

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de
17/06/2026

At the author's request, the full text of this thesis/dissertation will not be available online until
June 17, 2026

DEUCLEITON JARDIM AMORIM

**BACTÉRIAS PARA O CONTROLE DE *Meloidogyne javanica* E PROMOÇÃO DE
CRESCIMENTO DE PLANTAS**

**BOTUCATU
2025**

DEUCLEITON JARDIM AMORIM

**BACTÉRIAS PARA O CONTROLE DE *Meloidogyne javanica* E PROMOÇÃO DE
CRESCIMENTO DE PLANTAS**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia (Proteção de
Plantas).

Orientadora: Profa. Dra. Silvia Renata
Siciliano Wilcken

**BOTUCATU
2025**

J37b

Jardim Amorim, Deucleiton

Bactérias para o controle de *Meloidogyne javanica* e
promoção de crescimento de plantas / Deucleiton Jardim
Amorim. -- Botucatu, 2025

110 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Silvia Renata Siciliano Wilcken

1. controle biológico. 2. manejo integrado de nematoides
parasitas de plantas. 3. nematoide-das-galhas. 4. nematoides.
5. rizobactérias. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

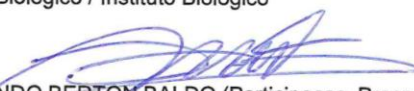
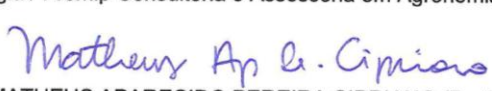
TÍTULO DA TESE:

BACTÉRIAS PARA O CONTROLE DE *Meloidogyne javanica* E PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO DE PLANTAS

AUTOR: DEUCLEITON JARDIM AMORIM

ORIENTADORA: SILVIA RENATA SICILIANO WILCKEN

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronomia (Proteção de Plantas), pela Comissão Examinadora:


Prof.ª Dr.ª SILVIA RENATA SICILIANO WILCKEN (Participação Presencial)
Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu Unesp
Pesquisador Dr. LUÍS GARRIGÓS LEITE (Participação Presencial)
Laboratório de Controle Biológico / Instituto Biológico
Pesquisador Dr. FERNANDO BERTON BALDO (Participação Presencial)
Laboratório de Controle Biológico / Instituto Biológico
Pesquisadora Dr.ª ADRIANA APARECIDA GABIA (Participação Presencial)
Nematologia / Promip Consultoria e Assessoria em Agronomia Ltda.
Prof. Dr. MATHEUS APARECIDO PEREIRA CIPRIANO (Participação Presencial)
Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu Unesp

Botucatu, 17 de junho de 2025

Aos meus amados pais,

João Amorim e Maria Amorim,

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo sustento da minha vida, dos meus sonhos e da minha família.

Aos meus queridos pais, João Amorim e Maria Amorim, que não permitiram que suas limitações financeiras e escolares inviabilizassem essa conquista, a minha eterna gratidão. Agradeço a vocês, pois, em outra época, eu era apenas um simples menino, morador da zona rural do interior do Maranhão, que iniciou sua vida estudantil em uma situação precária de ensino multisseriado, que reunia alunos da 1ª à 4ª séries em uma mesma sala e, pior, com um único professor. Filho de uma quebradeira de coco babaçu e de um pedreiro que ganha seu sustento com esforço diário, a estes batalhadores dedico esta conquista.

Aos meus queridos irmãos: Deuciane, Marilane, Marisa, Antonio José e Regina.

Ao primogênito da família, Deoclecio, pelo seu exemplo e apoio durante esta caminhada.

À Escola Familiar Agrícola Manoel Monteiro (CEFFA) de Lago do Junco – MA, sem a qual eu não poderia ter concluído o Ensino Médio de forma digna e de qualidade, possibilitando-me o ingresso no curso de Agronomia da Universidade Federal do Maranhão (UFMA).

À Profa. Dra. Silvia Renata Siciliano Wilcken, pela orientação, paciência, ensinamentos e pelas várias conversas nematológicas.

À Dra. Adriana Aparecida Gabia pelo acompanhamento e ajuda nestes anos.

Ao Dr. Luís Garrigos Leite, pela coorientação desde o ano 2021; obrigado pela paciência e pelas discussões valiosas.

Ao Dr. Fernando Baldo, pelo companheirismo durante estes anos; muito obrigado, eu diria: tenho outro coorientador!

À Dra. Julie Chacón-Orozco pela ajuda durante estes anos.

Aos professores do Departamento de Proteção Vegetal, que compartilharam seus conhecimentos nas disciplinas do PPG-Proteção de Plantas.

Aos colegas do Laboratório de Nematologia Agrícola da FCA/UNESP. Especialmente, Jéssica Aparecida Gabia.

Aos amigos da Pós-Graduação Agronomia (Proteção de Plantas) do Departamento de Proteção Vegetal: Claudia Toledo, Marcos Pedroza, Jéssica Gabia, Elisandra Bento, Mariana Tranquilino, Maicon da Silva, Misael Araujo, Luana Laurindo e outros que porventura tenho esquecido de mencionar.

Aos membros da banca examinadora: Profa. Dra. Silvia Renata S. Wilcken, Dr. Luís Garrigos Leite, Dr. Fernando Berton Baldo, Dra. Adriana Aparecida Gabia, Prof. Dr. Matheus Aparecido Cipriano, pelas sugestões e orientações para melhoria deste estudo.

À equipe da Seção Técnica de Pós-Graduação da FCA/UNESP, em especial à supervisora Edna Regina Prado; Taynan Ribeiro Moraes da Silva e Adriana de Oliveira Mariano.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – CAPES – Código de financiamento 001.

“Perspectivas históricas de uma ciência dão uma visão da eterna busca do homem por conhecimento e revelam como observações, interpretações e julgamentos defeituosos estão constantemente sendo substituídos por outros melhores. Uma teoria científica por sua própria definição é uma teoria falsificável. A teoria menos falsificável é a melhor teoria, mas uma teoria ruim é sempre melhor do que nenhuma, pois gera pesquisa.”

SIDDIQI, Mohammad Rafiq. Tylenchida: parasites of plants and insects. 2. ed. Reading: Biddles Ltd, 2000. 845 p.

RESUMO

Meloidogyne javanica (Nematoda: Meloidogynidae) é um dos principais nematoides fitoparasitas em regiões tropicais. O uso de bactérias para promover o crescimento vegetal e reduzir populações do patógeno compõe uma das alternativas no manejo integrado. Este estudo avaliou os efeitos de cepas bacterianas, isoladas ou em consórcios, sobre o crescimento do tomateiro e sobre a reprodução de *M. javanica*, utilizando a cultivar Santa Clara como modelo experimental. Dois experimentos foram conduzidos em casa de vegetação, sob delineamento inteiramente casualizado. As plantas cresceram em vasos de 7 L contendo substrato autoclavado composto por solo, areia e substrato comercial (3:1:1, v/v). Aos 28 dias após a emergência, aplicaram-se 25 mL de suspensão bacteriana (10^8 UFC/mL) e 5000 ou 3000 ovos + J2 de *M. javanica*. As avaliações ocorreram aos 60 dias após a inoculação, incluindo variáveis agronômicas (altura da parte aérea, comprimento de raiz, comprimento total da planta, biomassa fresca e seca da parte aérea e radicular) e variáveis nematológicas (fator de reprodução e número de nematoides por grama de raiz). *Bacillus thuringiensis* CCT27856, *B. licheniformis* CCT2473, *Priestia megaterium* CCT2478 e *Pseudomonas fluorescens* CCT2487 elevaram a biomassa fresca da parte aérea em até 12,5%. *Azospirillum brasilense* CCT8053, *B. thuringiensis* CCT27856 e *B. velezensis* CCT7899 aumentaram a biomassa seca da parte aérea em até 27,2%. *B. proteolyticus* IBCBb136 ampliou o comprimento radicular em 27,04%. *B. licheniformis* aumentou a altura da planta em 20,06% e o comprimento total em 19,94%. O consórcio formado por *P. aryabhattai* CCT4005, *P. megaterium* CCT2478 e *B. proteolyticus* IBCBb136 elevou a biomassa fresca e seca da parte aérea em comparação ao tratamento controle. Os isolados bacterianos reduziram a multiplicação de *M. javanica*. *Serratia* sp. IBCBb118, *B. licheniformis* CCT2473, *B. amyloliquefaciens* CCT7690 e *P. aryabhattai* CCT4005 reduziram o fator de reprodução em 83,2%, 80,1%, 79,6% e 79,3%, respectivamente. *Serratia* sp. IBCBb118, *B. licheniformis* CCT2473, *P. aryabhattai* CCT4005, *B. amyloliquefaciens* CCT7690 e *P. megaterium* CCT2478 reduziram o número de ovos e J2 por grama de raiz entre 74,5% e 82,9%. O consórcio [*P. aryabhattai* CCT4005 + *P. megaterium* CCT2478 + *B. proteolyticus* IBCBb136] reduziu o número de nematoides por grama de raiz para 129,05 (redução de 85,29%) e o fator de reprodução para 2,25 (redução de 74,88%). O tratamento com *P. megaterium* CCT2478 isolado reduziu o fator de reprodução para 1,99 (redução de 77,74%) e o número de nematoides por grama de

raiz para 154,76 (redução de 82,14%). Os resultados demonstram efeito dos tratamentos na supressão de *M. javanica* e na promoção do crescimento do tomateiro. A aplicação de consórcios bacterianos compatíveis reduz a densidade populacional do nematoide.

Palavras-Chave: controle biológico; manejo integrado nematoides fitoparasitas; nematoide-das-galhas; nematoides; rizobactérias.

ABSTRACT

Meloidogyne javanica (Nematoda: Meloidogynidae) is one of the primary plant-parasitic nematodes found in tropical regions. The use of bacteria to promote plant growth and reduce pathogen populations represents a viable alternative in integrated management. This study evaluated the effects of various bacterial strains, both isolated and in consortia, on tomato growth and the reproduction of *M. javanica*, utilizing the Santa Clara cultivar as an experimental model. Two experiments were conducted in a greenhouse using a completely randomized design. The plants were grown in 7 L pots filled with an autoclaved substrate composed of soil, sand, and commercial substrate in a ratio of 3:1:1 (v/v). Twenty-eight days after emergence, 25 mL of bacterial suspension (10^8 CFU/mL) and either 5,000 or 3,000 eggs plus J2 of *M. javanica* were applied. Evaluations were performed 60 days after inoculation, assessing agronomic variables (aboveground height, root length, total plant length, and fresh and dry biomass of both the aboveground and root parts) as well as nematological variables (reproduction factor and number of nematodes per gram of root). *Bacillus thuringiensis* CCT27856, *B. licheniformis* CCT2473, *Priestia megaterium* CCT2478, and *Pseudomonas fluorescens* CCT2487 enhanced the fresh biomass of the aerial parts by up to 12.5%. *Azospirillum brasilense* CCT8053, *B. thuringiensis* CCT27856, and *B. velezensis* CCT7899 increased the dry biomass of the aerial parts by up to 27.2%. *B. proteolyticus* IBCBb136 improved root length by 27.04%. *B. licheniformis* increased plant height by 20.06% and total length by 19.94%. The consortium formed by *P. aryabhattai* CCT4005, *P. megaterium* CCT2478, and *B. proteolyticus* IBCBb136 significantly enhanced both the fresh and dry biomass of the aerial parts compared to the control treatment. The bacterial isolates effectively reduced the multiplication of *M. javanica*. *Serratia* sp. IBCBb118, *B. licheniformis* CCT2473, *B. amyloliquefaciens* CCT7690, and *P. aryabhattai* CCT4005 reduced the reproduction factor by 83.2%, 80.1%, 79.6%, and 79.3%, respectively. *Serratia* sp., *B. licheniformis*, *P. aryabhattai* CCT4005, *B. amyloliquefaciens*, and *P. megaterium* reduced the number of eggs and J2 per gram of root by between 74.5% and 82.9%. The consortium [*P. aryabhattai* CCT4005 + *P. megaterium* CCT2478 + *B. proteolyticus* IBCBb136] reduced the number of nematodes per gram of root to 129.05 (85.29% reduction) and the reproduction factor to 2.25 (74.8% reduction). Treatment with *P. megaterium* CCT2478 alone lowered the reproduction factor to 1.99 (a 77.74% reduction) and the

number of nematodes per gram of root to 154.76 (an 82.14% reduction). These results demonstrate the effect of the treatments in suppressing *M. javanica* and promoting tomato growth. The application of compatible bacterial consortia significantly reduces the population density of the nematode.

Keywords: biological Control; integrated management of plant-parasitic nematodes; nematodes; root-knot nematodes; rhizobacteria.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	17
CAPÍTULO 1 – MULTIPLE BACTERIA IN THE BIOLOGICAL CONTROL OF <i>Meloidogyne javanica</i> (NEMATODA: MELOIDOGYNIDAE) AND PROMOTION OF PLANT GROWTH	24
1.1 INTRODUCTION	26
1.2 MATERIAL AND METHODS.....	29
1.2.1 Obtaining and multiplying <i>Meloidogyne javanica</i>	29
1.2.2 Obtaining and multiplying bacterial strains	29
1.2.3 Experimental conditions	31
1.2.4 Nematological and agronomic evaluations	31
1.2.5 Experimental design and statistical analysis.....	32
1.3 RESULTS	32
1.3.1 Agronomic variables	33
1.3.2 Nematological variables	38
1.4 DISCUSSION.....	42
1.4.1 Effects on plant growth promotion	43
1.4.2 Effects on the multiplication of <i>Meloidogyne javanica</i>	44
1.5 CONCLUSIONS.....	45
REFERENCES	47
CAPÍTULO 2 – ARE CONSORTIA OF <i>Bacillus</i> AND <i>Priestia</i> AN ALTERNATIVE FOR THE BIOLOGICAL CONTROL OF <i>Meloidogyne javanica</i> AND PLANT GROWTH PROMOTION?	52
2.1 INTRODUCTION.....	54
2.2 MATERIAL AND METHODS.....	56
2.2.1 Location	56
2.2.2 28S rDNA ribosomal identification of the nematode	57
2.2.3 16S rDNA ribosomal identification of bacteria	57
2.2.4 Multiplication of <i>Meloidogyne javanica</i>	58
2.2.5 Preparing the substrate	58
2.2.6 Obtaining and multiplying bacterial isolates.....	59
2.2.7 Preparing the seedlings and conducting the experiment	60

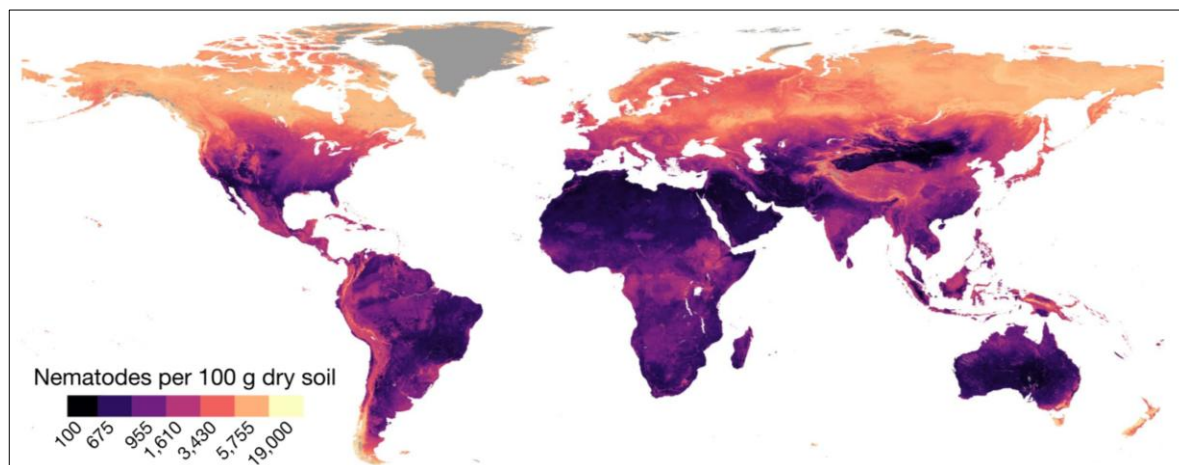
2.2.8	Agronomic analysis	60
2.2.9	Nematological analysis	60
2.2.10	Experimental design and data analysis.....	61
2.3	RESULTS	61
2.3.1	Effects on biomass and growth	61
2.3.2	Effects on the multiplication of <i>Meloidogyne javanica</i>	65
2.3.3	Effects on egg number and J2 in roots.....	67
2.4	DISCUSSION	70
2.4.1	Effects on biomass and growth	70
2.4.2	Effects on egg multiplication and juveniles of <i>M. javanica</i>	72
2.5	CONCLUSION	74
2.6	REFERENCES	76
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
	REFERÊNCIAS	82
	APÊNDICE A – CÓDIGOS	86

INTRODUÇÃO GERAL

Os nematoides são organismos multicelulares, pseudocelomados, não segmentados, pertencentes ao filo Nematoda Cobb, 1932, o qual compreende os metazoários mais numerosos e diversos da Terra (Hodda, 2022; Kikuchi; Akker; Jones, 2017; Ferris *et al.*, 2001). Esses organismos têm relevância ecológica e econômica significativa (Hodda, 2021; Yeates *et al.*, 2009) e estão distribuídos nas classes Chromadorea Inglis, 1983, Enoplea Inglis, 1983 e Dorylaimea Hodda, 2007 (Hodda, 2022). Do ponto de vista ecológico, influenciam na decomposição da matéria orgânica e nos ciclos do carbono e de nutrientes (Hodda, 2021; 2022). Economicamente, são considerados pragas, pois muitas espécies parasitam plantas, animais e seres humanos, causando prejuízos à agricultura, à pecuária e à saúde pública (Barker *et al.*, 1994; Hodda, 2009; Sasser; Freckman, 1987; Yeates *et al.*, 1993).

O número total de nematoides presentes nos solos em escala global é estimado em $4.4 \pm 0.64 \times 10^{20}$ (Figura 1). Este número representa uma biomassa nematológica de 0,3 gigatoneladas (GT), o que corresponde a 0,03 GT de carbono, comparativamente, esses números representam 82% da biomassa humana na Terra (van den Hoogen *et al.*, 2019).

Figura 1 – Mapa global da densidade de nematoides no solo

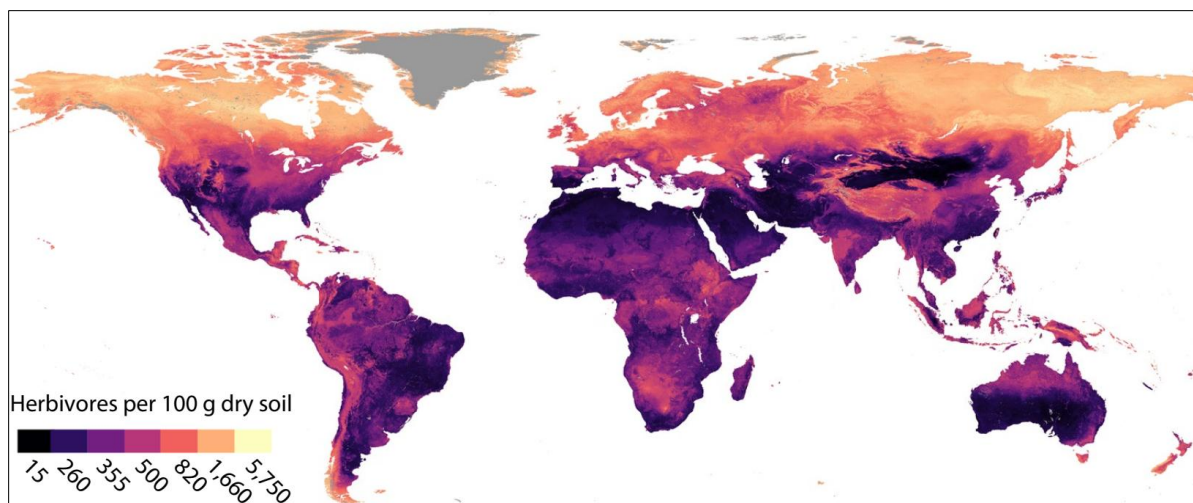


Fonte: van den Hoogen *et al.* (2019).

Os nematoides parasitas de plantas (NPP) representam aproximadamente 15% das 27.000 espécies conhecidas, ou seja, cerca de 4.000 espécies com descrição válida (Quist; Smant; Helder, 2015; Decraemer; Hunt, 2024). Além disso, a estimativa global dos NPP é de 1.25×10^{20} , ou seja, 28,4% da abundância total de nematoides (Figura 2). A maioria desses NPP está agrupada na Classe Chromadorea, sendo os gêneros *Meloidogyne* Göldi, 1887, *Pratylenchus* Filipjev, 1936, e *Heterodera*

Schmidt, 1871 os de maior importância econômica, pois causam os danos mais expressivos às plantas (Jones *et al.*, 2013). As perdas associadas aos nematoides parasitas de plantas são estimadas em bilhões de dólares anualmente (Sikora *et al.*, 2021).

Figura 2 – Mapa global da abundância de nematoides fitoparasitas

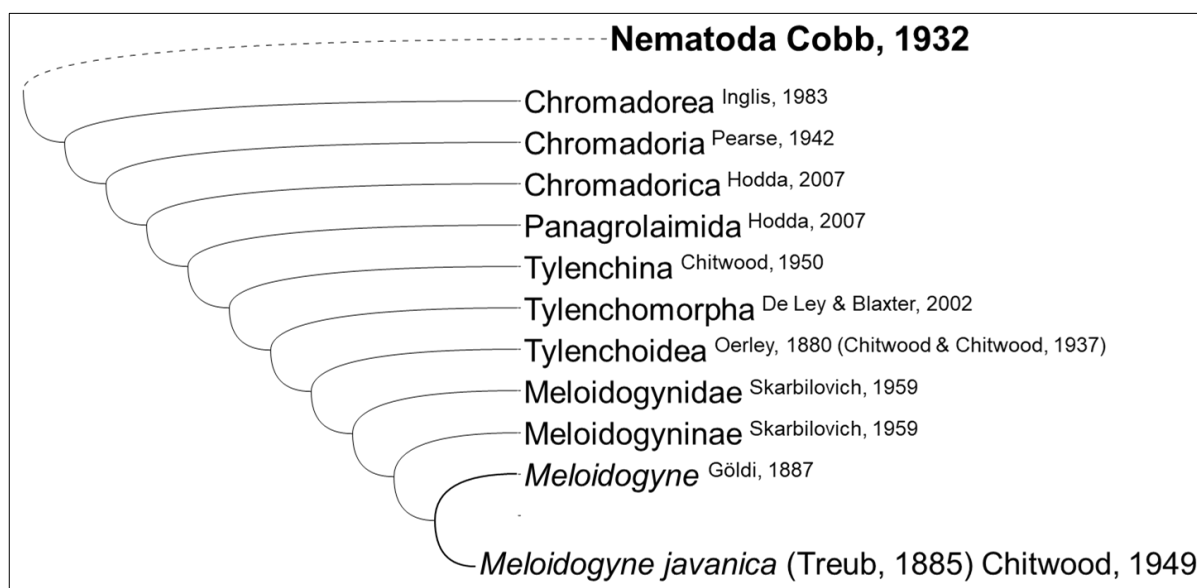


Fonte: van den Hoogen *et al.* (2019).

Os nematoides causadores de galhas (*Meloidogyne* spp.) são endoparasitas obrigatórios de raízes mais importantes do mundo (Jones *et al.*, 2013). O primeiro registro desse grupo foi feito por Berkeley (1855), ao descrever galhas em raízes de pepino na Inglaterra (Christie, 1959). Anos depois, o Dr. Jobert alertou sobre a problemática na então província do Rio de Janeiro (Jobert, 1878). Em 1887 o Dr. Göldi elaborou um relatório detalhado da problemática nematológica em cafeeiros do Rio de Janeiro, que culminou no estabelecimento da espécie-tipo *Meloidogyne exigua*. (Göldi, 1887). O reconhecimento taxonômico formal do gênero foi realizado por Chitwood (1949), que o separou de *Heterodera*, com base nos padrões perineais das fêmeas adultas, bulbos do estilete do macho, comprimento do estilete e na distância do orifício da glândula esofágica dorsal da base do estilete.

Os nematoides desse gênero estão agrupados na Subclasse Chromadoria Pearse, 1942; Superordem Chromadorica Hodda, 2007; Ordem Panagrolaimida Hodda, 2007; Subordem Tylenchina Chitwood, 1950; Infraordem Tylenchomorpha De Ley e Blaxter, 2002; Superfamília Tylenchoidea Oerley, 1880 (Chitwood e Chitwood, 1937); Família Meloidogynidae Skarbilovich, 1959 e Subfamília Meloidogyninae Skarbilovich, 1959; (Hodda, 2022; De Ley; Blaxter, 2002) (Figura 3).

Figura 3 – Esquema da classificação taxonômica de *M. javanica*

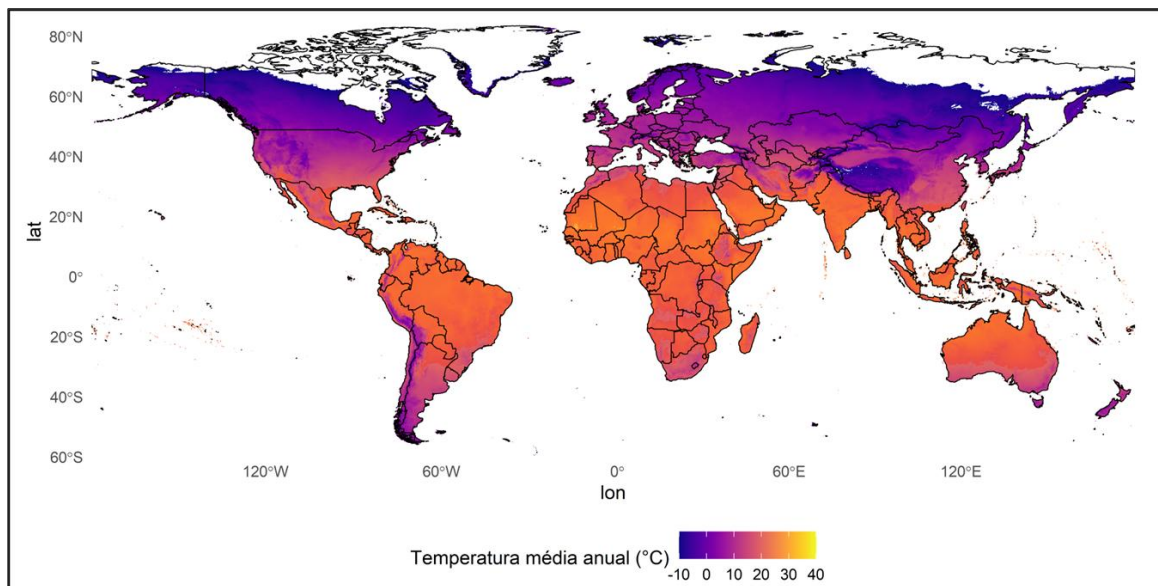


Fonte: De Ley e Blaxter (2002) e Hodda (2022).

Esses parasitas são biotróficos sedentários obrigatórios, mais prejudiciais as culturas agrícolas, infectando cerca de 5000 espécies de plantas (Jones et al., 2013; Trudgill; Blok, 2001). Destacam-se os nematoides, *Meloidogyne incognita* (Kofoid e White, 1919) Chitwood, 1949; *M. javanica* Treub (1885) Chitwood, 1949; *M. hapla* (Neal, 1889) Chitwood, 1949; *M. arenaria* (Neal, 1889) Chitwood, 1949 e, recentemente *M. enterolobii* Yang e Eisenback, 1983 (Trudgill; Blok, 2001; Castagnone-Sereno, 2012; Castagnone-Sereno et al., 2013).

M. javanica é um nematoide com modo de vida e alimentação endoparasita, capaz de alterar a fisiologia da planta e reduzir a produtividade das culturas e a qualidade dos produtos sendo, portanto, de grande importância econômica (Wesemael; Moens; Bellafiore, 2024). Esse nematoide está distribuído geograficamente desde a África, Austrália, América do Sul, Ásia, Estados Unidos e estufas na Europa (CABI, 2021; Wesemael; Viaene; Moens, 2011; Medina et al., 2017; Adamu et al., 2024; Watson et al., 2020; Zeng et al., 2018). Essa espécie consegue melhor adaptação e desenvolvimento em regiões localizadas a 20° N e 40° S (Figura 4).

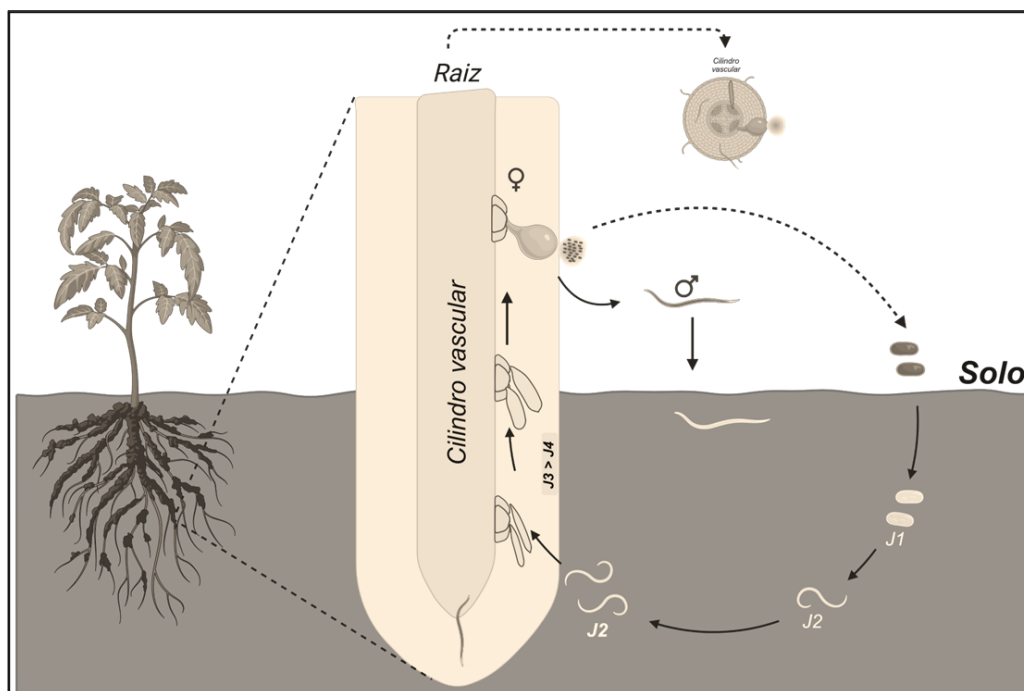
Figura 4 – Zonas climáticas favoráveis a *Meloidogyne javanica*



Fonte: Amorim (2025).

O nematoide passa pela fase de ovo, que é seguida por quatro estádios juvenis (J1, J2, J3 e J4) que finalmente se desenvolvem em fêmeas ou machos sexualmente dimórficos (Moens *et al.*, 2009). O juvenil de primeiro estágio (J1) se desenvolve ainda dentro do ovo, posteriormente, os juvenis de segundo estágio (J2) eclodem do ovo e são atraídos para as raízes das plantas por exsudatos radiculares (Vieira *et al.*, 2011), penetram na zona de alongação das raízes (Figura 5) e se direcionam ao cilindro vascular, incitando 6–8 células do parênquima (Wyss; Grundler, 1992), onde se alimentam de protoxilema e protofloema (Wesemael; Moens; Bellafiore, 2024). As células são modificadas bioquímica e geneticamente por secreções produzidas em glândulas esofágicas, duas subventrais e uma dorsal; e outros órgãos, como anfídeos e cutícula (Davies; Curtis, 2011; Golinowski; Grundler, 1999). Essa interação complexa permite que a penetração, migração, estabelecimento e manutenção bem-sucedidos do parasita seja dependente principalmente da secreção de efetores que fluem pelo estilete, promovendo o estabelecimento de uma interação íntima de longo prazo com o hospedeiro (Jaouannet *et al.*, 2013; Haegeman *et al.*, 2012; Vieira *et al.*, 2011).

Figura 5 – Ciclo biológico de *Meloidogyne javanica*



Fonte: Amorim (2025) e Williamson e Gleason (2003).

As galhas são os sintomas diretos da interação parasítica entre *M. javanica* e seus hospedeiros, derivadas da hipertrofia e hiperplasia celular (Williamson; Hussey, 1996; Wesemael; Moens; Bellafore, 2024). Sintomas reflexos como plantas de baixa estatura das plantas e sintomas de deficiência nutricional podem ser observados em altas infestações, no entanto, são inespecíficos, pois entram em conflito com outras causas bióticas e abióticas. A infecção por *Meloidogyne* afeta a absorção de água e nutrientes e a translocação destes para a parte aérea da planta. Além disso, o crescimento anormal das raízes resulta em redução da área de superfície radicular e limita a capacidade de um sistema radicular de explorar o solo (Wesemael; Moens; Bellafore, 2024).

O parasitismo desse nematoide ocorre em plantas de diferentes famílias botânicas como batata, tomate, soja, milho, além de outras (Medina et al., 2017; Amani et al., 2022; Adamu et al., 2024; Watson et al., 2020). As perdas em produtividade e qualidade dos produtos agrícolas são substanciais (Silva et al., 2021). Além disso, possuem adaptação termofílica, ou seja, adaptada ao calor (Dávila-Negrón; Dickson, 2013), o que possibilita alta reprodução em regiões tropicais como as do Brasil.

Diante da importância econômica desses parasitas é necessário criar e planejar estratégias de manejo, em torno de pragas-chave. *M. javanica* frequentemente atinge esse status, mesmo na presença de outros patógenos. Logo, o objetivo das estratégias de manejo é aumentar a quantidade e a qualidade da produtividade das culturas. Estratégias de manejo com base na prevenção, rotação de culturas, métodos culturais, resistência genética, químico e biológico são os componentes do Manejo Integrado de Nematoides (MIN) (Sikora; Molendijk; Desaeger, 2021). Nos últimos anos, atenção especial tem sido dada aos microrganismos, especialmente às bactérias, como agentes microbiológicos eficazes redução de ovos e J2 de *Meloidogyne* spp. (Amorim *et al.*, 2024).

As bactérias são os principais microrganismos utilizados no controle biológico de nematoides. Dentre elas estão as espécies do gênero *Bacillus* Cohn, 1872. *Pseudomonas* Migula, 1894; *Serratia* Bizio, 1823, *Streptomyces* Waksman e Henrici, 1943; também demonstram alta eficácia (Antil *et al.*, 2023; Moslehi *et al.*, 2021; Davies *et al.*, 2023; Kumar; Arthurs, 2021). No entanto, os estudos com *Pseudomonas*, *Serratia* e *Streptomyces* e outras bactérias ainda se restringem, em sua maioria, a experimentos *in vitro* ou em casa de vegetação.

A supressão populacional de nematoides fitoparasitas ocorre por meio de mecanismos diretos e indiretos. Os mecanismos diretos estão relacionados ao ataque físico-químico a cutícula de formas móveis e imóveis dos nematoides. Espécies de *Pasteuria* podem colonizar a cutícula dos nematoides, penetrar e se multiplicar em seu interior, levando à morte do hospedeiro (Tian *et al.*, 2007). Cepas de *Bacillus* e *Pseudomonas* produzem toxinas, antibióticos, enzimas líticas (como proteases e quitinases) e compostos voláteis que matam ou inibem o desenvolvimento dos nematoides (Li *et al.*, 2015; Topalović; Hussain; Heuer, 2020; Antil *et al.*, 2023).

Os mecanismos indiretos no controle biológico de nematoide aumentam as defesas das plantas, alteram o ambiente do solo e interrompem os ciclos de vida dos nematoides. Esses processos ocorrem por meio resistência sistêmica induzida (RSI), concorrência e exclusão de nicho, promoção de crescimento vegetal e a tolerância ao estresse (Subedi *et al.*, 2020; Vasantha-Srinivasan *et al.*, 2025; Siddiqui; Mahmood, 1999). A RSI desencadeia respostas de defesa nas plantas, pois altera e ativa rotas de defesa contra patógenos, incluindo os PPN (Subedi *et al.*, 2020). De forma complementar, as bactérias colonizam a rizosfera, superando os nematoides por espaço e nutrientes (Tian *et al.*, 2007). Isso reduz o estabelecimento e a reprodução

do parasita, tornando o ambiente menos favorável para eles. Já a promoção de crescimento ocorre em função da melhor assimilação de nutrientes e o vigor das plantas.

Esses mecanismos variam conforme o ambiente, a espécie bacteriana, a cepa e o estágio do nematoide (Subedi *et al.*, 2020; Antil *et al.*, 2023). Ressalta-se, que o uso combinado de diferentes bactérias pode potencializar o controle devido à ação sinérgica dos mecanismos, mas isso deve ser verificado em experimentos que visam o controle da espécie alvo de nematoide.

Neste contexto, este estudo teve como objetivo avaliar a promoção de crescimento vegetal e a supressão populacional de *Meloidogyne javanica*, utilizando como hospedeiro modelo experimental plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), cv. Santa Clara. Este estudo foi dividido em dois grupos, no primeiro grupo os tomateiros foram tratados com cepas isoladas de *Bacillus* spp., *Priestia* spp., *Pseudomonas* spp. *Serratia* e *Cromobacterium* sp. No segundo grupo os tomateiros foram tratados com diferentes consórcios dessas cepas bacterianas. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito isolado e o consorcio dessas cepas bacterianas na promoção de crescimento e controle de *M. javanica*.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O nematoide-das-galhas, *Meloidogyne javanica*, constitui-se em um problema nematológico importante em regiões tropicais, primeiro porque é um parasita que vive no solo e segundo porque estabelece uma relação parasitária obrigatória com seus hospedeiros. Diante disso, este estudo avaliou e constatou que bactérias dos filos Bacillota e Pseudomonadota podem atuar no controle biológico desse fitoparasita. *B. thuringiensis kurstaki* CCT1306 e as cepas *B. amyloliquefaciens* CCT7690 e *B. licheniformis* são candidatas promissoras para estudos futuros em condições de campo. Além disso, novos estudos devem focar nos aspectos bioquímicos e moleculares, buscando desvendar os mecanismos envolvidos na promoção de crescimento e ação bionematicida.

REFERÊNCIAS

- ADAMU, Frezer A. *et al.* Plant parasitic nematodes on soybean (*Glycine max* (L) Merr.) in the Metekel zone (Ethiopia) and varietal resistance evaluation to *Meloidogyne javanica*. **Journal of Phytopathology**, v. 172, n. 2, p. e13287, 2024.
- AIMANI, Ali El *et al.* Antagonistic potential of Moroccan entomopathogenic nematodes against root-knot nematodes, *Meloidogyne javanica* on tomato under greenhouse conditions. **Scientific Reports**, v. 12, 2022.
- AMORIM, Deucleiton J. *et al.* *Bacillus*, *Pseudomonas* and *Serratia* control *Meloidogyne incognita* (Rhabditida: Meloidogynidae) and promote the growth of tomato plants. **Rhizosphere**, v. 31, p. 100935, 1 set. 2024.
- ANTIL, Sonam *et al.* Recent advances in utilizing bacteria as biocontrol agents against plant parasitic nematodes emphasizing *Meloidogyne* spp. **Biological Control**, v. 183, p. 105244, 1 ago. 2023.
- BARKER, K. R. *et al.* Plant and soil nematodes: societal impact and focus for the future. **Journal of Nematology**, v. 26, n. 2, p. 127–137, jun. 1994.
- BERKELEY, M. J. Vibrio forming cysts on the roots of cucumbers. **Gardener's Chronicle and Agricultural Gazette** 14, 220. 1855.
- CABI. *Meloidogyne javanica* (sugarcane eelworm). CABI Compendium, v. CABI Compendium, p. 33246, 18 dez. 2021.
- CASTAGNONE-SERENO, P. *Meloidogyne enterolobii* (= *M. mayaguensis*): profile of an emerging, highly pathogenic, root-knot nematode species. **Nematology**, v. 14, p. 133–138, 2012.
- CASTAGNONE-SERENO, Philippe. *et al.* Diversity and Evolution of Root-Knot Nematodes, Genus *Meloidogyne*: New Insights from the Genomic Era. **Annual Review of Phytopathology**, v. 51, n. Volume 51, 2013, p. 203–220, 4 ago. 2013.
- CHRISTIE, J. R. **Plant nematodes. Their bionomics and control**. Univ. Florida ed., 256 p. 1959.
- CHITWOOD, B. G. **Root-knot nematodes – part 1. A revision of the genus *Meloidogyne* Göldi, 1887**. *Proceedings of the Helminthological Society of Washington* 16, 90-104. 1949.
- DAVIES, Keith G. *et al.* Exploring the mechanisms of host-specificity of a hyperparasitic bacterium (*Pasteuria* spp.) with potential to control tropical root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.): insights from *Caenorhabditis elegans*. **Frontiers in Cellular and Infection Microbiology**, v. 13, 20 dez. 2023.
- DAVIES, Keith G.; CURTIS, Rosane H. C. Cuticle surface coat of plant-parasitic nematodes. **Annual Review of Phytopathology**, v. 49, n. Volume 49, 2011, p. 135–156, 8 set. 2011.

DAVILA, Marisol; DICKSON, D. W. Comparative thermal-time requirements for development of *Meloidogyne arenaria*, *M. incognita*, and *M. javanica*, at constant temperatures. **Nematropica**, v. 43, p. 152–163, 1 dez. 2013.

DÁVILA-NEGRÓN, M.; DICKSON, D. W. Comparative thermal-time requirements for development of *Meloidogyne arenaria*, *M. incognita*, and *M. javanica* at constant temperatures. **Nematropica**, v. 43, n. 2, p. 152–163, 2013.

GÖLDI, E. Der Kaffee nematode Brasiliens (*Meloidogyne exigua* G.). Zool. Jahrb. Abt. Syst. 4:261-267. 1887.

DE LEY, Paul; BLAXTER, Mark. Systematic position and phylogeny. In: LEE, Donald (Org.). **The Biology of Nematodes**: CRC Press, 2002. p. 1–30.

EISENBACK, J. D. *Meloidogyne incognita* (root-knot nematode). **CABI Compendium**, v. CABI Compendium, p. 33245, 8 maio 2020.

FERRIS, H.; BONGERS, T.; DE GOEDE, R. G. M. A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. **Applied Soil Ecology**, v. 18, n. 1, p. 13–29, 1 set. 2001.

GORNY, Adrienne M. *et al.* Soybean root-knot nematode: A Diagnostic Guide. **Plant Health Progress**, v. 22, n. 2, p. 164–175, jan. 2021.

HAEGEMAN, Annelies. *et al.* Functional roles of effectors of plant-parasitic nematodes. **Gene**, v. 492, n. 1, p. 19–31, 15 jan. 2012.

HODDA, Mike. Phylum Nematoda: a classification, catalogue and index of valid genera, with a census of valid species. **Zootaxa**, v. 5114, n. 1, p. 1–289, 10 mar. 2022.

HODDA, Mike. Papers published in Zootaxa concerning Nematoda from 2001 to 2020. **Zootaxa**, v. 4979, n. 1, 28 maio 2021.

JAOUANNET, Maëlle; AND ROSSO, Marie-Noëlle. Effectors of root sedentary nematodes target diverse plant cell compartments to manipulate plant functions and promote infection. **Plant Signaling and Behavior**, v. 8, n. 9, p. e25507, 1 set. 2013.

JOBERT, C. Sur une maladie du caféier observée au Brésil. C. R. Acad. Sci. Paris 87:941-943. 1878.

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

KIKUCHI, Taisei; AKKER, Sebastian Eves-van den; JONES, John T. Genome evolution of plant-parasitic nematodes. **Annual Review of Phytopathology**, v. 55, n. Volume 55, 2017, p. 333–354, 4 ago. 2017.

KUMAR, K. Kiran; ARTHURS, Steven. Recent advances in the biological control of citrus nematodes: A review. **Biological Control**, v. 157, p. 104593, 1 jun. 2021.

LEVEAU, Johan H. J. Re-Envisioning the plant disease triangle: Full Integration of the host microbiota and a focal pivot to health outcomes. **Annual Review of Phytopathology**, v. 62, n. Volume 62, 2024, p. 31–47, 9 set. 2024.

LI, Juan *et al.* Molecular mechanisms of nematode-nematophagous microbe interactions: Basis for biological control of plant-parasitic nematodes. **Annual Review of Phytopathology**, v. 53, n. Volume 53, 2015, p. 67–95, 4 ago. 2015.

MEDINA, I. *et al.* Genetic diversity of *Meloidogyne* spp. parasitising potato in Brazil and aggressiveness of *M. javanica* populations on susceptible cultivars. **Nematology**, v. 19, p. 69–80, 2017.

MOENS, M.; PERRY, R. N.; STARR, J. L. *Meloidogyne* species - a diverse group of novel and important plant parasites. In: **Root-knot nematodes**. CABI Books. p. 1–17. 2009.

MOSLEHI, Shalaleh. *et al.* Potential of some endophytic bacteria in biological control of root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 31, n. 1, p. 50, 12 mar. 2021.

VAN DEN HOOGEN, Johan *et al.* Soil nematode abundance and functional group composition at a global scale. **Nature**, v. 572, n. 7768, p. 194–198, ago. 2019.

QUIST, Casper W.; SMANT, Geert; HELDER, Johannes. Evolution of plant parasitism in the *Phylum* Nematoda. **Annual Review of Phytopathology**, v. 53, n. Volume 53, 2015, p. 289–310, 4 ago. 2015.

SASSER, J.N. AND FRECKMAN, D.W. **A World Perspective on Nematology: The Role of the Society**. In: Veech, J.A. and Dickson, D.W., Eds., *Vistas on Nematology*, Hyattsville, Maryland, 7-20. 1987.

SIDDIQUI, Z. A.; MAHMOOD, I. Role of bacteria in the management of plant parasitic nematodes: A review. **Bioresource Technology**, v. 69, n. 2, p. 167–179, 1 ago. 1999.

SIKORA, Richard A.; MOLENDIJK, Leendert P. G.; DESAEGER, Johan. Integrated nematode management and crop health: future challenges and opportunities. In: **Integrated nematode management: state-of-the-art and visions for the future**. CABI Books. p. 3–10. 2021.

SILVA, S. A. da *et al.* *Morus alba*: Host reaction for *Meloidogyne javanica*, biological nematicides assessment and study of these relationships with yield and quality of leaves, cocoon and health of the silkworm. **PLoS ONE**, v. 16, 2021.

SOBCZAK, Miroslaw; GOLINOWSKI, Wladyslaw; GRUNDLER, Florian MW. Ultrastructure of feeding plugs and feeding tubes formed by *Heterodera schachtii*. **Nematology**, 1.4: 363-374, 1999,

SUBEDI, Pratima. *et al.* Current Utility of Plant growth-promoting rhizobacteria as biological control agents towards plant-parasitic nematodes. **Plants**, v. 9, n. 9, p. 1167, set. 2020.

TIAN, Baoyu; YANG, Jinkui; ZHANG, Ke-Qin. Bacteria used in the biological control of plant-parasitic nematodes: populations, mechanisms of action, and future prospects. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 61, n. 2, p. 197–213, 1 ago. 2007.

TOPALOVIĆ, Olivera; HUSSAIN, Muzammil; HEUER, Holger. Plants and associated soil microbiota cooperatively suppress plant-parasitic nematodes. **Frontiers in Microbiology**, v. 11, 28 fev. 2020.

TRUDGILL, David L.; BLOK, Vivian C. Apomictic, polyphagous root-knot nematodes: Exceptionally successful and damaging biotrophic root pathogens. **Annual Review of Phytopathology**, v. 39, n. Volume 39, 2001, p. 53–77, 1 set. 2001.

VASANTHA-SRINIVASAN, Prabhakaran. *et al.* The role of *Bacillus* species in the management of plant-parasitic nematodes. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, p. 1510036, 17 jan. 2025.

VIEIRA, Paulo. *et al.* The plant apoplasm is an important recipient compartment for nematode secreted proteins. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 3, p. 1241–1253, 1 jan. 2011.

WATSON, Tristan T.; STRAUSS, Sarah L.; DESAEGER, Johan A. Identification and characterization of Javanese root-knot nematode (*Meloidogyne javanica*) suppressive soils in Florida. **Applied Soil Ecology**, v. 154, p. 103597, 1 out. 2020.

WESEMAEL, W.; VIAENE, N.; MOENS, M. Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in Europe. **Nematology**, v. 13, p. 3–16, 2011.

WESEMAEL, Wim; MOENS, Maurice; BELLAFFIORE, Stéphane. Root-knot Nematodes. *In*: **Plant Nematology**. CABI Books. p. 74–113, 2024.

WILLIAMSON, V. M.; HUSSEY, R.S. Nematode pathogenesis and resistance in plants. **The Plant Cell**, v. 8, n. 10, p. 1735–1745, 1 out. 1996.

WILLIAMSON, Valerie M.; GLEASON, Cynthia A. Plant–nematode interactions. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 6, n. 4, p. 327–333, ago. 2003.

WYSS, U.; GRUNDLER, F. M. W. Feeding behavior of sedentary plant parasitic nematodes. **Netherlands Journal of Plant Pathology**, v. 98, n. 2, p. 165–173, 1 mar. 1992.

YEATES, G. W. *et al.* Feeding habits in soil nematode families and genera-an outline for soil ecologists. **Journal of Nematology**, v. 25, n. 3, p. 315–331, set. 1993.

YEATES, G. W. *et al.* The Role of nematodes in ecosystems. *In*: **Nematodes as environmental indicators**. CABI, 2009. p. 1–44.

ZENG, Jianmin. *et al.* Distribution and molecular identification of *Meloidogyne* spp. parasitising flue-cured tobacco in Yunnan, China. **Plant Protection Science**, v. 54, n. 3, p. 183–189, 30 set. 2018.