

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

NAYJA FRANZOI DE MELO

MICROORGANISMOS ENVOLVIDOS NO CONTROLE BIOLÓGICO DE NEMATOIDES
DE GALHAS: REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

CURITIBA

2023

NAYJA FRANZOI DE MELO

MICROORGANISMOS ENVOLVIDOS NO CONTROLE BIOLÓGICO DE NEMATOIDES
DE GALHAS: REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

Artigo apresentado ao curso de Pós-Graduação Lato Senu em Fitossanidade, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Fitossanidade.

Orientadora: Prof^o Msc Camila Hendges

CURITIBA

2023

Microrganismos envolvidos no controle biológico de nematoides de galhas: revisão bibliométrica

Nayja Franzoi de Melo

RESUMO

Os nematoides do gênero *Meloidogyne*, conhecidos também como nematoides de galhas, causam danos na produtividade de diversas culturas distribuídas pelo mundo. Foi realizado um levantamento bibliométrico com o objetivo de avaliar o uso de fungos e bactérias no controle biológico de nematoides de galhas no período de 2019 a 2023. O levantamento baseou-se em buscas nas bases de dados Web of Science™ e Scopus®, utilizando os termos: *Meloidogyne*; nematophagous fungi; Biological Control; Bacterial; Bacteria; *Bacillus*. Com o levantamento foi possível identificar que as pesquisas tiveram um interesse crescente em estudar as bactérias neste período. O controle biológico teve como alvo *M. incógnita* e *M. javanica*. O Brasil teve um interesse maior por estudar fungos nematófagos, enquanto China e Egito lideraram estudos com bactérias no controle biológico. As principais espécies de fungo nematófago estudadas foram: *Pochonia chlamydosporia*, *Purpureocillium lilacinum* e *Arthrobotrys oligospora*. As principais bactérias estudadas foram: *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium*, *Pseudomonas fluorescens* e *Bacillus thuringiensis*. Para tanto, a pesquisas mostraram-se bastante interessadas em estudar diferentes espécies de fungos e bactérias, visando uma eficácia maior no controle dos nematoides de galha.

Palavras-chaves: |Biocontrole 1. Fungos nematófagos 2. *Meloidogyne* spp. 3. Bactéria 4. Antagonista 5.

ABSTRACT

Nematodes of the genus *Meloidogyne*, also known as root-knot nematodes, cause damage in the dispersion of several crops distributed throughout the world. A bibliometric survey was carried out with the objective of evaluating the use of fungi and bacteria in the biological control of root-knot nematodes from 2019 to 2023. The survey was based on searches in the Web of Science™ and Scopus® databases, using the terms: *Meloidogyne*; nematophagous fungi; Biological Control; Bacterial; Bacterium; *Bacillus*. With the survey it was possible to identify that research had a growing interest in studying bacteria in this period. Biological control targeted *M. incógnita* and *M. javanica*. Brazil had a greater interest in studying nematophagous fungi, while China and Egypt led studies with bacteria in biological control. The main nematophagous fungus species studied were: *Pochonia chlamydosporia*, *Purpureocillium lilacinum* and *Arthrobotrys oligospora*. The main bacteria studied were: *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium*, *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus thuringiensis*. Therefore, research has shown to be very interested in studying different species of fungi and bacteria, aiming at greater effectiveness in the control of root-knot nematodes.

Key-words: Biocontrol 1. Nematophagous fungi 2. *Meloidogyne* spp. 3. Bacteria 4. Antagonist 5.

1 INTRODUÇÃO

Os nematoides parasitas de plantas. Também chamados de fitonematoides, provocam cerca de 14,6% de perdas na produtividade das culturas em países tropicais e subtropicais (DUTTA; KHAN; PHANI, 2019). Os danos severos causados por fitonematoides às plantas cultivadas estão relacionados a redução do crescimento radicular e atrofia do crescimento da planta devido à menor absorção de nutrientes do solo (JONES et al., 2013).

A gama de hospedeiros existentes contribui para que estes patógenos sejam de difícil controle, uma vez que podem sobreviver no solo e em restos culturais durante anos (MACHADO et al., 2012).

De acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), prevê que a produção agrícola atual deve aumentar 70% a 100% para países em desenvolvimento, para alimentar a população mundial (HUNTER et al., 2017). O processo de intensificação da agricultura para atender estas demandas alimentares, de maneira menos agressiva ao meio ambiente, levam à emergência do controle dos fitonematoides baseado no controle biológico (ETESAMI; JEONG; GLICK, 2023).

O controle biológico pode ser uma abordagem eficaz, econômica e ecologicamente correta para o manejo de pragas (MNIF; GHRIBI, 2015). Dentro da diversidade de seres vivos encontrados no solo, os que apresentam maior potencial como agentes de controle biológico para nematoides parasitas de plantas são os fungos e bactérias (FERRAZ; SANTOS, 1995). O objetivo do levantamento bibliográfico será listar as principais espécies de fungos e bactérias utilizadas nos últimos anos para o controle nematoides do gênero *Meloidogyne*, bem como identificar os principais países que estão investindo nessas pesquisas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 NEMATOIDES

Os nematoides são os seres mais comuns no ambiente do solo, cerca de 4.100 espécies têm como hábito parasitar plantas, sendo responsáveis pelo declínio de muitas culturas economicamente importante.

Os nematoides parasitas de plantas possuem diversas formas de interação com os seus hospedeiros (JONES et al., 2013)

3.1.1 Nematoides de galhas - *Meloidogyne* spp.

O gênero *Meloidogyne*, conhecido também como nematoides de galhas, são endoparasitas sedentários obrigatórios, considerados um dos mais importantes parasitas de plantas (CAMPOS, 2020; PEIRIS et al., 2020). As espécies mais prejudiciais nas regiões tropicais são *M. incognita*, *M. javanica* e *M. arenia*, pois atacam praticamente todos os tipos de vegetais e raramente o seu processo de infecção é afetado pela presença de genes de resistência (PHANI; KHAN; DUTTA, 2021). O seu principal sintoma é provocar galhas nas raízes das plantas hospedeiras (KARIMI; VAN MONTAGU; GHEYSEN, 2000).

Os nematoides de galhas caracterizam-se por apresentar reprodução variada que vai desde a anfimixia até a partenogênese. As fêmeas maduras da espécie de *Meloidogyne* depositam seus ovos em uma massa gelatinosa protetora, que pode entrar em dormência, caso as condições ambientais não sejam favoráveis. A massa de ovos pode conter até 400 ovos e ser encontrada na superfície da raiz ou incrustada nas galhas ou tecido vegetal. (JONES et al., 2013). O ciclo de vida varia de 20 a 30 dias a depender da temperatura, umidade e planta hospedeira.

Na cultura da soja, é observado a presença de reboleiras, com plantas pequenas e amareladas. As plantas infectadas podem apresentar em suas folhas clorose ou necrose entre as nervuras, comumente chamado de folha “carijó”. Durante o florescimento, é notável o intenso abortamento de vagens, que pode ser intensificado em períodos de veranicos (DIAS et al., 2010).

3.2 CONTROLE BIOLÓGICO

O controle biológico se baseia na premissa da utilização de organismos vivos para conter a população de uma praga específica, diminuindo a sua letalidade. O uso de controle biológico para o controle de nematoides parasitas de plantas é uma abordagem eficaz, econômica e ecologicamente correta, pois seu uso é mais seguro quando comparado ao controle químico (TARIQJAVEED et al., 2021).

3.2.1 Fungos nematófagos

Os fungos nematófagos podem favorecer o controle de nematoides em várias fases dos seus ciclos (HAHN et al., 2018), pois possuem variados mecanismos para a captura e morte dos

nematoides, suas hifas são sofisticadas, como redes, ramos ou anéis para a captura dos nematoides (SZABÓ et al., 2012). Tais fungos podem ser endoparasitas, que dependem do nematoide para sobreviver através de seus nutrientes, ou fazer armadilhas de nematoides, baseando-se na carnívoros ou saprofitismo como forma de obtenção de nutrientes (PEIRIS et al., 2020).

Espécies como *Trichoderma* são reconhecidamente essenciais no controle de diversos patógenos, seus mecanismos de micoparasitismo, competição e antibiose são relatados (VINALE et al., 2008). Há estudos que demonstram a sua eficiência no controle de fitonematoides (JAVEED; ALHAZMI, 2015; JAVEED; AL-HAZMI; MOLAN, 2016; EL-NAGDI et al., 2019).

Os fungos predadores geralmente seguem quatro estágios para o ataque dos nematoides: 1) identificação da presa (nematoide); 2) captura do nematoide por materiais abrasivos da armadilha fúngica; 3) colonização da presa e invasão das suas cutículas por hifas; 4) degradação do conteúdo corporal da presa por digestão enzimática (quitinases, collagenases e serina proteases) (SOARES et al., 2023).

A vantagem da utilização de fungos no controle de nematoides, é que ao contrário de vírus e bactérias, os fungos não necessitam serem ingeridos para que a infecção ocorra e cause a morte do hospedeiro (PEIRIS et al., 2020).

3.2.2 Bactérias

O controle biológico de nematoides tem sido estudado com diversos tipos de microrganismos que vivem no solo e na rizosfera. A utilização de rizobactérias no controle biológico de nematoides é apontada como uma estratégia interessante, pois é de fácil aplicação, baixo custo econômico e com baixo impacto ambiental, além de serem capazes de entrar nos tecidos internos das plantas (VAZ et al. 2011; MACHADO et al., 2012).

As espécies de *Bacillus* são bactérias antagonistas típicas, naturais do solo, produzem hormônios vegetais, enzimas e antibióticos que proporcionam benefícios às plantas, como a promoção do crescimento das plantas (ARAÚJO, 2008). Estas convertem os exsudados radiculares em subprodutos, interferindo no reconhecimento dos nematoides aos estímulos quimiotrópicos do hospedeiro, deixando-os desorientados até a sua morte (ARAÚJO; MARCHESI, 2009).

O alvo dessas rizobactérias é o estágio juvenil vulnerável dos nematoides, possibilitando maior assertividade do controle. A produção de endósporos pelos *Bacillus* spp.

possibilita a sua sobrevivência por períodos prolongados em condições favoráveis (SINGH; SIDDIQUI, 2010). Há relatos sobre a eficácia de espécies de *Bacillus* sobre os fitonematoides (LEE; KIM, 2015; ONGENA; JACQUES, 2008). Após estudo com *B subtilis*, Rao et al. (2014) relatam sua eficácia em controlar *Meloidogyne incognita* em lavouras de quiabo e produzir biofilme envolta das raízes das plantas para proteção contra o ataque de nematoides, fungos e bactérias. Há evidências que *B. thuringiensis* pode se reproduzir em cadáveres de nematoides ou seus esporos podem persistir no intestino de um nematoide, reduzindo a sua locomoção (RUAN et al., 2015).

4 METODOLOGIA

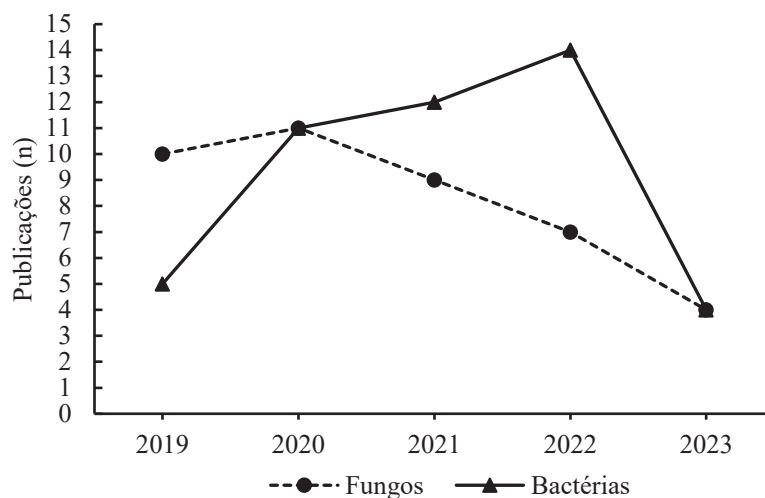
Os dados utilizados no presente estudo foram obtidos por meio da busca sistematizada de publicações científicas dos últimos 5 anos (2019-2023) nas bases de dados Web of Science™ e Scopus®, acessados entre abril e maio de 2023. As buscas se concentraram em artigos de periódicos, excluindo-se artigos de revisão. Os termos utilizados para a pesquisa foram: *Meloidogyne*; nematophagous fungi; Biological Control; Bacterial; Bacteria; *Bacillus*.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE ANUAL DA PESQUISA

A Figura 1 apresenta o número de publicações utilizando fungos e bactérias para o controle biológico de nematoides do gênero *Meloidogyne* realizadas em cada ano, no período de 2019 a 2023.

FIGURA 1 - NÚMERO DE PESQUISAS PUBLICADAS POR ANO RELACIONADAS AO CONTROLE BIOLÓGICO DE NEMATÓIDES DO GÊNERO *Meloidogyne* POR FUNGOS E BACTÉRIAS.



FONTE: A AUTORA (2023).

A busca resultou em 41 artigos relacionados ao controle biológico por fungos nematófagos e 47 relacionadas as bactérias. Em levantamento anterior, Hahn et al. (2018), identificou dois momentos, com maior número de contribuições usando fungos nematófagos para o tema: 1º) entre 1991 e 1999 e; 2º) entre 2003 a 2015. No presente estudo, observa-se que as publicações utilizando fungos nematófagos apresentaram uma redução a partir de 2020, enquanto as publicações voltadas para o uso de bactérias vêm aumentando ao longo dos anos, desconsiderando o ano de 2023, uma vez que as publicações estão relacionadas as buscas até o mês de maio.

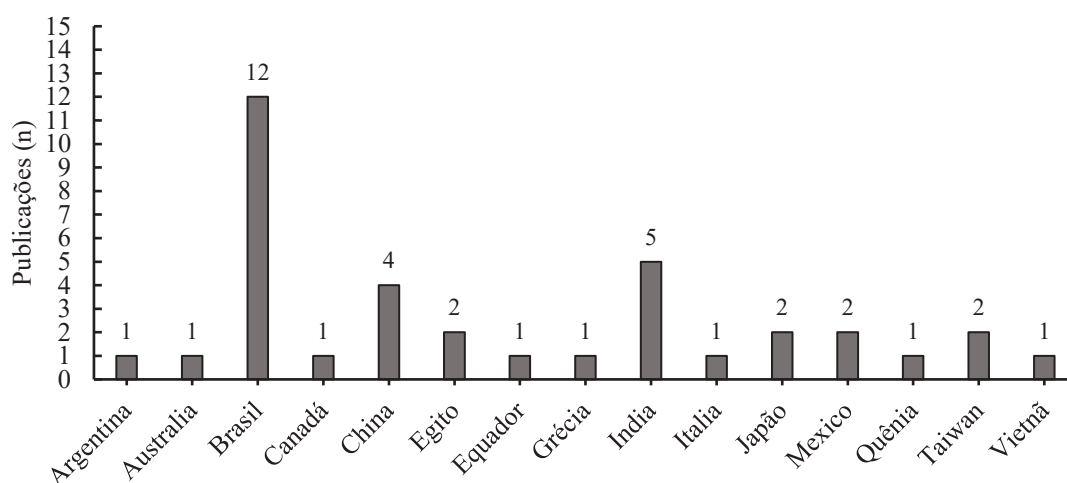
O controle biológico é uma alternativa segura para o controle de pragas e patógenos, onde fungos e bactérias representam um potencial alternativa para o controle de nematoides do gênero *Meloidogyne* (NAZ et al., 2021), uma vez que são alavancados por políticas públicas contra o uso de nematicidas, como o brometo de metila (HAHN et al., 2018). Quando se compara com os pesticidas químicos, os biopesticidas oferece menos riscos, uma vez que seu antagonismo específico em relação às pragas alvos e são biodegradáveis no meio ambiente, possibilitando muitas vezes a sua aplicação próximas à época de colheita (HORAK et al. 2019).

O aumento contínuo de pesquisas relacionadas ao uso de bactérias para o controle biológico pode estar relacionado a tentativa de se identificar mais classes de metabólitos e das enzimas bacterianas responsáveis pela atividade nematicida, uma vez que nem todas são conhecidas (HORAK et al. 2019).

5.2 LOCAIS DE PUBLICAÇÕES

A Figura 2 apresenta o número de pesquisas realizadas em diferentes países, objetivando o controle biológico de nematoides do gênero *Meloidogyne* por fungos nematófagos, no período de 2019 a 2023. O Brasil é claramente o país que mais realizou pesquisas com fungos nematófagos para o controle biológicos de *Meloidogyne* spp, sendo responsável por 12 publicações no período. Em segundo lugar, temos a Índia (5), seguida pela China (4), com pesquisas sobre o tema.

FIGURA 2 - NÚMERO DE PUBLICAÇÕES EM DIFERENTES PAÍSES RELACIONADAS AO CONTROLE DE NEMATOIDES DO GÊNERO *Meloidogyne* POR FUNGOS NO PERÍODO DE 2019 A 2023.

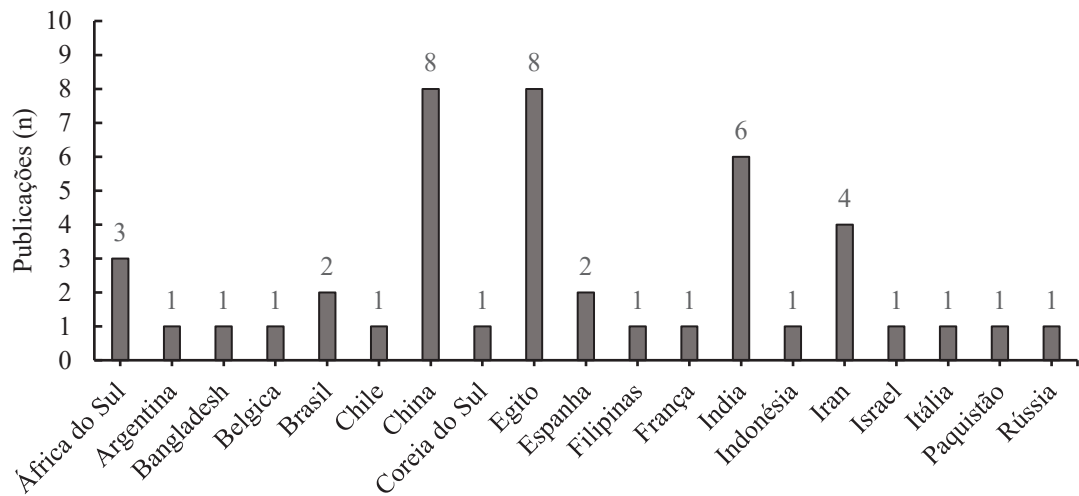


FONTE: A AUTORA (2023).

No Brasil, culturas de grande interesse econômico como a soja (*Glycine max*), algodão (*Gossypium hirsutum* L.), cafeeiro (*Coffea* spp.) e tomate (*Solanum lycopersicum*) são atacadas pelo *Meloidogyne* spp (LOPES, 2015; PINHEIRO et al., 2014). Os efeitos positivos do controle de *Meloidogyne* spp. por fungos nematófagos é documentado (CARNEIRO et al., 2008; LOPES et al., 2007), porém enfrenta-se dificuldades de controle por ser um nematoide de ocorrência generalizada no país (LOPES, 2015).

A Figura 3 apresenta o número de pesquisas realizadas em diferentes países, objetivando o controle biológico de nematoides do gênero *Meloidogyne* por bactérias, no período de 2019 a 2023. As pesquisas visando o uso de bactérias foram mais realizadas na China (8) e no Egito (8), seguidos pela Índia (6). O Brasil teve apenas duas publicações no período.

FIGURA 3 - NÚMERO DE PUBLICAÇÕES EM DIFERENTES PAÍSES RELACIONADAS AO CONTROLE DE NEMATOIDES DO GÊNERO *Meloidogyne* POR BACTÉRIAS NO PERÍODO DE 2019 A 2023.



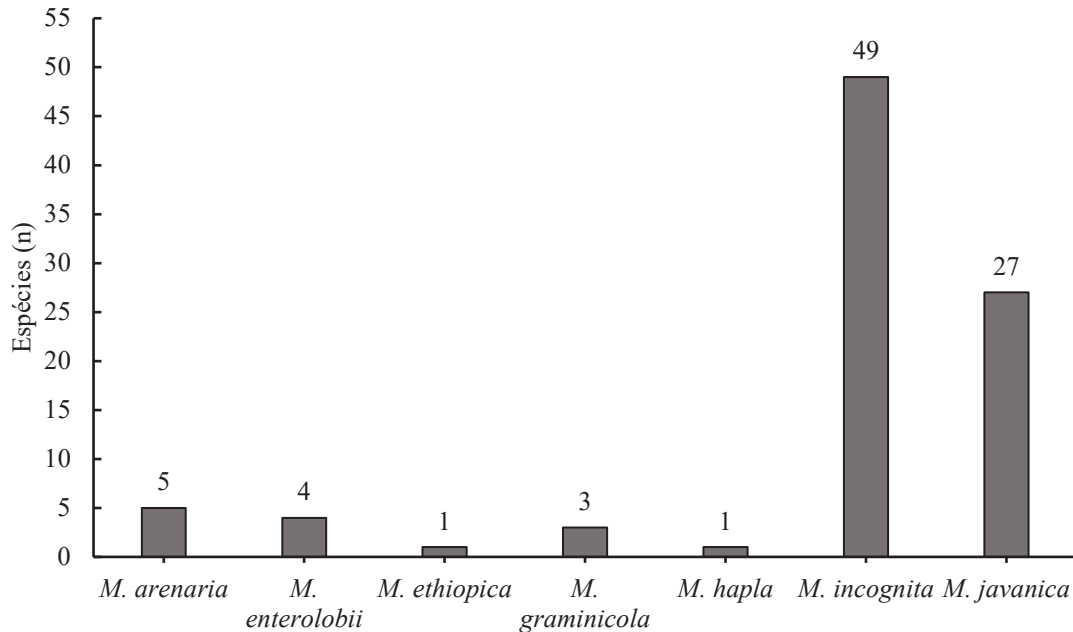
FONTE: A AUTORA (2023).

Nematoides de galhas representam uma grande ameaça para a produção de arroz (*Oryza sativa* L.) em países como a China, Egito e Índia, necessitando de alternativas eficazes de controle (SINGH et al., 2012; LU et al., 2022), justificando o elevado índice de estudos nessa área.

5.3 ESPÉCIES DE *Meloidogyne* spp.

A Figura 4 apresenta as espécies de *Meloidogyne* estudadas, como foco do controle biológico por fungos e bactérias, no período de 2019 a 2023. A espécie de *Meloidogyne* mais estudada no período foi a *M. incognita* (49), seguida por *M. javanica*. (27).

FIGURA 4 - ESPÉCIES NEMATOIDES DO GÊNERO *Meloidogyne* spp. ESTUDADAS PARA O CONTROLE BIOLÓGICO NO PERÍODO DE 2019 A 2023.



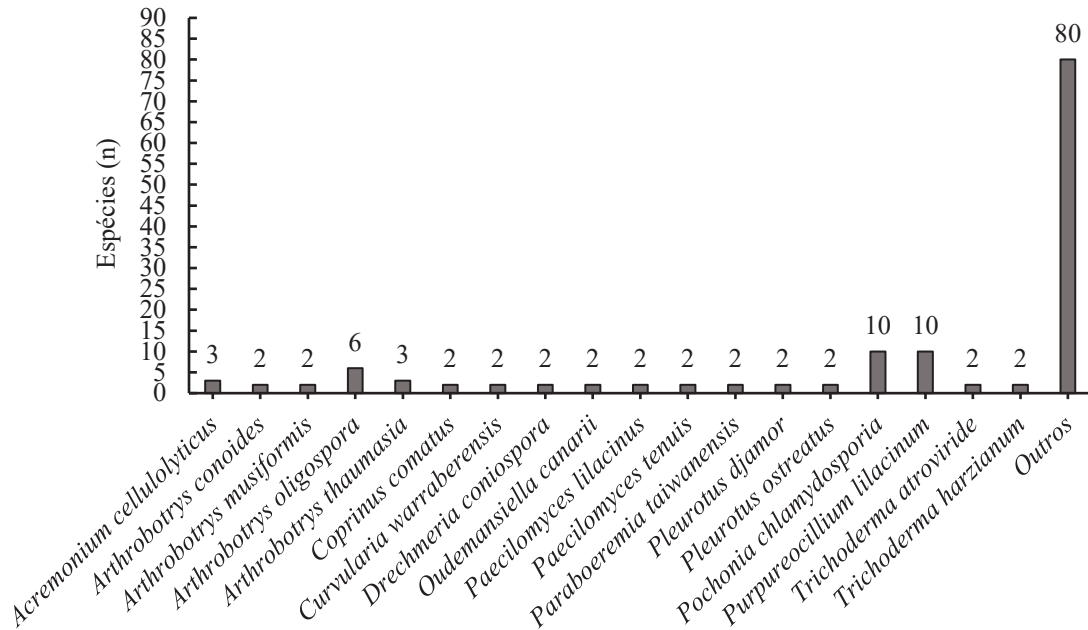
FONTE: A AUTORA (2023).

No gênero *Meloidogyne*, dentre as quatro principais espécies estão *M. incognita* e *M. javanica* (ONKENDI et al., 2014; ANTIL et al., 2023). É comum encontrar a ocorrência de associação entre as duas espécies, podendo ocorrer em proporções semelhantes (CARNEIRO et al., 2008), principalmente em regiões tropicais (ONKENDI et al., 2014). A maioria dos genótipos de soja e algodão são susceptíveis a ambas as espécies (LOPES et al., 2007). Os danos causados por *M. incognita* são mais severos em solos com textura arenosa, com baixa fertilidade e associados a fungos fitopatogênicos (SILVA et al., 2004).

5.4 ESPÉCIES DE FUNGOS USADAS PARA O CONTROLE DE NEMATOIDES

A Figura 5 apresenta as espécies de fungos nematófagos estudados para o controle de nematoides do gênero *Meloidogyne*. As espécies de fungos mais estudadas no período foram *Pochonia chlamydosporia* (10) e *Purpureocillium lilacinum* (10), seguidos por *Arthrobotrys oligospora* (6), porém observa-se que há um grande interesse da comunidade científica em estudar novas espécies de fungos (80).

FIGURA 5 - ESPÉCIES DE FUNGOS ESTUDADAS PARA O CONTROLE AO CONTROLE DE NEMATOIDES DO GÊNERO *Meloidogyne* NO PERÍODO DE 2019 A 2023.



FONTE: A AUTORA (2023).

O fungo *P. chlamydosporia* é conhecido por ter a sua sobrevivência limitada no solo por diferentes fatores, pois é um fungo com baixa natureza saprofítica, podendo ser facilmente suprimido por outros microorganismos do solo (SANTOS et al., 2019). Seu crescimento é favorecido em temperaturas próximas a 25°C, porém é limitado em temperaturas menores que 5°C e acima de 30°C (LUAMBANO et al., 2015). O fungo infesta os ovos e as fêmeas dos nematoides das galhas. A colonização do ovo ocorre em até dez dias após a penetração do ovo (SWARNAKUMARI et al., 2020), cessando seu estágio saprofítico e mudando para o parasitismo. As enzimas secretadas, após a fixação do apressório, destroem as membranas externas do ovo, expondo as camadas de quitina, que são então penetradas por pinos de infecção. Estes crescem em hifas destruindo o conteúdo dos ovos e degradando as cascas dos ovos por dentro (SANTOS et al., 2019).

Purpureocillium lilacinum é principalmente saprófita, capaz de usar uma ampla gama de substratos do solo. É um fungo oportunista, pois pode parasitar qualquer estágio do nematoide, sendo a fase sedentária do nematoide de galhas a mais vulnerável (KEPENEKCI et al., 2018; ANASTASIADIS et al., 2008; SHARMA et al., 2020).

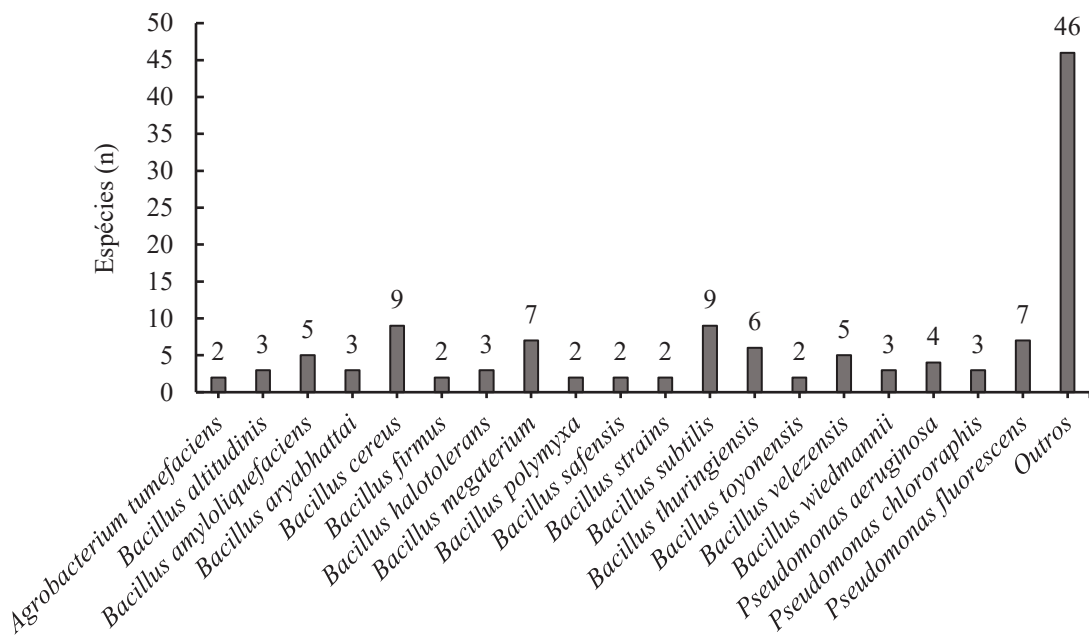
Arthrobotrys oligospora tem a capacidade de produzir redes adesivas para matar nematoides, gerar armadilhas e secretar extracelularmente serina proteases como fator de virulência (LI et al., 2023). A formação de armadilhas por este fungo para captura de nematoides *Meloidogyne* é dependente de fatores como pH e temperatura, enquanto a eficiência

da armadilha é dependente do tamanho e população do nematoide, bem como da virulência do isolado (SINGH et al., 2012).

5.5 ESPÉCIES DE BACTÉRIAS USADAS PARA O CONTROLE DE NEMATOIDES

A Figura 6 apresentam as espécies de bactérias estudadas para o controle de nematoides do gênero *Meloidogyne* no período de 2019 a 2023. Em primeiro lugar, as espécies de bactérias mais estudadas foram *Bacillus cereus* (9) e *Bacillus subtilis* (9). Em segundo lugar, foram *Bacillus megaterium* (7) e *Pseudomonas fluorescens* (7). Em terceiro lugar foi *Bacillus thuringiensis* (6). Além das mais comuns, observa-se também que um grande número de outras bactérias (46) também estão sendo pesquisadas.

FIGURA 6 - ESPÉCIES DE BACTÉRIAS USADAS PARA O CONTROLE AO CONTROLE DE NEMATOIDES DO GÊNERO *Meloidogyne* NO PERÍODO DE 2019 A 2023.



FONTE: A AUTORA (2023).

Bacillus spp. é comum na maioria dos produtos comerciais disponíveis para a promoção do crescimento vegetal e controle biológico de nematoides, em especial *Meloidogyne* spp., pois são identificados como microrganismos “seguros”, ou seja, que não causam danos, doença ou morte a outro organismo não patogênico e, também é seguro aos seres humanos e ao meio ambiente (HORAK et al. 2019).

Estas bactérias são extraídas da rizosfera, muito competitivas em seu habitat natural e são resistentes a ambientes adversos, devido as suas amplas habilidades fisiológicas e à capacidade de formar endósporos. A serina protease, extraída de *Bacillus* spp., pode hidrolisar a cutícula e o colágeno do nematoide (ETESAMI; JEONG; GLICK, 2023). *B. subtilis* produz um biofilme ao redor das raízes das plantas, para proteção contra bactérias patogênicas, fungos e nematoides. Além disso, essa proteção é causada pela secreção de compostos antimicrobianos e pela resistência sistêmica da planta em resposta ao *B. subtilis* (MAZZUCHELLI; MAZZUCHELLI; ARAUJO, 2020).

Pseudomonas spp. são bactérias abundantes na comunidade microbiana do solo, desempenham papel importante na solubilização e mobilização de nutrientes vitais para absorção pelas raízes das plantas (BERG; SMALLA, 2009). A espécie *Pseudomonas fluorescens* também é uma rizobactéria, que possui uma ampla gama de mecanismos de biocontrole, como sideroforos, cianeto de hidrogênio, amônia e pirrolnitrina que inibem a eclosão, sobrevivência juvenil e a penetração radicular dos nematoides (KHAN et al., 2016). O contato entre o hospedeiro e a bactéria é essencial para induzir os sistemas de defesa da planta. Para tanto, a taxa de indução da resistência varia conforme a espécie de planta a qual esteja associada (SAHEBANI; GHOLAMREZAEE, 2021).

B. subtilis e *P. fluorescens* aumentam a disponibilidade de nutrientes para as plantas, o que resulta no fortalecimento das defesas do hospedeiro contra os nematoides (KHAN et al., 2016).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O levantamento bibliométrico realizado no período de 2019 a 2023, pode-se concluir que as pesquisas visando o controle de nematoides do gênero *Meloidogyne* tem aumentado com o passar dos anos, principalmente com o foco no uso de bactérias. O Brasil se mostrou bastante interessados em pesquisas com fungos nematófagos, enquanto China e Egito investiram mais em pesquisas com bactérias. As principais espécies de *Meloidogyne* spp. indicadas para o controle biológico foram *M. incognita* e *M. javanica*. O interesse maior no potencial de fungos nematófagos foi em *Pochonia chlamydosporia*, *Purpureocillium lilacinum* e *Arthrobotrys oligospora*. As principais bactérias estudadas foram *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium*, *Pseudomonas fluorescens* e *Bacillus thuringiensis*. Para tanto, a pesquisas mostraram-se bastante interessadas em estudar diferentes espécies de fungos e bactérias, visando uma eficácia maior no controle dos nematoides de galha.

REFERÊNCIAS

- ANASTASIADIS, I. A.; GIANNAKOU, I. O.; PROPHETOU-ATHANASIADOU, D. A.; GOWEN, S. R. The combined effect of the application of a biocontrol agent *Paecilomyces lilacinus*, with various practices for the control of root-knot nematodes. **Crop Protection**, v. 27, n. 3-5, p. 352-361, mar. 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2007.06.008>.
- ANTIL, S.; KUMAR, R.; PATHAK, D.V.; KUMARI, A. Recent advances in utilizing bacteria as biocontrol agents against plant parasitic nematodes emphasizing *Meloidogyne* spp. **Biological Control**, v. 183, p. 105244, ago. 2023. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2023.105244>.
- ARAÚJO, F. F. de. Inoculação de sementes com *Bacillus subtilis*, formulado com farinha de ostras e desenvolvimento de milho, soja e algodão. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 2, p. 456-462, abr. 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542008000200017>.
- ARAÚJO, F. F. de.; MARCHESI, G. V. P. Uso de *Bacillus subtilis* no controle da meloidoginose e na promoção do crescimento do tomateiro. **Ciência Rural**, v. 39, n. 5, p. 1558-1561, ago. 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782009000500039>.
- BERG, G.; SMALLA, K. Plant species and soil type cooperatively shape the structure and function of microbial communities in the rhizosphere. **Fems Microbiology Ecology**, v. 68, n. 1, p. 1-13, abr. 2009. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1574-6941.2009.00654.x>.
- CAMPOS, M. A. da S. Bioprotection by arbuscular mycorrhizal fungi in plants infected with *Meloidogyne* nematodes: a sustainable alternative. **Crop Protection**, v. 135, p. 105203, set. 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105203>.
- CARNEIRO, R. M.; ALMEIDA, M. R.; MARTIN, I.; SOUZA, J. F.; PIRES, A. Q.; TIGANO, M. S. Ocorrência de *Meloidogyne* spp. e fungos nematófagos em hortaliças no Distrito Federal, Brasil. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 32, p. 45-51, 2008.
- DIAS, W. P.; GARCIA, A.; SILVA, J. F. V.; CARNEIRO, G. E. de S. **Nematoides em Soja: identificação e controle**. Londrina: Embrapa, 2010.
- DUTTA, T. K.; KHAN, M. R.; PHANI, V. Plant-parasitic nematode management via biofumigation using brassica and non-brassica plants: current status and future prospects. **Current Plant Biology**, v. 17, p. 17-32, jan. 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cpb.2019.02.001>.
- EL-NAGDI, W. M. A.; YOUSSEF, M. M. A.; EL-KHAIR, H. A.; ABD-ELGAWAD, M. M. M. Effect of certain organic amendments and *Trichoderma* species on the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*, infecting pea (*Pisum sativum* L.) plants. **Egyptian Journal Of Biological Pest Control**, v. 29, n. 1, p. 1-9, 25 nov. 2019. <http://dx.doi.org/10.1186/s41938-019-0182-0>.

ETESAMI, H.; JEONG, B. R.; GLICK, B. R. Biocontrol of plant diseases by *Bacillus* spp. **Physiological And Molecular Plant Pathology**, v. 126, p. 102048, jul. 2023. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pmpp.2023.102048>.

FERRAZ, S.; SANTOS, M. A. Controle biológico de fitonematoides pelo uso de fungos. **Revisão Anual de Proteção de Plantas**, p. 283-314, 1995.

HAHN, M. H.; DUARTE, H. da S. S.; MIO, L. L. M. de; KUHN, O. J. Levantamento bibliométrico de fungos nematófagos no controle dos nematoides das galhas. **Scientia Agraria Paranaensis**, p. 389-397, 2018.

HORAK, I.; ENGELBRECHT, G.; RENSBURG, P.J. J.; CLAASSENS, S. Microbial metabolomics: essential definitions and the importance of cultivation conditions for utilizing bacillus species as bionematicides. **Journal Of Applied Microbiology**, v. 127, n. 2, p. 326-343, 23 maio 2019. <http://dx.doi.org/10.1111/jam.14218>.

HUNTER, M. C.; SMITH, R. G.; SCHIPANSKI, M. E.; ATWOOD, L. W.; MORTENSEN, David A. Agriculture in 2050: recalibrating targets for sustainable intensification. **Bioscience**, v. 67, n. 4, p. 386-391, 22 fev. 2017. <http://dx.doi.org/10.1093/biosci/bix010>.

JAVEED, M. T.; ALHAZMI, A. Effect of *Trichoderma harzianum* on *Meloidogyne javanica* in tomatoes as influenced by time of the fungus introduction into soil. **Journal Of Pure And Applied Microbiology**, v. 9, n. 1, p. 535-539, 2015.

JAVEED, M. T.; AL-HAZMI, A. S.; MOLAN, Y. Y. Antagonistic effects of some indigenous isolates of *Trichoderma* spp. against *Meloidogyne javanica*. **Pakistan Journal Of Nematology**, v. 34, n. 02, p. 183-191, 31 jul. 2016. <http://dx.doi.org/10.18681/pjn.v34.i02.p183>.

JONES, J. T.; HAEGEMAN, A.; DANCHIN, E. G. J.; GAUR, H. S.; HELDER, J.; JONES, M. G. K.; KIKUCHI, T.; MANZANILLA-LÓPEZ, R.; PALOMARES-RIUS, J. E.; WESEMAEL, W. M. L. Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. **Molecular Plant Pathology**, v. 14, n. 9, p. 946-961, 1 jul. 2013. <http://dx.doi.org/10.1111/mp.12057>.

KARIMI, M.; VAN MONTAGU, M.; GHEYSEN, G. Nematodes as vectors to introduce *Agrobacterium* into plant roots. **Molecular Plant Pathology**, v. 1, n. 6, p. 383-387, nov. 2000. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1364-3703.2000.00043.x>.

KEPENEKCI, I.; HAZIR, S.; OKSAL, E.; LEWIS, E. E. Application methods of *Steinernema feltiae*, *Xenorhabdus bovienii* and *Purpureocillium lilacinum* to control root-knot nematodes in greenhouse tomato systems. **Crop Protection**, v. 108, p. 31-38, jun. 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2018.02.009>.

KHAN, M. R.; MOHIDIN, F. A.; KHAN, U.; AHAMAD, F. Native *Pseudomonas* spp. suppressed the root-knot nematode in in vitro and in vivo, and promoted the nodulation and grain yield in the field grown mungbean. **Biological Control**, v. 101, p. 159-168, out. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.06.012>.

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. 29-39, 25 jun. 2015. <http://dx.doi.org/10.1111/jph.12421>.

LI, X.; ZHU, M.; LIU, Y.; YANG, L.; YANG, J. Aotg11 and Aotg33 are indispensable for mitophagy, and contribute to conidiation, the stress response, and pathogenicity in the nematode-trapping fungus *Arthrobotrys oligospora*. **Microbiological Research**, v. 266, p. 127252, jan. 2023. <http://dx.doi.org/10.1016/j.micres.2022.127252>.

LOPES, C. M. L. **populações de nematoides fitoparasitas em áreas de cultivo de soja, algodão, café e de vegetação nativa do cerrado na região oeste da Bahia**. 2015. 70 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Programa de Pósgraduação em Fitopatologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

LOPES, E. A.; FERRAZ, S.; FERREIRA, P. A.; FREITAS, L. G.; DHINGRA, O. D.; GARDIANO, C. G.; CARVALHO, S. L. Potencial de Isolados de Fungos Nematófagos no Controle de *Meloidogyne javanica*. **Nematologia Brasileira**, v. 31, p. 20-26, 2007.

LU, X. H.; SOLANGI, G. S.; HUANG, J. L.; QIN, L. P.; LIU, Z. M. First Report of Root-knot Nematode, *Meloidogyne graminicola* on *Brassica juncea* in China. **Journal Of Nematology**, v. 54, n. 1, p. 20220044, 1 fev. 2022. <http://dx.doi.org/10.2478/jofnem-2022-0044>.

LUAMBANO, N. D.; MANZANILLA-LÓPEZ, R. H.; KIMENJU, J. W.; POWERS, S. J.; NARLA, R. D.; WANJOHI, W. J.; KERRY, B. R. Effect of temperature, pH, carbon and nitrogen ratios on the parasitic activity of *Pochonia chlamydosporia* on *Meloidogyne incognita*. **Biological Control**, v. 80, p. 23-29, jan. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.09.003>.

MACHADO, V.; BERLITZ, D. L.; MATSUMURA, A. T. S.; SANTIN, R. de C. M.; GUIMARÃES, A.; SILVA, M. E. da; FIUZA, L. M. Bactérias como agentes de controle biológico de fitonematoides. **Oecologia Australis**, v. 16, n. 02, p. 165-182, jun. 2012. <http://dx.doi.org/10.4257/oeco.2012.1602.02>.

MAZZUCHELLI, R. de C. L.; MAZZUCHELLI, E. H. L.; ARAUJO, F. F. de. Efficiency of *Bacillus subtilis* for root-knot and lesion nematodes management in sugarcane. **Biological Control**, v. 143, p. 104185, abr. 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104185>.

MNIF, I.; GHRIBI, D. Potential of bacterial derived biopesticides in pest management. **Crop Protection**, v. 77, p. 52-64, nov. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2015.07.017>.

NAZ, I.; KHAN, R. A. A.; MASOOD, T.; BAIG, A.; SIDDIQUE, I.; HAQ, S. Biological control of root knot nematode, *Meloidogyne incognita*, in vitro, greenhouse and field in cucumber. **Biological Control**, v. 152, p. 104429, jan. 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104429>.

ONGENA, M.; JACQUES, P. *Bacillus lipopeptides*: versatile weapons for plant disease biocontrol. **Trends In Microbiology**, v. 16, n. 3, p. 115-125, mar. 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tim.2007.12.009>.

ONKENDI, E. M.; KARIUKI, G. M.; MARAIS, M.; MOLELEKI, L. N. The threat of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in Africa: a review. **Plant Pathology**, v. 63, n. 4, p. 727-737, 17 fev. 2014. <http://dx.doi.org/10.1111/ppa.12202>.

PEIRIS, P. U. S.; LI, Y.; BROWN, P.; XU, C. Fungal biocontrol against *Meloidogyne* spp. in agricultural crops: a systematic review and meta-analysis. **Biological Control**, v. 144, p. 104235, maio 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104235>.

PHANI, V.; KHAN, M. R.; DUTTA, T. K. Plant-parasitic nematodes as a potential threat to protected agriculture: current status and management options. **Crop Protection**, v. 144, p. 105573, jun. 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105573>.

PINHEIRO, J. B.; BOITEUX, L. S.; PEREIRA, R. B.; ALMEIDA, M. R. A.; CARNEIRO, R. M. D. G. **Identificação de espécies de *Meloidogyne* em tomateiro no Brasil**. Brasileiro: Embrapa Hortaliças, 2014. 16 p.

RAO, M. S.; DWIVEDI, M. K.; KUMAR, R. M.; CHAYA, M. K.; RATHNAMMA, K.; RAJINIKANTH, R.; SHIVANANDA, T. N. Evaluation of bio-efficacy of *Bacillus subtilis* (NBAIMCC-B-01211) against disease complex caused by *Meloidogyne incognita* and *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* in okra. **Pest Management in Horticultural Ecosystems**, v. 20, n. 2, p. 217-221, 2014.

RUAN, L.; CRICKMORE, N.; PENG, D.; SUN, M. Are nematodes a missing link in the confounded ecology of the entomopathogen *Bacillus thuringiensis*? **Trends In Microbiology**, v. 23, n. 6, p. 341-346, jun. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tim.2015.02.011>.

SAHEBANI, N; GHOLAMREZAEE, N. The biocontrol potential of *Pseudomonas fluorescens* CHA0 against root knot nematode (*Meloidogyne javanica*) is dependent on the plant species. **Biological Control**, v. 152, p. 104445, jan. 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104445>.

SANTOS, M. C. dos; HORTA, J.; MOURA, L.; PIRES, D.; CONCEIÇÃO, I.; ABRANTES, I.; COSTA, S. An integrative approach for the selection of *Pochonia chlamydosporia* isolates for biocontrol of potato cyst and root knot nematodes. **Phytopathologia Mediterranea**, v. 58, n. 1, p. 187-199, 15 maio 2019. http://dx.doi.org/10.14601/Phytopathol_Mediterr-23780.

SHARMA, A.; GUPTA, A.; DALELA, M.; SHARMA, S.; SAYYED, R. Z.; ENSHASY, H. A. E.; ELSAYED, E. A. Linking Organic Metabolites as Produced by *Purpureocillium lilacinum* 6029 Cultured on Karanja Deoiled Cake Medium for the Sustainable Management of Root-Knot Nematodes. **Sustainability**, v. 12, n. 19, p. 8276, 8 out. 2020. <http://dx.doi.org/10.3390/su12198276>.

SINGH, P.; SIDDIQUI, Z. A. Biocontrol of root-knot nematode *Meloidogyne incognita* by the isolates of *Pseudomonas* on tomato. **Archives Of Phytopathology And Plant Protection**, v. 43, n. 14, p. 1423-1434, set. 2010. <http://dx.doi.org/10.1080/03235400802536857>.

SINGH, U. B.; SAHU, A.; SINGH, R. K.; SINGH, D. P.; MEENA, K. K.; SRIVASTAVA, J. S.; RENU; MANNA, M. C. Evaluation of biocontrol potential of *Arthrobotrys oligospora* against *Meloidogyne graminicola* and *Rhizoctonia solani* in Rice (*Oryza sativa* L.). **Biological Control**, v. 60, n. 3, p. 262-270, mar. 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.10.006>.

SILVA, R. A. da; SERRANO, M. A. S.; GOMES, A. C.; BORGES, D. C.; SOUZA, A. A. de; ASMUS, G. L.; INOMOTO, M. M. Ocorrência de *Pratylenchus brachyurus* e *Meloidogyne incognita* na cultura do algodoeiro no Estado do Mato Grosso. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, n. 3, p. 337-337, jun. 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-41582004000300021>.

SZABÓ, M.; CSEPREGI, K.; GÁLBER, M.; VIRÁNYI, F.; FEKETE, C. Control plant-parasitic nematodes with *Trichoderma* species and nematode-trapping fungi: the role of chi18-5 and chi18-12 genes in nematode egg-parasitism. **Biological Control**, v. 63, n. 2, p. 121-128, nov. 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.06.013>.

SOARES, F. E. de F.; FERREIRA, J. M.; GENIER, H. L. A.; AL-ANI, L. K. T.; AGUILAR-MARCELINO, L. Biological control 2.0: use of nematophagous fungi enzymes for nematode control. **Journal Of Natural Pesticide Research**, v. 4, p. 100025, jun. 2023. <http://dx.doi.org/10.1016/j.napere.2023.100025>.

SWARNAKUMARI, N.; SINDHU, R.; THIRIBHUVANAMALA, G.; RAJASWAMINATHAN, V. Evaluation of oil dispersion formulation of nematophagous fungus, *Pochonia chlamydosporia* against root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* in cucumber. **Journal Of Asia-Pacific Entomology**, v. 23, n. 4, p. 1283-1287, dez. 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aspen.2020.10.008>.

TARIQJAVEED, M.; FAROOQ, T.; AL-HAZMI, A. S.; HUSSAIN, M. D.; REHMAN, A. U. Role of *Trichoderma* as a biocontrol agent (BCA) of phytoparasitic nematodes and plant growth inducer. **Journal Of Invertebrate Pathology**, v. 183, p. 107626, jul. 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jip.2021.107626>.

VAZ, M. V., CANEDO, E. J., MACHADO, J. C., VIEIRA, B. S.; LOPES, E. A. Controle biológico de *Meloidogyne javanica* e *Meloidogyne incognita* com *Bacillus subtilis*. **Perquirere**, v. 8, p. 203-212, 2011.

VINALE, F.; SIVASITHAMPARAM, K.; GHISALBERTI, E. L.; MARRA, R.; WOO, S. L.; LORITO, M. *Trichoderma*-plant-pathogen interactions. **Soil Biology And Biochemistry**, v. 40, n. 1, p. 1-10, jan. 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.07.002>.