



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OLERICULTURA

POTENCIAL DE PRODUTOS BIOLÓGICOS NO CONTROLE DE *Meloidogyne*
incognita NA CULTURA DA BATATA

Autor: Warley Peres da Silveira

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Vieira da Silva

Coorientadora: Prof. Dr^a. Maria Amelia dos Santos

MORRINHOS – GO

2022

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OLERICULTURA

POTENCIAL DE PRODUTOS BIOLÓGICOS NO CONTROLE DE *Meloidogyne*
incognita NA CULTURA DA BATATA

Autor: Warley Peres da Silveira

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Vieira da Silva

Coorientadora: Prof. Dr^a. Maria Amelia dos Santos

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM OLERICULTURA, no Programa de Pós-Graduação em Olericultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Morrinhos – Área de Concentração: Olericultura.

MORRINHOS – GO

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/IF Goiano Campus Morrinhos

S587p Silveira, Warley Peres da.
Potencial de produtos biológicos no controle de *Meloidogyne incognita* na cultura da batata. / Warley Peres da Silveira. – Morrinhos, GO: IF Goiano, 2022.
53 f. : il. color.

Orientador: Dr. Rodrigo Vieira da Silva
Coorientadora: Dra. Maria Amelia dos Santos.
Dissertação (mestrado) – Instituto Federal Goiano Campus Morrinhos, Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Olericultura, 2022.

1. Pragas agrícolas - Controle. 2. Pragas - Controle biológico. 3. Nematoda - Pesquisa I. Silva, Rodrigo Vieira da. II. Santos, Maria Amelia dos. III. Instituto Federal Goiano. IV. Título.

CDU 632.9

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

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Warley Peres da Silveira

Matrícula:

20201043304I0069

Título do trabalho:

POTENCIAL DE PRODUTOS BIOLÓGICOS NO CONTROLE DE Meloidogyne incognita NA CULTURA
BATATA

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 22 / 11 / 2022

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

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

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

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

Morrinhos

Local

22 / 11 / 2022

Data


Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)



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

Ata nº 5/2022 - SGP GPI-MO/GPGPI-MO/CMPMHOS/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO

ATA Nº 96

BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos dois dias do mês de setembro do ano de dois mil e vinte e dois, às 13h:00min (treze horas), reuniram-se os componentes da banca examinadora em sessão pública realizada por videoconferência: https://teams.microsoft.com/join/19%3ameeting_MTC4NWY1ZjltNjViOS00MzM0LThmZjQtMjMzMzJkMjI0N2Vi%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%22aebb2352-b420-4b8f-8e40-f408640349e3%22%2c%22Oid%22%3a%22910d154b-c970-4dfe-b5f9-de71207c2ae6%22%7d para procederem a avaliação da defesa de Dissertação, em nível de mestrado, de autoria de **WARLEY PERES DA SILVEIRA**, discente do Programa de Pós-Graduação em Olericultura do Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos. A sessão foi aberta pelo (a) presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Rodrigo Vieira da Silva, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida ao autor para, em 30 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca fez suas arguições, adotando-se o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Olericultura, e procedidas às correções recomendadas, a Dissertação foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM OLERICULTURA**, na linha de pesquisa em Manejo Fitossanitário em Olerícolas, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGOL da versão definitiva da Dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, a defesa perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60 (sessenta) dias** da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação de artigo científico oriundo dessa Dissertação em periódico após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Dissertação de Mestrado, e para constar, foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada eletronicamente pelos membros da Banca Examinadora.

Membros da Banca Examinadora

Nome	Instituição	Situação no Programa
Prof. Dr. Rodrigo Vieira da Silva	IF Goiano-Campus Morrinhos	Presidente
Profª . Drª. Gleina Costa Silva Alves	IF Goiano-Campus Urutaí	Membro interno
Profª . Drª. Maria Amelia dos Santos	Universidade Federal de Uberlândia	Membro externo

Documento assinado eletronicamente por:

- Gleina Costa Silva Alves, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 08/09/2022 08:47:45.
- Maria Amelia dos Santos, Maria Amelia dos Santos - Professor Avaliador de Banca - Ufu (1), em 05/09/2022 14:18:47.
- Rodrigo Vieira da Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 05/09/2022 10:09:19.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 30/08/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 420466

Código de Autenticação: 6ff58e1236



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Morrinhos
Rodovia BR-153, Km 633, Zona Rural, None, None, MORRINHOS / GO, CEP 75650-000
(64) 3413-7900

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força transcendente em me ajudar a não desistir nesse período longo de pandemia e sempre persistir pensando em mais um sonho a ser concretizado.

À minha família e amigos.

À empresa Safrar Análises Agrícolas, pela confiança e dedicação do meu trabalho nesses dez anos e pelas análises concedidas para conclusão deste trabalho.

Aos funcionários da empresa Safrar, que ajudaram em cada setor para a execução das análises propostas no trabalho.

Ao Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos, pela ajuda necessária e apoio ao trabalho.

À professora Maria Amelia dos Santos, pela orientação e ajuda em todos os questionamentos da nematologia agrícola.

Ao professor Rodrigo Vieira da Silva, pela orientação, amizade e atenção em todas as dúvidas e esclarecimentos do trabalho proposto.

Ao professor Alan Carlos Alves de Souza, pelos produtos biológicos concedidos para o teste.

Ao professor José Magno Queiroz Luz, pela ajuda em conseguir as batatas sementes.

À empresa Genetic Seeds and Biocontrol, por proporcionar o inóculo de *Meloidogyne incognita*.

À Nematologista Débora Zacarias da Silva, pela ajuda com o inóculo, dúvidas com o experimento e amizade que consolidamos desde os congressos de nematologia que frequentamos.

Ao consultor Daniel Furlan, pela ajuda com os produtos Nimitz[®] e Quartzo[®].

À empresa Ballagro e ao colaborador Lecio Kaneko, pela ajuda com o Kit de produtos biológicos Nemat[®], Ecotrich[®] e Moss[®] para teste.

Ao estudante, estagiário de Agronomia Matheus Ferreira Carvalho, pela ajuda na montagem do experimento e dúvidas no decorrer do desenvolvimento.

Ao técnico do laboratório de Nematologia da UFU, Guilherme Nunes Moreira Costa, pela ajuda com material para o experimento na casa de vegetação.

Ao estudante de doutorado Daniel Dalvan do Nascimento, pela ajuda com a análise de Eletroforese para identificação da espécie de *Meloidogyne incognita*.

À Priscila Moreira Amaro, pelo tempo disponível que me ajudou sempre com dúvidas recorrentes do experimento e amizade profissional que adquirimos nesses últimos dois anos.

À estagiária e estudante de Agronomia Marya Eduarda Castro Silva, pelo desenho incrível do ciclo biológico do gênero *Meloidogyne*.

E, a todos que me ajudaram de forma indireta para essa conquista.

Muito obrigado!

BIOGRAFIA DO AUTOR

Warley Peres da Silveira, filho de Vera Lucia Peres e Celso Davi Peres. Nasceu no dia 15 de setembro de 1989 na cidade de Monte Carmelo, MG. No momento tem 32 anos, graduado em Ciências Biológicas pela Fucamp (Fundação Mário Palmério, atual UniFucamp), localizada na cidade de Monte Carmelo, MG, no período de fevereiro de 2008 a dezembro de 2011. Especialista em Gestão Ambiental pela Faculdade Católica de Uberlândia no período de fevereiro de 2012 a março de 2013.

Há 10 anos mudou para Uberlândia, MG e nesse mesmo tempo atua profissionalmente na empresa Safrar Análises Agrícolas, como gestor e responsável técnico da análise de fitonematoides. Ingressou como aluno especial na Universidade Federal de Uberlândia (UFU), no curso de Agronomia, na disciplina de Nematologia Agrícola no segundo semestre letivo de 2014. A paixão pelos nematoides começou nas aulas ministradas pela professora Doutora Maria Amelia dos Santos, pela didática e prazer em explicar cada parte da disciplina. Tal paixão se consolidou após efetuar um treinamento sobre taxonomia dos nematoides com o professor Dr. Juvenil Henrique Cares, na Universidade Federal de Brasília.

Em março de 2020, ingressou no mestrado profissional em Olericultura pelo Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos, sob orientação do professor Doutor Rodrigo Vieira Silva e coorientação da professora Doutora Maria Amelia dos Santos, concluindo o curso em 2022.

‘Não basta ensinar ao homem uma especialidade, porque se tornará assim uma máquina utilizável e não uma personalidade. É necessário que adquira um sentimento, senso prático daquilo que vale a pena ser empreendido, daquilo que é belo, do que é moralmente correto. Deve aprender a compreender as motivações dos homens, suas quimeras e suas angústias para determinar com exatidão seu lugar a seus próximos e a comunidade.’

Albert Einstein

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 A cultura da batata.....	3
2.2 Aspectos gerais dos nematoides.....	3
2.3 Nematóide de galhas.....	5
2.4 Manejo biológico de nematoides	7
2.5 Referências	9
CAPÍTULO 1	14
POTENCIAL DE PRODUTOS BIOLÓGICOS NO CONTROLE DE <i>Meloidogyne incognita</i> NA CULTURA DA BATATA	14
1. INTRODUÇÃO.....	18
2. MATERIAL E MÉTODOS	19
2.1 Local do experimento	19
2.2 Obtenção e preparo do inóculo de <i>Meloidogyne incognita</i>.....	20
2.3 Preparação da mistura e variedade utilizada	21
2.4 Delineamento experimental	24
2.5 Tratamentos e processo de aplicação.....	25
2.6 Condução das plantas.....	26
2.7 Variáveis analisadas	26
2.8 Análise de nematoides	27
2.9 Análise nutricional.....	28
2.10 Análise estatística.....	29
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4. CONCLUSÕES	36
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

FIGURAS

- Figura 1. Ciclo de vida nematoide do gênero *Meloidogyne* na cultura da batata. Fonte: Desenho de Marya Eduarda adaptado de Torres *et al.* (2009)..... 6
- Figura 2. Sintomas e sinais do nematoide de galhas na cultura da batata: (A) Sintoma de pipocas no tubérculo. (B) Sintoma de engrossamentos nas raízes. (C) Sinal: fêmea de *Meloidogyne incognita* na raiz. Fonte: Warley Peres da Silveira e Daniel Dalvan do Nascimento. 7
- Figura 3. Local do experimento. Fonte: Google Earth. Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, Universidade Federal de Uberlândia, Campus Umuarama, 2021..... 20
- Figura 4. Configuração perineal da fêmea de *Meloidogyne incognita* (A) que é observado um arco dorsal alto com estrias onduladas e em ziguezague, e um dos campos laterais de forma desalinhada ou com bifurcações; região labial do macho de *M. incognita* (B), que apresenta disco labial côncavo, região labial apresenta anéis incompletos não sequenciais em um dos lados, o cone do estilete é do tipo laminar, haste cilíndrica e bulbos do estilete arredondados. Fonte: Warley Peres da Silveira. 21
- Figura 5. Perfil isoenzimático de esterase de fêmeas de *Meloidogyne incognita* obtidas da raiz de batata desse ensaio. Mi: fenótipo de *M. incognita* (I2) e Mj (J3): fenótipo de *M. javanica* utilizado como padrão de comparação. Fonte: Laboratório de nematologia da UNESP de Jaboticabal-SP. 22
- Figura 6. Fertigrama da análise de fertilidade do solo de Barranco (A) e do solo da Mistura (B). Os elementos analisados seguindo a ordem da esquerda para direita (pH H₂O, pH CaCl₂, P Mehl, S, K, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, t, T, V%, m%, M.O., Ca/T, Mg/T, K/T, H+Al/T, B, CU, Fe, Mn, Zn). Fonte: Laudo de análise química do solo analisado na empresa Safrar Análises Agrícolas. 23

Figura 7. Vasos de 18 L com seus respectivos formulados de areia (A), solo (B), substrato (C) previamente esterilizado na proporção 1:1:1 (v/v/v) como medida para formação do composto de mistura e batata semente da variedade Ágata (D). Fonte: Warley Peres da Silveira. Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, Universidade Federal de Uberlândia, Campus Umuarama, 2021.....	23
Figura 8. Desenho experimental instalado em casa de vegetação na Universidade Federal de Uberlândia, Campus Umuarama, Uberlândia, Minas Gerais, 2021.....	24
Figura 9. Experimento montado (A), experimento com 30 dias após plantio (B) e aparelho de medição termo-higrômetro (C). Fonte: Warley Peres da Silveira. Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, Universidade Federal de Uberlândia, Campus Umuarama, 2021.....	26
Figura 10. Procedimentos para análise, amostras coletadas (A), amostras organizadas para separação (B), raízes (tubérculos) separados e lavados (C), partes vegetais cortadas e pesadas prontas para o processo de trituração e passagem pelas peneiras (D), processo de peneiramento do solo (E), amostras prontas para o processo flotação-centrifugação (F), leitura das amostras em microscópio de luz (G), observação de juvenis de segundo estágio e ovos de <i>Meloidogyne incognita</i> em lâmina de Peters com aumento de 40x e 100x no microscópio fotônico (H).....	28

RESUMO

SILVEIRA, Warley Peres. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Morrinhos, agosto de 2022. **Potencial de produtos biológicos no controle de *Meloidogyne incognita* na cultura da batata.** Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Vieira da Silva. Coorientadora: Prof. Dr^a. Maria Amelia dos Santos.

Os nematoides do gênero *Meloidogyne* representam grande problema na agricultura mundial. A cultura da batata é a quarta mais importante no mundo e possui alta suscetibilidade a estes nematoides, conhecidos como nematoide de galhas radiculares. Em função do alerta sustentável de diminuição no controle químico, ocorreu aumento satisfatório nos produtos biológicos na última década. Assim, no presente trabalho objetivou-se determinar o potencial de produtos biológicos no controle de *Meloidogyne incognita* na cultura da batata. O ensaio foi conduzido em casa de vegetação, os tubérculos de batata foram cultivados em vasos de polietileno de 18 L preenchidos com areia, solo de barranco e substrato, ambos peneirados e misturados na proporção 1:1:1 e inoculados com 5000 ovos de *M. incognita*. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso constituídos por seis blocos com nove tratamentos: T1 - Água, T2 - Água + nematoide, T3 - *Paecilomyces lilacinus* + *Trichoderma harzianum* + Moss, T4 - *Serratia marcescens*, T5 - *Burkholderia cepacia*, T6 - *Bacillus* sp., T7 - *Serratia* sp. e T8 - *Bacillus subtilis* + *B. licheniformis* e T9 - Fluensulfona. Aos 60 dias após a inoculação foram avaliadas o número de galhas e de ovos de *M. incognita*, massa fresca e seca de raízes e parte aérea e análise nutricional, e no final do ciclo da batata, aos 100 dias avaliou-se a produtividade da batata. Os tratamentos com *B. cepacia* e Fluensulfona foram os mais eficientes em controlar a reprodução de *M. incognita*, com reduções de 86% e 94%, respectivamente. Em relação a produtividade da batata o tratamento com *B. cepacia* foi o

que teve o melhor resultado, elevando em 10%, demonstrando alta eficiência e potencial para ser utilizado no manejo de *M. incognita* na batata.

PALAVRAS-CHAVE: fitonematoides, nematoide de galhas, biopesticidas, *Solanum tuberosum* L., hortaliça.

ABSTRACT

SILVEIRA, Warley Peres. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Morrinhos, August 2022. **Potential of biological products in the control of *Meloidogyne incognita* in the potato crop.** Advisor: Prof. Dr. Rodrigo Vieira da Silva. Co-advisor: Prof. Dr^a. Maria Amelia dos Santos.

Meloidogyne genus nematodes represent a major problem in world agriculture. The potato crop is the fourth most important in the world and has a high susceptibility to these nematodes that is known as root-knot nematodes. Due to the sustainable warning of a decrease in chemical control, there has been a satisfactory increase in biological products in the last decade. Thus, the present work aimed to determine the potential of biological products to control *Meloidogyne incognita* in potato. The experiment was carried out in a greenhouse, the potato tubers were grown in 18 L polyethylene pots filled with sand, ravine soil and substrate, both sieved and mixed in a 1:1:1 proportion and inoculated with 5000 eggs of *M. incognita*. The experimental design was in randomized blocks consisting of six blocks with nine treatments: T1 - Water, T2 – Water + nematode, T3 - *Paecilomyces lilacinus* + *Trichoderma harzianum* + Moss, T4 - *Serratia marcescens*, T5 - *Burkholderia cepacia*, T6 - *Bacillus* sp., T7 – *Serratia* sp. and T8 - *Bacillus subtilis* + *B. licheniformis* and T9 - Fluensulfone. At 60 days after inoculation, the number of galls and eggs of *M. incognita*, tuber fresh mass and nutritional analysis were evaluated, and at the end of the potato cycle, at 100 days, potato yield was evaluated. Treatments with *B. cepacia* and Fluensulfone proved to be good reducers of *M. incognita* reproduction, with reductions of 86% and 94%, respectively. Regarding potato productivity, the treatment with *B. cepacia* was the most satisfactory, increasing by 10%, demonstrating high efficiency and potential to be used in the management of *M. incognita* in potato.

KEYWORDS: phytonematodes, root-knot nematode, biopesticides, *Solanum tuberosum* L., vegetable.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os fitonematoides são organismos microscópicos em forma de fio, medindo de 0,3 a 3 mm e com o hábito de viver no filme de água do solo (FERRAZ; BROWN, 2016). Esses pequenos vermes possuem uma característica marcante que é a presença de uma estrutura denominada de estilete no aparelho bucal. Constitui-se numa estrutura forte, oca e semelhante a uma agulha, cuja função é perfurar a planta, retirar o alimento e secretar substâncias que induz seu parasitismo (YADAV, 2017).

Diferentes estruturas das plantas podem servir de alimento para os fitoparasitas, tanto órgãos subterrâneos quanto da parte aérea (FERRAZ; BROWN, 2016). Contudo, o seu direcionamento para a planta é influenciado pela liberação de exsudatos radiculares e, a partir desses compostos os nematoides reconhecem as plantas hospedeiras, penetram, estabelecendo a infecção e inicia-se o parasitismo (BELL *et al.*, 2019).

No caso dos nematoides do gênero *Meloidogyne*, o juvenil de segundo estágio (J2), após a infecção, inicia-se o sítio de alimentação, induzindo a hipertrofia e hiperplasia das células vegetais, culminando com um sintoma bem característico de “tecido inchado”, cuja deformidade é denominada de galha (SALAS; TOFOLI, 2017). Estes também, interferem na fisiologia da planta, reduzindo a absorção de água e nutrientes. No caso da cultura da batata esses parasitas também danificam o tubérculo, diminuindo tanto a produção quanto a qualidade do produto, dificultando a sua comercialização (MEDINA *et al.*, 2017).

As hortaliças possuem alta suscetibilidade aos nematoides do gênero *Meloidogyne* de modo que sofrem sérios danos. Cerca de 140 espécies de nematoides são relatadas em associação com as hortaliças, com prejuízos médios da ordem de 12% na produção anual, mas em determinadas situações podem atingir até 100% (MEDINA *et al.*, 2017; PINHEIRO, 2017).

As medidas mais utilizadas para o controle de nematoides são o tratamento químico (CHARCHAR *et al.*, 2007), controle genético (SMITH, 2015; DAVIS;

STETINA, 2016), manejo cultural (MUELLER et al., 2012), a exemplo da rotação de culturas (SILVA *et al.*, 2018) e tratamento biológico (TRANIER *et al.*, 2014).

A partir de 2015, o uso de agentes biológicos no manejo integrado de doenças teve aumento significativo. Vale salientar que esta estratégia de controle apresenta eficiência na redução das populações de nematoides, principalmente com o emprego de produtos à base de fungos e bactérias. Em relação aos fungos com ação nematicida, destaque para *Paecilomyces lilacinus*, *Pochonia chlamydosporia* e *Trichoderma* spp., que agem sobre os ovos pela presença de enzimas quitinolíticas em sua composição (YADAV, 2017). Já em relação as bactérias destacam-se as rizobactérias do gênero *Bacillus*, que desempenham vários mecanismos de ação, como produção de biofilme nas raízes aumentando a proteção contra os nematoides. Além disso, modificam as enzimas produzidas na rizosfera para dificultar o acesso de invasores, promovem crescimento radicular, produzem substâncias com atividade nematicida, além de estimularem o sistema de defesa das plantas a fitopatógenos (FAVORETO *et al.*, 2019).

Contudo, faz-se necessário estudos sobre a ação de produtos biológicos para o controle de nematoides de galhas na cultura da batata, de modo a selecionar opções de formulados que sejam eficazes e competitivos no mercado, além de mais sustentáveis do ponto de vista ecológicos. Assim, o presente trabalho teve como objetivo determinar o potencial de produtos biológicos no controle de *Meloidogyne incognita* na cultura da batata.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura da batata

A batata (*Solanum tuberosum L.*) é uma espécie vegetal da família *Solanaceae*, cujos tubérculos são desenvolvidos a partir do caule subterrâneo (EMBRAPA, 2016). Esta hortaliça tem origem da América do Sul, primeiramente encontrada no Peru e Bolívia entre 7000 e 10000 anos (PATEL *et al.*, 2019).

A batata constitui em um dos alimentos mais importante produzido no mundo, suplantada apenas do milho, trigo e arroz (MEDINA *et al.*, 2017). A importância deste alimento para o consumo das pessoas deve-se ao seu rico valor nutricional de carboidratos, proteínas, fibras e vitaminas (MEDINA *et al.*, 2016). A produção mundial anual de batata é de aproximadamente 382 milhões de toneladas (t) e a China é o país de maior produção com 96 milhões t (MALEITA *et al.*, 2018).

No Brasil, em 2020, a produção de batata foi de aproximadamente 3,8 t com área plantada de 117.263 hectares e rendimento médio obtido de 32.134 kg ha⁻¹ (IBGE, 2020). A colheita é realizada entre três e quatro meses após o plantio, podendo resultar em três safras ao ano, e a principal ocorre entre os meses de setembro a janeiro (VALADARES; LANDAU, 2020).

Dentre as variedades de batata cultivadas no Brasil, a Ágata, originária da Holanda se destaca como uma das variedades de tubérculo *in natura* mais aceito no mercado, ocupando 90% da área cultivada com a cultura no Brasil (CARDOSO *et al.*, 2017). As plantas da variedade Ágata possuem porte baixo, cerca de 60 cm, ciclo precoce que pode chegar de 90 a 110 dias e alta produtividade, superior de 60 t ha⁻¹. Os tubérculos apresentam formato oval, casca amarela com predominância lisa e contém baixo teor de matéria seca (abaixo de 17,9%) (ALVARENGA *et al.*, 2021).

2.2 Aspectos gerais dos nematoides

Os nematoides são vermes, em sua maioria microscópicos, com a morfologia de seu corpo semelhante a um fio de cabelo, habitantes do filme de água do solo, podendo ser marinho ou terrestre. Sua existência estima-se a 1 bilhão de anos, representando um

dos animais mais antigos e abundantes da Terra (YADAV, 2017), estima-se que mais de 80% do reino animal seja nematoide, compondo todos os níveis da cadeia alimentar do solo. O papel desses pequenos organismos está associado ao seu modo de alimentação, que os classificam por bacteriófagos, fungívoros, fitoparasitas, parasitas de animais, onívoros e predadores (VAN DEN HOOGEN *et al.*, 2019). Os nematoides correspondem a quatro grupos, a saber: marinhos (50%), água doce (25%), parasitas de animais (15%) e os parasitas de plantas (10%) (FERRAZ; BROWN, 2016).

Os fitonematoides têm grande importância na agricultura, responsáveis por reduções significativas de produção, além de gerar custos importantes para o seu controle (ASSUNÇÃO *et al.*, 2021). Estes vermes do solo, por serem parasitas obrigatórios, precisam de plantas hospedeiras para se desenvolver e reproduzir (GALBIERI; BELOT, 2016). Esses patógenos causam perdas médias anuais de 12,6%, contabilizando 216 bilhões de dólares, de modo que o seu manejo se faz necessário e representa grande desafio (ABD-ELGAWAD, 2016).

O ciclo de vida dos nematoides ocorre inicialmente no solo e, aqueles parasitas obrigatórios, penetram as raízes, podendo atingir a parte aérea. Estes tendem a se concentrar a 5 a 30 profundidade, em que varia com o tipo de solo, plantas hospedeiras, estação do ano e muitos outros fatores, como temperatura, umidade e textura do solo (TOMAZINI *et al.*, 2021).

Espécies de fitonematoides quarentenários para a cultura da batata no Brasil, destaca-se as espécies *Globodera pallida* e *G. rostoshiensis* (nematoides de cisto), *Nacobbus aberrans* (falso nematoide de galhas) e *Ditylenchus destructor* (nematoide da podridão radicular) que são os mais nocivos em diversos países do mundo (MEDINA *et al.*, 2017). Os nematoides de cistos já foram relatados em mais de 50 países incluindo países da América do Sul como Argentina, Bolívia, Chile, Colômbia, Equador, Peru e Venezuela contabilizando perdas inestimáveis anualmente na cultura da batata-inglesa. Já o falso nematoide de galhas tem como hospedeiros a batata-inglesa, beterraba-açucareira, tomate, pimenta e feijão, causando perdas médias de 65% na América Latina em cultivo de batata-inglesa, 55% e 36% na cultura do tomate e feijão em regiões produtoras do México e de até 20% de perdas na cultura da beterraba nos Estados Unidos (GONZAGA; DE MOURA, 2019).

Com relação ao nematoide da podridão radicular, este está distribuído em países da Europa, Ásia, Nova Zelândia, Canadá, Estados Unidos, México e África do Sul, porém houve registro anteriormente no Equador e Peru que atualmente foi considerado ausente

(CABI, 2018). Esse nematoide tem como hospedeiras mais de 120 espécies de plantas e as perdas na cultura da batata chegaram em 43,3% na Bielorrússia, de 20% até 50% na China com relatos de 100% de prejuízo em condições de altas infestações na região norte e leste (GONZAGA; OLIVEIRA, 2018).

No Brasil, os fitonematoides que mais causam prejuízo na batateira são os dos gêneros *Meloidogyne* (nematoide de galhas) e *Pratylenchus* (nematoide de lesões) que dependendo das condições ambientais e suscetibilidade da cultivar variam de 20 a 100% de perdas de produtividade (MEDINA *et al.*, 2017).

2.3 Nematoide de galhas

Os nematoides do gênero *Meloidogyne* pertencem a família Heteroderidae (CARES; HUANG, 2001), grupo de maior importância, por sua ampla gama de plantas hospedeiras e relevância econômica (LUC *et al.*, 2005). As plantas infectadas por estes nematoides são mais suscetíveis ao ataque de outros patógenos e a estresses abióticos, especialmente o hídrico, podendo afetar tanto a produtividade quanto qualidade da produção (KIRSCH *et al.*, 2016). O principal sintoma a nível de campo deste gênero, consiste no exame visual das raízes por apresentar engrossamentos ou protuberâncias denominadas de galhas (NOE, 2010).

O ciclo biológico dos nematoides do gênero *Meloidogyne* constitui-se de seis estádios: ovo, quatro juvenis (J1, J2, J3, J4) e adultos (GHEYSEN; FENOLL, 2002). Inicia-se com um ovo, depositado pela fêmea que se encontra no interior da raiz e tem aspecto brilhante e globosa, apresentando corpo obeso em forma de pera (TIHOHOD, 2000).

A primeira ecdise ocorre no interior do ovo, desenvolvendo em juvenil de segundo estágio (J2), que eclode com o auxílio do estilete e começa a migrar no solo a procura de raízes de plantas que possa parasitar. Após passar por mais dois estádios juvenis (J3 e J4), chegam a fase adulta, ocorrendo a desintegração das células musculares aumentando a largura do corpo rapidamente (FERRAZ, 2001). As espécies de *Meloidogyne* apresentam dimorfismo sexual, e as fêmeas apresentam o formato de pera, sendo estas sedentárias e os machos de formato filiformes, encontrados em menor proporção que as fêmeas, porque na maioria das espécies deste gênero, a reprodução ocorre por partenogênese (LORDELO; LORDELO, 1992).

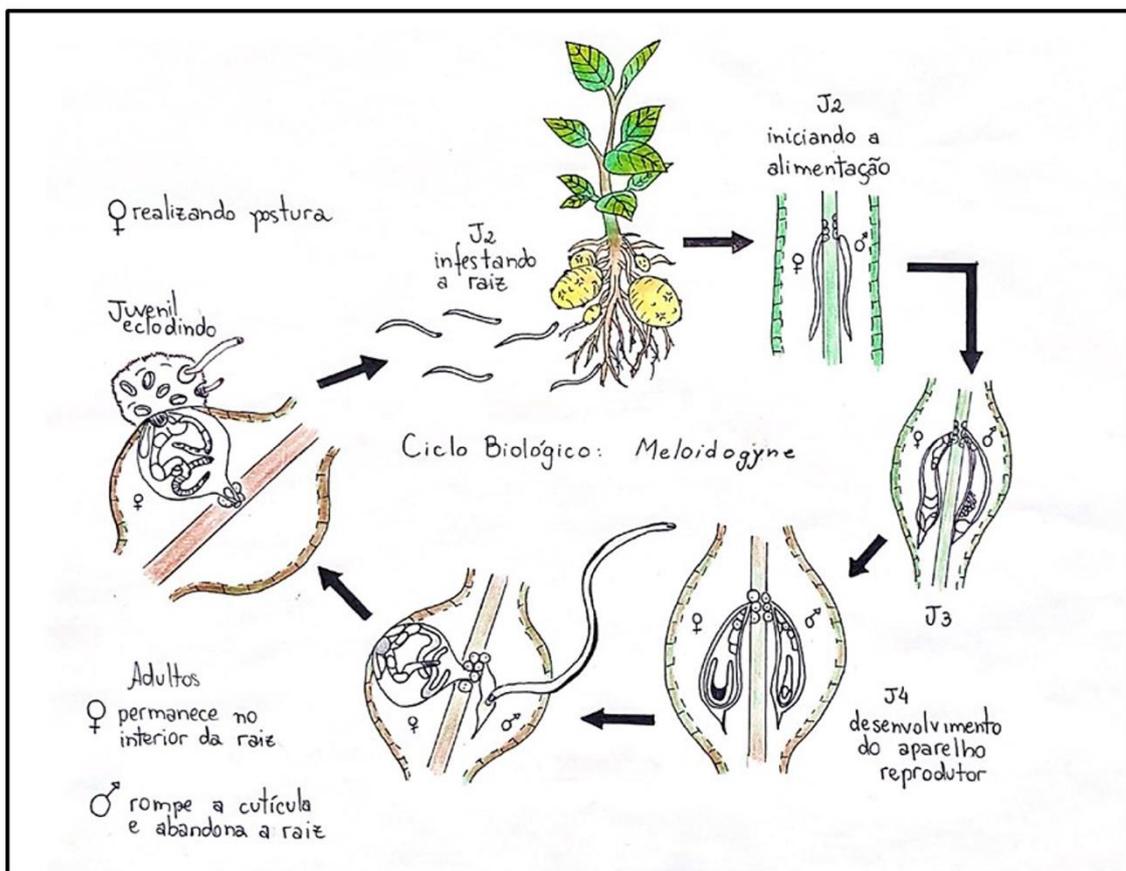


Figura 1. Ciclo de vida de nematoides do gênero *Meloidogyne* na cultura da batata.
Fonte: Desenho de Marya Eduarda adaptado de Torres et al. (2009).

Os nematoides de galhas possuem hábito alimentar do tipo endoparasita sedentário, que induz a formação do sítio de alimentação necessário para sua sobrevivência (MAFESSONI *et al*, 2019). Para o sucesso no parasitismo, as células da hospedeira passam por alterações em sua estrutura pela liberação de proteínas efetoras contidas nas secreções produzidas pelo patógeno (MITCHUM *et al.*, 2013).

Outras modificações ocorridas após a formação de galhas são: a diminuição do tamanho do vacúolo, o aumento da quantidade de organelas citoplasmáticas, principalmente mitocôndrias e retículo endoplasmático rugoso, e o espessamento das paredes celulares (GODDIJN *et al.*, 1993). A formação das células nutridoras representa uma das respostas mais complexas em tecidos vegetais por qualquer patógeno ou parasita (HUANG *et al.*, 2005). As galhas induzidas pelos nematoides apresentam tamanhos variados, e em seu interior ficam alojadas várias fêmeas sedentárias (INOMOTO, 2006).

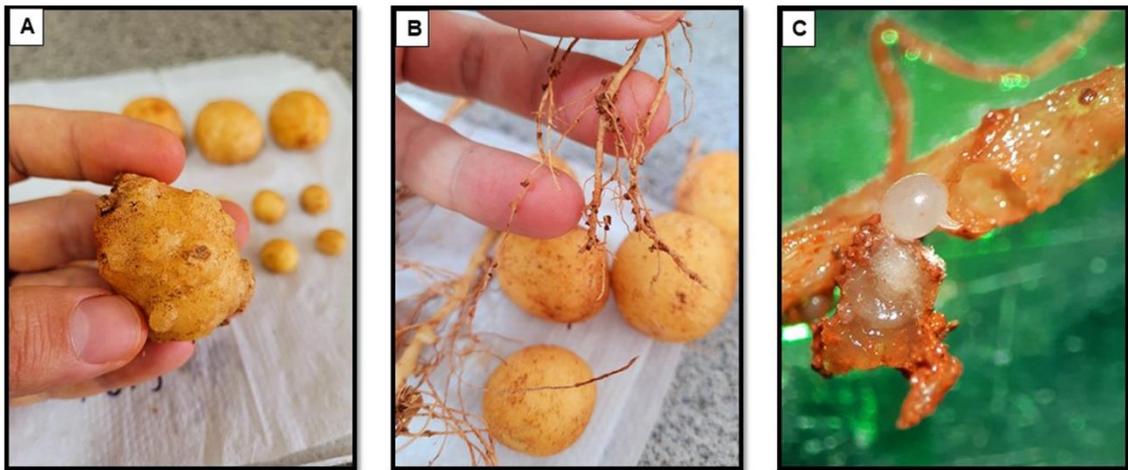


Figura 2. Sintomas e sinais do nematoide de galhas na cultura da batata: (A) Sintoma de pipocas no tubérculo. (B) Sintoma de engrossamentos nas raízes. (C) Sinal: fêmea de *Meloidogyne incognita* na raiz. **Fonte:** Warley Peres da Silveira e Daniel Dalvan do Nascimento.

Os maiores problemas do cultivo da batata estão relacionados aos nematoides do gênero *Meloidogyne* e *Pratylenchus* por apresentarem melhor adaptação as condições climáticas das regiões brasileiras (MEDINA *et al.*, 2016). As espécies de nematoides de galhas mais disseminadas e que mais prejuízos causam na cultura da batata no Brasil são *M. incognita* e *M. javanica* por estarem amplamente disseminadas nas principais regiões produtoras no país (MEDINA *et al.*, 2017; PINHEIRO, 2017). Além disso, espécie *M. incognita* merece destaque por apresentar alta taxa reprodutiva, polifagia e diferentes raças fisiológicas (CHOI *et al.*, 2017).

2.4 Manejo biológico de nematoides

A utilização de agentes biológicos de controle representa importante papel no equilíbrio das populações de nematoides (WINARTO; LISWARNI, 2018). Em contrapartida, o uso contínuo de nematicidas químicos sintéticos causa grandes problemas, desde impactos ambientais, poluição e aumenta a possibilidade de aparecimento de populações de nematoides com resistência aos princípios ativos (WINARTO; LISWARNI, 2018).

Diversos organismos podem ser utilizados no controle biológico de fitonematoides, com destaque para fungos e bactérias por apresentarem mais eficientes.

Os fungos nematófagos estão divididos em quatro grupos: predadores que produzem armadilhas capazes de prender e matar esses parasitas. Exemplos como *Arthrobotrys oligospora* desenvolve estrutura em forma de rede; *Dactylellina haptotyla* forma botões adesivos; *Drechlerella stenobrocha* forma anéis constritores. Fungos endoparasitas que produzem zoósporos capazes de penetrar no nematoide e formar hifas, como exemplo a *Drechmeria coniospora* que produz a cerca de 10.000 zoósporos. Fungos parasitas de ovos infectam através do micélio as cascas dos ovos e representam esse grupo, as espécies *Pochonia chlamydosporia*, *Paecilomyces lilacinus*, *Clonostachys rosea* e *Lecanicillium psalliotae*. Fungos nematicidas que produzem toxinas imobilizando o nematoide. *Coprinus comatus* e *Stropharia rugosoannulata* são exemplos desse último grupo (YADAV, 2017). Já o fungo *Paecilomyces lilacinus* é uma alternativa de parasita de ovos que tem como modo de ataque a produção de uma proteína, a quitinase e enzimas de proteases que amolece a casca do ovo facilitando seu parasitismo (WINARTO; LISWARNI, 2018).

O gênero *Trichoderma* possui importante capacidade de crescimento saprofito na rizosfera e o modo de ação para controle dos patógenos pode ocorrer por meios de parasitismo, competição, produção de compostos orgânicos e colonização nas raízes (WOHLENBERG; ANTONIOLLI, 2018). A sinergia de agentes dos gêneros *Bacillus* e *Trichoderma* contribui em diversos benefícios para o desenvolvimento vegetal, como estimulantes na produção de fitohormônios, enzimas hidrolíticas, sideróforos, antibióticos e proteínas transportadoras de carbono e nitrogênio, atuantes nos diferentes compartimentos celulares e metabolizados a fim de proporcionar energia e crescimento vegetal (DE SOUZA *et al.*, 2021).

As bactérias mais estudadas para o controle biológico são as do gênero *Bacillus*, que promovem o desenvolvimento das plantas e reduzem as populações dos fitoparasitas por meio de aumentar a resistência nas raízes e liberar substâncias capazes de modificar

o comportamento dos mesmos dificultando o seu direcionamento até as raízes (YADAV, 2017).

Os gêneros *Pasteuria*, *Pseudomonas* e *Bacillus* apresentam-se como boas alternativas de controle de fitonematoides por causa da produção de antibióticos, toxinas e enzimas, vitalidade da planta, indução de resistência (MACHADO *et al.*, 2016). Em relação a *Pasteuria penetrans* produzem endósporos colonizadores de nematoides; *P. thornei* infecta *Pratylenchus* spp.; *P. usgae* infecta *Belonolaimus* spp.; *P. nishizawae* parasita *Heterodera* spp. e *Globodera* spp. (YADAV, 2017).

O gênero *Burkholderia* é constituído por aproximadamente 40 espécies bacterianas. Algumas dessas espécies agrupam-se para formar um complexo de espécies denominado *B. cepacia* que contém espécies patogênicas aos animais e espécies que fazem parte da rizosfera das plantas, a exemplo, um isolado retirado do rizoplano do arroz de terras altas, denominada de *B. pyrrocinia* BRM32113 (ARRIEL-ELIAS *et al.*, 2019). Essa espécie é uma rizobactéria gram-negativa, com formato celular de bacilos, e possui alta capacidade de assimilar fontes de carbono presentes no solo, além de produzir compostos antifúngicos e proteger as plantas contra doenças por meio da colonização das raízes (ELIAS *et al.*, 2021).

Em razão da preocupação da sociedade com o uso abusivo de agrotóxicos, o controle biológico é considerado uma tecnologia atrativa no manejo integrado de fitonematoides. Sua contribuição para o desenvolvimento de uma agricultura mais sustentável está relacionada com a redução do impacto ambiental, além do equilíbrio da microbiota e saúde do solo (OLIVEIRA, *et al.*, 2020).

2.5 Referências

- ABD-ELGAWAD, M. M. M. Biological control agents of plant-parasitic nematodes. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 26, p. 423–429, 2016.
- ALVARENGA, L. F.; ROSA, G. G.; BARANEK, E. J.; KAWAKAMI, J.; LIMA, C. S. M. Organic fertilization in potato cultivar Ágata. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p. e52910716107, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i7.16107.
- ARRIEL-ELIAS, M. T.; CÔRTEZ, M. V. D. C. B.; DE SOUSA, T. P.; CHAIBUB, A. A.; FILIPPI, M. C. C. Induction of resistance in rice plants using bioproducts produced from *Burkholderia pyrrocinia* BRM 32113. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 19, p. 19705-19718, 2019.
- ASSUNÇÃO, M. C.; NORONHA, M. D. A.; MUNIZ, M. D. F. S.; CASTRO, J. M. D. C.; COSTA, J. G. D. Espécies de *Meloidogyne* em alface na região Agreste do estado de Alagoas. **Summa Phytopathologica**, v.7, p. 60-61, 2021.

BELL, C. A.; LILLEY, C. J.; MCCARTHY, J.; ATKINSON, H. J.; URWIN, P. E. Plant-parasitic nematodes respond to root exudate signals with host-specific gene expression patterns. **PLoS Pathogens**, v. 15, p. e1007503, 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1007503>

CABI. *Globodera pallida* (White potato cyst nematode). Oxfordshire, 2018. Disponível em: <<https://www.cabi.org/isc/datasheet/27033>>. Acesso em: 27 de abril de 2022.

CARDOSO, A. D.; ALVARENGA, M. A. R.; DUTRA, F. V.; MELO, T. L.; VIANA, A. E. S. Características físico-químicas de batata em função de doses e fracionamentos de nitrogênio e potássio. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, p. 567-575, 2017.

CARES, J.E.; HUANG, S. P. Taxonomia de fitonematoides: chave sistemática simplificada para gêneros - parte II. Brasília – DF, v. 9, p. 177-235, 2001.

CHARCHAR, J. M.; VIEIRA, J. V.; OLIVEIRA, V. R.; MOITA, A. W. Efeitos de nematicidas fumigantes e não fumigantes no controle de *Meloidogyne* spp. em batata e cenoura. **Nematologia Brasileira**, v. 31, p. 59-66, 2007.

CHOI, I.; SUBRAMANIAN, P.; SHIM, D.; OH, B. J.; HAHN B. S. RNA-Seq of Plant-Parasitic Nematode *Meloidogyne incognita* at Various Stages of Its **Development** **Frontiers in Genetics**, V. 8, p. 190, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2017.00190>

DAVIS, R. F.; STETINA, S. R. Resistance and tolerance to nematodes in cotton. In: GALBIERI, R.; BELOT, J. L. (Eds.). Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros: **Biologia e medidas de controle**. Cuiabá, MT, p. 166–243, 2006.

DE SOUZA, A. C. A.; DE FILIPPI, M. C. C.; NASCENTE, A.; PRABHU, A.; ALVES, E. Silicon rates and beneficial microorganism on blast suppression and productivity of upland rice. **Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2021. DOI: [10.29328/journal.jpsp.1001057](https://doi.org/10.29328/journal.jpsp.1001057)

ELIAS, M. T. A.; DE SOUSA OLIVEIRA, M. I.; BEZERRA, G. A.; CÔRTEZ, M. V. D. C. B.; DE FILIPPI, M. C. C. Morphological and physiological characterization and biomass production of *Burkholderia pyrrocinia* (BRM 32113). **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 41096-41115, 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA HORTALIÇAS. Sistemas de Produção, 8. ISSN 1678-880X Versão Eletrônica. 2ª edição, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalicas/batata/clima>. Acesso em: 26 de abril de 2022.

FAVORETO, L.; MEYER, M. C.; DIAS-ARIEIRA, C. R.; MACHADO, A. C. Z.; SANTIAGO, D. C.; RIBEIRO, N. R. Diagnose e manejo de fitonematoides na cultura da soja. **Informe Agropecuário**, v. 40, n. 306, p. 18-29, 2019.

FERRAZ, L. C. C. B. As meloidoginoses da soja: passado, presente e futuro. In: SILVA, J. F. V. (Org.). Relações parasito-hospedeiro nas meloidoginoses da soja. Londrina: Embrapa 14 Soja. Sociedade Brasileira de Nematologia, p. 15-38, 2001.

FERRAZ, L. C. C. B.; BROWN, D. J. F. Nematologia de plantas: fundamentos e importância. Manaus: NORMA EDITORA, p. 267, 2016.

GALBIERI, R.; BELOT, J. L. (Ed.). Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros: biologia e medidas de controle. Cuiabá: Instituto Mato-Grossense do Algodão, p. 11-36 (**Boletim de P&D**, n. 3), 2016.

GHEYSEN, G.; FENOLL, C. Gene expression in nematode feeding sites. Annual Review of **Phytopathology**, v. 40, p. 191-219, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.40.121201.093719>

GODDIJN, O. J. M.; LINDSEY, K.; VAN DER LEE, F. M.; KLAP, J. C.; SIJMONS, P. C. Differential gene expression in nematode induced feeding structures of transgenic plants harbouring promoter-gus A fusion constructs. **The Plant Journal**, v. 4, p. 863-873, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-313X.1993.04050863.x>

GONZAGA, V.; DE MOURA, R. M. A agricultura brasileira e a ameaça dos nematoides quarentenários. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 16, n. 2, p. 15-23, 2019.

GONZAGA, V.; OLIVEIRA, C.M.G. *Ditylenchus destructor* Thorne (Tylenchida: Anguinidae) **In**: Priorização de pragas quarentenárias ausentes no Brasil. Brasília. EMBRAPA, p. 277-291, 2018.

HUANG, G. Z.; DONG, H.; ALLEN, R.; DAVIS, E. L.; BAUM, T. J.; HUSSEY, R. S. Two chorismate mutase genes from the root- knot nematode *Meloidogyne incognita*. **Molecular Plant Pathology**, v.6, p. 23-30, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, Produção Agrícola Municipal 2020. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=destaques>. Acesso em: 26 de abril 2022.

INOMOTO, M. M. Nematoides e seu controle. In: MORESCO, E. (ed.) Algodão – Pesquisas e Resultados para o Campo. V. 2, Cuiabá MT. Fundo de Apoio à Cultura do Algodão, p. 241-261, 2006.

KIRSCH, V. G.; KULCZYNSKI, S. M.; GOMES, C. B.; BISOGNIN, A. C.; GABRIEL, M.; BELLÉ, C.; LIMA-MEDINA, I. Caracterização de espécies de *Meloidogyne* e de *Helicotylenchus* associadas à soja no Rio Grande do Sul. **Nematropica**, v. 46, n. 2, p. 197-208, 2016.

LORDELO, A. I. L.; LORDELO, R. R. A. Genótipos de milho indicados para plantio em áreas infestadas por *Meloidogyne javanica*. **O Agrônômico**, v. 44, p. 74- 76, 1992.

LUC, M.; SIKORA, R.A.; BRIDGE, J. Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. London: CABI Publishing, 2005.

MACHADO, A. C.; KANEKO, L.; PINTO, Z. V. Controle biológico. In: GALBIERI, R.; BELOT, L. J. (ed.). Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros: biologia e medidas de controle. Cuiabá, MT, Instituto Mato-grossense do algodão, p.287-312, 2016.

MAFESSONI, A. B.; BAHIA, B. L.; SOUZA, I. V. B.; DA SILVA, R. F.; REBOUÇAS, T. N. H.; PORTO, J. S. Fungos antagonistas e suas combinações contra *Meloidogyne* spp.

em solo de cultivo de tomate sem a presença de hospedeiro. **Acta Biológica Catarinense**, v. 6, n. 3, p. 54-60, 2019.

MALEITA, C.; ESTEVES, I.; CARDOSO, J. M. S.; CUNHA, M. J.; CARNEIRO, R. M. D. G.; ABRANTES, I. *Meloidogyne luci*, a new root-knot nematode parasitizing potato in Portugal. **Plant Pathology**, v. 67, p. 366-376, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/ppa.12755>

MEDINA, I. L.; BELLÉ, C.; CASA-COILA, V. H.; PEREIRA, A. S.; GOMES, C. B. Reação de cultivares de batata aos nematoides das galhas. **Nematropica**, v. 46, n. 2, 2016.

MEDINA, I. L.; GOMES, C. B.; CORREA, V. R.; MATTOS, V. S.; CASTAGNONE-SERENO, P.; CARNEIRO, R. G. Genetic diversity of *Meloidogyne* spp. parasitising potato in Brazil and aggressiveness of *M. javanica* populations on susceptible cultivars, **Nematology**, p. 69-80, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1163/15685411-00003032>

MITCHUM, M. G.; HUSSEY, R. S.; BAUM, T. J.; WANG, X.; ELLING, A. A.; WUBBEN, M.; DAVIS, E. L. Nematode effector proteins: an emerging paradigm of parasitism. **New Phytology**, p. 879-894, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.12323>

MUELLER, J.; KOENNING, S.; OVERSTREET, C.; KIRKPATRICK, T.; KEMERAIT, B.; NICHOLS, B. Managing nematodes in cotton-based cropping systems. 2012. Disponível em: <https://www.cottoninc.com/wpcontent/.../2015/12/2012-Managing-Nematodes.pdf>. Acesso em: 04 de maio de 2021.

NOE, J. P. Nematoides parasitas de plantas. In: TRIGIANO, R. N.; WINDHAM, M. T.; WINDHAM, A. S. Fitopatologia: conceitos e exercícios de laboratório. Porto Alegre, RS, Brasil: Artmed, p. 83-96, 2010.

OLIVEIRA, M. I. S.; CHAIBUB, A. A.; SOUSA, T. P.; CORTÊS, M. V. C. B.; SOUZA, A. C. A.; CONCEIÇÃO, E. C.; FILIPPI, M. C. C. Formulations of *Pseudomonas fluorescens* and *Burkholderia pyrrocinia* control rice blast of upland rice cultivated under no-tillage system. **Biological Control**, v. 144, p. e104153, 2020.

PATEL, B.; PATEL, D. B.; TAPRE, P. V.; SINGH, N. K.; PATEL, R. Integrated Management of Root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in Potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Lady Rosetta. **International Journal of Bio-resource and Stress Management**, v. 10, n. 5, p. 561-566, 2019. DOI: <https://doi.org/10.23910/ijbsm/2019.10.5.2017c>

PINHEIRO, J. B. Nematoides em hortaliças. Brasília, DF: Embrapa, p. 194, 2017.

SALAS, F. J. S.; TÖFOLI, J. G. Cultura da batata: pragas e doenças. São Paulo: Instituto Biológico, 2017.

SILVA, R. A.; NUNES, N. A.; SANTOS, T. F. S.; IWANO, F. K. Efeito da rotação e sucessão de culturas no manejo de nematoides da soja em área arenosa. **Nematropica**, v. 48, p.198-206, 2018.

SMITH, A. L. Identification of resistant or tolerant commercial cotton cultivars to the Fusarium wilt root-knot nematode disease complex and the identification of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* races in Alabama. Dissertação de Mestrado. Auburn University, 2015.

- TIHOHOD, D. Nematologia agrícola aplicada. 2 ed. Jaboticabal: FUNEP, p. 473, 2000.
- TOMAZINI, M. D.; FILHO, O. G.; DE OLIVEIRA, C. M. G. Interações entre fitonematoides. **Biológico**, v. 83, p. 1-26, 2021. DOI: 10.31368/1980-6221v83a10004
- TORRES, R. G.; RIBEIRO, N. R.; BOER, C. A.; FERNANDES, O.; FIGUEIREDO, A. G.; NETO, A. F.; CORBO, E. Manejo integrado de nematoides em sistema de plantio direto no cerrado. 2009.
- TRANIER, M. S.; POGNANT-GROS, J.; QUIROZ, R. D. L. C.; GONZÁLEZ, C. N. A.; MATEILLE, T.; ROUSSOS, S. Commercial biological control agents targeted against plant-parasitic root-knot nematodes. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 57, n. 6, p. 831-841, 2014.
- VALADARES, G. M.; LANDAU, E. C. Evolução produção de batata-inglesa (*Solanum tuberosum*, *Solanaceae*). **Embrapa Milho e Sorgo-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2020.
- VAN DEN HOOGEN, J.; GEISEN, S.; ROUTH, D.; FERRIS, H.; TRAUNSPURGER, W.; WARDLE, D. A.; DE GOEDE, R. G. M.; ADAMS, B. J.; AHMAD, W.; ANDRIUZZI, W. S.; BARDGETT, R. D.; BONKOWSKI, M.; CAMPOS-HERRERA, R.; CARES, J. E.; CARUSO, T.; CAIXETA, L. B.; CHEN, X.; COSTA, S. R.; CREAMER, R.; CASTRO, J. M. C.; DAM, M.; DJIGAL, D.; ESCUER, M.; GRIFFITHS, B. S.; GUTIÉRREZ, C.; HOHBERG, K.; KALINKINA, D.; KARDOL, P.; KERGUNTEUIL, A.; KORTHALS, G.; KRASHEVSKA, V.; KUDRIN, A. A.; LI, Q.; LIANG, W.; MAGILTON, M.; MARAIS, M.; MARTÍN, J. A. R.; MATVEEVA, E.; MAYAD, E. H.; MULDER, C.; MULLIN, P.; NEILSON, R.; NGUYEN, T. A. D.; NIELSEN, U. N.; OKADA, H.; RIUS, J. E. P.; PAN, K.; PENEVA, V.; PELLISSIER, L.; SILVA, J. C. P.; PITTELOUD, C.; POWERS, T. O.; POWERS, K.; QUIST, C. W.; RASMANN, S.; MORENO, S. S.; SCHEU, S.; SETÄLÄ, H.; SUSHCHUK, A.; TIUNOV, A. V.; TRAP, J.; VAN DER PUTTEN, W.; VESTERGÅRD, M.; VILLENAVE, C.; WAEYENBERGE, L.; WALL, D. H.; WILSCHUT, R.; WRIGHT, D. G.; YANG, J. I.; CROWTHER, T. W. Soil nematode abundance and functional group composition at a global scale. **Nature**, v. 572, p. 194–198, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1418-6>
- WINARTO, D.; LISWARNI, Y. Potency of local isolate *Paecilomyces* from West Sumatera for control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) on vegetables. **Journal of Biopesticides**, v. 11, n. 2, p. 98-105, 2018.
- WOHLENBERG, M. D.; ANTONIOLLI, Z. I. Supressão de *Meloidogyne* sp. por isolados de *Trichoderma* sp. na soja. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, RS, 2018.
- YADAV, U. Recent trends in nematode management practices: the Indian context. **International Research Journal of Engineering and Technology**, v. 4, p. 482-489, 2017.

CAPÍTULO 1

(Normas de acordo com a revista Horticultura brasileira)

POTENCIAL DE PRODUTOS BIOLÓGICOS NO CONTROLE DE *Meloidogyne incognita* NA CULTURA DA BATATA

RESUMO

A batata é uma das hortaliças mais importante no mundo e os nematoides são um dos principais problemas enfrentados na cultura no Brasil. Os nematicidas químicos são os principais produtos utilizados no controle. Entretanto, faz-se necessário o estudo de outras opções de controle, a exemplo a utilização de microrganismos como agentes de biocontrole e promotores de crescimento. Objetivou-se determinar a eficiência de produtos biológicos no controle de *Meloidogyne incognita* na cultura da batata. O experimento foi conduzido entre os meses de julho a outubro de 2021 em casa de vegetação. Foi utilizado população de *M. incognita* multiplicada em quiabeiro, os ovos do nematoide foram extraídos e calibrado para 1000 ovos mL⁻¹ de *M. incognita* e aplicados 5 mL em cada vaso de 18 L de polietileno. Utilizou a cultivar de batata Ágata com os seguintes tratamentos: T1 - Água; T2 - Água + nematoide; T3 - *Paecilomyces lilacinus* + *Trichoderma harzianum* + Moss; T4 - *Serratia marcescens*; T5 - *Burkholderia cepacia*; T6 - *Bacillus* sp.; T7 - *Serratia* sp.; T8 - *Bacillus subtilis* + *B. licheniformis*; T9 - Fluensulfona. As aplicações dos tratamentos foram realizadas junto a instalação da batata semente e do inóculo do nematoide, sendo primeiramente feito uma cova em cada vaso a profundidade de 10 cm e logo em seguida foi inserido 10 ml da suspensão dos nematoides no solo calibrados via contagem em microscópio fotônico. A batata semente foi colocada logo após via sulco e os produtos diluídos conforme a bula seguindo aplicando sobre o vegetal. Após esses procedimentos cada cova foi coberta imediatamente e mantida sem rega por 24 horas. A irrigação foi realizada diariamente de forma manual e cada amostra foi regada uma vez ao final da tarde. O ensaio foi conduzido em delineamento em blocos ao acaso constituído por 6 blocos com 9 tratamentos duplicados, totalizando 108 parcelas, e aos 60 dias após a inoculação (DAI) foi retirado metade do experimento para avaliar número de galhas no tubérculo, massa fresca e seca, massa de ovos e análise nutricional e aos 100 DAI foi retirado a segunda parte para analisar a produtividade. As plantas foram avaliadas, realizando a separação entre parte

aérea e raízes (tubérculos). Os dados foram submetidos à análise de variância e para comparação das médias pelo teste Scott knott a 5% de probabilidade, utilizando o *software* estatístico R (R CORE TEAM, 2019). Foram observadas diferenças para as variáveis, número de galhas e de ovos de *M. incognita*, massa fresca do tubérculo e análise nutricional, e no final do ciclo da batata, aos 100 dias avaliou-se a produtividade da batata. Os tratamentos com biológicos com *Serratia marcescens* e *Burkholderia cepacia* e o tratamento químico com princípio ativo fluensulfona se mostraram bons redutores da reprodução de *M. incognita*, com reduções acima de 98%. Em relação a produtividade da batata o produto com à base de *B. cepacia* foi o melhor, elevando em 10%, demonstrando alta eficiência e potencial para ser utilizado no controle do nematoide na batata.

Palavras-chave: Controle Biológico; Nematoides; *Solanum tuberosum*.

POTENTIAL OF BIOLOGICAL PRODUCTS IN THE CONTROL OF *Meloidogyne incognita* IN THE POTATO CROP

ABSTRACT

Potato is one of the most important vegetables in the world and nematodes are one of the main problems faced in culture in Brazil. Chemical nematicides are the main products used in the control. However, it is necessary to study other control options, such as the use of microorganisms as biocontrol agents and growth promoters. The objective was to determine the efficiency of biological products to control the *Meloidogyne incognita* in the potato crop. The experiment was conducted from July to October 2021 in a greenhouse. A population of *M. incognita* multiplied in okra was used, the nematode eggs were extracted and calibrated for 1000 eggs mL⁻¹ of *M. incognita* and 5 mL were applied to each 18 L polyethylene pot. The potato cultivar Ágata was used with the following treatments: T1 - Water; T2 – Water + nematode; T3 - *Paecilomyces lilacinus* + *Trichoderma harzianum* + Moss; T4 - *Serratia marcescens*; T5 - *Burkholderia cepacia*; T6 - *Bacillus* sp.; T7 - *Serratia* sp.; T8 - *Bacillus subtilis* + *B. licheniformis*; T9 - Fluensulfone. The treatments applications were carried out together with the installation of the seed potato and the nematode inoculum, first making a hole in each pot at a depth of 10 cm and then 10 ml of the nematode suspension in the soil calibrated via counting in photonic microscope. The seed potato was placed right after the furrow and the products were diluted according to the leaflet, followed by applying it on the vegetable. After these procedures, each pit was covered immediately and kept without watering for 24 h. Irrigation was performed daily, manually and each sample was watered once in the late afternoon. The experiment was carried out in a randomized block design consisting of 6 blocks with 9 duplicate treatments, totaling 108 plots, where at 60 days after inoculation (DAI) half of the experiment was removed, where the number of galls on the tuber, fresh and dry mass was evaluated, egg mass and nutritional analysis and at 100 DAI the second part was removed to analyze productivity. The plants were evaluated, performing the separation between shoots and roots (tubers). Data were subjected to analysis of variance and means were compared using the Scott knott test at 5% probability, using the R statistical *software* (R CORE TEAM, 2019). Differences were observed for the variables, number of galls and eggs of *M. incognita*, tuber fresh mass and nutritional analysis, and at the end of the potato cycle, at 100 days, potato yield was evaluated. The biological

treatments with *Serratia marcescens* and *Burkholderia cepacia* and the chemical treatment with the active ingredient fluensulfone proved to be good reducers of the reproduction of *M. incognita*, with reductions above 98%. Regarding potato productivity, the product based on *B. cepacia* was the most satisfactory, increasing by 10%, demonstrating high efficiency and potential to be used to control the nematode in potato.

Keywords: Biological control; Nematodes; *Solanum tuberosum*.

1. INTRODUÇÃO

A batata é a quarta cultura mais importante no mundo, produzindo anualmente aproximadamente 330 milhões de toneladas (t). No Brasil, a produção anual é a cerca de 3,8 milhões t, envolvendo 5 mil produtores em 30 regiões de sete estados (MG, SP, PR, RS, SC, GO e BA) com a produção média de 30,6 t ha⁻¹ (IBGE, 2020). Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO, 2018), a produtividade brasileira aumentou 28,1% nos últimos 10 anos pelas melhorias empregadas no plantio da cultura como metodologias desenvolvidas pelos produtores, associada a cultivares mais produtivas e a qualidade das batatas sementes e controle fitossanitário.

Os nematoides representam um dos principais problemas fitossanitários enfrentados na cultura da batata, com reduções médias de produtividade de 12%, além do surgimento de malformações dos tubérculos, como bifurcações e tumores “pipocas” que impossibilita a comercialização (MEDINA *et al.*, 2017). Esses sintomas são ocasionados pelo nematoide de galhas, que integra um dos fatores biológicos de maiores prejuízos na cultura de batata. As espécies de nematoides mais comuns nas hortaliças são *Meloidogyne incognita*, *M. javanica*, e *M. enterolobii*. Na batata, a prevalência de parasitismo de *M. incognita* e *M. javanica* que estão concentradas nas principais regiões produtoras (PINHEIRO, 2017).

No século XXI vêm diminuindo a utilização de nematicidas químicos para o controle dos nematoides, pelo elevado custo, além de possuir alta toxicidade, persistência residual no solo e amplo espectro de ação sobre organismos benéficos do solo. Geralmente, altas doses são utilizadas a fim de melhorar a produtividade, mas nem sempre a população do nematoide mantém abaixo do esperado (AGROFIT, 2017). Com o alerta sustentável de diminuição no controle químico, ocorreu aumento considerável nos agentes de biológicos que representava em 2009 apenas 3,5% dos defensivos agrícolas e passou para 14,1% em dez anos (ABD-ELGAWAD; ASKARY, 2020).

Merece destaque espécies de *Trichoderma* e *Bacillus*, como microrganismos de biocontrole, pela promoção de crescimento vegetal, elevação do teor de matéria orgânica, baixa proliferação de doenças, aumento da produtividade e melhores condições da microbiota do solo (SILVA *et al.*, 2021).

Contudo, em razão dos poucos estudos com biológicos no controle de nematoides na cultura da batata, faz-se necessário gerar opções de formulados no manejo desses

fitoparasitas. Assim, o presente trabalho teve como objetivo determinar o potencial de produtos biológicos no controle de *Meloidogyne incognita* na cultura da batata.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido entre os meses de julho a outubro de 2021 na casa de vegetação na Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, localizada pelas coordenadas geográficas: Latitude: -18.884730, Longitude: -48.260247, altitude média de 843 m, temperatura média 27°C e precipitação anual de 1550 mm.



Figura 3. Local do experimento: Universidade Federal de Uberlândia - Campus Umuarama, 2021. Fonte: Google Earth. Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

2.2 Obtenção e preparo do inóculo de *Meloidogyne incognita*

Foi utilizado a população de *M. incognita* multiplicada em quiabeiro, cultivado em casa de vegetação da empresa GeneticSeeds and Biocontrol e cedido pela nematologista Me. Débora Zacarias da Silva. A espécie foi identificada pela configuração perineal das fêmeas do nematoide, e foi realizado o preparo de uma lâmina com cortes perineais dessas fêmeas (TAYLOR; NETSCHER, 1974) (Figura 4A) uma análise minuciosa das estrias que circunda essa região (HARTMAN; SASSER, 1985), também foi analisado a região labial de machos (Figura 4B) para compor a análise mais detalhada (EISENBACK, 1985; JEPSON, 1983).

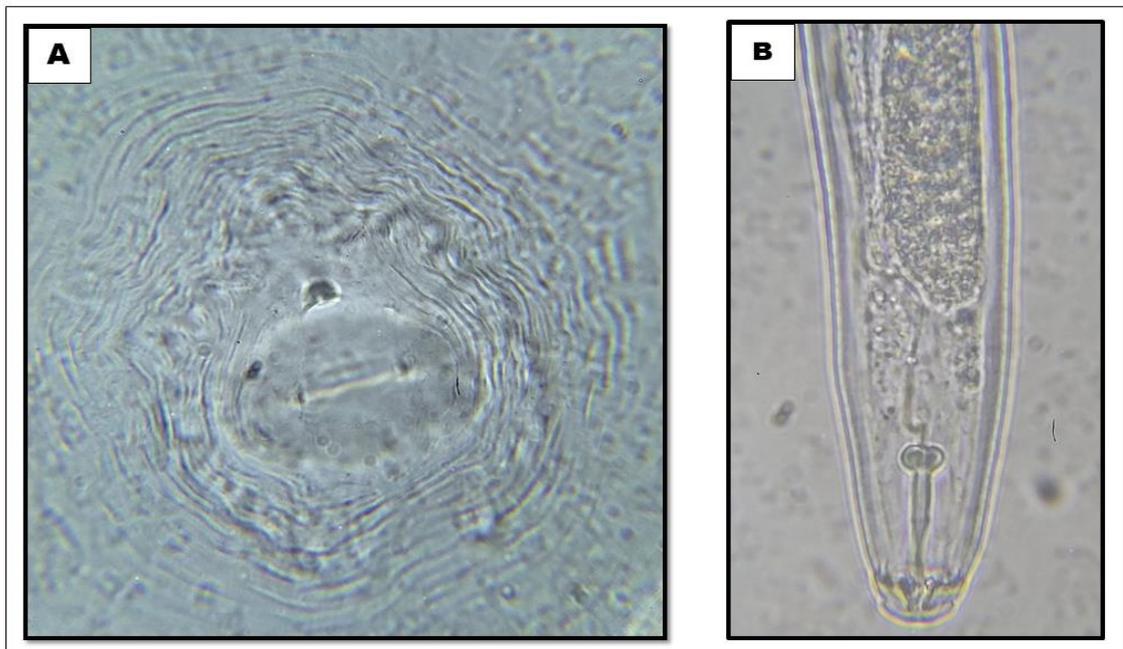


Figura 4. Configuração perineal da fêmea de *Meloidogyne incognita* (A) observação um arco dorsal alto com estrias onduladas e em ziguezague, e um dos campos laterais de forma desalinhada ou com bifurcações; região labial do macho de *M. incognita* (B), com disco labial côncavo, região labial com anéis incompletos não sequenciais em um dos lados, o cone do estilete é do tipo laminar, haste cilíndrica e bulbos do estilete arredondados. **Fonte:** Warley Peres da Silveira.

Para a confirmação da espécie de *Meloidogyne* foi realizado a caracterização bioquímica, pelo perfil da enzima esterase (EST) (Figura 5) da técnica de eletroforese vertical em sistema descontínuo (MACHADO *et al.*, 2019) em parceria com o laboratório de nematologia da UNESP de Jaboticabal, SP.

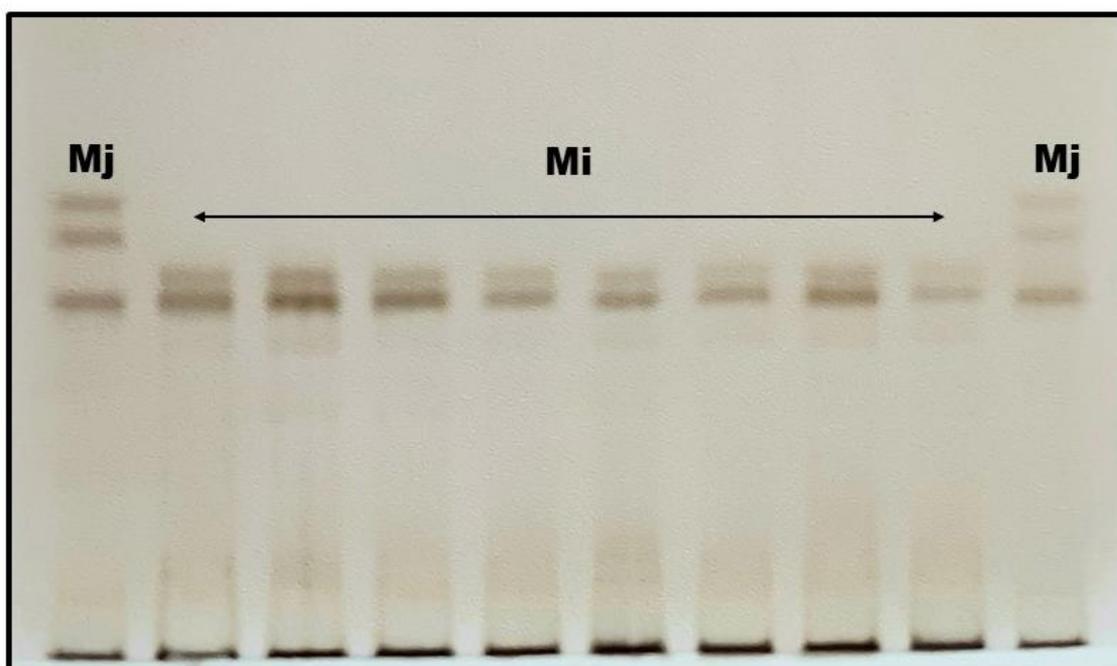


Figura 5. Perfil isoenzimático de esterase de fêmeas de *Meloidogyne incognita* obtidas da raiz de batata desse ensaio. Mi: fenótipo de *M. incognita* (I2) e Mj (J3): fenótipo de *M. javanica* utilizado como padrão de comparação. Fonte: Laboratório de nematologia da UNESP de Jaboticabal/SP.

Os ovos de *M. incognita* foram extraídos segundo a técnica de Hussey & Barker (1973) e modificada por Boneti & Ferraz (1981). As raízes foram cortadas em pedaços de aproximadamente um centímetro e depois trituradas no liquidificador na menor rotação com 200 mL de solução de NaOCl a 0,5% durante 20 segundos, e depois passou pelas peneiras de 200 e 500 mesh. A suspensão foi coletada da última peneira e levada ao microscópio fotônico na lâmina de Peters para calibrar a população inicial para 1000 ovos por mL na ampliação de 100 X.

2.3 Preparação da mistura e variedade utilizada

Para compor a mistura de preenchimento dos vasos utilizou-se areia fina, solo de barranco, caracterizado como Latossolo Vermelho de cerrado e substrato da classe XVI da Carolina Soil com composição de turfa, vermiculita e calcário, sendo ambos peneirados e esterilizados (autoclave 120°C por 30 minutos) misturados na proporção 1:1:1 (v/v/v) para obter um solo mais arenoso, nutritivo e facilitar a locomoção e

desenvolvimento do nematoide. A análise química do solo e da mistura foram realizadas no laboratório Safrar Análises Agrícolas obtendo os seguintes resultados:

Tabela 1. Análise química do solo de barranco e da mistura (areia + solo + substrato) antes do cultivo da batata.

Atributo	Barranco	Mistura	Unidade	Extrator/Método
pH	5,6	5,8	-	H ₂ O
Matéria orgânica	2,2	2,6	dag kg ⁻¹	K ₂ Cr ₂ O ₇ / Walkley-Black
Fósforo	1,2	5,3	mg dm ⁻³	Mehlich ⁻¹
Potássio	39	113	mg dm ⁻³	Mehlich ⁻¹
Cálcio	2,8	3,1	cmol _c dm ⁻³	KCl
Magnésio	0,56	2,19	cmol _c dm ⁻³	KCl
Enxofre	10,4	19	mg dm ⁻³	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ H ₂ O em HAc
CTC potencial (T)	5,62	7,36	cmol _c dm ⁻³	-
Boro	0,05	0,11	mg dm ⁻³	Água quente
Cobre	3,37	4,11	mg dm ⁻³	DTPA
Ferro	7	11	mg dm ⁻³	DTPA
Manganês	4,85	8,45	mg dm ⁻³	DTPA
Zinco	0,11	0,27	mg dm ⁻³	DTPA
Acidez trocável	0	0	cmol _c dm ⁻³	KCl 1 mol L ⁻¹
Acidez potencial	2,15	2,08	cmol _c dm ⁻³	Acetato de cálcio 0,5 mol L ⁻¹ (pH 7,0)
Areia total	320	570	gkg ⁻¹	Densímetro

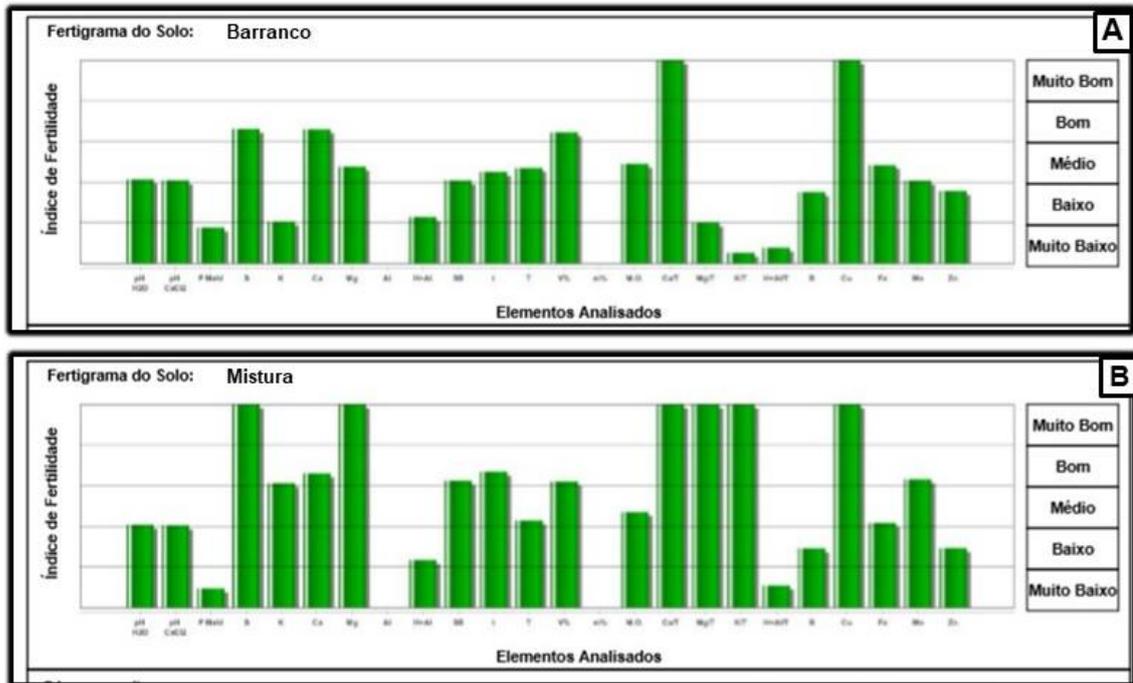


Figura 7. Fertigrama da análise de fertilidade do solo de Barranco (A) e do solo da Mistura (B). Os elementos analisados seguindo a ordem da esquerda para direita (pH H₂O, pH CaCl₂, P Mehl, S, K, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, t, T, V%, m%, M.O., Ca/T, Mg/T, K/T, H+Al/T, B, CU, Fe, Mn, Zn). Fonte: Laudo de análise química do solo analisado na empresa Safrar Análises Agrícolas.

Os vasos para condução do experimento foram de polietileno com capacidade de 18 litros. Utilizou-se a cultivar de batata Ágata, que possui formato oval com casca amarela de predominância lisa. Esse tipo de tubérculo tem maior aceitação no mercado, apresenta porte baixo com ciclo precoce e alta produtividade, porém é suscetível a *M.*

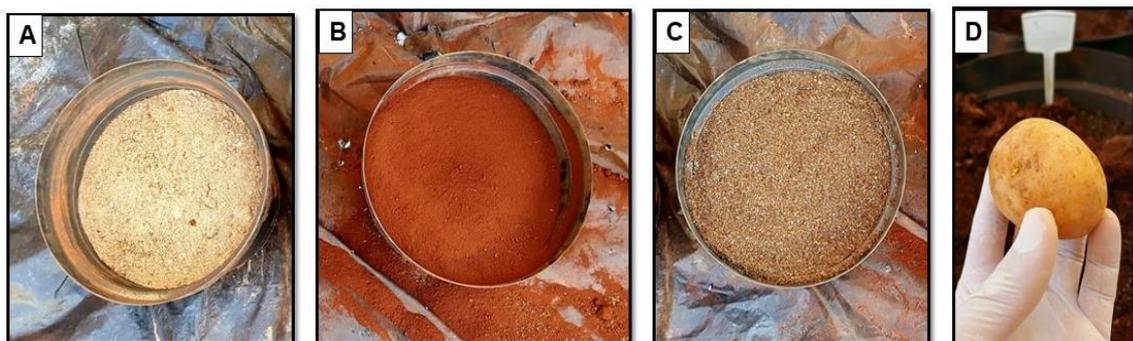


Figura 6. Vasos de polietileno com capacidade para 18 L com seus respectivos formulados de areia (A), solo (B), substrato (C) previamente esterilizado na proporção 1:1:1 (v/v/v) como medida para formação do composto de mistura e batata semente da variedade Ágata (D). Fonte: Warley Peres da Silveira. Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, Universidade Federal de Uberlândia - Campus Umuarama, 2021.

incognita (SOARES *et al.*, 2019). A batata semente foi cedida de uma área localizada em Perdizes-MG pelo professor Dr. José Magno Queiroz Luz.

2.4 Delineamento experimental

O ensaio foi conduzido em delineamento em blocos ao acaso, constituído por 6 blocos com 9 tratamentos duplicados, totalizando 108 parcelas, e aos 60 dias após a inoculação (DAI) foi retirado metade das plantas do experimento para avaliar, número de galhas no tubérculo, massa fresca e seca, massa de ovos e análise nutricional e aos 100 DAI foi retirado a segunda parte para analisar a produtividade de tubérculos de batata. A distribuição das parcelas no ensaio encontra-se discriminada na figura abaixo.

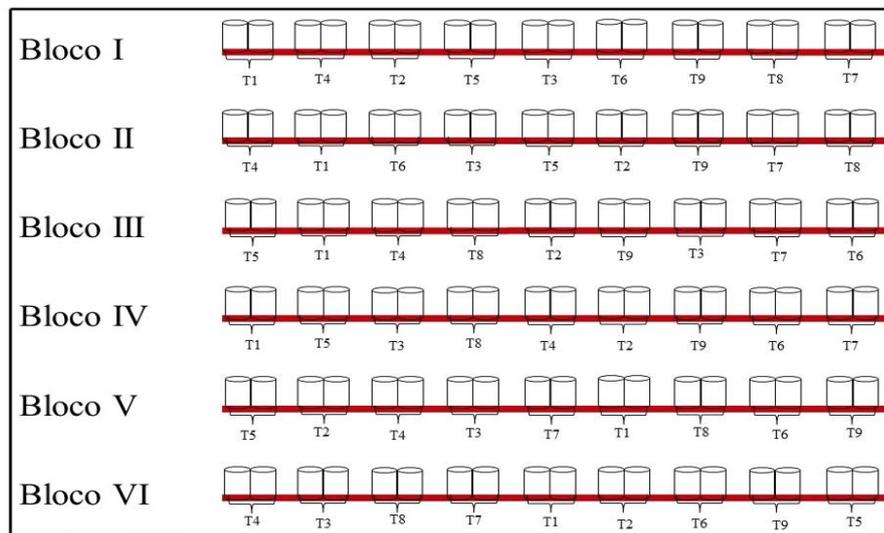


Figura 8. Desenho experimental detalhando os tratamentos e blocos instalados em casa de vegetação na Universidade Federal de Uberlândia, Campus Umuarama, Uberlândia, Minas Gerais, 2021.

2.5 Tratamentos e processo de aplicação

Tabela 2. Tratamentos e concentrações dos produtos biológicos que foram utilizados no experimento. Aplicação via sulco de plantio no vaso.

Tratamento	Concentração
T1 = Água	0
T2 = Água + Nematóide	0
T3 = <i>Paecilomyces lilacinus</i> + <i>Trichoderma harzianum</i> + Moss	200 g.ha ⁻¹ +100 g.ha ⁻¹ +0,5 L.ha ⁻¹
T4 = <i>Serratia marcescens</i>	1 L.ha ⁻¹
T5 = <i>Burkholderia cepacia</i>	1 L.ha ⁻¹
T6 = <i>Bacillus</i> sp.	1 L.ha ⁻¹
T7 = <i>Serratia</i> sp.	1 L.ha ⁻¹
T8 = <i>Bacillus subtilis</i> + <i>B.</i> <i>licheniformis</i>	200 g.ha ⁻¹
T9 = Fluensulfona	1 L.ha ⁻¹

Os produtos foram fornecidos pelas Empresas Ballagro, FMC, AgroLab e ADAMA. As aplicações dos tratamentos foram realizadas junto a instalação da batata semente e do inóculo de *M. incognita*, primeiramente feito uma cova em cada vaso a uma profundidade de 10 cm e logo em seguida foi inserido 10 ml da suspensão dos nematoides no solo calibrados via contagem em microscópio fotônico de 5000 ovos. A batata semente foi colocada logo após via sulco e os tratamentos. Após estes procedimentos cada cova foi coberta imediatamente e mantida sem rega por 24 horas.

2.6 Condução das plantas

A casa de vegetação foi monitorada durante o ensaio por um termo-higrômetro e apresentou temperaturas médias de 29,7 °C com mínima a 21,6 °C e máxima a 35,6 °C e umidade do ar média de 40% com mínima a 32% e máxima a 57%.

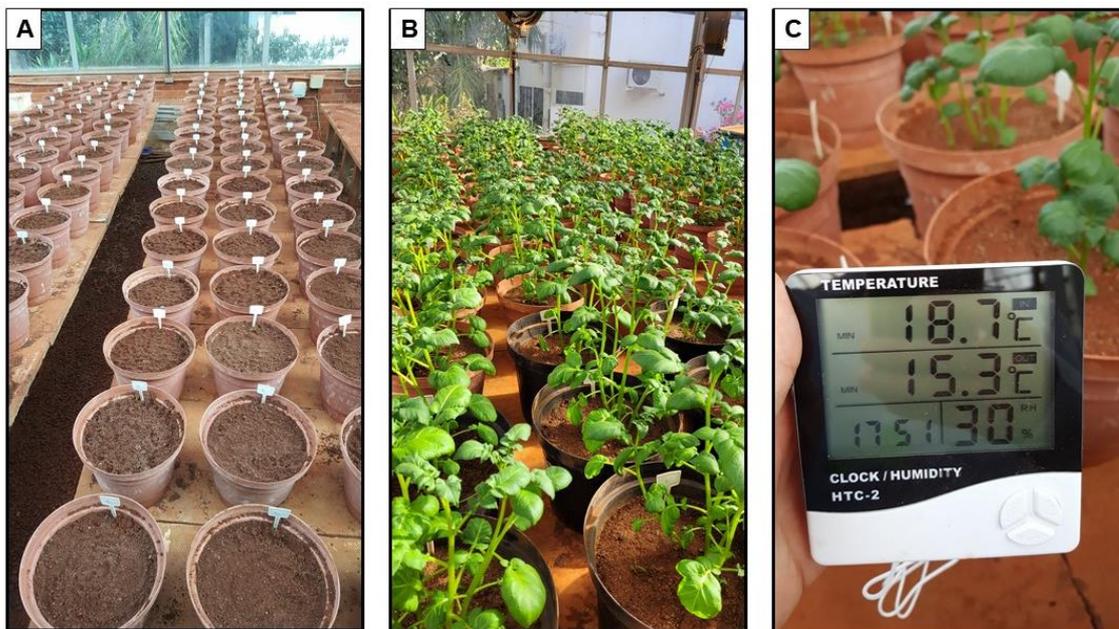


Figura 9. Experimento instalado (A): plantas de batata aos 30 dias após plantio (B) e aparelho de medição termo-higrômetro (C). **Fonte:** Warley Peres da Silveira. Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, Universidade Federal de Uberlândia, Campus Umuarama, 2021.

A irrigação foi realizada diariamente de forma manual uma vez ao final da tarde, obtendo em cada mês os seguintes volumes: 4.650 mL (mês de julho), 9.050 mL (mês de agosto), 9.250 mL (mês de setembro) e 7.350 mL (mês de outubro).

A adubação foi realizada com base na análise do solo em intervalos de 15 dias nos horários mais frescos do dia, seja pela manhã ou no fim da tarde. O adubo usado foi um fertilizante foliar mineral misto com micronutrientes: S (10%), Mg (1,5%), B (2,0%), Mn (5,0%), Mo (0,5%) e Zn (6,0%). A diluição foi feita em um balde de 10 L de água com 25g do produto e a solução aplicada via substrato ao redor da planta destinando 300 mL para cada vaso.

2.7 Variáveis analisadas

Aos 60 e 100 dias após a inoculação do nematoide, as plantas foram avaliadas realizando a separação entre parte aérea e raízes (tubérculos). Os tubérculos foram

retirados e colocados em embalagem plástica e cobertos com o solo de cada vaso correspondente para preservação.

Cada amostra foi identificada conforme o tratamento estabelecido e enviado ao laboratório Safrar Análises Agrícolas e foram avaliadas aos 60 dias, as variáveis: número de galhas no tubérculo, massa fresca e seca, número de ovos, análise nutricional a fim de determinar os teores de macronutrientes e micronutrientes, e ao final do ciclo, aos 100 dias, foi analisado a produtividade de tubérculos da batata.

2.8 Análise de nematoides

A análise de quantificação dos nematoides foi realizada de duas formas, o solo foi homogeneizado e colocado em um copo com volume de 200 cm³ e os tubérculos, primeiramente foram lavados e colocados em papel toalha para reter a umidade em excesso. Enquanto isso, cada parte vegetal foi analisada conforme ocorrência de galhas pela formação de protuberâncias nos tubérculos produzidos, conhecido popularmente como “pipocas” e quantificado de forma visual cada engrossamento encontrado. Em seguida, os tubérculos foram cortados em lascas de 5mm de espessura, pesados em balança analítica digital e processados no liquidificador com solução de hipoclorito de sódio a 0,5% durante 20 segundos. A suspensão foi passada em peneiras sobrepostas de 200 e 500 mesh para separar as partes mais grosseiras da parte que os nematoides serão coletados, vertidos em tubos de 100 ml com adição de 1 g de caulim (argila branca) e submetidos a centrifugação em duas etapas, sendo a primeira durante 5 min a uma rotação de 1800 rpm e a segunda após a troca da água pela solução de sacarose (450g de açúcar para 1L de água) sendo rotacionada por 1 min a 1800 rpm novamente. Finalizado o processo, verteu rapidamente a suspensão na peneira de 500 mesh, lavando-a com água com intuito de eliminar o excesso da solução açucarada e passado para um recipiente que será quantificado o número total de ovos e juvenis com auxílio da câmara de Peters ao microscópio fotônico (aumento de 100X), de acordo com a técnica de Hussey & Barker (1973) e modificada para Boneti & Ferraz (1981). O solo foi processado segundo a metodologia de Jenkins (1964), foi destorroado e misturado a 3 L de água em uma vasilha plástica e posteriormente vertido sobre duas peneiras acopladas de 20 e 400 mesh, sendo o material depositado na peneira de espessura mais fina, a parte de interesse e que foi submetido a centrifugação em duas etapas, sendo a primeira durante 5 minutos a uma rotação de 1800 rpm e a segunda após a troca da água pela solução de sacarose (450g de

açúcar para 1 L de água) rotacionada por 1 min a 1800 rpm novamente. Finalizado o processo, verter rapidamente a suspensão na peneira de 400 mesh, lavando-a com água com intuito de eliminar o excesso da solução açucarada e passado para um recipiente que será quantificado o número total de ovos e juvenis com auxílio da câmara de Peters ao microscópio de luz. A partir desses procedimentos, obteve a população final (Pf) dos nematoides nos tubérculos da batata. As variáveis, número total de ovos e juvenis, número de ovos e juvenis por grama de raízes e fator de reprodução (FR) foram utilizadas para verificar a produtividade. Baseando-se na relação entre a população final (Pf) e a população inicial (Pi), estimou o fator de reprodução (FR), conforme a fórmula $FR > 1$ consideradas suscetíveis, conforme a fórmula: $FR = Pf/Pi$ (OOSTENBRINK, 1966).

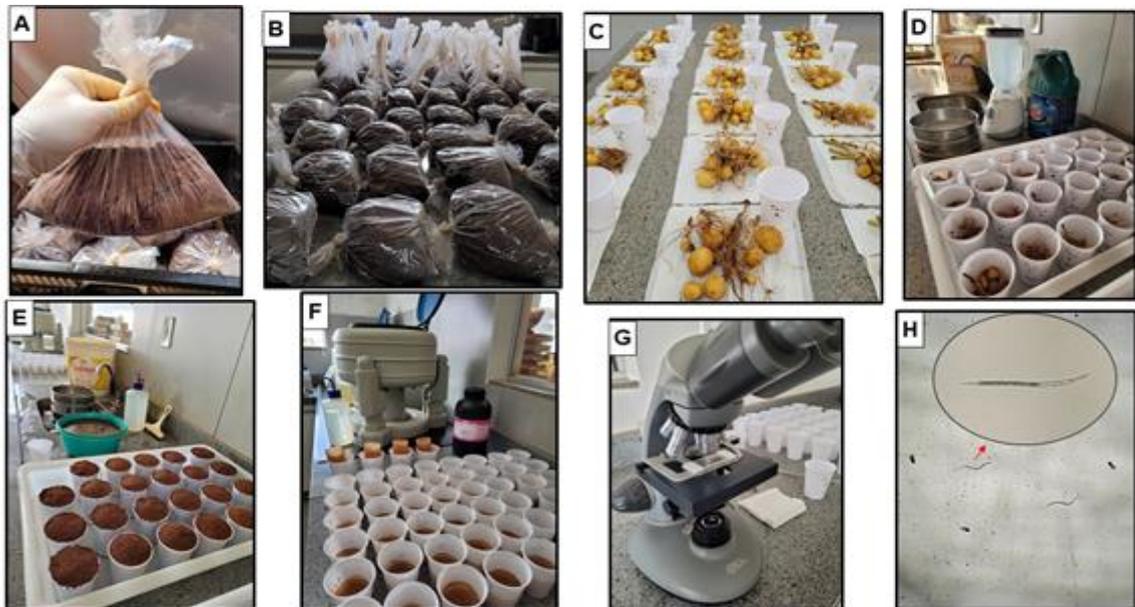


Figura 10. Procedimentos para análise: amostras coletadas (A), amostras organizadas para separação (B), raízes (tubérculos) separados e lavados (C), partes vegetais cortadas e pesadas prontas para o processo de trituração e passagem pelas peneiras (D), processo de peneiramento do solo (E), amostras prontas para o processo flotação-centrifugação (F), leitura das amostras em microscópio fotônico (G), observação de juvenis de segundo estágio e ovos de *Meloidogyne incognita* em lâmina de Peters com aumento de 40x e 100x no microscópio fotônico (H).

2.9 Análise nutricional

Amostras dos tubérculos foram separados a fim de analisar os teores de macronutrientes e micronutrientes. Para determinação dos teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn) e

manganês (Mn) as amostras de folhas foram submetidas à digestão nitroperclórica (JOHNSON; ULRICH, 1959).

O teor de P foi determinado pelo método de colorimetria do metavanadato que se baseia na formação de um composto amarelo do sistema vanadomolibdofosfórico em acidez de 0,2 a 1,6 N (MALAVOLTA *et al.*, 1997); O K por espectrometria de absorção atômica que após a oxidação do material vegetal pela digestão nítrico-perclórica, o potássio é quantificado por espectrofotômetro de absorção atômica com lâmpada de cátodo oco de K (Lc) descrito por Malavolta *et al.* (1997).

O S por turbimetria do sulfato de bário que é determinado pela turbidez formada da precipitação do enxofre pelo cloreto de bário, na forma de sulfato de bário que é medido através de colorímetro ou espectrofotômetro na forma de transmitância (T) ou absorvância (A ou D.O.) proposto por Malavolta *et al.* (1997).

Para Ca e Mg utilizou o método de espectrofotometria de absorção atômica que se baseia na mesma quantificação do potássio, porém utilizando lâmpada de arco de descarga de cálcio-magnésio ou individuais, sendo necessário a adição de lantânio ou estrôncio para prevenção de fatores ocasionais na presença de fosfatos e de alumínio (MALAVOLTA *et al.*, 1997).

Já Cu, Fe, Mn e Zn foram determinados pela espectrofotometria de absorção atômica apenas (MALAVOLTA *et al.*, 1997); O B por colorimetria da azometina H que é baseada pela formação de um complexo colorido pela reação do ácido bórico com o reagente azometina H, descrito por Malavolta *et al.* (1997).

O N, após a digestão sulfúrica do material vegetal (JACKSON, 1958), de acordo com o método semi-micro-Kjeldahl é transformado o nitrogênio amoniacal $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ em amônia (NH_3), que é fixado pelo ácido bórico e titulado em seguida com H_2SO_4 até nova formação de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ na presença de indicador de ácido/base (MALAVOLTA *et al.*, 1997).

2.10 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e para comparação das médias foi utilizado o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, utilizando o *software* estatístico R (R CORE TEAM, 2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das análises dos tratamentos utilizados foram observadas diferenças significativas ($p \leq 0,05$) para o número de galhas, número de ovos, produtividade aos 100 DAI (Tabela 3) e os teores de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês, zinco e boro (Tabela 4).

Tabela 3. Resumo das análises de variância aos 60 dias após a inoculação para caracteres número de ovos, peso úmido, peso seco, produtividade aos 100 DAI com 5000 ovos de *Meloidogyne incognita*, peso de fruto, teores de nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre, cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês, zinco e boro Uberlândia – MG, 2021.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS				
		NO	PU	PS	PROD100	PFRUT
Tratamentos	7	4875180**	119,39 ^{ns}	3,07 ^{ns}	573,37*	10,79 ^{ns}
Bloco	5	32366	389,26	5,23	147,85	5,70
Resíduo	35	346828	696,66	2,63	205,19	5,41
CV (%)		15,83	16,61	21,15	15,26	22,96

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS				
		N	P	K	S	Ca
Tratamentos	7	16,77*	0,17 ^{ns}	15,03**	0,08 ^{ns}	0,005**
Bloco	5	5,80	0,18	7,10	0,04	0,003
Resíduo	35	7,11	0,10	4,35	0,04	0,001
CV (%)		11,39	15,05	9,03	11,42	25,67

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS					
		Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	B
Tratamentos	7	0,07**	4,29**	4417,60**	7,63**	20,90**	11,84**
Bloco	5	0,02	0,73	999,2	1,78	28,43	0,95
Resíduo	35	0,01	1,44	643,3	0,79	6,71	2,58
CV (%)		8,91	11,09	23,35	14,14	11,56	21,56

^{ns} Não Significativo; *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; FV: Fonte de Variação; GL: Graus de Liberdade; CV: Coeficiente de Variação; NG: Número de Galhas; NO: Número de ovos; PU: Peso Úmido; PS: Peso Seco; PROD100: Produtividade aos 100 dias após o plantio; PFRUT: Peso de Fruto; N: Nitrogênio; P: Fósforo; K: Potássio; S: Enxofre; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Cu: Cobre; Fe: Ferro; Mn: Manganês; Zn: Zinco e B: Boro.

Tabela 4. Valores médios aos 60 dias após a inoculação para as variáveis: número de ovos (NO), peso úmido (PMF), peso seco (PMS), produtividade (PROD), peso de fruto (FRUT), teores de nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre, cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês, zinco e boro, aos 100 DAI com 5000 ovos de *Meloidogyne incognita*, Uberlândia –MG, 2021.

Tratamento*	NO	PMF	PMS	PROD100	FRUT
T1	0	61,83 a	7,84 a	100,62 b	10,67 a
T2	2060,17 c	57,60 a	7,62 a	89,80 a	11,83 a
T3	353,83 a	55,11 a	7,58 a	92,03 b	11,16 a
T4	60,33 a	60,87 a	8,27 a	98,95 b	8,50 a
T5	41,00 a	65,86 a	8,44 a	110,22 b	8,66 a
T6	295,00 a	62,68 a	8,00 a	98,96 b	9,50 a
T7	1335,83 a	57,74 a	6,87 a	80,43 a	10,50 a
T8	2065,17 c	61,57 a	8,12 a	98,05 b	11,66 a
T9	1,33 a	51,92 a	6,38 a	82,39 a	9,16 a

Tratamento*	N	P	K	S	Ca
T1	24,50 a	2,73 b	27,00 a	2,16 a	0,20 a
T2	22,63 b	2,33 a	36,50 b	2,01 a	0,18 a
T3	21,00 b	2,10 a	23,83 a	1,80 a	0,18 a
T4	23,33 a	2,31 a	22,67 a	1,85 a	0,20 a
T5	24,03 a	1,95 a	22,33 a	1,73 a	0,11 b
T6	24,85 a	2,15 a	22,00 a	1,78 a	0,14 b
T7	25,06 a	1,37 a	23,83 a	2,00 a	0,15 b
T8	21,23 b	1,96 a	22,17 a	1,68 a	0,16 b
T9	25,20 a	2,01 a	21,67 a	1,75 a	0,13 b

Tratamento*	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	B
T1	1,84 a	14,40 a	332,67 a	13,50 a	28,50 a	15,35 a
T2	1,68 a	11,53 a	161,17 a	8,67 a	22,83 a	6,25 b
T3	1,47 b	11,47 a	131,33 b	6,83 b	21,67 b	5,65 b
T4	1,49 b	10,75 b	120,00 b	6,67 b	24,67 a	7,79 a
T5	1,43 b	10,77 b	103,17 c	5,83 b	20,33 b	7,84 a
T6	1,39 b	10,73 b	95,17 c	6,00 b	23,50 a	6,27 b
T7	1,54 a	12,05 a	86,33 c	6,17 b	24,83 a	8,92 a
T8	1,36 b	10,08 b	85,00 c	5,17 c	21,67 b	7,16 b
T9	1,33 b	9,40 b	86,67 c	5,17 c	19,83 b	9,73 a

*Médias seguidas por letras distintas na coluna, diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0.05$). T1: Água; T2: Água + Nematóide; T3: *Paecilomyces lilacinus* + *Trichoderma harzianum* + Moss (200g/ha + 100g/ha + 0,5L/ha); T4: *Serratia marcescens* (1L/ha); T5: *Burkholderia cepacia* (1L/ha); T6: *Bacillus* sp. (1L/ha); T7: *Serratia* sp. (1L/ha); T8: *Bacillus subtilis* + *Bacillus licheniformis* (200g/ha); T9: Fluensulfona® (1L/h); NO: Número de Ovos; PMF: Peso Matéria Fresca (g); PMS: Peso da Matéria Seca (g); PROD: Produtividade aos 100 DAI (Unidade); PFRUT: Peso de Fruto (g); N: Nitrogênio ($g\ kg^{-1}$); P: Fósforo ($g\ kg^{-1}$); K: Potássio ($g\ kg^{-1}$); S: Enxofre ($g\ kg^{-1}$); Mg: Magnésio ($g\ kg^{-1}$); Cu: Cobre ($mg\ kg^{-1}$); Fe: Ferro ($mg\ kg^{-1}$); Mn: Manganês ($mg\ kg^{-1}$); Zn: Zinco ($mg\ kg^{-1}$) e B: Boro ($mg\ kg^{-1}$).

Não foram identificadas durante a execução deste experimento, sintomas de fitotoxidez nas plantas de batata tratadas com os produtos biológicos e químicos. Assim, não foram encontrados indícios de que os produtos utilizados para compor os tratamentos do presente estudo possam causar quaisquer sintomas de intoxicação nas plantas de batata, bem como comprometer seu desenvolvimento.

A Tabela 4 estão apresentados os valores médios dos tratamentos, aos 60 dias após a inoculação com o *M. incognita*, para o número de ovos, peso úmido, peso da matéria seca, produtividade aos 100 DAI com 5000 ovos de *M. incognita*, peso de fruto, teores de nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre, cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês, zinco e boro. Para as características peso úmido, peso seco, peso de fruto, massa da matéria fresca, massa da matéria seca e os teores de nitrogênio, manganês, cobre e zinco não houve diferença estatística entre os tratamentos.

Com relação ao número de ovos (Tabela 4), pode-se observar que os tratamentos biológicos com *Serratia marcescens* (T4) e *Burkholderia cepacia* (T5) proporcionaram redução significativa na população de *M. incognita* presentes em relação ao tratamento Água + Nematóide (T2), com decréscimo de 97,07 e 98,01% respectivamente. O tratamento químico com o uso do princípio ativo Fluensulfona (T9) teve o maior nível de controle entre os tratamentos utilizados, reduzindo em 99,64% o número de ovos de *M. incognita* em comparação com o tratamento Água + Nematóide (T2).

Não foram encontradas diferenças significativas ($P > 0,05$) entre os tratamentos para o peso da massa fresca (PMS), peso da massa seca (PMS) e o peso de fruto (PFRUT). Em contrapartida os valores relativos à produtividade aos 100 DAI (PROD100) foram significativos ($P \leq 0,05$) e variaram de 80,43g a 110,22g por tubérculo para os tratamentos com *Serratia* sp. (T7) e *Burkholderia cepacia* (T5), respectivamente. O tratamento Água + Nematóide (T2), apresentou resultado médio de produtividade de 89,80g frutos. Quando comparado o produto com *B. cepacia* (T5) com o tratamento Água + Nematóide (T2), foi observado incremento na produtividade de 22,74%. Os tratamentos que obtiveram as maiores produtividades ao 100 DAI, foram os tratamentos à base de bactérias, sendo elas *B. cepacia*, *Bacillus* spp., *Serratia* sp. e *B. subtilis* + *B. licheniformis*, respectivamente.

Os tratamentos biológicos associados com tratamentos químicos e físicos vêm sendo estudados há anos. Em especial para o controle de nematoides no solo na cultura da batata, verificaram que a utilização o controle biológico, pode elevar em até 64% a produtividade de tubérculos (ELAD; KATAN; CHET, 1980).

O tratamento com a bactéria *Burkholderia cepacia* apresentou bom resultado no controle de *M. incognita* no presente trabalho, reduzindo a população do nematoide em 97%. Algumas espécies deste gênero de bactéria servem como fonte de alimento para os nematoides de vida livre no solo, entretanto, a espécie *B. cepacia* consegue controlar a população de fitonematoides, além de favorecer o desenvolvimento apenas da cultura de interesse, sendo uma bactéria útil e indicada para o biocontrole de nematoides (CARTA, 2000).

O uso do nematicida químico Fluensulfona (T9) reduziu drasticamente os níveis populacionais de *M. incognita* em quase 100%, entretanto pode-se observar sua influência negativa na produtividade dos frutos, uma vez que o produto obteve uma das menores produtividades, abaixo inclusive do Água + Nematóide (T2) a qual não se utilizou nenhum produto para o controle dos *M. incognita*. Em estudo realizado para avaliar a eficiência de Fluensulfona no controle de fitonematoides na cultura do café, os autores observaram comportamento do produto semelhante ao encontrado no presente trabalho, uma vez que a produtividade foi afetada negativamente pelas doses de Fluensulfona utilizados (FERNANDES *et al.*, 2018).

Em ensaios realizados em casa de vegetação com *Bacillus subtilis*, a mesma bactéria presente nos tratamentos T6 e T8, no tratamento de sementes, suprimiram a população de *M. incognita* durante o cultivo de algodão. O tratamento com essa bactéria reduziu a reprodução do nematoide, além de incrementar o vigor e produtividade das plantas (ZHANG *et al.*, 1996). O mecanismo de ação de no controle de nematoide pode ocorrer pela paralisação do ciclo de vida dos parasitas e/ou redução da capacidade reprodutiva. As endotoxinas produzidas por *B. subtilis* no solo interferem no ciclo reprodutivo dos nematoides, sobretudo na ovoposição e eclosão de juvenis *Heterodera glycines*. Este fitonematoide é dependente do estímulo de exsudatos vegetais para eclosão e orientação dos juvenis de segundo estágio. Pode-se afirmar que *B. subtilis* interfere nesse estímulo, prejudicando o desenvolvimento do ciclo do nematoide (ABD-AL-KHAIR *et al.*, 2019). O presente estudo indica que este mecanismo de ação também foi eficiente no controle de *M. incognita* na cultura da batata.

As primeiras ações estão diretamente relacionadas com a seleção de cepas eficientes no controle de nematoides, para o desenvolvimento de bioprodutos (COTES; KÖHN, 2019; KÖHL *et al.*, 2011; KÖHL *et al.*, 2019). As bactérias do gênero *Bacillus*, *Pasteuria* e *Pseudomonas* são as que mais se destacam no controle de nematoides, (PACIFICO; ECKSTEIN; BETTIOL *et al.*, 2021; BISHOP *et al.*, 2007; WANG *et al.*,

2021). Como exemplo, constatou-se em estudos que as bactérias *B. subtilis*, *B. amylolichefaciens*, *B. methylophilus* e *B. pumilus* atuam no controle biológico de nematoides, uma vez que são antagonistas à *Rotylenchulus reniformis*, *M. incognita*, *M. javanica*, *Ditylenchus destructor*, *Aphelenchoides besseyi*, *M. hapla* e *M. arenaria* (CASTILLO; LAWRENCE; KLOEPFER, 2013; GENG *et al.*, 2016; XIA *et al.*, 2011; MA *et al.*, 2013; MOGHADDAM *et al.*, 2014; LEE; KIM, 2016).

As bactérias *B. subtilis* produzem endotoxinas que são liberadas e desfavorecem o ciclo reprodutivo de nematoides por causa da interferência no ciclo reprodutivo, principalmente durante a ovoposição e eclosão de juvenis (ABD-AL-KHAIR *et al.*, 2019; BAVARESCO; GUABERTO; ARAUJO, 2021). As bactérias do gênero *Bacillus* são capazes de degradar a massa que protege os ovos dos nematoides inviabilizando a eclosão, através da exsudação de enzimas na rizosfera (CENTINTAS *et al.*, 2018).

As enzimas intimamente relacionadas a degradação da massa de ovos de nematoides são a quitinase, protease e lipase (NEUGEBAUER *et al.*, 2019). A casca dos ovos de *M. incognita* possui três camadas, a mais interna sendo uma camada lipídica responsável pela impermeabilização dos ovos, a média quitinosa formada por microfibrilas de quitina e a mais externa ou camada vitelínica, sendo as duas últimas responsáveis pela estruturação (BIRD; McCLURE, 1976).

O mecanismo de controle biológico das bactérias *Bacillus* spp. deve-se a produção de enzimas hidrolíticas que atuam diretamente nos componentes estruturais, degradando os embriões e atrasando a eclosão de J2, causando a morte dos estádios infectantes e/ou impedindo o reconhecimento da planta hospedeira (MESSA *et al.*, 2019). Plantas tratadas com bactérias do gênero *Bacillus* possuem um incremento na assimilação de carbono, o que aumenta a fotossíntese e conseqüentemente a produção de fotoassimilados (TAIZ *et al.*, 2017), os quais podem ser para a alimentação dos fitonematoides ou redirecionados aos mecanismos de defesa das plantas (FIGUEIREDO *et al.*, 2020).

Determinadas espécies do gênero *Bacillus* auxiliam a solubilização e assimilação de nutrientes para as plantas, promovendo o crescimento devido a sua capacidade de produção de antibióticos e hormônios (BAYSAL; TOR, 2014; WU *et al.*, 2015). Porém, caso não sejam significativas a diferença de crescimento entre os tratamentos, pode ocorrer que as bactérias estudadas não promovam tais efeitos na batata ou não produzam substâncias promotoras de crescimento vegetal.

A redução do número de ovos de *M. incognita* observados no presente trabalho pode estar correlacionada a colonização pelo nematoide ou pela resistência sistêmica das

plantas induzias pelas bactérias aplicadas, uma vez que plantas colonizadas por *Bacillus* podem alterar a composição de seus metabólitos exsudados pelas raízes e serem menos atraentes para os nematoides (D'ERRICO *et al.*, 2019; LI *et al.*, 2019).

Em razão da complexidade no manejo dos nematoides, a medida mais importante a ser tomada é a prevenção. Entretanto, uma vez a área contaminada, a implementação de medidas de controle é essencial. Neste contexto a utilização do controle biológico teve incremento a cerca de 40% nas últimas 3 safras. Esta estratégia de controle já se apresenta como uma das principais ferramentas de manejo de espécies do nematoide de galhas, a exemplo de *M. incognita*, podendo ser aplicados via sulco ou no tratamento de sementes (CULTIVAR, 2020; MACHADO, 2016; MACHADO *et al.*, 2016).

O uso de nematicidas biológicos torna-se uma opção cada vez mais viável para os produtores devido a gama de organismos que podem ser utilizados na elaboração de novos produtos (KEPENEKCI *et al.*, 2018). No presente trabalho os agentes biológicos apresentaram eficiência no controle de *M. incognita*. o controle biológico se destaca como uma alternativa de controle viável, e apresenta vantagem de não ter efeito danoso sobre o ambiente, não deixa resíduos nos produtos colhidos. O controle biológico também apresenta o potencial de uso nos cultivos protegidos, hortas e agricultura orgânica. Com base nos resultados obtidos recomenda-se a utilização de *Serratia* sp. (T7) e *Burkholderia cepacia* e *Bacillus subtilis* para o controle de nematoides de galhas na batateira. Outro ponto positivo do uso dos biológicos é que alguns destes ainda agiram como promotores de crescimento aumentando a produtividade da bateira.

4. CONCLUSÕES

A infecção por *M. incognita* afetou negativamente a produtividade das plantas de batata em aproximadamente 23%. Os tratamentos com biológicos com *Serratia marcescens* e *Burkholderia cepacia* e o tratamento químico com princípio ativo fluensulfona apresentaram os melhores resultados no controle da reprodução de *M. incognita*, com reduções acima de 98%. O produto à base de *B. cepacia* foi o mais satisfatório, pois controlou o nematoide e elevou em 10% a produtividade da batata, demonstrando alta eficiência e potencial para ser utilizado no controle do nematoide na cultura.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD-ELGAWAD, M. M. M., ASKARY, T. H. Factors affecting success of biological agents used in controlling the plant-parasitic nematodes. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 30, p. 1-11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00215-2>

ABD-EL-KHAIR, H.; EL-NAGDI, W. M. A.; YOUSSEF, M. M. A.; ABD-ELGAWAD, M. M. M.; DAWOOD, M. G. Protective effect of *Bacillus subtilis*, *B. pumilus*, and *Pseudomonas fluorescens* isolates against root knot nematode *Meloidogyne incognita* on cowpea. **Bulletin of the National Research Centre**, v. 43, n. 64, p. 1-7, 2019.

AGROFIT. Sistema de Agrotóxicos Fitossanitário. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2017. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso: 30 de novembro de 2021.

AQUINO, R. F. B. A. Eficácia de fluensulfone no controle de *Meloidogyne* spp. na batateira. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Fitossanidade**, 2017.

BAVARESCO, L. G.; GUABERTO, L. M.; ARAUJO, F. F. Interaction of *Bacillus subtilis* with resistant and susceptible tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in the control of *Meloidogyne incognita*. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v. 54, n. 7-8, p. 359-374, 2021.

BAYSAL, O.; TOR, M. Smart biologics for crop protection in agricultural systems. **Turkey Journal Agriculture Formation**, v. 38, p. 723- 731, 2014.

BIRD, A. F.; MCCLURE, M. A. The tylenchid (Nematoda) egg shell: structure, composition and permeability. **Parasitology**, v. 72, p. 19-28, 1976.

BISHOP, A. H.; GOWEN, S. R.; PEMBROKE, B.; TROTTER, J. R. Morphological and molecular characteristics of a new species of *Pasteuria* parasitic on *Meloidogyne ardenensis*. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 96, n. 1, p. 28–33, 2007.

BONETI, J. I. S.; FERRAZ, S. Modificação do método de Hussey & Barker para extração de ovos de *Meloidogyne exigua* de raízes de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v. 6, n.3, p.553, 1981.

CARTA, L. K. Bacterial-feeding nematode growth and preference for biocontrol isolates of the bacterium *Burkholderia cepacia*. **Journal of Nematology**, v. 32, n. 4, p. 362, 2000.

CASTILLO, J. D.; LAWRENCE, K. S.; KLOEPPER, J. W. Biocontrol of the reniform nematode by *Bacillus firmus* GB-126 and *Paecilomyces lilacinus* 251 on Cotton. **Plant Disease**, v. 97, n. 7, p. 967-976, 2013.

CETINTAS, R.; KUSEK M.; FATEH, S. A. Effect of some plant growth-promoting rhizobacteria strains on root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*, on tomatoes. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 28, n. 7, p. 1-5, 2018.

CORTE, G. D.; FARIA, D. S.; BENETTI, E.; BRITES, M.; VIEIRA, H. Eficiência do novo nematicida Fluensulfone 480 EC (Nimitiz™) no controle de *Meloidogyne exigua* em *Coffea arabica*. In: **40º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras**, Serra Negra, Anais. Brasília, DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, 2014.

COTES, A. M.; KÖHN, X. F. J. Diseño conceptual, selección y prueba de concepto de microorganismos biocontroladores (COTES, A. M (Ed.). **Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaro**, v. 2, p. 598–627, 2019.

CULTIVAR, R. **Mercado de biológicos para a agricultura já movimentada quase R\$ 1 bilhão no Brasil**. 2020. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/noticias/mercado-de-biologicos-para-a-agricultura-jamovimentada-quase-r-1-bilhao-no-brasil>>. Acesso em: 20 de agosto de 2022.

D'ERRICO, G.; MARRA, R.; CRESCENZI, A.; DAVINO, S. W.; FANIGLIULO, A.; WOO, S. L.; LORITO, M. Integrated management strategies of *Meloidogyne incognita* and *Pseudopyrenochaeta lycopersici* on tomato using a *Bacillus firmus*-based product and two synthetic nematicides in two consecutive crop cycles in greenhouse. **Crop Protection**, v. 122, p. 159-164, 2019.

DAVIS, B. J. Disc electrophoresis. II. Method and Application to human serum proteins. **Annals of the New York Academy of Sciences**, n. 121, p. 404-427, 1964.

EISENBACK, J. D. Techniques for preparing nematodes for scanning electron microscopy. In: BARKER, K. R.; CARTER, C. C.; SASSER, J. N. (Eds.). An advanced treatise on *Meloidogyne*. Volume II Methodology. North Carolina State University Graphics, p. 79-105, 1985.

ELAD, Y.; KATAN, J.; CHET, I. Physical, biological, and chemical control integrated for soilborne diseases in potatoes. **Phytopathology**, v. 70, n. 5, p. 418-422, 1980.

FERNANDES, A. L. T.; FERREIRA, R. T.; MOSCA, E.; TAVARES, T. O.; GUIMARÃES, F. S.; LEMOS, L.; ALVES, L.; ALVES, H. Performance do Nimitz aplicado via gotejamento no controle de nematoides no cafeeiro - 3 safras. In: **44º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras**, Franca, CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 44., 2018, Franca. Anais. Brasília, DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, 2018.

FERREIRA, R. J. Espécies de *Bacillus* no controle de *Meloidogyne incognita* e *Meloidogyne javanica* *in vitro* e na cana-de-açúcar. UNESP, Campus Jaboticabal, Jaboticabal-SP. Brasil, 2015.

FIGUEIREDO, F. R. A.; NÓBREGA, J. S.; RIBEIRO, J. E. S.; SILVA, T. I.; ALBUQUERQUE, M. B.; PODESTÁ, G. S.; NASCIMENTO, L. C.; CORRÊA, E. B. Physiological changes in *Solanum lycopersicum* L. in the presence of root-knot nematodes and salicylic acid. **Bioscience Journal**, v. 36, n. 6, p. 2032-2040, 2020.

FILGUEIRA, F. A. R. Solanáceas: Agrotecnologia moderna na produção de tomate, batata, pimentão, pimenta, berinjela e jiló. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 323p, 2003.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAOSTAT). 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Acesso em: 03 de agosto de 2022.

GENG, C.; NIE, X.; TANG, Z.; ZHANG, Y.; LIN, J.; SUN, M.; PENG, D. A novel serine protease, Sep1, from *Bacillus firmus* DS-1 has nematicidal activity and degrades multiple intestinal-associated nematode proteins. **Scientific Reports**, v. 6, p. 25012, 2016.

GORDON, S. A.; WEBER, R. P. Colorimetric estimation of indoleacetic acid. **Plant Physiol**, v. 26, p. 192-195, 1951.

HARTMAN, K. M.; SASSER, J. N. Identification of *Meloidogyne* species on the basis of differential host and perineal pattern morphology. In: BARKER, K. R.; CARTER, C. C. & SASSER, J. N. An advanced treatise on *Meloidogyne*. Volume II Methodology. Raleigh: North Carolina State University Graphics, v. 2, p. 115-123, 1985.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, 2020. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2415/epag_2019_dez.pdf. Acesso em 03 ago. 2020.

JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis**. New Jersey, Prentice Hall, 498p, 1958.

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

JEPSON, S. B. **Identification of root-knot nematodes (*Meloidogyne* species)**. CABI Publishing, Wallingford, 1987.

JOHNSON, C. M.; ULRICH, A. Analytical methods for use in plants analyses. Los Angeles, University of California, n. 766, p. 32-33, 1959.

KEPENEKCI, I.; HAZIR, S.; LEWIS, E. Evaluation of entomopathogenic nematodes and control of the root-knot nematodes *Meloidogyne incognita* and *Meloidogyne arenaria*. **Pest Management Science**, v. 72, p. 327–334, 2016.

KÖHL, J.; GEIJN, H. G. V.; HAAS, L. G.; HENKEN, B.; HAUSCHILD, R.; HILSCHER, U.; PLAS, C. L. V.; BOSCH, T. V.; WIKSTRÖM, M. Stepwise screening of candidate antagonists for biological control of *Blumeria graminis* f. sp. tritici. **Biological Control**, v. 136, p. 104008, 2019.

KÖHL, J.; POSTMA, J.; NICOT, P.; RUOCCO, M.; BLUM, B. Stepwise screening of microorganisms for commercial use in biological control of plant-pathogenic fungi and bacteria. **Biological Control**, v. 57, n. 1, p. 1–12, 2011.

LEE, Y. S.; KIM, K. Y. Antagonistic potential of *Bacillus pumilus* L1 against root-knot nematode, *Meloidogyne arenaria*. **Journal of Phytopathology**, v. 164, n. 1, p. 2939, 2016.

LI, X.; HU, H. J.; LI, J. Y.; WANG, C.; CHEN, S. L.; YAN, S. Z. Effects of the endophytic bacteria *Bacillus cereus* BCM2 on tomato root exsudates and *Meloidogyne incognita* infection. **Plant Disease**, v. 103, p. 1551-1558, 2019.

MA, L.; CAO, Y. H.; CHENG, M. H.; HUANG, Y.; WANG, Y.; YANG, J. Z.; YANG, F. X. Phylogenetic diversity of bacterial endophytes of panax notoginseng with antagonistic characteristics towards pathogens of root-rot disease complex. **Antonie Van Leeuwenhoek**, v. 103, n. 2, p. 299–312, 2013.

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, p. 313–339, 2016.

- MACHADO, A. C. Z.; KANEKO, L; PINTO, Z. V. Controle biológico. In: GALBIERI, R.; BELOT, J. L. (eds). **Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros: Biologia e medidas de controle**. Instituto Mato-grossense do algodão, p. 287–312, 2016.
- MACHADO, A. C. Z; SILVA, A. S.; FERRAZ, L. C. C. B. Métodos em Nematologia agrícola. Piracicaba: **Sociedade Brasileira de Nematologia**, 184p, 2019.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Metodologia para Análise de Elementos em Material Vegetal do livro, Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Capítulo 6. 2 ed., ver. e atual. Piracicaba: POTAFOS, 1997.
- MEDINA, I. L.; GOMES, C. B.; CORREA, V. R.; MATTOS, V. S.; CASTAGNONE-SERENO, P.; CARNEIRO, R. G. Genetic diversity of *Meloidogyne spp.* parasitising potato in Brazil and aggressiveness of *M. javanica* populations on susceptible cultivars, **Nematology**, v. 19, n. 1, p. 69-80, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1163/15685411-00003032>
- MESSA, V. R.; NUNES, J.; MATTEI, D. Seed treatment with *Bacillus amyloquefaciens* for the control of *Meloidogyne javanica* “in vivo” bean culture and its direct effect on the motility, mortality and hatching of *M. javanica* “in vitro”. **Agronomy Science and Biotechnology**, v. 5, n. 2, p. 59-69, 2019.
- MOGHADDAM, R. M.; MOGHADDAM, E. M.; RAVARI, S. B.; ROUHANI, H. The nematicidal potential of local *Bacillus* species against the root-knot nematode infecting greenhouse tomatoes. **Biocontrol Science and Technology**, v. 24, n. 3, p. 279–290, 2014.
- OLIVEIRA, K. C. L. D.; MENEZES, A. C. D.; SILVA, J. M.; TAVARES, R. L. C. Biological management of *Pratylenchus brachyurus* in soybean crops. **Revista Caatinga**, v. 32, p. 41-51, 2019.
- OOSTENBRINK, M. Major characteristics of the relation between nematodes and plants. **Mededelingen Landbouwhogeschool**, v. 66, p. 1-46, 1966.
- ORSNTEIN, L. Disc electrophoresis. I. Background and Theory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, n. 121, p. 321-349, 1964.
- PACIFICO, M. G.; ECKSTEIN, B.; BETTIOL, W. Screening of *Bacillus* for the development of bioprotectants for the control of *Fusarium oxysporum* f. sp. vasinfectum and *Meloidogyne incognita*. **Biological Control**, v. 164, p. 104764, 2021.
- PEREIRA, G. V. M.; MAGALHÃES, K. T.; LORENZETII, E. R.; SOUZA, T. P.; SCHWAN, R. F. A multiphasic approach for the identification of endophytic bacterial in strawberry fruit and their potential for plant growth promotion. **Microbial Ecology**, v. 63, p. 405-417, 2012.
- PINHEIRO, J. B. **Nematoides em hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa, 194 p, 2017.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2019.
- RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; SANTOS, M. G.; OLIVEIRA, R. F. Seasonal and diurnal changes in photosynthetic limitation of young sweet orange trees. **Environmental and Experimental Botany**, v. 66, n. 2, p. 203-211, 2009.

- SEO, M.; JIKUMARU, Y.; KAMIYA, Y. Profiling of hormones and related metabolites in seed dormancy and germination studies. **Methods in Molecular Biology**, n. 773, p. 99-111, 2011.
- SILVA, N. P.; FILIPPI, M. C. C.; GONÇALVES, F. J.; SOUZA, A. C. A. Biocontrole de *Macrophomina phaseolina* e promoção do crescimento da cultura do girassol com o uso de *Trichoderma* sp. e rizobactérias. **Ipê Agronomic Journal**, v. 5, n. 1, 2021. DOI: 10.37951/2595-6906.2021v5i1.6544
- SOARES, P. P. S.; NASCIMENTO, R. M.; RAMOS, P. A. S.; COUTRIM, R. L.; SILVA, T. M.; SOUZA, I. V. B. Qualidade pós-colheita de tubérculos de batata 'Ágata' embalados armazenados em diferentes condições. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 62, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.22491/rca.2019.3050>
- TAIZ, L. ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed, 888p, 2017.
- TAYLOR, A. L.; SASSER, J. N. Biology, identification and control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* species). International *Meloidogyne* Project, 111p, 1978.
- WANG, S.; FAN, H.; ZHAO, D.; ZHU, X.; WANG, Y.; LIU, X.; LIU, D.; DUAN, Y.; CHEN, L. Multifunctional efficacy of the nodule endophyte *Pseudomonas fragi* in stimulating tomato immune response against *Meloidogyne incognita*. **Biological Control**, v. 164, p. 104773, 2021.
- WU, L.; WU, H.; QIAO, J.; GAO.; BORRISS, R. Novel routes for improving biocontrol activity of *Bacillus* based bioinoculants. **Frontiers in Microbiology**, v. 6, n. 1395, 2015.
- XIA, Y.; XIE, S.; MA, X.; WU, H.; WANG, X.; GAO, X. The purl gene of *Bacillus subtilis* is associated with nematicidal activity. **FEMS microbiology letters**, v. 322, n. 2, p. 99–107, 2011.