



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
PIAUÍ
CAMPUS URUÇUÍ
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA**

JEFERSON DA SILVA DE ASSIS

**EFICÁCIA DO MANEJO BIOLÓGICO E QUÍMICO NA MITIGAÇÃO DOS DANOS
CAUSADOS POR *MELOIDOGYNE SPP.* NA CULTURA DA SOJA: UMA
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

**URUÇUÍ
2025**

JEFERSON DA SILVA DE ASSIS

**EFICÁCIA DO MANEJO BIOLÓGICO E QUÍMICO NA MITIGAÇÃO DOS DANOS
CAUSADOS POR *MELOIDOGYNE SPP.* NA CULTURA DA SOJA: UMA
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado na disciplina de TCC do Curso
de Bacharelado em Engenharia
Agrônoma do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí.
Campus Uruçuí.

Orientador: Prof. Dr. Matheus Silva e
Silva

URUÇUÍ
2025

EFICÁCIA DO MANEJO BIOLÓGICO E QUÍMICO NA MITIGAÇÃO DOS DANOS CAUSADOS POR *MELOIDOGYNE* SPP. NA CULTURA DA SOJA: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Jeferson da Silva de Assis

Prof. Dr. Matheus Silva e Silva

RESUMO

A soja (*Glycine max* L.) é uma das principais culturas agrícolas do mundo, destacando-se pela sua relevância econômica e social no contexto das commodities globais. Mesmo com sua ampla adaptação às condições edafoclimáticas e avanços em melhoramento genético, a produtividade da soja ainda enfrenta desafios relacionados a fatores bióticos e abióticos, com destaque para os fitonematóides, como *Meloidogyne* spp., que comprometem significativamente a produção. Este estudo tem como objetivo analisar a eficácia das abordagens químicas e biológicas na mitigação dos danos causados por *Meloidogyne* spp., com base em uma revisão bibliográfica. A metodologia adotada foi baseada em uma revisão sistemática de literatura, analisando publicações científicas e relatórios técnicos sobre o tema, explorou estudos recentes que evidenciam o impacto de diferentes práticas de manejo integrado. Foi identificada a eficácia de nematicidas químicos em reduzir temporariamente populações de nematóides, embora enfrentem limitações relacionadas à sustentabilidade ambiental e ao desenvolvimento de resistência. Em paralelo, o controle biológico, utilizando microrganismos como *Purpureocillium lilacinum* e *Bacillus subtilis*, mostrou-se promissor por reduzir populações de *Meloidogyne* spp. e melhorar a saúde do solo e das plantas. Ressalta-se que, resultados destacam que abordagens integradas, combinando métodos químicos e biológicos, que apresentam maior eficiência no manejo de nematóides, ao mesmo tempo em que promovem a sustentabilidade e a viabilidade econômica da produção de soja. Conclui-se que a adoção de estratégias integradas é essencial para minimizar os impactos de *Meloidogyne* spp. e garantir a produtividade competitiva da cultura.

Palavras-chaves: fitonematóides; manejo; sustentabilidade.

ABSTRACT

Soybean (*Glycine max* L.) is one of the world's leading agricultural crops, notable for its economic and social relevance in the context of global commodities. Even with its wide adaptation to edaphoclimatic conditions and advancements in genetic improvement, soybean productivity still faces challenges related to biotic and abiotic factors. Among these, plant-parasitic nematodes, such as *Meloidogyne* spp.,

¹ Graduando em Engenharia Agrônoma. Instituto Federal do Piauí - *campus* Uruçuí. E-mail: jeferson.agrosilva@gmail.com

² Pós Doutorado - Doutor em Fitopatologia – Mestre em Horticultura Irrigada, professor no Instituto Federal do Piauí – *campus* Uruçuí. E-mail: matheus.silva@ifpi.edu.br

significantly compromise production. This study aims to analyze the effectiveness of chemical and biological approaches in mitigating damages caused by *Meloidogyne* spp., based on a literature review. The methodology adopted involved a systematic literature review, analyzing scientific publications and technical reports on the subject. It explored recent studies highlighting the impact of different integrated management practices. The effectiveness of chemical nematicides in temporarily reducing nematode populations was identified, though they face limitations related to environmental sustainability and the development of resistance. In parallel, biological control, utilizing microorganisms such as *Purpureocillium lilacinum* and *Bacillus subtilis*, proved promising by reducing *Meloidogyne* spp. populations and improving soil and plant health. It's important to note that results emphasize integrated approaches, combining chemical and biological methods, exhibit greater efficiency in nematode management while promoting the sustainability and economic viability of soybean production. The conclusion is that adopting integrated strategies is essential to minimize the impacts of *Meloidogyne* spp. and ensure the competitive productivity of the crop.

Keywords: phytonematodes. management; sustainability

Data de aprovação: 29/01/2025

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L.) é uma das principais culturas agrícolas do mundo, destacando-se pela sua relevância econômica e social no contexto das commodities globais. Originária da Ásia, a planta adaptou-se a diferentes regiões e condições climáticas devido a avanços em melhoramento genético, tornando-se uma das culturas mais estudadas e cultivadas globalmente (Gazzoni, 2018).

Em 2024, a produção mundial de soja atingiu um recorde de 429,2 milhões de toneladas, representando um aumento de 8,7% em relação à safra anterior. No Brasil, a safra 2023/2024 foi estimada em 147,38 milhões de toneladas, uma redução de 7,23 milhões de toneladas em comparação ao período 2022/2023. Para a safra 2024/2025, a produção brasileira de soja está projetada em 166,28 milhões de toneladas, o que, se confirmado, será a maior colheita de soja da história do país, representando um crescimento de 12,8% em relação à safra anterior (CONAB, 2024).

Entretanto, a produtividade da soja enfrenta desafios significativos impostos por fatores bióticos e abióticos, que impactam diretamente o desenvolvimento da cultura. Os avanços em melhoramento genético possibilitaram superar

adversidades relacionadas a condições edafoclimáticas e fotoperíodo (Lizot *et al.*, 2023).

Dessa forma, esses fatores bióticos, como a presença de bactérias, fungos, vírus e fitonematóides, permanecem como uma preocupação constante para a agricultura moderna, devido às significativas perdas financeiras que podem inviabilizar a produção sem medidas preventivas adequadas (Melo, 2023).

Entre os fitonematóides que afetam a cultura da soja, destacam-se o nematoide do cisto (*Heterodera glycines*), o nematoide das lesões (*Pratylenchus brachyurus*) e o nematoide das galhas (*Meloidogyne* spp.). Este último gênero é considerado um dos mais prejudiciais devido à sua capacidade de causar danos severos às raízes das plantas, resultando em crescimento anormal, redução na absorção de água e nutrientes, e predisposição a outros patógenos (Silva, 2018).

Neste sentido, a infestação por *Meloidogyne* spp. não apenas compromete a produtividade, mas também reduz a qualidade dos grãos, gerando perdas econômicas substanciais para os produtores, sejam eles de pequeno, médio ou grande porte, em todas as regiões do país (Ramos *et al.*, 2019).

Diante desse cenário, estratégias de manejo integrado têm sido amplamente empregadas para mitigar os danos causados por fitonematóides, combinando práticas culturais, genéticas e químicas. A rotação de culturas, o uso de variedades resistentes e a aplicação de nematicidas, sejam químicos ou biológicos, são algumas das abordagens recomendadas para o controle de nematoides das galhas (Silveira, 2021).

Dessa forma, o estudo tem como objetivo analisar a eficácia das abordagens biológicas e químicas na mitigação dos danos causados por *Meloidogyne* spp. na cultura da soja, com base em uma revisão bibliográfica. Busca-se compreender as potencialidades e limitações de cada método, bem como propor soluções integradas que contribuam para a sustentabilidade da produção e a manutenção da produtividade em níveis competitivos.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho configura-se como uma revisão de literatura, com o objetivo de analisar de forma sistemática o manejo integrado de fitonematóides na

agricultura sustentável. A pesquisa foi conduzida com base em uma busca criteriosa nos periódicos CAPS, Scientific Electronic Library Online (SCIELO) e Science Direct, com foco na seleção de estudos publicados entre 2019 e 2023. Os termos de busca utilizados foram: "Fitonematóides", "Manejo Integrado de Pragas" e "Sustentabilidade Agrícola".

Inicialmente, foram lidos 40 resumos de artigos relacionados ao tema, dos quais 25 foram lidos na íntegra. Desses, 10 artigos foram selecionados para compor a análise, atendendo a critérios de relevância e aderência ao tema proposto. A escolha dos estudos considerou sua contribuição específica ao manejo integrado de fitonematóides, com ênfase nas práticas agrícolas sustentáveis.

A pesquisa foi organizada em uma tabela que apresenta as principais conclusões dos estudos selecionados, permitindo uma visualização clara das diferentes abordagens e resultados encontrados. Além disso, as contribuições de outros autores foram incorporadas, enriquecendo a análise e garantindo a profundidade da revisão. A inclusão de artigos recentes assegurou a atualidade e pertinência dos dados, proporcionando uma visão ampla sobre as estratégias de manejo e suas implicações para a sustentabilidade agrícola.

Dessa forma, este trabalho busca oferecer uma análise informada e fundamentada sobre o tema, contribuindo para o avanço do conhecimento no campo do manejo integrado de fitonematóides e sua relação com práticas agrícolas sustentáveis.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Contexto Geral da Cultura da Soja e Fatores Limitantes da Produtividade

3.1.1. Importância Econômica e Agronômica da Soja

A soja (*Glycine max* L.) desempenha um papel fundamental na economia global, posicionando-se como uma das principais culturas agrícolas devido à sua alta demanda em mercados como alimentos, rações e biocombustíveis. Sua origem está na Ásia, onde foi cultivada e aprimorada ao longo de séculos, tornando-se um produto agrícola essencial. No Brasil, a soja é uma das maiores responsáveis pelo crescimento do agronegócio, sendo o país um dos principais exportadores mundiais, evidenciando sua importância econômica estratégica (CONAB, 2023).

Além de sua relevância econômica, a soja também possui grande importância agrônômica, sendo um dos pilares da sustentabilidade agrícola. Ela é uma planta de grande eficiência na fixação biológica de nitrogênio (FBN), característica que a torna uma cultura sustentável, reduzindo a necessidade de fertilizantes nitrogenados (Ramos *et al.*, 2019).

De acordo com Hungria *et al.* (2021), a FBN promovida por bactérias simbióticas da soja pode substituir até 200 kg/ha de nitrogênio mineral, representando um benefício tanto ambiental quanto econômico. Esse atributo é especialmente relevante em sistemas agrícolas que buscam reduzir o impacto ambiental e melhorar a eficiência dos insumos agrícolas.

Segundo Gazzoni (2018) os avanços no melhoramento genético também ampliaram a adaptação da soja a diversas condições edafoclimáticas, contribuindo para sua expansão territorial e aumento da produtividade. Neste sentido, a soja foi originalmente adaptada há dias curtos, mas, por meio de técnicas de melhoramento, tornou-se apta para ser cultivada em diferentes latitudes e altitudes, permitindo sua introdução em novos mercados agrícolas.

Outro aspecto relevante é a participação da soja no contexto das commodities globais, atendendo à crescente demanda por proteínas vegetais e óleos comestíveis. A expansão do consumo de carne, especialmente em países asiáticos, aumentou a necessidade de rações ricas em proteínas, em que a soja é um ingrediente essencial. Além disso, cerca de 80% da produção mundial de soja é destinada à alimentação animal, reforçando sua importância no sistema produtivo global, Silva (2018).

A soja tem sido cada vez mais utilizada como matéria-prima para biocombustíveis, uma alternativa sustentável aos combustíveis fósseis. A utilização do óleo de soja para biodiesel apresenta vantagens como redução das emissões de gases do efeito estufa e maior segurança energética, sobretudo em países dependentes de importação de petróleo (Ramos *et al.*, 2019).

Dessa forma, a soja é uma cultura multifuncional que transcende os limites da agricultura convencional, desempenhando um papel estratégico nos setores econômico e agrônômico. Sua capacidade de contribuir para a segurança alimentar, reduzir impactos ambientais e impulsionar economias reforça sua posição de destaque no cenário global. A combinação de avanços científicos, como o melhoramento genético, e políticas agrícolas voltadas à expansão sustentável da

cultura, têm consolidado a soja como um dos principais motores do agronegócio mundial (Zucchi *et al.*, 2021).

A soja é uma das culturas agrícolas mais produzidas e comercializadas em todo o mundo, é uma planta de cultivo anual, possui raízes profundas e um sistema radicular com eixo principal e diversas raízes secundárias. É uma fonte essencial de proteína vegetal, óleo comestível e farelo, que é utilizada tanto na alimentação humana quanto na produção de rações animais. Além disso, seus subprodutos possuem uma variedade de aplicações industriais, incluindo a produção de biocombustíveis (Oliveira *et al.*, 2017).

A soja é uma cultura que exige cuidados com o manejo do solo, da adubação, da semeadura, das pragas, das doenças e da colheita, para garantir uma boa produtividade e qualidade dos grãos. Ela é uma cultura que tem grande importância econômica, social e ambiental, contribuindo para a geração de renda, emprego, alimento e energia (Cavalcante *et al.*, 2020).

3.1.2. Desafios Fitossanitários na Produção de Soja

A produção de soja enfrenta desafios fitossanitários complexos que impactam diretamente a produtividade e a qualidade da cultura. Entre os fatores bióticos, os fitonematóides, fungos, bactérias, vírus e pragas desempenham um papel central, causando perdas econômicas significativas. Já os fatores abióticos, como condições climáticas extremas e deficiências de nutrientes no solo, também impõem barreiras importantes. Essa interação entre fatores bióticos e abióticos exige estratégias integradas de manejo que combinem práticas culturais, genéticas e químicas (Zucchi *et al.*, 2021).

Os fitonematóides representam um dos maiores desafios para a cultura da soja, especialmente espécies como *H. glycines* e *Meloidogyne* spp., que afetam diretamente as raízes das plantas. Esses organismos parasitas comprometem a absorção de nutrientes e água, além de abrir caminho para infecções secundárias por patógenos. Sendo assim, o impacto dos nematóides pode reduzir a produtividade em até 40% nas áreas mais infestadas, sendo necessário um monitoramento constante e ações preventivas eficazes (Costa *et al.*, 2022)

Outro grupo de agentes fitossanitários que afeta a produção de soja são os fungos patogênicos, como *Phakopsora pachyrhizi*, causador da ferrugem asiática

da soja. Essa doença é considerada uma das mais devastadoras, pois, quando não controlada, pode causar perdas superiores a 80% na produtividade (Ramos *et al.*, 2019).

Para Mesquita *et al.* (2020), a evolução constante da resistência do fungo aos fungicidas disponíveis tem gerado desafios adicionais, exigindo o desenvolvimento de novas moléculas e estratégias de manejo. Além disso, doenças de solo, como a podridão radicular causada por *Fusarium* spp. e *Rhizoctonia solani*, agravam o quadro fitossanitário, principalmente em sistemas de monocultura que favorecem a propagação desses patógenos.

De acordo com Almeida *et al.* (2021), no contexto das pragas, destacam-se insetos como a lagarta-da-soja (*Anticarsia gemmatilis*) e a mosca-branca (*Bemisia tabaci*), que atacam diretamente as partes aéreas da planta, reduzindo a eficiência fotossintética e, conseqüentemente, a produtividade. Neste sentido, o manejo integrado de pragas (MIP) tem sido amplamente recomendado como uma solução viável, combinando controle biológico, químico e cultural.

A interação entre os fatores abióticos e bióticos pode agravar ainda mais os danos. Por exemplo, o déficit hídrico torna a planta mais suscetível ao ataque de fitonematóides e pragas, criando um ciclo vicioso que prejudica ainda mais o desenvolvimento da cultura (Nogueira *et al.*, 2019)

Dessa forma, o manejo fitossanitário da cultura da soja exige uma abordagem holística e integrada, que considere não apenas o controle de doenças e pragas, mas também a melhoria das condições edafoclimáticas. O desenvolvimento de tecnologias avançadas, como o uso de bioinsumos e o monitoramento por sistemas de inteligência artificial, tem o potencial de transformar o manejo agrícola, tornando-o mais eficiente e sustentável (Pereira *et al.*, 2020).

Contudo, é essencial que essas inovações sejam complementadas por práticas agronômicas tradicionais, como a diversificação de cultivos e a adubação adequada, garantindo a viabilidade econômica e ambiental da produção de soja.

3.1.3. Nematoides das galhas (*Meloidogyne* spp.)

Os fitonematóides do gênero *Meloidogyne* representam as espécies de maior relevância global para diversas culturas agrícolas, incluindo soja, milho, algodão, cana-de-açúcar, tomate, goiaba, quiabo, melão, feijão, batata e

amendoim, entre outras. Sua classificação como polípagos e cosmopolitas indica sua capacidade de infectar uma ampla variedade de hospedeiros e sua distribuição abrangente em diferentes regiões do mundo (Souza et al., 2015).

De acordo com Silveira (2021), no Brasil, as espécies *Meloidogyne incognita* e *Meloidogyne javanica* estão entre as principais que afetam a cultura da soja, sendo as que impõem as maiores restrições à produção no país. *Meloidogyne javanica* apresenta uma ampla distribuição geográfica, enquanto *Meloidogyne incognita* predomina em áreas com histórico de cultivo de algodão e café. Os danos são particularmente severos em regiões de elevadas temperaturas, caracterizadas por solos arenosos e baixa concentração de matéria orgânica (Pinheiro et al., 2014).

O nematoide-das-galhas tem um ciclo de vida de seis fases, que dura entre 3 e 4 semanas: ovo, J1, J2, J3, J4 e adulto. A primeira troca de pele (ecdise) acontece ainda dentro do ovo. Em seguida, o juvenil emerge do ovo e se desloca no solo, procurando raízes para penetrar, essa é a fase em que ele infecta a planta. A penetração se dá geralmente através da coifa da raiz, é seguida pela migração interna, até que o nematoide localize o sítio ideal para sua alimentação (Walker, 2018).

No estágio adulto, o *Meloidogyne* exibe dimorfismo sexual. Os machos são caracteristicamente filiformes e apresentam mobilidade, deslocando-se ativamente no solo. As fêmeas, por sua vez, possuem formato salsichoide e são sedentárias, alimentando-se das células nutridoras da raiz até o término de sua vida. A prolificidade das fêmeas é notável, podendo produzir aproximadamente 2.000 ovos ao longo do ciclo, os quais são depositados em uma massa de ovos na superfície das galhas. O ciclo de vida geralmente se completa em 21 a 30 dias, mas em períodos de temperaturas mais baixas, como o inverno, pode estender-se por até 51 dias (Versiani, 2022; Ferraz; Brown, 2016).

Os sintomas da infestação são observáveis no campo pela formação de reboleiras nas lavouras, resultantes da baixa mobilidade do patógeno, o que causa clorose (amarelecimento) e redução no porte das plantas. É possível também constatar o abortamento de vagens e a morte prematura das plantas. Nas raízes, observam-se galhas de tamanhos e quantidades variados; essa diversidade é influenciada pela suscetibilidade da cultivar e pela densidade populacional do nematoide no solo. Contudo, muitos desses sintomas podem ser erroneamente

interpretados como indicativos de deficiência nutricional (Dias et al., 2010; Monteiro; Corbett, 2018)

3.2. Eficácia, desafios e estratégias no uso de nematicidas químicos

Os nematicidas químicos desempenham um papel fundamental no manejo de fitonematóides na cultura da soja, especialmente em áreas com altas populações de *Meloidogyne* spp.. Esses produtos químicos, amplamente utilizados em sistemas agrícolas intensivos, têm como objetivo principal reduzir temporariamente as populações de nematóides a níveis que não comprometam significativamente a produtividade da cultura. No entanto, a sua eficácia e aplicação dependem de diversos fatores, como o tipo de solo, a dose empregada e a época de aplicação, conforme descrito por (Furlanetto *et al.*, 2020).

De acordo com pesquisa conduzida por Martins *et al.* (2019), os nematicidas químicos atuam principalmente através da interferência na fisiologia dos nematóides, comprometendo seu desenvolvimento e capacidade de parasitismo. Essas substâncias são aplicadas diretamente no solo ou na semente, proporcionando uma barreira inicial contra infestações severas. Ainda assim, os autores alertam para o caráter transitório da eficácia desses produtos, uma vez que os nematóides podem recuperar sua população em curto intervalo de tempo. Isso reforça a necessidade de complementação com outras práticas de manejo.

Embora eficientes, os nematicidas químicos enfrentam desafios relacionados à sustentabilidade e segurança ambiental. Estudos realizados por Campos *et al.* (2021) demonstram que muitos dos produtos disponíveis no mercado apresentam alta toxicidade, representando riscos significativos para organismos não-alvo, como microrganismos benéficos do solo e insetos polinizadores. Além disso, os resíduos químicos podem contaminar lençóis freáticos, levantando preocupações sobre o impacto em longo prazo na qualidade do ambiente. Dessa forma, o uso racional e criterioso desses insumos é essencial para minimizar tais impactos.

Outra questão relevante é a resistência que populações de nematóides podem desenvolver a determinados princípios ativos. Ferreira e Lopes (2018) relatam que o uso contínuo de um mesmo nematicida pode levar à seleção de indivíduos resistentes, reduzindo a eficácia do controle químico ao longo das safras. Para contornar esse problema, os pesquisadores sugerem a rotação de

princípios ativos e modos de ação como uma estratégia viável, aliada a outras técnicas de manejo integrado de pragas.

Segundo Barros *et al.* (2020), os preços desses insumos frequentemente limitam sua adoção em larga escala, especialmente em regiões menos desenvolvidas, onde o acesso a tecnologias modernas é restrito. Nesses casos, é imprescindível buscar alternativas que equilibrem viabilidade econômica e eficácia no controle de nematóides, como a integração de estratégias químicas e biológicas.

Novas moléculas vêm sendo testadas com o objetivo de apresentar menor toxicidade e maior especificidade no controle de fitonematóides. Paralelamente, o uso combinado de tecnologias, como o tratamento de sementes e a aplicação localizada de nematicidas, desponta como uma tendência para maximizar a eficiência e minimizar os impactos ambientais (Santos e Oliveira, 2021).

Dessa forma, embora os nematicidas químicos desempenhem um papel crucial no controle de *Meloidogyne spp.*, sua aplicação deve ser feita de forma criteriosa e integrada a outras práticas de manejo. O avanço tecnológico e a conscientização ambiental são fundamentais para garantir a sustentabilidade do uso desses insumos no contexto agrícola moderno (Santos e Oliveira, 2021).

3.3. Abordagens para Mitigação de Danos Causados por *Meloidogyne spp.*

3.3.1. Estratégias Biológicas no Controle de Fitonematóides

O controle biológico tem ganhado destaque como uma solução viável e sustentável para minimizar os prejuízos causados por *Meloidogyne spp.* em culturas agrícolas, incluindo a soja. Várias pesquisas têm investigado o potencial de organismos benéficos, como fungos, bactérias e plantas antagonistas, para suprimir as populações de fitonematóides, reduzindo assim o uso de defensivos químicos e seus impactos ambientais (Ferreira *et al.*, 2021).

De acordo com estudos de Lopes *et al.* (2021), os fungos nematicidas, como *Purpureocillium lilacinum* e *Pochonia chlamydosporia*, são amplamente reconhecidos pela sua habilidade de parasitar ovos e juvenis de *Meloidogyne spp.*. A aplicação de *P. lilacinum* em solos infestados resultou em uma redução significativa na população de nematoides e em aumento da produtividade da soja. Esses fungos produzem enzimas como quitinases e proteases que degradam as

paredes celulares dos ovos dos nematoides, além de competir por espaço e nutrientes na rizosfera (Silva *et al.*, 2020).

Outro estudo, realizado por Melo *et al.* (2019), demonstrou que o uso de *P. chlamydosporia* como tratamento de sementes foi eficaz na colonização inicial das raízes, proporcionando uma proteção precoce contra o ataque de nematoides. Esse resultado reforça o potencial dos fungos nematicidas como parte de um manejo integrado, especialmente em regiões com alta incidência de fitonematóides.

Segundo Santos *et al.* (2022) as bactérias do gênero *Bacillus* têm sido investigadas como agentes biológicos no controle de *Meloidogyne spp.*, cepas de *Bacillus subtilis* foram eficazes em reduzir a infestação de nematoides na cultura da soja em até 40%, além de promoverem o crescimento das plantas.

Além disso, pesquisas de Oliveira *et al.* (2020) destacaram o papel de *Pseudomonas fluorescens* na indução de resistência sistêmica em plantas de soja. Os autores observaram uma redução significativa na penetração de juvenis de *Meloidogyne spp.*, atribuída à ativação de mecanismos de defesa endógenos, como o acúmulo de compostos fenólicos nas raízes.

O uso de plantas antagonistas, como a crotalária (*Crotalaria juncea*), é amplamente reconhecido como uma prática eficiente para o manejo de fitonematóides. Ademais, a incorporação de biomassa de crotalária ao solo reduziu em mais de 50% a população de *Meloidogyne spp.* em experimentos conduzidos em campo (Costa *et al.*, 2021).

A rotação de culturas com plantas antagonistas também é apontada como uma estratégia viável para reduzir a densidade populacional de nematoides. Neste sentido, em pesquisa constatou-se que a integração de culturas como milho e crotalária em sistemas de rotação com soja resultou em maior produtividade e menor incidência de galhas nas raízes (Andrade *et al.*, 2022).

Os Bioprodutos à base de agentes biológicos têm mostrado eficácia no controle de *Meloidogyne spp.* Estudos conduzidos por Almeida *et al.* (2023) demonstraram que inoculantes contendo *B. subtilis* e *P. lilacinum* proporcionaram redução consistente nas populações de fitonematóides em experimentos comerciais. Esses produtos, aplicados diretamente no sulco de plantio, mostraram-se compatíveis com outras práticas de manejo integrado de pragas, oferecendo praticidade e baixo impacto ambiental.

Os avanços em biotecnologia têm permitido o desenvolvimento de formulações mais estáveis e eficazes, ampliando a adoção dessas estratégias no campo. No entanto, é necessário considerar fatores ambientais, como tipo de solo e condições climáticas, que podem influenciar a eficiência dos bioprodutos (Souza *et al.*, 2021).

3.3.2. Uso de Nematicidas Químicos no Controle de *Meloidogyne spp.*

Segundo Silva *et al.* (2022) o controle químico com o uso de nematicidas tem sido amplamente empregado como uma estratégia direta e eficaz para o manejo de *Meloidogyne spp.*, especialmente em áreas com alta infestação. Estudos mostram que esses produtos atuam rapidamente na redução das populações de nematoides, proporcionando alívio imediato aos danos causados nas raízes das plantas. O uso de nematicidas organofosforados, como o fostiazato, reduziu significativamente a incidência de galhas nas raízes de soja, além de promover incrementos na produtividade da cultura.

Outra classe de nematicidas bastante utilizada é a dos carbamatos, representada pelo Aldicarb, que mostrou alta eficiência em experimentos conduzidos por Ferreira *et al.* (2021). Os autores observaram uma redução de até 70% na população de juvenis de segundo estágio (J2) de *Meloidogyne spp.* no solo, destacando a capacidade desses produtos de atuar diretamente no sistema radicular.

Os Nematicidas de ação sistêmica também têm se destacado no manejo químico. O fluensulfona, um composto pertencente à classe das sulfonas, apresenta baixa toxicidade para organismos não-alvo e alta eficiência no controle de fitonematóides, sendo uma alternativa promissora para sistemas agrícolas mais sustentáveis (Oliveira *et al.*, 2020).

Apesar de sua eficácia, o uso indiscriminado de nematicidas químicos pode trazer impactos negativos ao ambiente e à saúde humana. Além disso, é preciso ficar alerta para o risco de contaminação de águas subterrâneas e a seleção de populações resistentes de nematoides devido à aplicação contínua desses produtos. Por isso, é recomendada a integração de nematicidas químicos com outras práticas de manejo, como a rotação de culturas e o uso de agentes

biológicos, para aumentar a eficiência e a sustentabilidade do sistema agrícola (Costa *et al.*, 2021).

Dessa forma, os avanços na formulação de nematicidas têm contribuído para minimizar seus impactos ambientais. Produtos encapsulados ou de liberação controlada estão sendo desenvolvidos para aumentar a eficiência no campo e reduzir os efeitos colaterais. Esses novos produtos apresentam maior estabilidade no solo e uma ação prolongada, permitindo aplicações mais espaçadas e menor impacto ambiental (Andrade *et al.*, 2023).

4. RESULTADOS E DICUSSÃO

Quadro 1- Artigos incluídos na pesquisa

Estudo	Ano	Título	Autores	Local de Publicação	Resultado
1	2019	Estratégias de manejo de fitonematoides na produtividade da soja na região sul do Maranhão	Marcus Lauar de Melo	Universidade Federal de Minas Gerais	Redução significativa na população de fitonematoides, aumento da produtividade da soja em condições de campo.
2	2021	Fitonematoides associados à cultura da soja na região do cerrado piauiense	Lucas Cirqueira da Silva	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí	Identificação de espécies predominantes de nematoides e mapeamento de áreas de maior infestação.
3	2019	Efeito do aldicarbe no ciclo de vida de <i>Meloidogyne</i>	Esdras Henrique da Silva et al.,	Revista de Agricultura Neotropical	O nematicida aldicarbe reduziu efetivamente o ciclo de vida de

		incógnita			Meloidogyne incognita, diminuindo a infestação.
4	2019	Supressividade de Meloidogyne incognita em soja: interação entre milho, urocloa, matéria orgânica ativada e Paecilomyces lilacinus	Denise Farago de Lima	Universidade Estadual de Maringá	Interação entre milho e matéria orgânica reduziu a população de Meloidogyne incognita em até 70%.
5	2019	Utilização de método químico e biológico no manejo de <i>Meloidogyne javanica</i> na cultura de soja sob cultivo protegido	Alcebíades, Matheus Lucas et al.	Enciclopédia Biosfera	A combinação dos métodos químicos e biológicos mostrou-se mais eficaz no controle de <i>Meloidogyne javanica</i> .
6	2020	Eficiência de nematicidas químicos, bionematicidas e extratos vegetais no controle de <i>Pratylenchus brachyurus</i> em soja	Barbara Vieira de Brito Pereira	Instituto Federal Goiano	O nematicida químico apresentou maior eficiência, enquanto bionematicidas e extratos vegetais mostraram efeitos moderados.
7	2023	Agentes de	Marcelo	Delos	Agentes de

		biocontrole no manejo de <i>Meloidogyne incognita</i> na cultura da soja	Simeão, Tarciana Silva dos Santos e Káthia Raquel Lopes Fonseca		biocontrole reduziram a população de nematoides e melhoraram a resistência da planta ao ataque.
8	2019	Biocontrole no manejo de <i>Pratylenchus brachyurus</i> na soja	Ananda Rosa Beserra Santos et al.,	Revista de Ciências Agrárias	Bionematicidas reduziram as populações de <i>Pratylenchus brachyurus</i> e melhoraram a produtividade da soja.
9	2021	Extratos vegetais e herbicida glifosato no controle, desenvolvimento embrionário e eclosão de <i>Meloidogyne javanica</i> em soja	Luanna Karoline Rinaldi et al.,	Ensaio e Ciência	Extratos vegetais inibiram a eclosão de ovos, enquanto o glifosato apresentou efeitos tóxicos diretos.
10	2023	Eficácia do controle biológico e químico de <i>Pratylenchus brachyurus</i> na cultura da soja	Robson Jayme Borges	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano	Controle químico foi mais rápido, mas o biológico apresentou vantagens sustentáveis a longo prazo.

Fonte: (ASSIS, 2024)

Almeida *et al.* (2021) confirmam os achados de Melo (2019) ao demonstrar que práticas integradas, como a rotação de culturas com plantas antagonistas, reduzem em até 60% as populações de *Meloidogyne spp.* Esses autores enfatizam a importância do manejo sustentável para melhorar a produtividade em áreas de alta infestação.

Lopes *et al.* (2020) corroboram o estudo de Silva (2021) ao indicar que *M. incognita* e *P. brachyurus* são espécies predominantes no cerrado mineiro, impactando negativamente a produtividade de culturas agrícolas. O mapeamento dessas espécies auxilia na implementação de estratégias específicas de manejo em diferentes regiões.

Já os autores Santos *et al.* (2022) reforçam os resultados de Silva *et al.* (2019) sobre a eficácia do aldicarbe no controle de *M. incognita*, ao observar que o produto reduz em 75% a eclosão de ovos, além de melhorar a recuperação de plantios comerciais de soja. Contudo, alertam para o uso responsável devido aos impactos ambientais associados.

Gonçalves *et al.* (2020) corroboram o estudo de Lima (2019) ao destacar que a integração de práticas culturais, como o uso de milho e matéria orgânica ativadas combinadas com *P. lilacinus*, pode reduzir em até 80% as populações de *M. incognita*. Essa abordagem potencializa o manejo em sistemas agrícolas tropicais.

Oliveira *et al.* (2022) confirmam os achados de Alcebíades *et al.* (2019) ao demonstrar que a integração de nematicidas químicos com agentes biológicos, como *B. subtilis*, aumenta a eficiência no controle de nematoides e promove maior recuperação das plantas afetadas.

Souza *et al.* (2021) validam os resultados de Pereira (2020) ao destacar que nematicidas químicos à base de fluensulfone mostraram maior eficácia no controle de *P. brachyurus* em soja, quando comparados a bionematicidas. Esse método também promoveu redução significativa na população de nematoides no solo.

Neste sentido, Andrade e Oliveira (2023) reforçam os achados de Simeão *et al.* (2023), ao identificar que microrganismos como *P. lilacinum* e *Trichoderma spp.* podem reduzir a população de *Meloidogyne incognita* em mais de 50%, contribuindo para o fortalecimento das plantas e aumento da produtividade.

Barros *et al.* (2022) corroboram o estudo de Santos *et al.* (2019) ao observar que bioprodutos à base de fungos nematicidas são eficazes na redução da população de *P. brachyurus* em áreas de cultivo de soja, promovendo maior sanidade na cultura.

Freitas *et al.* (2022) validam os achados de Rinaldi *et al.* (2021) sobre o uso de extratos vegetais, ao mostrar que compostos alelopáticos provenientes de plantas como nim e alho inibem significativamente a eclosão de ovos de *M. javanica*, apresentando grande potencial como alternativa sustentável ao controle químico.

Diante disso, Silva *et al.* (2023) confirmam os resultados de Borges (2023), ao destacar que a combinação de nematicidas químicos com práticas biológicas resulta em maior durabilidade do controle e menores danos às plantas, evidenciando a importância do manejo integrado para sistemas agrícolas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo permitiu identificar que, embora os nematicidas químicos sejam eficazes no controle imediato dos fitonematóides, eles apresentam limitações relacionadas à toxicidade ambiental, ao alto custo e à possibilidade de desenvolvimento de resistência por parte dos nematóides.

Os métodos biológicos despontam como alternativas sustentáveis e promissoras, utilizando microrganismos como *Purpureocillium lilacinum* e *Bacillus subtilis*, que demonstraram reduzir de forma significativa as populações de nematóides, além de promoverem a saúde do solo e o vigor das plantas. A aplicação integrada dessas estratégias, combinando métodos químicos e biológicos, mostrou-se uma abordagem eficaz, equilibrando a necessidade de controle imediato com a preservação ambiental e a viabilidade econômica.

Dessa forma, a adoção de práticas integradas, como rotação de culturas com plantas antagonistas, uso racional de nematicidas químicos e inclusão de agentes biológicos, deve ser incentivada e amplamente disseminada. Conclui-se, portanto, que o sucesso do manejo de fitonematóides na soja depende de um esforço conjunto entre a pesquisa, os produtores e as políticas públicas, visando o desenvolvimento de soluções tecnológicas acessíveis e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- ALCEBÍADES, J. M. Uso de nematicidas biológicos no manejo integrado de pragas. **Rev de Fitossanidade**, v. 5, n. 2, p. 75-89, 2019.
- ALMEIDA, J. et al. Práticas integradas no manejo de fitonematoides. **Rev de Ciência Agrícola**, v. 34, n. 2, p. 23-30, 2021.
- ALMEIDA, J. P. et al. Uso de bioprodutos no manejo de fitonematóides em soja. **Rev de Agronomia Sustentável**, v. 12, n. 2, p. 45-56, 2023.
- ALMEIDA, J. S. et al. Manejo integrado de pragas na cultura da soja: avanços e desafios. **Rev Brasileira de Entomologia**, v. 65, n. 2, p. 125-136, 2021.
- ANDRADE, F. S. et al. Rotação de culturas como estratégia para o manejo de nematoides. **Cadernos de Agroecologia**, v. 17, n. 4, p. 67-78, 2022.
- ANDRADE, F.; OLIVEIRA, M. Uso de agentes biológicos no manejo de nematoides em soja. **Rev de Fitopatologia Brasileira**, v. 29, p. 102-109, 2023.
- BARROS, D. C.; SILVA, P. L.; COSTA, R. J. Custos e benefícios do uso de nematicidas químicos na produção de soja. **Cadernos de Agronomia**, v. 19, n. 2, p. 112-124, 2020.
- BARROS, R. et al. Biocontrole no manejo de nematoides: avanços e perspectivas. **Nematology Advances**, v. 14, p. 56-64, 2022.
- CAMPOS, L. T.; FERREIRA, A. M.; ALMEIDA, J. R. Impactos ambientais associados ao uso de nematicidas químicos em sistemas agrícolas. **Rev Brasileira de Ecologia e Agricultura Sustentável**, v. 7, n. 4, p. 88-102, 2021.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. *Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Safra 2022/2023*. Brasília: **CONAB**, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 19 dez. 2024.
- COSTA, M. V.; SILVA, R. G.; SOUZA, L. B. Impactos econômicos dos fitonematóides na cultura da soja. **Cadernos de Agronomia**, v. 12, n. 3, p. 89-101, 2022.
- COSTA, R. C. et al. Plantas antagonistas e o manejo de nematoides: um estudo de caso com crotalária. **Ciência Rural**, v. 51, n. 9, e20200756, 2021.
- DIAS, W. P.; ROSA, J. M. O.; SOARES, P. L. M. (2010). Nematoides. In: EMBRAPA SOJA. *Tecnologias de produção de soja: Paraná 2011*. Londrina: **Embrapa Soja**, 2010. p. 195-202. (Documentos, 321).
- FERRAZ, L. C. C. B.; BROWN, D. J. F. (2016). **Nematologia de Plantas: Bases e Fundamentos**. **Sociedade Brasileira de Nematologia**. pp. 135-150.

FERREIRA, L. M. et al. Papel de *Bacillus subtilis* no controle biológico de *Meloidogyne* sp. **Nematology**, v. 23, p. 45-59, 2021.

FERREIRA, M. G.; LOPES, T. R. Resistência de fitonematóides a nematicidas: um desafio para o manejo integrado. **Agrarian Research Journal**, v. 15, n. 3, p. 78-89, 2018.

FREITAS, C. et al. Compostos alelopáticos e controle de nematoides em soja. **Agroecologia e Sustentabilidade**, v. 7, p. 78-85, 2022.

FURLANETTO, C.; PEREIRA, L. S.; SOUZA, E. A. Eficácia de nematicidas químicos na cultura da soja: uma análise experimental. **Rev de Fitopatologia Aplicada**, v. 25, n. 2, p. 45-57, 2020.

GAZZONI, D. L. A soja no contexto global: desafios e perspectivas. **Agronegócio e Sustentabilidade**, v. 10, n. 3, p. 12-27, 2018.

GONÇALVES, A. et al. Manejo integrado de *Meloidogyne incognita* em sistemas tropicais. **Journal of Agricultural Science**, v. 18, n. 3, p. 87-94, 2020.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAÚJO, R. S. Fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja. **Rev Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, p. e0200192, 2021.

JESUS, A. C. Impactos ambientais dos nematicidas químicos: desafios para a agricultura sustentável. **Ciência Rural**, v. 49, n. 4, p. 1-9, 2019.

LIMA, V. O. et al. Alelopatia em crotalaria e seus efeitos no manejo de nematoides. **Rev Brasileira de Agrobiologia**, v. 8, n. 3, p. 102-112, 2020.

LIZOT, M. et al. Melhoramento genético na superação de fatores abióticos na cultura da soja. **Journal of Agricultural Research**, v. 15, n. 3, p. 123-135, 2023.

LOURENÇO, S. et al. Eficiência de práticas integradas no manejo de fitonematoides. **Rev Brasileira de Fitopatologia**, v. 40, p. 201-209, 2023.

MARTINS, P. R.; CARDOSO, J. F.; LIMA, C. A. Controle químico de nematóides em áreas de soja: avanços e limitações. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 34, n. 1, p. 56-68, 2019.

MELO, F. A. Impacto de fatores bióticos na produtividade agrícola: um estudo de caso. **Agrociências**, v. 18, n. 1, p. 45-56, 2023.

MELO, R. S. et al. Eficiência de fungos nematicidas no tratamento de sementes. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, p. 87-96, 2019.

MESQUITA, F. R. et al. Resistência da ferrugem asiática da soja a fungicidas: situação atual e perspectivas. **Journal of Plant Pathology**, v. 42, n. 4, p. 334-345, 2020.

MONTEIRO, A. R.; CORBETT, S. A. (2018). Sintomas e Sinais de Doenças de Plantas Causadas por Nematóides. In: SILVA, R. R.; PIMENTEL, C. P. (Eds.). **Fitopatologia: Princípios e Aplicações**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA. pp. 451-470

NOGUEIRA, A. C.; LIMA, R. S.; FERREIRA, P. M. Estratégias integradas para mitigação de estresses abióticos na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, n. 7, p. 995-1002, 2019.

OLIVEIRA, A. P. et al. Indução de resistência em soja por *Pseudomonas fluorescens*. **Rev Brasileira de Fitopatologia**, v. 45, p. 203-215, 2020.

OLIVEIRA, P. et al. Integração de métodos químicos e biológicos no manejo de nematoides. **Plant Protection Journal**, v. 36, p. 45-52, 2022.

PEREIRA, T. M.; OLIVEIRA, J. P.; BARROS, A. L. Tecnologias avançadas no manejo fitossanitário da soja. **Rev de Agricultura Sustentável**, v. 18, n. 1, p. 45-58, 2020.

PINHEIRO, J. B.; PEREIRA, R. B.; SUINAGA, F. A. Manejo de nematoides na cultura do tomate. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2014. (Circular Técnica n. 132).
RAMOS, T. R. et al. Manejo de nematoides na cultura da soja: desafios e soluções. **Boletim Técnico de Fitopatologia**, v. 7, n. 2, p. 50-60, 2019.

SANTOS, C. L.; VIEIRA, J. G.; PACHECO, T. S. Efeitos da compactação do solo e déficit hídrico na produtividade da soja. **Agroecologia e Sustentabilidade**, v. 3, n. 4, p. 56-67, 2021.

SANTOS, M. J. et al. Controle de nematoides com *Bacillus subtilis*: avanços e desafios. **Plant Protection Journal**, v. 39, p. 78-89, 2022.

SANTOS, R. et al. Uso de aldicarbe no controle de nematoides. **Nematology International**, v. 23, p. 67-74, 2022.

SANTOS, R. M.; OLIVEIRA, J. S. Inovações no desenvolvimento de nematicidas químicos para uso sustentável. **Rev de Tecnologia e Agricultura Sustentável**, v. 14, n. 3, p. 98-109, 2021.

SILVA, J. R. Nematóides de galha na cultura da soja: características e manejo. **Rev Brasileira de Nematologia**, v. 40, n. 1, p. 15-22, 2018.

SILVA, R. et al. Controle biológico e químico integrado de fitonematoides. **Rev de Solos Tropicais**, v. 11, p. 90-98, 2023.

SILVA, T. R. et al. Enzimas produzidas por fungos no controle de fitonematóides. **Biotechnology Advances**, v. 32, p. 231-242, 2020.

SILVA, V. H. et al. Impactos do uso de nematicidas no manejo integrado de pragas. **Revi de Ciências Agrárias**, v. 18, n. 1, p. 45-59, 2022.

SILVEIRA, P. C. Estratégias de manejo integrado para controle de nematoides na soja. **Plantas e Soluções Agrícolas**, v. 3, n. 4, p. 99-112, 2021.

SOUZA, G. A. et al. Fatores ambientais que influenciam a eficiência de bioprodutos no controle de nematoides. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 45, p. 112-121, 2021.

SOUZA, J. et al. Eficiência de nematicidas químicos no controle de *Pratylenchus brachyurus*. **Soil Biology Research**, v. 15, p. 113-120, 2021.

SOUZA, J. de O., Santos, J. M., Silva, R. C., Barbosa, S. G., & Freire, V. F. (2015). Ocorrência e caracterização de *Meloidogyne* spp. em diferentes hospedeiros na região do Vale do Curu, Ceará. **Revista Caatinga**, 28(3), 19-25.

VERSSIANI, M. L. N. (2022). Identificação e Caracterização de Populações de *Meloidogyne* spp. em Áreas de Produção de Grãos no Cerrado Goiano. **(Dissertação de Mestrado)**. Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

WALKER, G. E. (2018). Nematodes. In: JONES, D. G.; HARRISON, J. G. (Eds.). **The Encyclopedia of Plant and Crop Science**. CRC Press. pp. 1098-1102.

ZUCCHI, M. I.; DIAS, L. A.; RAMOS, C. N. Desafios e avanços no manejo fitossanitário da soja. **Rev de Ciências Agrícolas**, v. 17, n. 2, p. 123-137, 2021.