobii*). O segundo experimento foi realizado a campo, em áreas com incidência de nematoides, a fim de avaliar a produção e as características físicas e bioquímicas dos frutos.

3.1 EXPERIMENTO EM CASA DE VEGETAÇÃO

O experimento foi realizado em casa de vegetação na Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina, PR, em setembro de 2021. Foram avaliados seis nematicidas biológicos de diferentes empresas, sendo Ag109 (AgBio, *B. velezensis*), Votivo Prime® (BASF, *B. firmus*), Quartzo® (FMC, *B. subtilis* e *B. licheniformis*), Veraneio® (Koppert, *B. amyloliquefaciens*), Nemat® (Ballagro, *P. lilacinus*) e Rizotec® (Stoller, *P. chlamydosporia*) e um tratamento controle (água). para o controle de três espécies de nematoides (*M. incognita*, *M. javanica* e *M. enterolobii*). As concentrações e recomendações utilizadas dos produtos estão descritas na Tabela 1.

O delineamento estatístico adotado foi o inteiramente ao acaso, com dez repetições. O experimento foi implementado em vasos de isopor de 946 mL, contendo areia e solo na proporção (7:1) previamente esterilizados e adicionados 3 g de Osmocote® (15% N, 9% P₂O₅, 12% K₂O, 1% Mg, 2.3% S, 0.05% Cu, 0.45% Fe, 0.06% Mn, 0.02% Mo) por vaso. Mudanças de tomate da cultivar Santa Clara foram transplantadas nos vasos.

Tabela 1. Nematicidas microbiológicos utilizados para o controle de nematoides das galhas na cultura do tomate.

Tratamento	Microrganismo	Concentração do produto	Recomendação do produto comercial
AG 109	<i>Bacillus velezensis</i>	1 x 10 ¹⁰ UFC/g	500 g ha ⁻¹
Veraneio	<i>B. amyloliquefaciens</i>	1 x 10 ¹⁰ UFC/g	500 g ha ⁻¹
Quartzo	<i>B. subtilis</i> e <i>B. licheniformis</i>	1 x 10 ¹¹ e 1 x 10 ¹¹ UFC/g	200 g ha ⁻¹
Rizotec	<i>Pochonia chlamydosporia</i>	5,2 x 10 ⁷ clamidósporos/g	2 kg ha ⁻¹
Nemat	<i>Paecilomyces lilacinus</i>	7,5 x 10 ⁹ UFC/g	200 g ha ⁻¹
Votivo		4,8 x 10 ⁹	100 mL ha ⁻¹
Prime	<i>B. firmus</i>	UFC/mL	

Os inóculos de *M. javanica* utilizados no experimento são originários de plantas de soja de Londrina-PR, de *M. incognita*, de plantas de café de Altônia-PR, e o de *M. enterolobii* é proveniente de plantas de goiaba de Carlópolis-PR. Todos os inóculos, após purificação a partir de uma única massa de ovos, foram multiplicados em tomateiros cultivar Santa Clara, em casa de vegetação, no Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR – Paraná), Londrina.

Após o transplante das mudas de tomate, os produtos biológicos foram aplicados via drench, sendo aplicados 15 mL de calda por vaso. A calda utilizada para esses experimentos foi de 50 L ha⁻¹. Esse tratamento foi repetido 30 dias após a primeira aplicação. Os nematoides foram inoculados sete dias após o transplante das mudas, pela pipetagem de 1 mL de suspensão contendo 1000 ovos e juvenis de *M. javanica* mL⁻¹, 1000 ovos e juvenis de *M. incognita* mL⁻¹ e 500 ovos de *M. enterolobii* mL⁻¹ (em seus respectivos experimentos), que foram extraídos de acordo com a metodologia proposta por Boneti e Ferraz (1981) e quantificados em câmara de Peters sob microscópio de luz.

Quarenta e cinco dias após o transplante, as raízes das plantas

foram lavadas em água corrente, secas com papel absorvente e pesadas em balança semi-analítica. Posteriormente, foram processadas de acordo com a metodologia proposta por Boneti e Ferraz (1981) para extração dos nematoides. Essas amostras foram quantificadas em câmara de Peters sob microscópio de luz. Para esse experimento, foram determinados o fator de reprodução dos nematoides ($FR = \text{população final de nematoides} / \text{população inicial de nematoides inoculados}$) e o número de nematoides por grama de raiz.

3.2 EXPERIMENTO EM CAMPO – PRODUÇÃO E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DOS FRUTOS

Os experimentos de campo foram instalados em duas propriedades localizadas no município de Uraí, Paraná. Ambas as propriedades adotam o sistema de cultivo orgânico e apresentam histórico de perdas ocasionadas por nematoides. Com o intuito de conhecer a população inicial dos nematoides presentes nas áreas experimentais, foi realizada uma coleta de solo de cada local. A extração dos nematoides foi realizada utilizando-se o método do funil de Baermann modificado (Machado e Silva, 2019). Os nematoides extraídos foram quantificados em microscópio de luz (Eclipse Ci, Nikon) em câmara de Peters.

Três aplicações dos nematicidas biológicos foram adotadas, sendo a primeira um dia após o transplante das mudas (TM), a segunda 30 dias após o TM e a terceira, 60 dias após o TM. Os nematicidas biológicos, concentrações e recomendações utilizadas seguiram conforme o tópico anterior. As aplicações foram realizadas em drench, sendo aplicados 15 mL de calda do produto por planta (Figura 1). A calda utilizada para esses experimentos foi de 50 L ha⁻¹.

O delineamento estatístico adotado foi o de blocos ao acaso, com três repetições e dez plantas por parcela. Para cada local, foram realizados dois experimentos (mudas enxertadas e não-enxertadas em porta-enxerto resistente), sendo as cultivares utilizadas Trinidad[®] (HM.Clause) e Graziani[®] (Sakata), respectivamente para os locais 1 e 2. Para ambos os locais, o porta-enxerto utilizado foi a cultivar resistente Woodstock[®] (Sakata). Foram realizadas 10 colheitas, sendo que na quinta colheita foram realizadas

coletas de frutos para sua caracterização físico-química.



Figura 1. Imagens dos experimentos realizados no município de Uraí (Experimento I e II) na cultura do tomateiro utilizando-se diferentes nematicidas microbiológicos.

As características avaliadas foram: i) produção (Kg planta⁻¹), ii) massa média do fruto (MMF), iii) comprimento do fruto (CF), iv) diâmetro do fruto (DF), v) firmeza do fruto (FIRM), vi) espessura do pericarpo do fruto (EP), vii) teor de sólidos solúveis totais (TSS), viii) açúcares redutores (AR), ix) acidez titulável (AT), x) vitamina C (VITC), xi) fenóis totais (FT) e xii) atividade antioxidante pelo método DPPH (α , α -diphenyl- β -picrylhydrazyl).

A FIRM foi determinada por meio do uso de penetrômetro digital com uma ponta de 3 mm (FR-5120, Lutron, Taiwan) em dois pontos opostos na zona equatorial, sendo os resultados expressos em Newtons (N). O TSS foi determinado em refratômetro digital com compensação de temperatura automática a 25°C (Atagor), de acordo com a ISO 2173, e expresso em °Brix. Os AR foi determinado pelo método DNS proposto por Maldonade *et al.* (2013). A AT foi quantificada por titulometria com hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 mol L⁻¹, de acordo com o método 942.15 da Association of Official Analytical Chemists (AOAC).

A vitamina C foi quantificada de acordo com o método padrão da AOAC (AOAC, 1984) modificado por Benassi e Antunes (1988), expressa

em mg ácido ascórbico 100 g⁻¹. O extrato para a quantificação de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante foi preparado a partir da suspensão de 1 g de amostra fresca em 10,0 mL de etanol 70% (v/v), adaptado de Vázquez *et al.* (2008). A quantificação de compostos fenólicos totais foi realizada de acordo com Swain and Hillis (1959), usando ácido gálico como padrão analítico, variando de 10 a 100 mg L⁻¹ (r=0,9960), sendo expresso como mg equivalentes de ácido gálico 100 g⁻¹. A atividade antioxidante pelo ensaio de sequestro do radical DPPH (2,2-Diphenyl-1-picryl-hydrazyl) foi quantificada de acordo com Brand-Williams *et al.* (1995). O Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid) foi usado como padrão analítico, variando de 0,20 a 1,00 mmol L⁻¹ (r=0,9992).

3.3 EXPERIMENTO EM CAMPO – MELOIDOGYNE POR GRAMA DE RAIZ

Para o experimento de campo descrito no tópico anterior, foram realizadas coletas das raízes no final do experimento. Para cada tratamento, três plantas foram coletadas, sendo as raízes retiradas e levadas para laboratório. No laboratório, as raízes foram lavadas e processadas de acordo com a metodologia proposta por Boneti e Ferraz (1981) para extração dos nematoides. Os nematoides extraídos foram identificados e quantificados em câmara de Peters sob microscópio de luz, sendo calculado o número de juvenis de *Meloidogyne* spp. por grama de raiz.

3.4 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados foram submetidos aos pressupostos da análise de variância (normalidade dos dados, homogeneidade das variâncias e independência dos erros). No entanto, para os experimentos de casa de vegetação e de campo (número de *Meloidogyne* por grama de raiz) esses pressupostos não foram atendidos e, portanto, foram analisados via estatística não-paramétrica. A estatística do tipo anova (ATS), que tem uma distribuição F aproximada sob a hipótese nula baseada na teoria assintótica, foi aplicada aos dados.

O teste de Bonferroni ($p < 0,05$) foi utilizado para comparação dos

tratamentos. Para as demais características, foi utilizada a análise de variância utilizando-se o seguinte modelo matemático: $Y_{ijk} = \mu + r/e_{kj} + t_i + e_j + te_{ij} + \varepsilon_{ijk}$, em que μ é a média, r/e_{kj} é o efeito da k-ésima repetição dentro do j-ésimo experimento, t_i é o efeito fixo do i-ésimo tratamento, e_j é o efeito fixo do j-ésimo experimento, te_{ij} é o efeito fixo da interação entre tratamentos x experimentos e ε_{ijk} é o erro experimental (aleatório, independente e normalmente distribuído).

O teste de Tukey ($p < 0,05$) foi utilizado para comparação dos tratamentos. Os dados foram analisados pelo programa Genes (CRUZ, 2016) e pelo programa R utilizando-se os pacotes 'nparLD (Noguchi, 2011), agricolae (Mendiburu e Simon, 2015) e agroR (Shimizu *et al.*, 2021).

4 RESULTADOS

4.1 EXPERIMENTO EM CASA DE VEGETAÇÃO

Pela anova não paramétrica, foi observado efeito significativo para as fontes de variação experimentos (E) e experimentos x tratamentos (E x T) para as características fator de reprodução e número de nematoides por grama de raiz (FR e NGR, respectivamente) (Tabela 2). Para tratamentos, foi observado efeito significativo apenas para o fator de reprodução. O FR médio nos experimentos foi de 23,05, 125,74 e 130,83 para *M. incognita*, *M. javanica* e *M. enterolobii*, respectivamente, enquanto para NGR foi de 1790,94, 9615,08 e 3332,27, respectivamente.

Tabela 2. Anova *type statistic* e médias para avaliação de diferentes nematicidas microbiológicos para controle de *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* e *M. enterolobii* em casa de vegetação.

Fonte de variação	DF	FR ^{1/}		NGR	
		Statistic	P value	Statistic	P value
Experimentos (E)	2	824,61	<0.001	689,08	<0.001
Tratamentos (T)	6	26,99	<0.001	8,69	0,191
E x T	12	91,87	<0.001	73,18	<0.001
Médias					
<i>M. incognita</i>		23,05		1790,84	
<i>M. javanica</i>		125,74		9615,08	
<i>M. enterolobii</i>		130,83		3332,27	

^{1/}FR: fator de reprodução; NGR: número de nematoides por grama de raiz.

Para o controle (inoculado, sem tratamento nematicida), foram observados maiores valores de FR e NGR para os experimentos com *M. javanica* e *M. enterolobii* em comparação àquele com *M. incognita* (Tabela 3). Para experimento com *M. incognita*, não foi observado efeito de controle dos nematicidas microbiológicos, sendo que, em alguns casos, foram observados valores superiores de NGR, como por exemplo nos tratamentos Ag109 e Nemat. No experimento com *M. javanica*, os menores valores de FR foram

observados para os tratamentos Ag109, Veraneio e Rizotec, com porcentagens de controle de 53,12, 45,94 e 42,89%, respectivamente. Para NGR, os menores valores foram observados nos tratamentos Ag109, Veraneio, Rizotec e Nemat, com porcentagens de controle de 40,09, 35,62, 35,62 e 20,81%, respectivamente. No experimento com *M. enterolobii*, os menores valores de FR e NGR foram observados nos tratamentos Nemat, Votivo e Ag109, porém estes não diferiram dos demais nematicidas biológicos avaliados. As porcentagens de controle variaram de 14,14% (Rizotec) a 29,49% (Nemat) para a variável FR, enquanto para NGR, as porcentagens de controle variaram de 18,77% (Rizotec) a 44,66% (Nemat).

4.2 EXPERIMENTO EM CAMPO – PRODUÇÃO E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DOS FRUTOS

Para a produção por planta (Kg planta^{-1}), foi observado efeito significativo em todas as fontes de variação (Enxertia - E, tratamentos - T e E x T) no experimento 1, enquanto no experimento 2, este efeito foi observado apenas para tratamentos (Tabela 4). No experimento 1, as plantas com porta-enxerto apresentaram maior produtividade ($3,94 \text{ Kg ha}^{-1}$) em comparação às sem porta-enxerto ($2,55 \text{ Kg ha}^{-1}$), representando um incremento de 54,51%.

No experimento 1, nos tratamentos sem porta-enxerto, os tratamentos que se destacaram foram Ag109, Votivo e Rizotec, com produção de 3,25, 2,64 e 2,63 Kg planta^{-1} . Esses tratamentos proporcionaram incrementos de 27,4, 3,5 e 3,1% em relação ao controle. Nos tratamentos com porta-enxerto, não houve diferenciação entre os tratamentos. No experimento 2, a maior produção foi observada no tratamento Ag109 ($4,57 \text{ Kg planta}^{-1}$), porém este não diferiu dos demais tratamentos biológicos. A porcentagem de incremento em relação ao controle variou de 11,7% a 28,0% na produção por planta.

Para as características físico-químicas no experimento 1, foi observado efeito significativo apenas para fenóis totais para enxertia e DPPH para tratamentos (Tabela 6). Para fenóis totais, os maiores valores foram observados nos tratamentos sem porta-enxerto. Para DPPH, não foram

observadas diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de Tukey ($p < 0.05$).

Tabela 3. Teste de bonferroni para avaliação de diferentes nematicidas microbiológicos para o controle de *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* e *M. enterolobii* em casa de vegetação.

Tratamentos	FR	$\Delta\%$	NGR	$\Delta\%$
<i>Meloidogyne incognita</i>				
Ag109	30,18 a	-	2571,62 a	-
Veraneio	19,88 a	-	1730,33 abc	-
Quartzo	22,74 a	-	1585,16 abc	-
Rizotec	22,53 a	-	1485,07 bc	-
Nemat	28,55 a	-	2075,64 ab	-
Votivo Prime	20,93 a	-	1899,03 bc	-
Controle	16,55 a		1189,03 c	
<i>Meloidogyne javanica</i>				
Ag109	78,85 d	53,12	7036,63 c	40,09
Veraneio	90,94 cd	45,94	7561,42 c	35,62
Quartzo	175,14 a	-	13360,04 a	-
Rizotec	96,07 cd	42,89	7560,83 c	35,62
Nemat	127,43 bc	24,25	9301,11 bc	20,81
Votivo Prime	143,51 ab	14,69	10739,80 ab	8,56
Controle	168,23 a		11745,70 ab	
<i>Meloidogyne enterolobii</i>				
Ag109	126,40 b	18,96	3235,37 b	22,48
Veraneio	132,71 ab	14,91	3643,69 ab	12,70
Quartzo	130,70 ab	16,20	3320,96 ab	20,43
Rizotec	133,92 ab	14,14	3390,22 ab	18,77
Nemat	109,97 b	29,49	2309,80 b	44,66
Votivo Prime	126,09 b	19,16	3251,93 b	22,08
Controle	155,97 a		4173,59 a	

$\Delta\%$: porcentagem de controle. ^{1/}Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, separadas por espécie de nematoide, não diferem estatisticamente pelo teste de bonferroni ($p < 0,05$).

Tabela 4. Análise de variância para produção (Kg planta⁻¹) em tomates tratados com diferentes nematicidas microbiológicos e avaliados em dois locais com plantas de tomate com e sem porta-enxerto resistente.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio	
		Exp1	Exp2
Bloco/Enxertia	4	0,21	6,77
Enxertia (E)	1	20,26**	0,39 ^{ns}
Tratamentos (T)	1	0,40**	1,20*
A x E	6	0,30*	0,25 ^{ns}
Erro	24	0,09	0,37
CV(%)		9,4	14,68
Média			
Sem porta-enxerto		2,55	4,28
Com porta-enxerto		3,94	4,09

^{ns}: não significativo, ^{**}: significativo a 1 e 5% de significância pelo teste F, respectivamente.

Tabela 5. Análise de comparação de médias para produção (Kg planta⁻¹) em tomates tratados com diferentes nematicidas microbiológicos e avaliados em dois locais com plantas de tomate com e sem porta-enxerto resistente.

Tratamentos	Experimento 1 ^{1/}		Experimento 2
	Sem porta-enxerto	Com porta-enxerto	
Ag109	3,25 a	4,25 a	4,57 a
Veraneio	2,55 ab	4,28 a	4,05 ab
Quartzo	2,39 b	3,89 a	4,53 ab
Rizotec	2,63 ab	3,80 a	3,99 ab
Nemat	1,88 b	4,09 a	4,19 ab
Votivo Prime	2,64 ab	3,75 a	4,00 ab
Controle	2,55 b	3,56 a	3,57 b

^{1/}Médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p <0,05).

Tabela 6. Análise de variância para características físico-químicas de frutos de tomates em plantas tratadas com diferentes nematicidas microbiológicos e avaliadas em dois locais com plantas com e sem porta-enxerto resistente – Experimento 1.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio - Características Físico-químicas ^{1/}										
		MMF	CF	DF	FIRM	EP	TSS	AR	AT	VITC	FT	DPPH
Bloco/Enxertia	4	474,5	5,0	19,3	290,6	0,43	0,19	0,13	0,009	157,4	153,6	2134
Enxertia (E)	1	0,61 ^{ns}	4,1 ^{ns}	1,0 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,74 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,001 ^{ns}	20,32 ^{ns}	1637,4*	30,77 ^{ns}
Tratamentos (T)	6	315,6 ^{ns}	5,4 ^{ns}	12,2 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,002 ^{ns}	1,77 ^{ns}	175,0 ^{ns}	471,4*
E x T	6	195,7 ^{ns}	11,8 ^{ns}	4,1 ^{ns}	1,51 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,001 ^{ns}	1,88 ^{ns}	130,7 ^{ns}	202,42 ^{ns}
Erro	24	193,6	5,4	4,9	0,87	0,32	0,06	0,12	0,001	0,95	154,1	146,32
CV (%)		10,18	3,30	3,76	10,36	7,53	6,96	28,77	13,84	12,81	18,14	11,42
Média												
Sem porta-enxerto		136,58	70,62	59,15	9,08	7,70	3,75	1,11	0,26	6,95	74,65	106,71
Com porta-enxerto		136,82	70,00	58,84	8,92	7,43	3,49	1,31	0,26	8,33	62,17	104,99

^{1/}MMF: massa média do fruto; CF: comprimento do fruto, DF: diâmetro do fruto, FIRM: firmeza do fruto, EP: espessura do pericarpo do fruto, TSS: teor de sólidos solúveis totais, AR: açúcares redutores, AT: acidez titulável, VITC: vitamina C, FT: fenóis totais, e DPPH: ensaio atividade antioxidante por α , α -diphenyl- β -picrylhydrazyl.

^{ns}: não significativo, ^{**}: significativo a 1 e 5% de significância pelo teste F, respectivamente.

Na análise de variância das características físico-químicas no experimento 2, foi observado efeito significativo de CF, TSS, FT e DPPH para fonte de variação enxertia, enquanto para tratamentos, efeitos significativos foram observados somente para DPPH (Tabela 7). Para interação enxertia x tratamentos, apenas MMF, CF e DF foram significativos. Para CF os tratamentos com porta-enxerto proporcionaram os maiores valores em relação àqueles sem porta-enxerto. Por sua vez, para TSS, FT e DPPH, os tratamentos sem enxertia proporcionaram os maiores valores, com destaque para FT e DPPH.

Para MMF e CF, os tratamentos não enxertados não diferiram entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), enquanto com porta-enxerto, os maiores valores para essas variáveis foram observados para Rizotec, Ag109, Veraneio, Quartzo, Controle e Votivo. Para DF os maiores valores foram observados nos tratamentos com Votivo, Quartzo, Veraneio, Controle, Ag109 e Nemat para plantas sem porta-enxerto. Com porta-enxerto, não foi observada diferenciação significativa entre os tratamentos.

4.3 EXPERIMENTO EM CAMPO – NÚMERO DE OVOS + JUVENIS DE *MELOIDOGYNE* POR GRAMA DE RAIZ

Pela anova não paramétrica, foi observado efeito significativo de número de ovos + juvenis de *Meloidogyne* por grama de raiz (Mgr) para enxertia e enxertia x tratamentos em ambos os experimentos (Tabela 9). Os tratamentos com porta-enxerto apresentaram os menores valores de Mgr quando comparados àqueles sem porta-enxerto, com reduções de 90,2 e 66,4% nos experimentos 1 e 2, respectivamente. Nos experimentos sem porta-enxerto, não foi observada diferenciação significativa entre os tratamentos, sendo que os valores variaram de 136,15 (controle) a 523,68 (Rizotec), no experimento 1, e 42,72 (Nemat) a 390,34 (Veraneio), no experimento 2 (Tabela 10). Não foi detectada a presença de ovos ou juvenis de *Meloidogyne* sp. associada às raízes no tratamento com Rizotec no experimento 1. Além do Rizotec, os tratamentos Ag109, Nemat, Votivo e Veraneio também diferiram significativamente do controle, apresentando porcentagens de controle de 75,77, 62,08, 56,87 e 47,38%, respectivamente.

No experimento 2, os tratamentos Veraneio, Ag109, Rizotec e Nemat apresentaram os menores valores para Mgr, com porcentagens de controle de 68,55, 61,17, 54,57 e 51,35%, respectivamente. Nas Figuras 2 e 3 encontram-se as imagens das raízes dos dois experimentos com e sem porta-enxerto.

Tabela 7. Análise de variância para características físico-químicas de frutos de tomate em plantas tratadas com diferentes nematocidas microbiológicos e avaliadas em dois locais com plantas com e sem porta-enxerto resistente – Experimento 2.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio - Características Físico-químicas ^{1/}										
		MMF	CF	DF	FIRM	EP	TSS	AR	AT	ViTC	FT	DPPH
Bloco/Enxertia	4	1016,7	17,7	43,2	5,4	0,18	0,02	0,19	0,01	33,1	49173	26751
Enxertia (E)	1	1398,3 ^{ns}	176,4*	94,9 ^{ns}	4,8 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,28*	6,17**	0,04 ^{ns}	14,4 ^{ns}	782898*	395820*
Tratamentos (T)	6	60,2 ^{ns}	6,4 ^{ns}	3,3 ^{ns}	5,2 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,00 ^{ns}	3,7 ^{ns}	194,8 ^{ns}	2179,9 ^{ns}
A x E	6	313,1**	13,4*	8,8*	1,7 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,004 ^{ns}	15,6 ^{ns}	189,7 ^{ns}	2080,2 ^{ns}
Erro	24	76,2	4,2	2,7	2,8	0,13	0,02	0,08	0,004	11,7	366,6	688,7
CV (%)		7,62	2,69	3,09	15,11	5,03	4,09	25,83	29,78	25,87	9,83	17,01
Média												
Sem porta-enxerto		108,74	74,96	51,64	11,44	7,22	3,93	0,75	0,18	12,62	331,28	251,29
Com porta-enxerto		120,28	79,06	54,65	10,76	7,34	3,77	1,52	0,25	13,80	58,22	57,13

^{1/}MMF: massa média do fruto; CF: comprimento do fruto, DF: diâmetro do fruto, FIRM: firmeza do fruto, EP: espessura do pericarpo do fruto, TSS: teor de sólidos solúveis totais, AR: açúcares redutores, AT: acidez titulável, ViTC: vitamina C, FT: fenóis totais e DPPH: ensaio atividade antioxidante por α , α -diphenyl- β -picrylhydrazyl.

^{ns}: não significativo, ^{**}: significativo a 1 e 5% de significância pelo teste F, respectivamente.

Tabela 8. Análise de comparação de médias para massa média, comprimento e diâmetro do fruto (MMF, CF e DF, respectivamente) em tomates tratados com diferentes nematicidas microbiológicos e avaliados no experimento 2.

Tratamentos	MMF		CF		DF	
	Sem porta-enxerto	Com porta-enxerto	Sem porta-enxerto	Com porta-enxerto	Sem porta-enxerto	Com porta-enxerto
Ag109	110,94Aa	125,41Aab	75,96Aa	79,04Aab	51,70Bab	55,28Aa
Veraneio	109,38Aa	123,72Aab	74,12Ba	79,90Aab	51,77Bab	54,61Aa
Quartzo	108,75Aa	120,28Aab	74,76Ba	80,04Aab	52,23Aab	54,63Aa
Rizotec	94,84Ba	134,99Aa	72,88Ba	81,91Aa	48,98Bb	56,70Aa
Nemat	109,40Aa	107,01Ab	74,96Aa	75,50Ab	51,54Aab	51,73Aa
Votivo Prime	116,48Aa	115,06Aab	78,02Aa	78,76Aab	53,46Aa	54,38Aa
Controle	111,40Aa	115,50Aab	74,00Ba	78,23Aab	51,81Bab	55,21Aa

¹Médias seguida de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 9. Anova *type statistic* para número de ovos + juvenis de *Meloidogyne* spp. por grama de raiz em raízes de tomates tratados com diferentes nematicidas microbiológicos e avaliados em dois locais com plantas com e sem porta-enxerto resistente.

Fonte de variação	DF	Experimento 1		Experimento 2	
		Statistic	P value	Statistic	P value
Enxertia (E)	1	17,70	<0.001	14,19	<0.001
Tratamentos (T)	6	2,84	0,82	4,96	0,54
E x T	6	16,31	0,012	102,27	<0.001
Média					
Sem porta-enxerto		410,21		133,90	
Com porta-enxerto		40,91		45,03	

Tabela 10. Número de ovos + juvenis de *Meloidogyne* spp. por grama de raiz em raízes de tomates tratados com diferentes nematicidas microbiológicos e avaliados em dois locais com plantas com e sem porta-enxerto resistente.

Tratamentos	Experimento 1 ^{1/}		Experimento 2	
	Sem porta-enxerto	Com porta-enxerto	Sem porta-enxerto	Com porta-enxerto
Ag109	508,39 a	16,23 c	101,81 a	26,84 b
Veraneio	511,45 a	35,26 c	390,34 a	21,74 b
Quartzo	490,1 a	113,51 a	131,90 a	66,98 a
Rizotec	523,68 a	0,00 d	65,56 a	31,4 b
Nemat	267,96 a	25,44 c	42,72 a	33,63 b
Votivo Prime	433,79 a	28,90 c	86,95 a	65,49 a
Controle	136,15 a	67,01 b	118,03 a	69,13 a

^{1/}Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de bonferroni ($p < 0,05$).

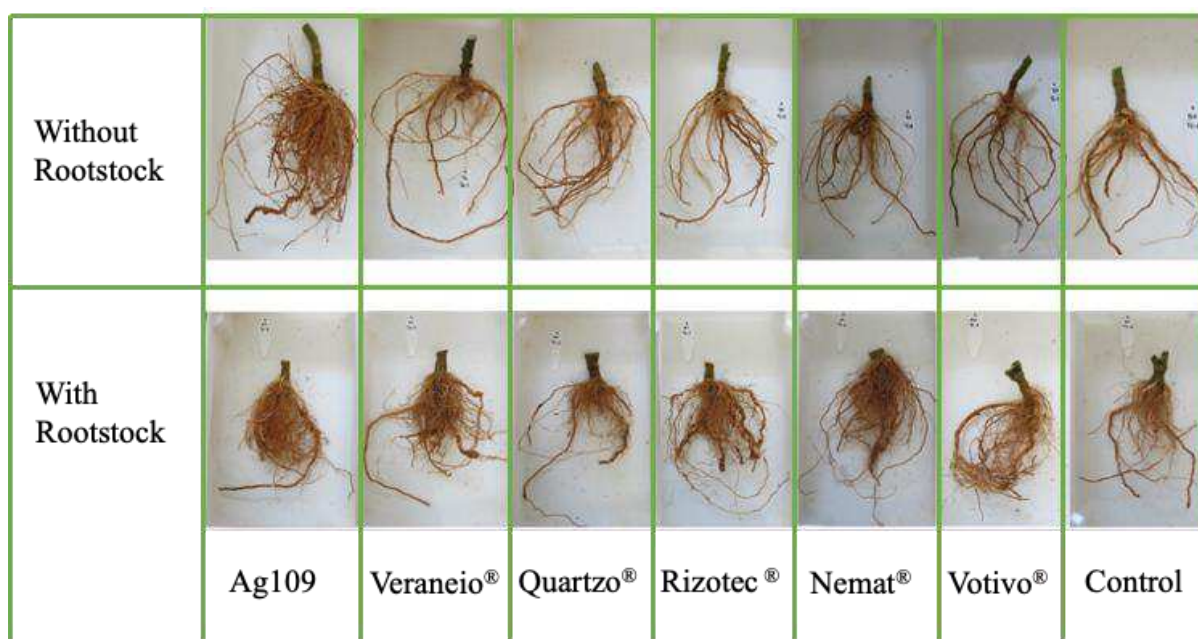


Figura 2. Imagens do sistema radicular de plantas de tomate (com e sem porta-enxerto resistente) com aplicação de diferentes nematicidas microbiológicos no experimento 1.

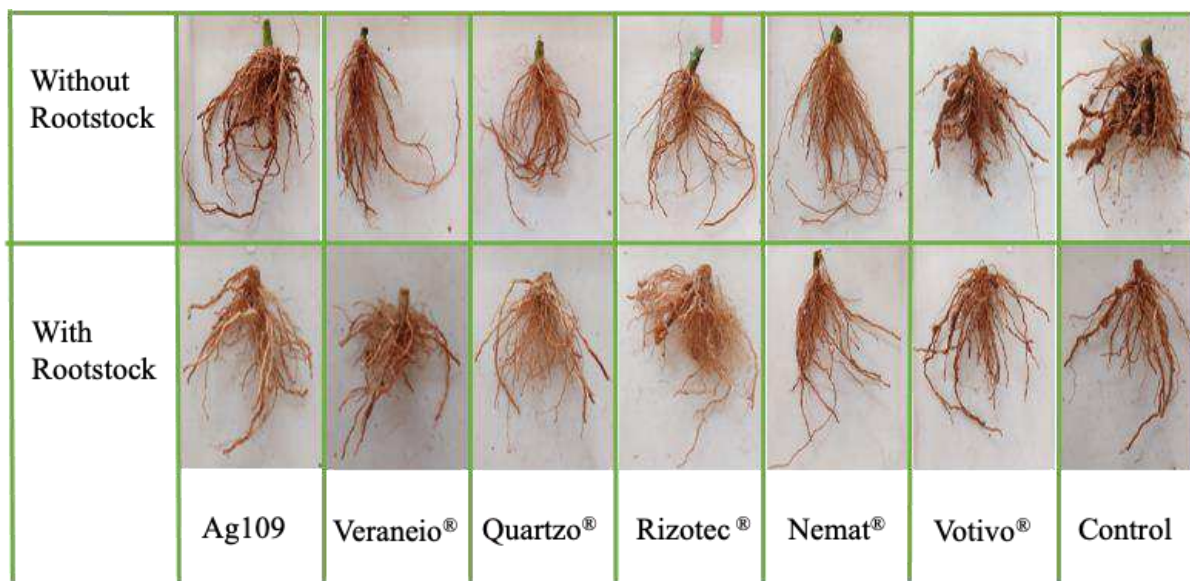


Figura 3. Imagens do sistema radicular de plantas de tomate (com e sem porta-enxerto resistente) com aplicação de diferentes nematicidas microbiológicos no experimento 2.

5 DISCUSSÃO

Os nematoides das galhas (RKNs) estão entre os gêneros de nematoides parasitas de plantas mais prejudiciais economicamente para diversas culturas agrícolas em todo o mundo (JONES *et al.*, 2013; PHANI *et al.*, 2021). Estima-se que os danos globais de RKNs causem uma perda econômica anual de mais de US\$ 100 bilhões, representando cerca de 12,6% das perdas totais das culturas (SINGH *et al.*, 2015). Diversas medidas de controle vêm sendo adotadas visando minimizar o impacto desses patógenos, sendo o controle biológico uma importante medida de controle para o manejo integrado dessa doença (RADWAN *et al.*, 2012; FORGHANI e HAJIHASSANI, 2020). No Brasil, diversos nematicidas biológicos vem sendo registrados e comercializados, sendo principalmente com base em espécies do gênero *Bacillus*, *P. chlamydosporia* e *P. lilacinum*. Sendo assim, o presente estudo vislumbrou avaliar o efeito de controle de diferentes nematicidas microbiológicos para diferentes espécies de *Meloidogyne* em casa de vegetação na cultura do tomate, além de verificar a sua eficácia em condições de campo em plantas de tomate com e sem porta-enxerto resistente.

Na cultura do tomate, diferentes espécies e/ou populações da mesma espécie de *Meloidogyne* podem apresentar diferentes graus de severidade

em uma cultivar específica de tomate (SEID *et al.*, 2015). Para este estudo, foi observada maior patogenicidade para as populações de *M. javanica* e *M. enterolobii* em comparação a *M. incognita*. O nematoide *M. enterolobii* é um patógeno emergente, sendo considerado uma ameaça global para a produção de tomate devido à falta de resistência nas cultivares comerciais e à sua agressividade (PHILBRICK *et al.*, 2020).

Até o momento, poucos trabalhos foram realizados visando avaliar a eficiência de nematicidas biológicos no controle de *M. enterolobii* em condições de casa de vegetação. Avaliando dois produtos biológicos (Serenade® - *B. subtilis*, e NemOut™ – *B. licheniformis*, *B. subtilis* e *Trichoderma longibrachiatum*), Silva *et al.* (2020) não observaram efeito de controle de *M. enterolobii* na cultura do tomate. Almeida *et al.* (2022) também não observaram efeito de controle de *M. enterolobii* em cepas de *Trichoderma* sp. na cultura do tomate. No presente estudo, os melhores resultados de controle foram obtidos nos tratamentos com Nemat, Votivo e Ag109.

Para *M. javanica* e *M. incognita*, diversos estudos vêm demonstrando a efetividade de controle de diferentes nematicidas microbiológicos na cultura do tomate (SILVA *et al.*, 2017; GHAHREMANI *et al.*, 2019; GIRARDI *et al.*, 2022; KRIF *et al.*, 2022). Para *M. javanica*, os tratamentos Ag109, Veraneio e Rizotec apresentaram boa efetividade de controle. No entanto, para *M. incognita* os nematicidas avaliados não foram efetivos. Diversos fatores podem estar relacionados a esse resultado, como a população de *M. incognita* utilizada, as condições ambientais do experimento e a concentração dos produtos. A maioria desses produtos foram registrados para controle de *M. javanica* e *M. incognita* (agrofit.agricultura.gov.br). Redolfi (2014) verificou que os produtos Rizotec e Nemat foram eficientes para controle de *M. incognita* na cultura do fumo. Bomtempo *et al.* (2017) também verificaram a efetividade de Rizotec no controle de *M. incognita* na cultura da cenoura. Sendo assim, novos estudos são necessários para avaliar a eficiência desses produtos comerciais no controle de *M. incognita* na cultura do tomate.

Em condições de campo, a maioria dos nematicidas microbiológicos avaliados foram efetivos para o incremento da produção por planta, com destaque para os tratamentos Ag109, Veraneio, Rizotec e Votivo. No entanto, quando analisada a população de *Meloidogyne* sp. no campo, não houve redução

em plantas sem porta-enxerto resistente, mesmo tratadas com os nematicidas. Diversos fatores podem estar relacionados com esse resultado, como a época de coleta das raízes, o desenvolvimento radicular e a variação das populações de nematoides no campo. No caso da época de coleta e desenvolvimento das raízes, foi observada maior biomassa radicular de alguns tratamentos com aplicação de nematicidas microbiológicos em relação ao controle. Sendo assim, esses tratamentos podem apresentar maior quantidade de sítios de alimentação para os nematoides, principalmente no final do ciclo da cultura.

Diversos estudos vêm demonstrando o efeito de *Bacillus*, *P. chlamydosporia* e *P. lilacinum* como promotores de crescimento do sistema radicular (ZAVALA-GONZALEZ *et al.*, 2015; BARON *et al.*, 2020; MILKAKOVIC *et al.*, 2020). Mian *et al.* (2022), avaliando a cepa Ag109, observaram sua ação como promotora de crescimento radicular na soja e, por meio do estudo genômico dessa cepa, diversos genes/ grupos de genes foram identificados e associados a essa promoção de crescimento, incluindo compostos voláteis e fitohormônios.

A redução da população de *Meloidogyne* sp. e aumento da produção por planta no tratamento controle de plantas enxertadas em relação àquelas sem porta-enxerto resistente indica a efetividade deste sistema de manejo. O uso de porta-enxerto resistente em tomate, no sistema de cultivo protegido, vem sendo amplamente adotado entre os agricultores, permitindo que as plantas enxertadas mantenham altos rendimentos sem o uso de produtos químicos no solo (REDDY, 2016; GRIENEISEN *et al.*, 2018). No presente estudo, foi utilizado o porta-enxerto Woodstock® (Sakata seeds) que, além da resistência a RKNs (*M. javanica* e *M. incognita*), também possui genes de resistência a *Verticillium dahliae*, *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* e *Ralstonia solanacearum*, importantes patógenos de solo na cultura do tomate.

A utilização dos tratamentos Ag109, Veraneio, Rizotec e Nemat potencializaram a redução da população de *Meloidogyne* nas raízes do tomate enxertado, com reduções médias de 68,47, 57,97, 77,29 e 56,70%, respectivamente, indicando a efetividade do manejo integrado utilizando-se nematicidas microbiológicos e porta-enxerto resistente na cultura do tomate. Além disso, o uso combinado dessas duas medidas de controle não alterou a qualidade nutricional dos frutos do tomate. Grieneisen *et al.* (2018), por meio de meta-análises, verificaram que, em geral, o uso de porta-enxertos não altera a qualidade do fruto (pH, acidez

titulável, sólidos solúveis totais, licopeno, vitamina C, firmeza e “sabor”).

6 CONCLUSÃO

Nos estudos de casa de vegetação, foi observada maior patogenicidade de *M. javanica* e *M. enterolobii* em comparação a *M. incognita*. Os nematicidas microbiológicos foram mais efetivos para controle de *M. javanica*, com destaque para os produtos Ag109, Veraneio e Rizotec. Para *M. enterolobii*, os tratamentos que se destacaram foram Nemat, Votivo e Ag109, enquanto para *M. incognita*, os produtos avaliados não foram efetivos.

Nos estudos de campo, a maioria dos nematicidas microbiológicos avaliados foi efetiva para proporcionar incrementos da produção por planta. No entanto, quando analisada a população de *Meloidogyne* no campo, a aplicação de nematicidas microbiológicos não foi efetiva em plantas sem porta-enxerto resistente. Por sua vez, nas plantas enxertadas, os tratamentos Ag109, Veraneio, Rizotec e Nemat potencializaram a redução da população de *Meloidogyne* nas raízes, com reduções médias de 68,47, 57,97, 77,29 e 56,70%, respectivamente, indicando a efetividade do manejo integrado utilizando-se nematicidas microbiológicos e porta-enxerto resistente na cultura do tomate. Além disso, o uso combinado dessas duas medidas de controle não alterou a qualidade nutricional dos frutos do tomate.

7 REFERÊNCIAS

- AGROFIT. Sistema de Agrotóxicos Fitossanitário. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <
http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em:
 agosto de 2021.
- AHMAD, G., KHAN, A., KHAN, A. A., Ali, A., & MOHAMMAD, H. I. (2021). Biological control: a novel strategy for the control of the plant parasitic nematodes. **Antonie van Leeuwenhoek**, 114(7), 885-912.
- ALMEIDA, S. F., MELLO, S. C., CARDOSO, A. L., SANTOS, J. R., & CARNEIRO, R. M. (2022). *Trichoderma* spp. promote root growth and high populations of *Meloidogyne enterolobii* on tomato crop. **Nematology**, 24(5), 509-520.
- ALOO, B. N., MAKUMBA, B. A., & MBEGA, E. R. (2019). The potential of Bacilli rhizobacteria for sustainable crop production and environmental sustainability. **Microbiological Research**, 219, 26-39.
- ALVARENGA, M.A.R.; MELO, P.C.T.; SHIRAHIGE, F.H. Doenças Fúngicas, Bacterianas e Causadoras por nematóides In: Alvarenga, M.A.R. (Ed.). Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia. v.2. **Universitária de Lavras, Lavras**, Minas Gerais, p.275-326. 2013.
- ALVES, F. R.; SANTOS, L. N. S.; MORAES, W. B.; COSMI, F. C.; CABRAL, P. D. S.; MARTINS FILHO, S.; MATTA, F. P.; JESUS JUNIOR, W. C. Reaction of common bean genotypes to *Meloidogyne incognita* Race 1. **IDESIA**, Chile, v. 29, n. 2, p. 95–98, 2011.
- ALVES, G. C. S. *et al.* Avaliação in vitro do efeito de rizobactérias sobre *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* e *Pratylenchus zaeae*. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 78, n. 4, p. 557-564, 2011.
- ALVES, G. C. S., DOS SANTOS, J. M., SOARES, P. L. M., DE JESUS, F. G., ALMEIDA, E. D., & THULER, R. T. (2020). Avaliação in vitro do efeito de rizobactérias sobre *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* e *Pratylenchus zaeae*. **Arquivos do Instituto Biológico**, 78, 557-564.
- ARAUJO, F.F.; MENEZES, D. Indução de resistência a doenças foliares em tomateiro por indutores biótico (*Bacillus subtilis*) e abiótico (Acibenzolar-S-Metil). **Summa Phytopathologica**, Campinas, v. 35, n. 3, p.169-172, 2009.
- BACK, M. A., HAYDOCK, P. P. J., & JENKINSON, P. (2002). Disease complexes involving plant parasitic nematodes and soilborne pathogens. **Plant pathology**, 51(6), 683-697.
- BAI, Y., KISSOUDIS, C., YAN, Z., VISSER, R.G. AND VAN DER LINDEN, G. Plant behavior under combined stress: tomato responses to combined salinity and pathogen stress. **Plant Journal**, v. 93, p. 781-793, 2018.
- BARBARY, A., DJIAN-CAPORALINO, C., PALLOIX, A., & CASTAGNONE-SERENO,

- P. (2015). Host genetic resistance to root-knot nematodes, *Meloidogyne* spp., in Solanaceae: from genes to the field. **Pest Management Science**, 71(12), 1591-1598.
- BARON, N. C., DE SOUZA POLLO, A., & RIGOBELLO, E. C. (2020). *Purpureocillium lilacinum* and *Metarhizium marquandii* as plant growth-promoting fungi. **PeerJ**, 8, e9005.
- BONETI, J. I. S., & FERRAZ, S. (1981). Modificação do método de Hussey & Barker para extração de ovos de *Meloidogyne exigua* de raízes de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, 6(3).
- BONTEMPO, A. F., LOPES, E. A., FERNANDES, R. H., FREITAS, L. G. D., & DALLEMOLE-GIARETTA, R. (2017). Dose-response effect of *Pochonia chlamydosporia* against *Meloidogyne incognita* on carrot under field conditions. **Revista Caatinga**, 30, 258-262.
- BRANDÃO FILHO, J.U.T., FREITAS, P.S.L., BERIAN, L.O.S., GOTO, R. Hortaliças-fruto [online]. **Maringá: EDUEM**, 2018, 535 p. ISBN: 978-65-86383-01-0.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT-Food science and Technology**, 28(1), 25-30.
- BRASIL, Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais, Subsecretaria do Agronegócio, 2016. Disponível em: <
[http://www.agricultura.mg.gov.br/images/documentos/perfil_tomate_mai_2016\[1\].pdf](http://www.agricultura.mg.gov.br/images/documentos/perfil_tomate_mai_2016[1].pdf)
> Acesso em: 10 jun. 2020.
- BRINGEL, J. M. M. Caracterização Bioquímica, Patogênica e Molecular de Isolados de *Ralstonia solanacearum* biovar 2 de batata e berinjela. Tese (Doutorado em Agronomia). **Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, SP, 2002.
- BRYANT D; MOULTON V. Neighbor-Net: An Agglomerative Method for the Construction of Phylogenetic Networks. **Molecular Biology and Evolution**, v. 21, p. 255–265, 2004.
- CASTAGNONE-SERENO, P., DANCHIN, E. G., PERFUS-BARBEOCH, L., & ABAD, P. (2013). Diversity and evolution of root-knot nematodes, genus *Meloidogyne*: new insights from the genomic era. **Annual review of phytopathology**, 51, 203-220.
- CASTILLO, G. X., OZORES-HAMPTON, M., & GINE, P. A. N. (2017). Effects of fluensulfone combined with soil fumigation on root-knot nematodes and fruit yield of drip-irrigated fresh-market tomatoes. **Crop Protection**, 98, 166-171.
- CHAUDHARY, P., SHARMA, A., SINGH, B., & NAGPAL, A. K. (2018). Bioactivities of phytochemicals present in tomato. **Journal of Food Science and Technology**, 55(8), 2833-2849.
- CHEN, X., ZHANG, Y., Fu, X., Li, Y., WANG, Q. Isolation and characterization of *Bacillus amyloliquefaciens* PG12 for the biological control of apple ring rot.

Postharvest Biology and Technology, v. 115, p. 113-121, 2016.

CRUZ, C. D. (2016). Genes Software-extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum. Agronomy**, 38, 547-552.

DA SILVA, A. J., DE OLIVEIRA, G. H. F., PASTORIZA, R. J. G., MARANHÃO, E. H. A., PEDROSA, E. M. R., MARANHÃO, S. R. V. L., *et al.* (2019). Search for sources of resistance to *Meloidogyne enterolobii* in commercial and wild tomatoes. **Horticultura Brasileira**, 37, 188–198. doi: 10.1590/s0102-053620190209.

DALLA PASQUA, S., DALLEMOLE-GIARETTA, R., DOS SANTOS, I., REINER, D. A., & LOPES, E. A. (2020). Combined application of *Pochonia chlamydosporia* and solid by-product of the wine industry for the control of *Meloidogyne javanica*. **Applied Soil Ecology**, 147, 103397. e006

DALLEMOLE-GIARETTA, R., L. G. FREITAS, R. J. F. ZOOCA, L. B. CAIXETA, E. A. LOPES & S. FERRAZ. Controle de *Meloidogyne javanica* por meio da aplicação de palha de café colonizada por *Pochonia chlamydosporia* var. *chlamydosporia*. **Nematologia Brasileira**. 2010; 34(2): 137-140.

DE MENDIBURU, F., & SIMON, R. (2015). Agricolae-Ten years of an open source statistical tool for experiments in breeding, agriculture and biology (No. e1748). **PeerJ PrePrints**.

DENNY, T. Plant pathogenic *Ralstonia* species. In: Gnanamanickam, S.S. (eds) Plant-Associated Bacteria. **Springer, Dordrecht**. p.573-644, 2006.

DERAL. Departamento de Economia Rural do Estado do Paraná. Olericultura – Análise 715 da conjuntura agropecuária. 2018. Disponível em:<<http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/2018.pdf>>. Acesso em: 06 de mai. de 2018.

DIMKIĆ, I., JANAKIEV, T., PETROVIĆ, M., DEGRASSI, G., & FIRA, D. (2022). Plant-associated *Bacillus* and *Pseudomonas* antimicrobial activities in plant disease suppression via biological control mechanisms - A review. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, 117, 101754.

DING, C., SHEN, Q., ZHANG, R. Avaliação de bactérias da rizosfera e fertilizantes bio-orgânicos derivados como potenciais agentes de biocontrole contra murcha bacteriana (*Ralstonia solanacearum*) da batata. **Plant Soil**, v. 366, p. 453–466, 2013.

DRUMMOND, A.J.; SUCHARD, M. A.; XIE, D.; RAMBAUT, A. Bayesian phylogenetics with BEAUti and the BEAST 1.7. **Molecular Biology and Evolution**, v. 29, p. 1969–1973, 2012.

EDGAR, R.C. MUSCLE: Multiple sequence alignment with high accuracy and high throughput. **Nucleic Acids Research**, v. 32, p. 1792–1797, 2004.

EL-SAPPAH AH, M. M. I, H. EL-AWADY H, YAN S, QI S, LIU J, CHENG G-T, LIANG Y. Tomato Natural Resistance Genes in Controlling the Root-Knot Nematode. **Genes** 10(11):925, 2019. <https://doi.org/10.3390/genes10110925>

EL-SAPPAH, A. H., MM, I., H. EL-AWADY, H., YAN, S., QI, S., LIU, J. & LIANG, Y. (2019). Tomato natural resistance genes in controlling the root-knot nematode. **Genes**, 10(11), 925.

ELSAYED, T. R.; JACQUIOD, S.; NOUR, E. H.; SØRENSEN, S. J.; SMALLA, K. Biocontrol of Bacterial Wilt Disease Through Complex Interaction Between Tomato Plant, Antagonists, the Indigenous Rhizosphere Microbiota, and *Ralstonia solanacearum*. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, p. 2835, 2020.

EMBRAPA. Melhoramento do tomateiro para agregação de valor e sustentabilidade da cultura no Brasil. 2017. Acesso em: 5 de jul. de 2020.

ENGELBRECHT, G., HORAK, I., JANSEN VAN RENSBURG, P. J., & CLAASSENS, S. (2018). Bacillus-based bionematicides: development, modes of action and commercialization. **Biocontrol Science and Technology**, 28(7), 629-653. <https://doi.org/10.1080/09583157.2018.1469000>.

EWING, B.; GREEN, P. Base-calling of automated sequencer traces using phred. II. Error probabilities. **Genome Research**, v. 8, p. 186–194, 1998.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT**. 2020. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en>>. Acesso em: 29 de jun. de 2020.

FAO-FAOSTAT. Database Results. Disponível em: <http://www.fao.org/statistics/databases/en/>. 2017. Acesso em: Julho 2021.

FERNANDES, R. H., VIEIRA, B. S., FUGA, C. A. G., & LOPES, E. A. (2014). *Pochonia chlamydosporia* e *Bacillus subtilis* no controle de *Meloidogyne incognita* e *M. javanica* em mudas de tomateiro. **Bioscience Journal**, 30(1), 34-38.

FERREIRA, S. M. R. **Características de qualidade do tomate de mesa (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado nos sistemas convencional e orgânico comercializado na região metropolitana de Curitiba**. 2004. 231 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

FLORES, F. B.; BEL, P. S.; ESTAÑ, M. T.; RODRIGUEZ, M. M. M.; MOYANO, E.; MORALES, B.; CAMPOS, J. F.; ABELLÁN, J. O. G.; EGEA, M. I.; GARCIA, N. F.; ROMOJARO, F.; BOLARÍN, M. C. The effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality. **Scientia Horticulturae**, v. 125, n. 3, p. 211–217, 2010.

FORGHANI, F., & HAJIHASSANI, A. (2020). Recent advances in the development of environmentally benign treatments to control root-knot nematodes. **Frontiers in Plant Science**, 11, 1125.

GABRIEL, M., KULCZYNSKI, S. M., SANTOS, M. F., SOUZA, C. F., MUNIZ, M. F., BOITEUX, L. S., & CARNEIRO, R. M. (2022). A novel virulent Brazilian pathotype of *Meloidogyne javanica* towards the tomato Mi-1.2 gene and pathogenicity to resistant rootstock. **Journal of Plant Diseases and Protection**, 1-8.

GERNHARD, T.; HARTMANN, K.; STEEL, M. Stochastic properties of generalised Yule models, with biodiversity applications. **Journal Mathematical Biology**, v. 57, p.

713–735, 2008.

GHAHREMANI, Z., ESCUDERO, N., SAUS, E., GABALDÓN, T., & SORRIBAS, F. J. (2019). *Pochonia chlamydosporia* induces plant-dependent systemic resistance to *Meloidogyne incognita*. **Frontiers in plant science**, 10, 945.

GILMA, X.; CASTILLO, M. O.H., PABLO, A.; NAVIA, G. Effects of fluensulfone combined with soil fumigation on root-knot nematodes and fruit yield of drip-irrigated fresh-market tomatoes. **Crop Protection**, v. 98, p. 166-171, 2017.

GIRARDI, N. S., SOSA, A. L., ETCHEVERRY, M. G., & PASSONE, M. A. (2022). In vitro characterization bioassays of the nematophagous fungus *Purpureocillium lilacinum*: Evaluation on growth, extracellular enzymes, mycotoxins and survival in the surrounding agroecosystem of tomato. **Fungal Biology**, 126(4), 300-307.

GREEN, P. Documentation for PHRAP [WWW Document]. Disponível em: <<http://www.phrap.org/phredphrap/phrap.html>>. Acesso em 04 fev. 2019.

GRIENEISEN, M. L., AEGERTER, B. J., SCOTT STODDARD, C., & ZHANG, M. (2018). Yield and fruit quality of grafted tomatoes, and their potential for soil fumigant use reduction. A meta-analysis. **Agronomy for Sustainable Development**, 38(3), 1-16.

GUARNIERI, C. C. D. O. (2018). Eficácia de tiodicarbe, cadusafós e condicionador de solo via tratamento de sementes e/ou sulco de plantio no controle de nematoides na cultura de soja. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/154792>>.

GUEDES, R. N. C. Mecanismos de ação de inseticidas. Disponível em: <<http://www.irac-br.org/cursos>>, 2017.

HAAS, D.; DÉFAGO, G. Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads. **Nature Reviews Microbiology**, v. 3, p. 307-319, 2005.

HAJIHASSANI, A., MARQUEZ, J., WOLDEMESKEL, M., & HAMIDI, N. (2022). Identification of Four Populations of *Meloidogyne incognita* in Georgia, United States, Capable of Parasitizing Tomato-Bearing Mi-1.2 Gene. *Plant Disease*, 106(1), 137-143.

HAYWARD, A. C. The hosts of *Pseudomonas solanacearum*. In: HAYWARD, A. C.; HARTMAN, G. L. (Ed). Bacterial wilt: the disease and the causative agent, *Pseudomonas solanacearum*. Willingford: **CAB Internacional**, 1994. p. 9-24.

HELING, A. L., KUHN, O. J., STANGARLIN, J. R., HENKEMEIER, N. P., COLTRO-RONCATO, S., GONÇALVES, E. D. V. Controle biológico de antracnose em pós colheita de banana “Maçã” com *Saccharomyces* spp. **Summa Phytopathologica**, Campinas, v. 3, n. 1, p. 49-51, 2017. **Horticultura Brasileira**, v. 32, p. 348–356, 2014.

HOFMANN, J., & GRUNDLER, F. (2007). How do nematodes get their sweets? Solute supply to sedentary plant-parasitic nematodes. **Nematology**, 9(4), 451-458.

HORTIFRUTI CEPEA. Tomate - preços coletados diariamente pelo Hortifruti -

Cepea/Esalq/USP. Disponível

em:<<https://www.hfbrasil.org.br/br/estatistica/tomate.aspx>>.2020. Acesso em: 05 agosto 2020. <https://doi.org/10.1111/jph.12712>

HUSON, D.H.; BRYANT, D. Application of phylogenetic networks in evolutionary studies. **Molecular Biology and Evolution**, v. 23, p. 254–267, 2006.

IPGRI. Descriptors for tomato (*Lycopersicon spp.*). Rome, Italy, 1996. 44 p

JONES, John T. *et al.* Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. **Molecular Plant Pathology**, v. 14, n. 9, p. 946-961, 2013.

KÉKESSY D. A.; PIGUET. J. D. New method for detecting bacteriocin production. **Applied Microbiology**, Washington, v. 20, p. 282-283, 1970.

KERRY, Brian R. Rhizosphere interactions and the exploitation of microbial agents for the biological control of plant-parasitic nematodes. **Annual Review of Phytopathology**, v. 38, n. 1, p. 423-441, 2000.

KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A., REZENDE, J.A.M. (eds.) **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 4.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005.

KIRSTIE CANENE-ADAMS, J. K., CAMPBELL, S., ZARIPHEH, E. H., JEFFERY, ERDMAN Jr, J. W. The Tomato As a Functional Food, **The Journal of Nutrition**, Volume 135, Issue 5, May 2005, Pages 1226–1230, <https://doi.org/10.1093/jn/135.5.1226>.

KRIF, G., LAHLALI, R., EL AISSAMI, A., LAASLI, S. E., MIMOUNI, A., SERDERIDIS, S. & MOKRINI, F. (2022). Efficacy of authentic bio-nematicides against the root-knot nematode, *Meloidogyne javanica* infecting tomato under greenhouse conditions. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, 118, 101803.

LEE, Y.; HOWARD, L. R.; VILLALÓN, B. Flavonoids and antioxidant activity of fresh pepper (*Capsicum annuum*) cultivars. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 60, p. 473-476, 1995.

LI, H.; GUAN, Y.; DONG, Y.; ZHAO, L.; RONG, S.; CHEN, W.; *et al.* Isolamento e avaliação de *Bacillus tequilensis* GYLH001 endofítico com potencial aplicação para controle biológico de *Magnaporthe oryzae*. **PLoS ONE** v. 13, n. 10, p. e0203505, 2018.

LI, J., ZOU, C., XU, J., JI, X., NIU, X., YANG, J., & ZHANG, K. Q. (2015). Molecular mechanisms of nematode-nematophagous microbe interactions: basis for biological control of plant-parasitic nematodes. **Annual Review of Phytopathology**, 53, 67-95.

LIU, G., LIN, X., XU, S., LIU, G., LIU, F. AND MU, W. Screening, identification and application of soil bacteria with nematocidal activity against root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) on tomato. **Pest Management Science**, v. 76, p. 2217-2224, 2020.

LOPES, C. A. **Murcha Bacteriana ou Murchadeira – Uma inimiga do Tomateiro**

em Climas Quentes. Comunicado Técnico – Embrapa Hortaliças. Brasília, DF. Nov., 2009.

LOPES, C. A., & de MENDONÇA, J. L. (2014). Enxertia em tomateiro para o controle da murcha-bacteriana. **Embrapa Hortaliças-Circular Técnica (INFOTECA-E)**.

LOPES, C. A.; ÁVILA, C. **Doenças do Tomateiro.** Brasília: Embrapa Hortaliças, 2005.

LOPES, C. A.; BOITEUX L. S.; ESCHEMBACK V. Eficácia relativa de porta enxertos comerciais de tomateiro no controle da murcha-bacteriana. **Horticultura Brasileira**, n. 33, p. 125-130, 2015.

LOPES, C. A.; MENDONÇA, J. L. **Enxertia em tomateiro para o controle da murcha bacteriana.** Embrapa Hortaliças. Circular técnica nº 131. 8 pp. 2014

LOPES, C. A.; REIS, A. Circular Técnica – Embrapa. **Doenças do tomateiro cultivado em ambiente protegido.** Brasília, DF, 2011.

LOPES, C. A.; ROSSATO, M. **Diagnóstico de *Ralstonia solanacearum* em tomateiro.** Comunicado Técnico – Embrapa Hortaliças. Brasília, DF, 2013.

LOPES, C.A.; BOITEUX, L.S.; ESCHEMBACK, V. Eficácia relativa de porta-enxertos comerciais de tomateiro no controle da murcha-bacteriana. **Horticultura Brasileira**, v. 33 p. 125-130, 2015.

MACHADO, A. C. (2022). Bionematicides in Brazil: an emerging and challenging market. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, 28, 35-49.

MACHADO, A. C. Z., KANEKO, L., & PINTO, Z. V. (2016). Controle biológico. Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros: Biologia e medidas de controle. **IMAmt**, 287-312.

MACHADO, A. C., SILVA, A. S., & FERRAZ, L. C. C. B. (2019). Métodos em nematologia agrícola. **Piracicaba: Sociedade Brasileira de Nematologia**.

MACHADO, A.C.Z. Controle Químico. In: GALBIERI, R.; BELOT, J. L. (Eds.). **Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros: biologia e medidas de controle.** Instituto Mato-grossense do Algodão – IMAmt, Cuiabá, p. 313-339, 2016.

MACHADO, A.C.Z.; SILVA, S.A. Extração de Nematoides. In: MACHADO, A.C.Z.; SILVA, S.A; FERRAZ, L.C.C.B. (Eds.). **Métodos em Nematologia Agrícola.** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Nematologia, p. 9-33, 2019.

MADDISON, D.R.; WHEELER, T.J.; MADDISON, W.P. Align: a Mesquite package for aligning sequence data. Version 1.11 [WWW Document], 2007. Disponível em: <<http://mesquiteproject.org>>. Acesso em nov/2021.

MAFESSONI, A. B., BAHIA, B. L., SOUZA, I. V. B., DA SILVA, R. F., REBOUÇAS, T. N. H., & PORTO, J. S. (2019). Fungos antagonistas e suas combinações contra *Meloidogyne* spp. em solo de cultivo de tomate sem a presença de hospedeiro. **Acta**

Biológica Catarinense, 6(3), 54-60.

MAHFOUZ, M. M.; ABD-ELGAWAD. Optimizing biological control agents for controlling nematodes of tomato in Egypt. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 30, p. 58, 2020.

MALDONADE, I. R., De Carvalho, P. G. B., & FERREIRA, N. A. (2013). Protocolo para determinação de açúcares totais em hortaliças pelo método de DNS.

MARLEY, P.S.; HILLOCKS, R.J. Effect of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) on fusarium wilt in pigeon pea (*Cajanus cajan*). **Field Crops Research**, v. 46, p. 15–20, 1996.

MELO, P.C.T.; VILELA, N.J. Desafios e perspectivas para a cadeia brasileira do tomate para processamento industrial. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 154-157, 2005.

MENEZES, I. *Trichoderma harzianum*, [s.d.]. **Associação Nacional de Defesa Vegetal 11 (ANDEF)**. Oxya Agro e Biociências. Disponível em:

MENG, F. The Virulence Factors of the Bacterial Wilt Pathogen *Ralstonia solanacearum*. **Journal Plant Pathology Microbiology**, v. 4, p. 1-2, 2013.

MEYER, M. C., MAZARO, S. M., & DA SILVA, J. C. (2019). Trichoderma: uso na agricultura. *Embrapa Soja-Livro científico (Alice)*.

MIAN, S., MACHADO, A. C. Z., MOSELA, M., HIGASHI, A. Y., SHIMIZU, G. D., TEIXEIRA, G. M., BRANCO, K. S., NOGUEIRA, A. F., GIACOMIN, R. M., KOLTUN, A., GONÇALVES, L. S. A. (2022). Complete genome sequence of *Bacillus velezensis* strain Ag 109, a biocontrol agent for suppression of soilborne pathogens of soybean. **no prelo**.

MILLER, M.A.; PFEIFFER, W.; SCHWARTZ, T. Creating the CIPRES Science Gateway for inference of large phylogenetic trees. In: **Proceedings of the Gateway Computing Environments Workshop (GCE)**. New Orleans, LA, p. 1–8, 2010.

MILLIGAN, S. B., BODEAU, J., YAGHOUBI, J., KALOSHIAN, I., ZABEL, P., & WILLIAMSON, V. M. (1998). The root knot nematode resistance gene Mi from tomato is a member of the leucine zipper, nucleotide binding, leucine-rich repeat family of plant genes. **The Plant Cell**, 10(8), 1307-1319.

MÜLLER, K. SeqState: Primer design and sequence statistics for phylogenetic DNA datasets. **Applied Bioinformatics**, v. 4, p. 65–69, 2005.

MWAMULA, A. O., KABIR, M. F., & LEE, D. (2022). A Review of the Potency of Plant Extracts and Compounds from Key Families as an Alternative to Synthetic Nematicides: History, Efficacy, and Current Developments. **The Plant Pathology Journal**, 38(2), 53-77.

NAIKA, S. **A cultura do tomate: produção, processamento e comercialização**. 2006.

OKA, Y. (2020). From old-generation to next-generation nematicides. **Agronomy**, 10(9), 1387.

OKA, Y., NACAR, S., PUTIEVSKY, E., RAVID, U., YANIV, Z., & SPIEGEL, Y. (2000). Nematicidal activity of essential oils and their components against the root-knot nematode. **Phytopathology**, 90(7), 710-715.

OLIVEIRA, F. C. **Formulações de fertilizante organomineral líquido no controle de nematoide *Meloidogyne incognita* na cultura do tomateiro**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2020.

ONKENDI, E. M.; KARIUKI, G. M.; MARAIS, M.; MOLELEKI, L. N. The threat of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in Africa: a review. **Plant Pathology**, London, v. 63, n. 4, p. 727-737, 2014.

PAUL, D.; REINHARDEDER; ERIKACONSOLI; JÜRGENKRAUSS; SEBASTIANKIEWNICK. Integrated control of *Meloidogyne incognita* in tomatoes using fluopyram and *Purpureocillium lilacinum* strain 251. **Crop Protection**, v. 124, p. 104874, 2019.

PHANI, V.; KHAN, M. R.; DUTTA, T. K. Plant-parasitic nematodes as a potential threat to protected agriculture: Current status and management options. **Crop Protection**, v. 144, p. 105573, 2021.

PHILBRICK, A. N., ADHIKARI, T. B., LOUWS, F. J., & GORNY, A. M. (2020). *Meloidogyne enterolobii*, a major threat to tomato production: current status and future prospects for its management. **Frontiers in Plant Science**, 1773.

PHILBRICK, A. N., ADHIKARI, T. B., LOUWS, F. J., & GORNY, A. M. (2020). *Meloidogyne enterolobii*, a major threat to tomato production: current status and future prospects for its management. **Frontiers in Plant Science**, 11, 606395.

PINHEIRO, J. B., de CASTRO, R. A., RAGASSI, M. C. F. Manejo de nematoides em hortaliças sob plantio direto. **Embrapa Hortaliças-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2019.

PINHEIRO, J. B., PEREIRA, R. B., & SUINAGA, F. A. (2014). Manejo de nematoides na cultura do tomate. **Embrapa Hortaliças-Circular Técnica (INFOTECA-E)**.

PRECZENHAK, A. P. *et al.* Caracterização agronômica de genótipos de minitomate.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2020. URL <https://www.R-project.org/>.

RADWAN, M. A., FARRAG, S. A. A., ABU-ELAMAYEM, M. M., & AHMED, N. S. (2012). Biological control of the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* on tomato using bioproducts of microbial origin. **Applied Soil Ecology**, 56, 58-62.

RAZA, W., LING, N., YANG, L., HUANG, Q., SHEN, Q. Response of tomato wilt pathogen *Ralstonia solanacearum* to the volatile organic compounds produced by a biocontrol strain *Bacillus amyloliquefaciens* SQR-9. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p.

1-13, 2016.

REDDY, P. P. (2016). Sustainable crop protection under protected cultivation (No. BOOK). Singapore: **Springer**.

REDOLFI, A. (2014). Avaliação da eficiência de nematicidas biológicos à base de *Pochonia chlamydosporia* (Pc-10) e *Purpureocillium lilacinum* (Pae 10) no manejo de *Meloidogyne incognita* e *M. javanica* na cultura do tabaco. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, RS. <http://hdl.handle.net/10183/104076>.

RODRIGUES, H. S.; VOLBON, W. R.; SILVA, F. R. N.; ROCHA, L. Í. R.; SANTOS, F. M. Manejo Integrado das principais doenças do tomateiro. **Universidade Federal do Espírito Santo**. Alegre, 2013.

ROSA, L. C. T. **Interação e eficácia de produtos biológicos e químicos no manejo de *Meloidogyne javanica* em cultivares de tomate**. Dissertação (mestrado)- Instituto Federal Goiano. Urutaí, GO, 2018.

SAHU P.K.; GUPTA, A.; KEDARNATH, KUMARI, P.; LAVANYA, G.; YADAV, A.K. (2017) Attempts for Biological Control of *Ralstonia solanacearum* by Using Beneficial Microorganisms. In: MEENA, V., MISHRA, P., BISHT, J., PATTANAYAK, A. (eds). **Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture**. Springer, Singapore.

SALEHI, B., SHARIFI-RAD, R., SHAROPOV, F., NAMIESNIK, J., ROOINTAN, A., KAMLE, M., KUMAR, P., MARTINS, N., AND SHARIFI-RAD, J. (2019). Beneficial effects and potential risks of tomato consumption for human health: An overview. **Nutrition**, 62, 201–208. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2019.01.012>.

SARITHA, M., & TOLLAMADUGU, N. P. (2019). The status of research and application of biofertilizers and biopesticides: global scenario. In **Recent developments in applied microbiology and biochemistry** (pp. 195-207). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816328-3.00015-5> .

SEID, A., FININSA, C., MEKETE, T., DECRAEMER, W., & WESEMAEL, W. M. (2015). Tomato (*Solanum lycopersicum*) and root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.)—a century-old battle. **Nematology**, 17(9), 995-1009.

SHILPA, SHARMA, P., THAKUR, V., SHARMA, A., RANA, R. S., & KUMAR, P. (2022). A status-quo review on management of root knot nematode in tomato. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, 1-14.

SHIMIZU, G.D.; MARUBAYASHI, R.Y.P.; GONCALVES, L.S.A. Package AgroR version 1.2.0., Cran R. 2021. Available online: 1. <https://cran.r-project.org/web/packages/AgroR/index.html>.

SILVA, J. D. O., SANTANA, M. V., CARNEIRO, F. A., & DA ROCHA, M. R. (2020). Reaction of tomato genotypes to *Meloidogyne enterolobii* and effects of resistance inducing products. **Nematology**, 22(2), 213-220.

SILVA, J. D. O., SANTANA, M. V., FREIRE, L. L., FERREIRA, B. D. S., & ROCHA,

M. R. D. (2017). Biocontrol agents in the management of *Meloidogyne incognita* in tomato. **Ciência Rural**, 47.

SIMMONS, M.P.; OCHOTERENA, H. Gaps as characters in sequence-based phylogenetic analyses. **Systematic biology**, v. 49, p. 369–381, 2000.

SINGH, S., SINGH, B., & SINGH, A. P. (2015). Nematodes: a threat to sustainability of agriculture. **Procedia Environmental Sciences**, 29, 215-216.

SON, S.H., KHAN, Z., KIM, S.G., KIM, Y.H. (2009) Plant growth promoting rhizobacteria, *Paenibacillus polymyxa* and *Paenibacillus lentimorbus* suppress disease complex caused by root-knot nematode and fusarium wilt fungus. **Journal of Applied Microbiology**, v. 107, p. 524-532, 2009.

STAJCIC, S.; CETKOVIC, G.; CANADANOVIC-BRUNET, J.; DJILAS, S.; MANDIC, A.; CETOJEVIC-SIMIN, D. Tomato waste: carotenoids content, antioxidant and cell growth activities. **Food Chemistry**, Norwich, v. 172, n. 1, p. 225-232, 2015.

SUN, X., ZHOU, B., LUO, Y., FERENC, C., BALDWIN, E., HARRISON, K., & BAI, J. (2017). Effect of controlled-release chlorine dioxide on the quality and safety of cherry/grape tomatoes. **Food Control**, 82, 26-30.
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.06.021> .

SWAIN, T.; HILLIS, W. E. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I. - The quantitative analysis of phenolic constituents. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 10, p.63-68, 1959.

THANH, D.T.; TARN, L.T.T; HANH, N.T.; TUYEN, N.H.; BHARATHKUMAR, S.; LEE, S.V.; PARK, K.S. Biological control of soilborne diseases on tomato, potato and black pepper by selected PGPR in the greenhouse and field in Vietnam. **Plant Pathology Journal**, v. 25, p. 263-269, 2009.

TOLEDO BENASSI, M. D., & ANTUNES, A. (1988). A comparison of metaphosphoric and oxalic acids as extracts solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, 31(4), 507-513.

VALDIVIA-NÁJAR, C. G.; MARTÍN-BELLOSO, O.; SOLIVA-FORTUNY, R. Impact of pulsed light treatments and storage time on the texture quality of fresh-cut tomatoes. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 45, p. 29-35, 2018.

VÁZQUEZ, G., FONTENLA, E., SANTOS, J., FREIRE, M. S., GONZÁLEZ-ÁLVAREZ, J., & ANTORRENA, G. (2008). Antioxidant activity and phenolic content of chestnut (*Castanea sativa*) shell and eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) bark extracts. **Industrial crops and products**, 28(3), 279-285.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F.; GROSSI, F. 2006. **Produção de mudas de espécies lenhosas**. Colombo: Embrapa Florestas, Documentos 130, 29 pp.

WHIPPS, J.M. Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, p. 487-511, 2001.

WILLE, C. N., GOMES, C. B. & MOTA, M.(2019). Seleção de bactérias para controle

biológico de *Meloidogyne incognita* em figueira. **Revista de la Facultad de Agronomía**, 118(1), 51–60. <https://doi.org/10.24215/16699513>.

XIANG, N., LAWRENCE, K. S., & DONALD, P. A. (2018). Biological control potential of plant growth-promoting rhizobacteria suppression of *Meloidogyne incognita* on cotton and *Heterodera glycines* on soybean: A review. **Journal of Phytopathology**, 166(7-8), 449-458.

YAHYAZADEH, M.; OMIDBAIGI, R.; ZARE, R.; AND TAHERI, H. Effects of some essential oils on mycelial growth of *Penicillium digitatum* Sacc. **World J. Microbiology and Biotechnology**, v. 24, p. 1445–1450, 2008.

YULE, G. A Mathematical Theory of Evolution, Based on the Conclusions of Dr. J. C. Willis. London. Ser. B, **Contain. Pap.** a v. 213, p. 21–87, 1925.

YULIAR, NION, Y.A.; TOYOTA, K. Recent trends in control methods for bacterial wilt diseases caused by *Ralstonia solanacearum*. **Microbes Environment**, v. 30, n. 1, p. 1-11, 2015.

ZAVALA-GONZALEZ, E. A., ESCUDERO, N., LOPEZ-MOYA, F., ARANDA-MARTINEZ, A., EXPOSITO, A., RICAÑO-RODRÍGUEZ, J., LOPEZ-LLORCA, L. V. (2015). Some isolates of the nematophagous fungus *Pochonia chlamydosporia* promote root growth and reduce flowering time of tomato. **Annals of Applied Biology**, 166(3), 472-483.

ZORAN, I. S., NIKOLAOS, K., & LJUBOMIR, Š. (2014). Tomato Fruit Quality from Organic and Conventional Production. In (Ed.), **Organic Agriculture Towards Sustainability**. **IntechOpen**. <https://doi.org/10.5772/58239> .