UNIVERSIDADE DE SOROCABA
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO E ASSUNTOS ESTUDANTIS
CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

Fabrício Pacheco
Maurício de Almeida Oliveira

AVALIAÇÃO DO CONTROLE QUÍMICO E BIOLÓGICO DE NEMATÓIDES NA CENOURA *(DAUCUS CAROTA L.)*

Sorocaba/SP
2025

FABRÍCIO PACHECO
MAURÍCIO DE ALMEIDA OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DO CONTROLE QUÍMICO E BIOLÓGICO DE NEMATÓIDES NA CENOURA *(DAUCUS CAROTA L.)*

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do Diploma de Graduação em Engenharia Agronômica, da Universidade de Sorocaba.

Orientador: Prof.ª Me. Paula Castanho Borges de Ávila

Sorocaba/SP
2025

FABRÍCIO PACHECO
MAURÍCIO DE ALMEIDA OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DO CONTROLE QUÍMICO E BIOLÓGICO DE NEMATÓIDES NA CENOURA *(DAUCUS CAROTA L.)*

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do Diploma de Graduação em Engenharia Agronômica, da Universidade de Sorocaba.

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. (a) Me. (a) Paula Castanho Borges de Ávila
Universidade de Sorocaba

Prof. (a) Dr. (a) Lucas Mateus Rivero Rodrigues
Universidade de Sorocaba

Prof. (a) Dr. (a) Heitor Zochio Fischer
Universidade de Sorocaba

Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo o propósito debaixo do céu: tempo de nascer, e tempo de morrer; tempo de plantar, e tempo de arrancar o que se plantou.

(BÍBLIA. Eclesiastes, 3:1-2).

AGRADECIMENTOS

A Deus, por nos conceder saúde, força e sabedoria ao longo de toda nossa caminhada acadêmica.

Às nossas famílias, pelo apoio incondicional, carinho, paciência e incentivo constante, fundamentais para a superação dos desafios vivenciados durante a graduação.

Agradecemos aos professores do curso de Engenharia Agronômica da Universidade de Sorocaba, pelo comprometimento com a formação dos alunos e pelo compartilhamento de seus conhecimentos ao longo dessa trajetória.

Em especial, agradecemos à Professora Me. Paula Castanho Borges de Ávila, da Universidade de Sorocaba, pela orientação, dedicação e valiosas contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Dr. Lucas Mateus Rivero Rodrigues, pela atenção, sugestões técnicas e apoio prestado durante a elaboração deste estudo.

Ao Professor Dr. Heitor Zochio Fischer, pelas contribuições relevantes e incentivo ao aprimoramento deste trabalho.

A todos que, de alguma forma, colaboraram direta ou indiretamente com a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso, registramos aqui a nossa sincera gratidão.

RESUMO

A cenoura (*Daucus carota L*.) é uma hortaliça de elevada importância econômica e nutricional, amplamente cultivada no Brasil. Contudo, sua produtividade pode ser severamente comprometida pela infestação de nematoides fitoparasitas, principalmente os do gênero *Meloidogyne*, responsáveis por deformações radiculares e perdas significativas na qualidade comercial das raízes. Diante disso, estratégias de controle desses patógenos tornam-se indispensáveis. O presente trabalho consistiu em uma revisão sistemática da literatura, com o objetivo de analisar e comparar métodos de controle químico e biológico aplicados à cultura da cenoura. Foram consultadas bases de dados como *SciELO, Web of Science, Scopus, Google Scholar* e o Portal de Periódicos da CAPES, utilizando descritores em português e inglês. A análise revelou que ambos os métodos apresentam eficácia na redução da população de nematoides e na melhoria dos parâmetros agronômicos da cultura. No entanto, o controle biológico destaca-se por seus benefícios ambientais e pela promoção da saúde do solo, enquanto o controle químico demanda atenção quanto à resistência dos patógenos e à toxicidade dos ingredientes ativos. Assim, o manejo integrado, que combina ambas as estratégias, é recomendado como alternativa viável e sustentável para o controle de nematoides na cultura da cenoura.

Palavras-chave: Agentes biológicos; Literatura; fitoparasitas; *Meloidogyne*; Controle biológico; Manejo integrado; Nematicidas.

ABSTRACT

Carrot (*Daucus carota L*.) is a horticultural crop of significant economic and nutritional importance, widely cultivated in Brazil. However, its productivity can be severely affected by infestations of plant-parasitic nematodes, particularly those of the *Meloidogyne* genus, which cause root deformities and substantial losses in commercial root quality. Therefore, strategies for managing these pathogens are essential. This study consisted of a systematic literature review aimed at analyzing and comparing chemical and biological control methods applied to carrot crops. Databases such as SciELO, Web of Science, Scopus, Google Scholar, and the CAPES Journal Portal were consulted using keywords in both Portuguese and English. The analysis revealed that both control methods are effective in reducing nematode populations and improving agronomic performance. However, biological control stands out due to its environmental benefits and positive impact on soil health, while chemical control requires caution due to the risk of resistance development and the toxicity of active ingredients. Thus, integrated management, combining both strategies, is recommended as a viable and sustainable alternative for nematode control in carrot production.

Keywords: Biological agents; Literature; Phytoparasites; Meloidogyne; Biological control; Integrated management; Nematicides.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANOVA	Análise de Variância
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEAGESP	Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo
CEASA	Centrais de Abastecimento
DBC	Delineamento em Blocos ao Acaso
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
FAO	*Food and Agriculture Organization*
FR	Fator de reprodução
IMO	Índice de massa de ovos
J2	Juvenil de segundo estádio
MIP	Manejo Integrado de Pragas
MIN	Manejo Integrado de Nematoides
PCR	Reação em Cadeia da Polimerase
pH	Potencial Hidrogeniônico
UFV	Universidade Federal de Viçosa

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração do ciclo biológico do *Meloidogyne* (nematoide das galhas) exemplificando a vida de um nematoide endoparasita.....16
Figura 2 - Bifurcações e deformações em cenoura: outros sintomas que podem ocorrem nas raízes devido ao ataque do nematoide-das-galhas.....18

TABELAS E GRÁFICOS

Tabela 1 - Produção mundial de cenoura em 2023.....15
Tabela 2 - Principais estados produtores de cenoura no Brasil em 2023 e municípios destacados.....15
Tabela 3 - Síntese dos estudos experimentais utilizados na revisão.....30

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 11
2. OBJETIVOS 12
2.1 Objetivos Específicos 13
3. REVISÃO DE LITERATURA 13
3.1 Importância Econômica Da Cultura Da Cenoura (*Daucus Carota L.*) 13
3.2 Principais Nematoides que afetam a Cenoura 16
3.3 Danos causados pelos nematoides na cenoura 17
3.4 Métodos de controle de nematoide 19
3.4.1 Controle químico 21
3.4.2 Controle biológico 22
3.4.3 Controle genético 23
3.5 Comparações entre os métodos de controle 25
3.6 Avanços recentes e perspectivas sustentáveis para o manejo de nematoides na horticultura.... 26
4. MATERIAIS E MÉTODOS 28
4.1 Estratégia de busca 28
4.2 Palavras-chave e operadores booleanos 28
4.3 Critérios de inclusão e exclusão 29
4.4 Processo de seleção dos estudos 29
5. RESULTADO E DISCUSSÕES 31
6. REFERÊNCIAS 33

1. INTRODUÇÃO

A cenoura (*Daucus carota L.*) é uma das hortaliças de maior importância econômica e nutricional no Brasil e no mundo. Devido à sua riqueza em vitaminas, como a vitamina A, e minerais, como o potássio, além das fibras dietéticas, é amplamente consumida tanto in natura quanto em diversos preparos alimentares. No Brasil, a produção de cenoura é concentrada em estados como São Paulo, Minas Gerais e Paraná, com destaque para o grande volume produzido no país (FAO, 2020). No entanto, a cultura da cenoura enfrenta desafios fitossanitários que afetam diretamente a produtividade e a qualidade da raiz, entre eles os nematóides fitopatogênicos, que comprometem a saúde das raízes, levando a perdas econômicas significativas.

Os nematóides fitopatogênicos, especialmente os gêneros *Meloidogyne* (nematóide-das-galhas) e *Pratylenchus* (nematóide das raízes), têm sido identificados como as principais ameaças à cultura da cenoura. Esses organismos microscópicos atacam as raízes das plantas, formando galhas e necroses que prejudicam a absorção de água e nutrientes, resultando em uma redução significativa no desenvolvimento das plantas e na qualidade das raízes. Estima-se que áreas de cultivo infestas por nematoides podem sofrer perdas superiores a 30% na produção (SANTOS *et al*., 2018). O impacto dessas pragas nas lavouras de cenoura é um dos principais fatores que contribuem para a redução da produtividade e, consequentemente, para a diminuição da qualidade do produto final.

Diante desse cenário, o controle de nematóides na cultura da cenoura é essencial para garantir a produtividade e a qualidade do produto. O controle químico tem sido, por muitos anos, a principal estratégia utilizada pelos produtores para combater esses patógenos. O uso de nematicidas à base de compostos como clorofoss, carbamatos e organofosforados demonstrou eficácia na redução das populações de nematóides, controlando principalmente as formas juvenis e os ovos dos patógenos. No entanto, o uso contínuo de produtos químicos levanta preocupações ambientais e de saúde, incluindo a resistência dos nematóides aos compostos, a contaminação do solo e das águas e o impacto negativo na biodiversidade do solo (GOMES *et al*., 2020; SILVA *et al*., 2019).

Como alternativa ao controle químico, o controle biológico tem se mostrado promissor e sustentável. Esse método envolve o uso de organismos vivos, como

fungos, bactérias e nematóides predadores, para reduzir as populações de nematóides no solo. O fungo *Paecilomyces lilacinus* é um exemplo de agente biológico amplamente estudado e utilizado para o controle de nematóides, pois possui a capacidade de parasitar os ovos e as larvas dos nematóides fitopatogênicos, interrompendo seu ciclo de vida e reduzindo a infestação no solo. Além disso, nematóides predadores do gênero *Steinernema* e bactérias do gênero *Bacillus* também têm demonstrado eficácia no controle de nematóides, oferecendo uma alternativa eficiente e ambientalmente amigável (MARTINS *et al.*, 2019; PEREIRA *et al.*, 2021; OLIVEIRA *et al*., 2020).

O controle biológico, embora promissor, enfrenta desafios relacionados à eficácia em diferentes condições ambientais e à necessidade de estudos mais aprofundados sobre as melhores práticas de aplicação dos agentes biológicos. Fatores como temperatura, umidade e interação com outros microrganismos do solo influenciam diretamente o sucesso do controle biológico, sendo essencial que mais pesquisas sejam realizadas para otimizar essas práticas (MARTINS *et al*., 2019). Portanto, a implementação de uma abordagem integrada, que combine tanto métodos químicos quanto biológicos, pode representar uma estratégia eficaz no manejo de nematóides, preservando o equilíbrio ecológico e garantindo a sustentabilidade da produção agrícola de cenoura.

Por fim, a crescente demanda por práticas agrícolas sustentáveis, que reduzam o impacto ambiental e promovam a saúde do solo, tem incentivado o desenvolvimento de alternativas ao controle químico de nematóides. A utilização de agentes biológicos, aliada ao uso racional de nematicidas, pode representar uma solução viável para o manejo eficiente de nematóides, com benefícios tanto para a produtividade quanto para o meio ambiente.

2. OBJETIVOS

Avaliar, por meio de uma revisão sistemática da literatura científica, a eficácia dos métodos de controle químico e biológico de nematoides do gênero *Meloidogyne* na cultura da cenoura (*Daucus carota L*.), destacando os efeitos desses métodos na redução da população dos patógenos, no desenvolvimento agronômico das plantas e na sustentabilidade dos sistemas de produção.

2.1 Objetivos Específicos

- Identificar as principais espécies de nematoides do gênero *Meloidogyne* que afetam a cultura da cenoura;
- Descrever os danos agronômicos e econômicos causados pelos nematoides na cultura da cenoura;
- Inventariar os principais métodos químicos utilizados no controle de *Meloidogyne spp.* na cenoura, com ênfase nos ingredientes ativos e formas de aplicação;
- Apresentar os agentes biológicos mais utilizados no controle de nematoides, destacando sua eficácia e mecanismos de ação;
- Comparar a eficiência dos métodos de controle químico e biológico quanto à redução populacional de nematoides e à melhoria do desempenho agronômico da cenoura;
- Avaliar os impactos ambientais associados a cada método de controle, com foco na sustentabilidade do sistema produtivo;
- Discutir as vantagens do manejo integrado de nematoides como alternativa sustentável para a cultura da cenoura.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Importância Econômica Da Cultura Da Cenoura (*Daucus Carota L.)*

A cenoura (*Daucus carota L.*), pertencente à família Apiaceae, é uma hortaliça de grande relevância para a agricultura brasileira, tanto pela sua importância nutricional quanto econômica. Sua raiz, com a característica cor alaranjada, é rica em betacaroteno, um precursor da vitamina A, essencial para a saúde humana. A cultura da cenoura é cultivada em diversas regiões do Brasil e, devido ao desenvolvimento de cultivares adaptadas, consegue se adaptar a diferentes condições climáticas, o que a torna uma cultura bastante versátil, mesmo em temperaturas mais extremas (LOPES; REIS, 2016; NICK; BORÉM, 2016).

Com um ciclo de cultivo curto, que pode variar entre 85 a 120 dias, dependendo da variedade e das condições climáticas, a cenoura é uma das hortaliças mais cultivadas no Brasil. Seu consumo é expressivo tanto na forma in natura quanto em

produtos industrializados. De acordo com dados da Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP), a cenoura ocupa a terceira posição entre as hortaliças mais comercializadas no Brasil, atrás apenas do tomate e da batata (LOPES; REIS, 2016).

A produção brasileira de cenoura abrange cerca de 28 mil hectares anualmente, com uma estimativa de 800 mil toneladas produzidas. As regiões Sudeste, Sul e Nordeste destacam-se como as mais produtivas, sendo favorecidas pelo clima ameno, com temperaturas médias entre 18 e 25°C (FILGUEIRA, 2007; VILELA; BORGES, 2008). A cultura da cenoura não só atende à demanda alimentar, mas também impulsiona a economia rural, gerando empregos ao longo de todo o ciclo produtivo, desde o plantio até a comercialização.

Na região Nordeste prevalece o uso das cultivares de verão, que são adaptadas a altas temperaturas. Nesta região, predomina o plantio da cultivar “Brasília” e alcança todos os Estados nordestinos, com cultivos realizados durante todo o ano (Vilela & Borges, 2008). Nas demais regiões do país utilizam-se tradicionalmente as cultivares e híbridos importados do grupo “Nantes” (nos períodos de outono e inverno) e as cultivares dos grupos “Brasília” (exemplos: BRS Alvorada, BRS Planalto e BRS Esplanda) e “Kuroda” (na primavera e verão) (Reghin & Duda, 2000; Vieira *et al*., 2012; Embrapa, 2014).

As cultivares predominantes para a produção comercial a nível mundial incluem o grupo varietal “Nantes” para a Europa, “Kuroda” para a Ásia, “Brasília” para o Brasil e “Imperador” para a América do Norte (Simon *et al*., 2008). Atualmente a China é o país com maior produção de cenouras, seguida pelo Rússia, Estados Unidos, Uzbequistão, Polônia, Ucrânia, Brasil, Turquia, Marrocos Reino Unido, Japão, França e Alemanha (tabela 1). Da produção total, de cerca de 35,6 milhões de toneladas em 2011 (FAO, 2013), a participação da China é de 45,5% e da Rússia é de 4,8% (Varmudy, 2014).

Tabela 1 - Produção mundial de cenoura em 2023.

Posição	País	Produção (toneladas)
1º	China	23.837.000
2º	Uzbequistão	3.090.800
3º	Estados Unidos	2.246.900
4º	Rússia	1.528.200
5º	Ucrânia	905.570
6º	Reino Unido	904.480
7º	Alemanha	826.700
8º	Indonésia	764.990
9º	Cazaquistão	673.250
10º	Polônia	654.400

Fonte: ReportLinker, 2023.

Tabela 2 - Principais estados produtores de cenoura no Brasil em 2023 e municípios destacados.

Posição	Estado	Municípios destaques
1º	Minas Gerais	São Gotardo, Santa Juliana e Carandaí
2º	São Paulo	Piedade, Ibiúna e Mogi das Cruzes
3º	Paraná	Marilândia do Sul e Nova Santa Bárbara
4º	Goiás	Cristalina, São Gotardo (GO)
5º	Rio Grande do Sul	Caxias do Sul e Marau
6º	Bahia	Irecê e João Dourado
7º	Rio de Janeiro	Campos dos Goytacazes e São Francisco de Itabapoana

Fonte: IBGE, 2023.

Além de seu valor nutricional, a cenoura tem grande importância para a indústria alimentícia, sendo utilizada na produção de sucos, conservas, alimentos congelados e outros produtos derivados. A maior parte da produção é destinada às Centrais de Abastecimento (CEASA), que distribuí a cenoura para supermercados e outros pontos de venda (NICK; BORÉM, 2016).

Contudo, a produção de cenoura enfrenta desafios, como o controle de pragas e doenças, sendo as doenças causadas por nematoides uma das mais problemáticas. Para garantir a qualidade das raízes e a rentabilidade do cultivo, é imprescindível um manejo fitossanitário adequado (VIEIRA *et al*., 2008; NICK; BORÉM, 2016).

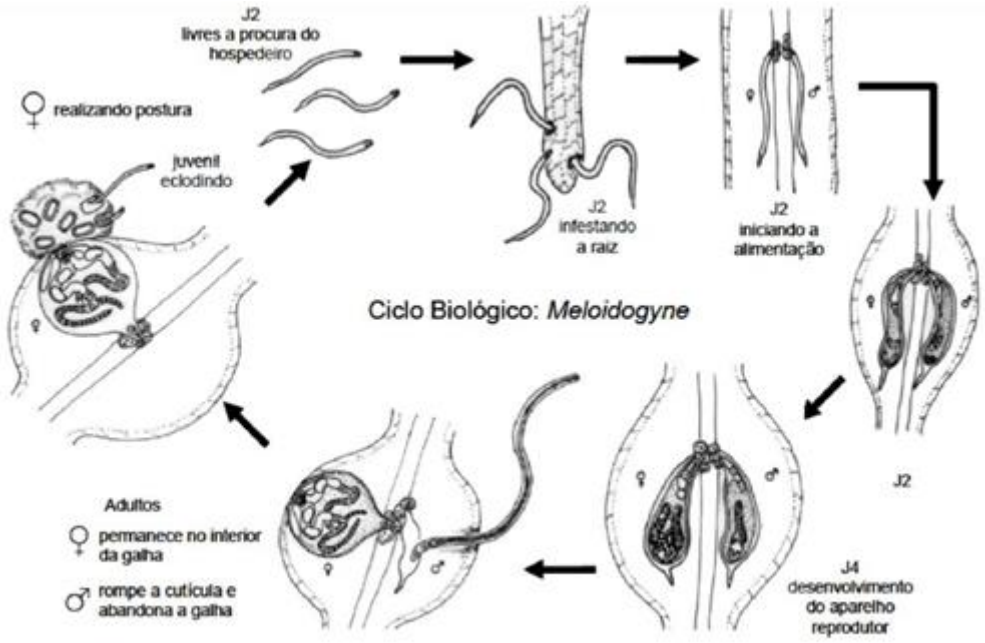
A literatura especializada sobre a cenoura ainda é escassa, o que justifica a importância de pesquisas sobre essa cultura. Este estudo busca preencher essa lacuna, oferecendo informações abrangentes sobre o cultivo da cenoura, com foco no manejo adequado do solo, controle de pragas, doenças e processos de comercialização, fornecendo um suporte valioso para agrônomos, produtores rurais e profissionais do setor (FONTES; NICK, 2019).

3.2 Principais Nematoides que afetam a Cenoura

O gênero *Meloidogyne* inclui mais de 100 espécies, sendo capaz de parasitar mais de 3000 espécies de plantas (HUNT; HANDOO, 2009; TRUDGILL; BLOK, 2001). Esses nematoides são amplamente distribuídos ao redor do mundo, com maior ocorrência em regiões tropicais e temperadas (MOENS et al., 2009). No Brasil, as espécies mais comumente encontradas são: *Meloidogyne incognita*, *Meloidogyne javanica*, *Meloidogyne arenaria*, *Meloidogyne hapla*, *Meloidogyne exigua*, *Meloidogyne paranaensis*, *Meloidogyne enterolobii* (também conhecida como *Meloidogyne mayaguensis*), *Meloidogyne ethiopica* e *Meloidogyne coffeicola* (CARNEIRO *et al.,* 1996a; 1996b; 2000; 2004; CASTRO *et al*., 2003; COFCEWICZ *et al.*, 2004; FERREIRA, 2008; MUNIZ *et al*., 2008; SANTOS *et al.,* 2012).

Esses nematoides, conhecidos como nematoides-de-galhas radiculares, são parasitas endoparasitas e sedentários. Após a deposição dos ovos pelas fêmeas, eclodem larvas de segundo estádio (J2), que penetram nas raízes da planta.

Figura 1 - Ilustração do ciclo biológico do *Meloidogyne* (nematoide das galhas) exemplificando a vida de um nematoide endoparasita.



Fonte: TORRES *et al*., 2008.

Esses juvenis formam um ponto fixo de alimentação dentro das células das raízes, causando alterações significativas, como o aumento de organelas, núcleos e

espessamento das paredes celulares, criando o que são chamadas de células gigantes (BALDACCI-CRESP *et al*., 2015). Essas modificações afetam tanto o transporte de nutrientes quanto o fluxo de água na planta, prejudicando seu desenvolvimento. Além disso, o bloqueio dos vasos do xilema e floema impede o transporte de substâncias essenciais, como fotoassimilados e água, levando à redução do crescimento das plantas e à morte de tecidos vegetais (SIDDIQUI *et al*., 2014).

O sintoma mais visível da infecção é a formação de galhas nas raízes, estruturas protuberantes formadas pelo aumento do número de células devido à ação do nematoide. Essas galhas são locais onde as fêmeas do nematoide ficam localizadas, e podem ser abertas para a observação de fêmeas imaturas. As plantas afetadas por nematoides do gênero *Meloidogyne* geralmente apresentam crescimento anormal, folhas amareladas e raízes deformadas, com redução no número de raízes finas. Esse tipo de dano afeta diretamente a qualidade de produtos agrícolas, como a cenoura, a batata e a beterraba (PINHEIRO *et al.*, 2010).

Devido à importância econômica dos nematoides-de-galhas, é essencial realizar a identificação correta das espécies envolvidas. Tradicionalmente, a identificação morfológica foi amplamente utilizada, com foco na análise do padrão perineal das fêmeas (SEESSAO *et al*., 2016). Nos últimos anos, métodos alternativos, como a eletroforese de isoenzimas, tornaram-se mais comuns. Mais recentemente, as técnicas moleculares baseadas em DNA, que são mais precisas e acessíveis, têm sido cada vez mais empregadas para identificar essas espécies. A integração dessas técnicas moleculares com outros métodos diagnósticos tem se mostrado promissora (OLIVEIRA *et al*., 2011).

3.3 Danos causados pelos nematoides na cenoura

A cenoura, uma hortaliça amplamente cultivadas em diversas regiões, é frequentemente afetada por nematoides, organismos microscópicos que podem ocasionar danos consideráveis à cultura. O nível de prejuízo gerado por esses nematoides pode variar entre 20% e 100%, dependendo da intensidade da infestação, da suscetibilidade da variedade cultivada, das condições ambientais (como temperatura e umidade) e do tipo de solo (SIKORA; FERNÁNDEZ, 2005).

Figura 2 - Bifurcações e deformações em cenoura: outros sintomas que podem ocorrem nas raízes devido ao ataque do nematoide-das-galhas.

Fonte: JADIR B. P.,2012.

Estima-se que mais de 90 espécies de nematoides estejam associadas à cultura da cenoura, pertencendo a gêneros como *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Longidorus*, *Paratylenchus*, *Belonolaimus*, *Paratrichodorus*, *Rotylenchus*, *Ditylenchus* e *Hemicycliophora* (DAVIS; RAID, 2002; WALKER, 2004). As espécies *Meloidogyne javanica* e *M. incognita* são as mais comuns no Brasil, sendo que recentemente uma nova espécie, *Meloidogyne polycephannulata*, foi identificada associada à cenoura (CHARCHAR *et al*., 2009).

O ataque de nematoides reduz a produtividade e compromete a qualidade das raízes, provocando deformações como galhas, rachaduras e bifurcações. Esses danos afetam diretamente a classificação comercial da cenoura, resultando na rejeição das raízes afetadas pelos mercados (PINHEIRO; HENZ, 2008). Além disso, a presença de nematoides impede a absorção de nutrientes essenciais pelas raízes, o que leva ao subdesenvolvimento da planta e ao amarelecimento das folhas.

A disseminação desses organismos é facilitada por atividades que envolvem a movimentação do solo, como o uso de máquinas agrícolas. Resíduos contaminados podem ser transportados por pneus, implementos e até mesmo calçados. A irrigação com água contaminada também contribui para a propagação dos nematoides (LORDELLO, 1984). Após a introdução desses patógenos no solo, a erradicação torna-se extremamente difícil, o que torna a prevenção e o controle precoce fundamentais.

O controle eficaz dos nematoides exige um manejo integrado, utilizando diversas estratégias. Entre as medidas recomendadas estão a rotação de culturas, o uso de variedades resistentes, o controle biológico e o manejo físico do solo. Essas práticas ajudam a reduzir a população de nematoides a níveis que não causam danos econômicos. A rotação de culturas, por exemplo, é uma técnica amplamente utilizada, embora seja necessário planejar adequadamente, pois algumas culturas podem selecionar para nematoides específicos. O uso de variedades resistentes também é uma prática recomendada, apesar das limitações de produtividade em alguns genótipos (FERRAZ *et al*., 2010).

O controle biológico, por sua vez, utiliza organismos benéficos, como fungos e bactérias, que atuam na redução da população de nematoides. A solarização do solo e a biofumigação também são técnicas eficientes, embora exigem uma avaliação cuidadosa da viabilidade técnica e econômica para a adoção dessas estratégias (CAMPOS *et al.*, 2001; FERRAZ *et al*., 2010).

3.4 Métodos de controle de nematoide

A cultura da cenoura (*Daucus carota L.*) é de significativa importância econômica e nutricional no Brasil, sendo amplamente cultivada em diversas regiões do país. No entanto, sua produção enfrenta desafios fitossanitários, destacando-se a infestação por nematoides-das-galhas, principalmente das espécies *Meloidogyne incognita* e *Meloidogyne javanica*, que causam deformações nas raízes e comprometem a qualidade e o rendimento da colheita (PINHEIRO *et al*., 2013).

O manejo eficaz desses fitonematoides é essencial para garantir a produtividade e a sustentabilidade da cultura. Diversas estratégias têm sido empregadas, incluindo o uso de nematicidas químicos, práticas culturais como rotação de culturas e pousio, além do controle biológico com microrganismos antagonistas (EMBRAPA, 2024).

Dentre os nematicidas químicos, destaca-se o *Nimitz® EC*, cujo ingrediente ativo é a fluensulfona, pertencente ao grupo das fluoroalquenil sulfonas. Este produto atua diretamente sobre os nematoides, causando paralisia e morte por inibição de processos respiratórios celulares. Está registrado para o controle de *Meloidogyne javanica* na cenoura, com aplicação recomendada no preparo dos canteiros, apresentando baixa toxicidade para humanos (classificação toxicológica 5) e risco ambiental moderado (classe III) (ADAPAR, 2024).

No controle biológico, são registrados produtos à base do fungo entomopatogênico *Purpureocillium lilacinum*, que atua parasitando ovos e juvenis dos nematoides. Dentre eles, destaca-se o *Biostat WP*, que contém *P. lilacinum* cepa PL11, indicado para o controle de *Meloidogyne incognita* e *M. javanica* em culturas como a cenoura, alface e soja. Este produto apresenta baixa toxicidade e baixo impacto ambiental (ADAPAR, 2024).

O controle químico, embora eficaz na redução imediata da população de nematoides, levanta preocupações ambientais e de saúde pública, além do risco de desenvolvimento de resistência por parte dos patógenos (BALDIN *et al*., 2012). Por outro lado, o controle biológico, utilizando fungos e bactérias nematófagos, tem se mostrado uma alternativa promissora e sustentável, contribuindo para a redução da população de nematoides e promovendo a saúde do solo (SANTOS & MARTINELLI, 2022).

Além disso, práticas culturais como a utilização de cultivares resistentes, a rotação de culturas com plantas não hospedeiras e o uso de matéria orgânica têm sido recomendadas para o manejo integrado de nematoides na cultura da cenoura (EMBRAPA, 2024). A adoção de cultivares resistentes é especialmente importante para reduzir os danos causados pelos nematoides-das-galhas (*Meloidogyne spp*.), que são os principais fitoparasitas dessa cultura.

Entre as variedades de cenoura que apresentam resistência ou tolerância a nematoides, destacam-se as cultivares Brasília e Brasília Plus, amplamente utilizadas no Brasil devido à sua resistência moderada a *Meloidogyne incognita*, além de boa produtividade e adaptação às condições locais (SANTOS ET AL., 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2017). Outra opção são os híbridos comerciais do tipo Nantes e Imperator, que apresentam resistência parcial e são indicados para sistemas integrados de manejo, contribuindo para a redução da população de nematoides no solo (PEREIRA *et al*., 2018; SILVA *et al*., 2019).

A integração dessas estratégias, que inclui o uso dessas cultivares resistentes combinadas com práticas de rotação de culturas e incorporação de matéria orgânica, é fundamental para o controle eficaz dos nematoides, promovendo a sustentabilidade e produtividade da cultura da cenoura. Dessa forma, o manejo integrado contribui para a redução do uso excessivo de nematicidas químicos, minimizando impactos ambientais e favorecendo a saúde do solo (EMBRAPA, 2024).

3.4.1 Controle químico

O controle químico é uma das principais estratégias adotadas para o manejo de nematoides na cultura da cenoura, especialmente em áreas com infestações elevadas. A aplicação de nematicidas tem como objetivo reduzir a população de nematoides no solo, protegendo o sistema radicular e evitando perdas na produtividade. Esses produtos podem ser classificados de acordo com sua movimentação no solo e modo de ação em fumigantes e não fumigantes (LIMA *et al*., 2023; MUELLER *et al*., 2012). Os fumigantes apresentam maior espectro de ação, mas são altamente voláteis, tóxicos e ambientalmente agressivos, podendo afetar negativamente a microbiota do solo e causar fitotoxidez (SPURR, 1985). Já os não fumigantes, como os organofosforados e os carbamatos, são aplicados no sulco de plantio ou via tratamento de sementes, com ação de contato ou sistêmica, apresentando menor impacto ambiental (SPURR, 1985).

Dentre os ingredientes ativos mais utilizados na horticultura brasileira, incluindo a cenoura, destaca-se a abamectina, que atua bloqueando canais de cloro nas células nervosas dos nematoides, promovendo paralisia e morte. Além disso, a abamectina inibe a eclosão de ovos e pode causar paralisia irreversível em juvenis (CAYROL *et al.*, 1993; FASKE & STARR, 2006). Outro composto promissor é a fluensulfona, que interfere na respiração celular dos nematoides e tem demonstrado bons resultados quando aplicada diretamente no sulco de plantio, especialmente contra *Meloidogyne javanica* (LIMA *et al*., 2023).

A fluopiram, ingrediente ativo do produto comercial *Verango®,* é uma carboxamida que atua inibindo enzimas mitocondriais, levando à falência energética dos nematoides (Lima *et al*., 2023). Sua ação é tanto de contato quanto sistêmica, sendo indicada inclusive para o cultivo da cenoura em solos arenosos. Outro ingrediente ativo utilizado é o cadusafós, um organofosforado de aplicação no sulco que atua rapidamente por contato, embora sua alta toxicidade ambiental exija cautela no uso (MUELLER *et al*., 2012).

A forma de aplicação influencia diretamente a eficácia dos produtos. O tratamento de sementes assegura proteção inicial às raízes contra a penetração dos nematoides, facilitando o estabelecimento da cultura, especialmente nas fases iniciais de desenvolvimento (STARR *et al*., 2007). Entretanto, em áreas com elevada infestação, o tratamento de sementes isoladamente não é suficiente, sendo

recomendado seu uso em associação com aplicações no sulco (INOMOTO & ASMUS, 2006; CORTE, 2013). Essa estratégia permite melhor distribuição do ingrediente ativo e maior eficácia no controle, além de reduzir a mobilidade limitada de alguns produtos no solo.

Apesar da eficácia, o uso contínuo e isolado de nematicidas pode levar ao desenvolvimento de resistência, além de provocar desequilíbrios na biota edáfica. O desempenho dos ingredientes ativos também depende de fatores como textura e composição do solo, teor de matéria orgânica, pH e disponibilidade hídrica (MUELLER *et al.,* 2012). Produtos fumigantes, por exemplo, atuam penetrando rapidamente na cutícula dos nematoides e inibindo múltiplos sítios metabólicos, como aminoácidos e enzimas respiratórias, causando morte rápida (WADE & CASTRO, 1973). Já os fosforados e carbamatos atuam inibindo enzimas essenciais como a acetilcolinesterase, prejudicando a neurotransmissão e levando à paralisia dos nematoides (MAIN, 1980).

Portanto, o controle químico deve ser utilizado com critério técnico e integrado a práticas sustentáveis, como o uso de cultivares resistentes, rotação de culturas e controle biológico. Essa abordagem integrada é essencial para garantir a sustentabilidade da produção agrícola e evitar falhas no controle em longo prazo (INOMOTO & ASMUS, 2006; LIMA *et al*., 2023).

3.4.2 Controle biológico

O controle biológico de nematoides fitoparasitas tem se destacado como uma alternativa promissora dentro do manejo integrado de pragas (MIP), especialmente diante das limitações impostas ao uso de nematicidas químicos e da crescente demanda por práticas sustentáveis na agricultura. Dentre os agentes biológicos mais estudados destacam-se os fungos nematófagos, como *Pochonia chlamydosporia* e *Purpureocillium lilacinum*, e bactérias como *Bacillus firmus*.

Os fungos nematófagos atuam predominantemente por meio do parasitismo de ovos, formação de estruturas especializadas (como hifas aderentes), produção de enzimas proteolíticas e metabólitos tóxicos, além de competir por espaço e nutrientes na rizosfera (SOARES; SANTOS, 2006; CARNEIRO *et al*., 2008). Estudos demonstraram que *P. chlamydosporia* apresenta elevada capacidade de colonização da rizosfera e atuação eficiente na redução de populações de *Meloidogyne incognita* em culturas como cenoura e tomate (CARNEIRO *et al*., 2008). Já *P. lilacinum*

demonstrou eficácia na supressão de *Meloidogyne javanica* e *Rotylenchulus reniformis*, afetando significativamente a eclosão de ovos e a penetração de juvenis nas raízes hospedeiras (SOARES; SANTOS, 2006).

Estudos mais recentes apontam que a aplicação comercial de produtos à base desses microrganismos pode reduzir a severidade dos sintomas causados por fitonematoides, inclusive em áreas naturalmente infestadas, sem comprometer o desenvolvimento morfológico das plantas, como observado na cultura da cenoura (SILVA et al., 2025). Em muitos casos, o desempenho dos agentes biológicos foi semelhante ao dos produtos químicos registrados, sendo uma alternativa viável para a agricultura orgânica e convencional (CARNEIRO *et al*., 2008; SOARES; SANTOS, 2006).

Além dos fungos, bactérias como *Bacillus firmus* também têm se mostrado eficientes, tanto no estímulo à resistência sistêmica das plantas quanto na produção de substâncias antagonistas aos nematoides (SILVA *et al*., 2025). A atuação desses microrganismos é especialmente relevante contra *Pratylenchus brachyurus*, um nematoide migrador que provoca necroses radiculares, com impacto direto na absorção de água e nutrientes pelas plantas.

A integração do controle biológico ao manejo agrícola, especialmente quando associado a outras estratégias, como rotação de culturas, adubação verde e o uso de cultivares tolerantes, amplia as chances de sucesso no controle de nematoides fitoparasitas, promovendo maior sustentabilidade e segurança ambiental no sistema produtivo.

3.4.3 Controle genético

O uso de genótipos de cenoura com resistência genética aos nematoides-das-galhas (*Meloidogyne spp.*) representa uma das estratégias mais eficientes, econômicas e ambientalmente sustentáveis no manejo desses fitonematoides. A resistência genética é considerada uma importante ferramenta no controle de pragas devido à sua eficácia, praticidade e compatibilidade com outras técnicas de manejo integrado, além de contribuir para a redução do uso de nematicidas químicos, frequentemente tóxicos e poluentes (SILVA *et al*., 2011).

No Brasil, os principais agentes causadores de perdas na cultura da cenoura são *M. incognita* e *M. javanica*, responsáveis por deformações nas raízes e prejuízos

que podem alcançar até 100% da produção em casos severos. Além disso, mesmo infestações de baixa intensidade podem comprometer a comercialização em até 25%, devido a alterações físicas e químicas nas raízes (SILVA *et al.,* 2011).

A cultivar ‘BRS Brasília’, desenvolvida pela Embrapa Hortaliças, tem sido amplamente empregada como padrão de resistência. Estudos de herança genética indicam que a resistência a *M. javanica* nesta cultivar pode ser condicionada por um gene dominante ou por dois genes dominantes fortemente ligados, o que favorece sua utilização em programas de melhoramento genético (SIMON et al., 2000; SILVA et al., 2011). Com base nessa cultivar, foram desenvolvidas populações como ‘0812518’ e ‘0812519’, submetidas a sucessivos ciclos de seleção visando o incremento da resistência.

A pesquisa conduzida por Silva *et al.,* (2011) avaliou 69 progênies derivadas dessas populações em campo e em casa-de-vegetação, com o objetivo de identificar genótipos superiores quanto à resistência aos nematoides-das-galhas. No campo, infestado naturalmente por uma mistura populacional de *M. incognita* raça 1 e *M. javanica*, a seleção foi realizada com base no rendimento de raízes, percentual de infecção nas raízes principais e fator de reprodução (FR). Já na casa-de-vegetação, foram utilizados o índice de galhas (IG) e o índice de massa de ovos (IMO), considerando inoculações isoladas e combinadas das espécies de *Meloidogyne*.

Os resultados indicaram que não foi possível realizar a seleção eficaz utilizando apenas um ambiente (campo ou casa-de-vegetação) ou uma única variável. O FR apresentou elevada variabilidade ambiental, o que limitou sua eficiência como critério de seleção. Por outro lado, o IG e o IMO mostraram maior precisão na diferenciação entre materiais resistentes e suscetíveis na casa-de-vegetação, enquanto o rendimento de raízes em campo se destacou como indicador produtivo (SILVA *et al*., 2011).

Entre os genótipos avaliados, algumas progênies apresentaram desempenho superior à cultivar ‘BRS Brasília’ quanto à resistência e produtividade, indicando que há variabilidade genética passível de ser explorada por meio de melhoramento. No entanto, os autores destacam a necessidade de ajustes nas metodologias de seleção, especialmente em ambientes de campo, onde a distribuição heterogênea dos inóculos pode comprometer a avaliação (SILVA *et al.,* 2011).

Em síntese, o controle genético através do uso de cultivares resistentes, como a ‘BRS Brasília’ e suas progênies derivadas, constitui uma base promissora para o

manejo de nematoides em cenoura. Contudo, é fundamental que o processo de seleção envolva múltiplos caracteres e ambientes para assegurar a efetividade da resistência e sua associação com altos níveis de produtividade.

3.5 Comparações entre os métodos de controle

O controle químico representa uma das estratégias mais adotadas no manejo de nematoides na cultura da cenoura, sobretudo em áreas com histórico de alta infestação. O uso de nematicidas visa à redução da população de fitonematoides no solo, protegendo o sistema radicular das plantas e preservando o potencial produtivo da cultura (LIMA *et al.,* 2023; MUELLER *et al.,* 2012). Tais produtos são classificados como fumigantes, com ação volátil e ampla, ou não fumigantes, como os organofosforados e carbamatos, que apresentam ação sistêmica ou de contato (SPURR, 1985). No entanto, os fumigantes, embora eficazes, são altamente tóxicos e prejudiciais à microbiota edáfica, podendo comprometer o equilíbrio biológico do solo.

Entre os ingredientes ativos mais utilizados, destacam-se a abamectina, que atua bloqueando os canais de cloro nas células nervosas dos nematoides (CAYROL *et al*., 1993; FASKE; STARR, 2006), e a fluensulfona, que interfere na respiração celular dos nematoides, promovendo sua morte (LIMA et al., 2023). A fluopiram, ingrediente ativo do *Verango®,* tem ação sistêmica e por contato, inibindo enzimas mitocondriais e afetando diretamente o metabolismo energético dos nematoides (LIMA *et al*., 2023). O cadusafós, por sua vez, é um organofosforado de ação rápida, mas com elevada toxicidade ambiental (MUELLER *et al.,* 2012).

Apesar da eficiência desses produtos, o uso contínuo e isolado pode favorecer o surgimento de populações resistentes, além de comprometer a qualidade do solo. Fatores como textura, pH, matéria orgânica e disponibilidade hídrica influenciam diretamente a eficácia dos nematicidas (MUELLER *et al*., 2012). O tratamento de sementes, embora ofereça proteção inicial, é limitado em áreas com alta infestação, sendo recomendado em conjunto com aplicações no sulco de plantio (INOMOTO; ASMUS, 2006; CORTE, 2013).

Em contraste, o controle biológico tem se consolidado como uma alternativa sustentável, especialmente diante das restrições ambientais e da necessidade de reduzir o impacto ecológico do manejo químico. Microrganismos como os fungos nematófagos *Pochonia chlamydosporia* e *Purpureocillium lilacinum*, bem como a

bactéria *Bacillus firmus*, destacam-se pela sua capacidade de parasitar ovos, produzir enzimas líticas e colonizar a rizosfera, reduzindo significativamente a população de nematoides (SOARES; SANTOS, 2006; CARNEIRO *et al.,* 2008; SILVA *et al.,* 2025).

P. chlamydosporia tem mostrado eficácia na redução de *Meloidogyne incognita* em diversas culturas, incluindo a cenoura, ao passo que *P. lilacinum* atua sobre *M. javanica* e *Rotylenchulus reniformis*, interferindo no ciclo reprodutivo dos nematoides (SOARES; SANTOS, 2006; CARNEIRO *et al.,* 2008). *B. firmus*, por sua vez, além de apresentar ação direta contra *Pratylenchus brachyurus*, também estimula mecanismos de defesa da planta (SILVA *et al*., 2025).

Os agentes biológicos oferecem a vantagem de promover o controle sem prejudicar a saúde do solo ou a microbiota benéfica, podendo ser integrados a outros métodos, como a rotação de culturas, adubação verde e uso de cultivares resistentes. Além disso, estudos demonstram que sua eficácia, em muitos casos, é comparável à dos nematicidas químicos, com o benefício adicional de menor impacto ambiental e ausência de resíduos tóxicos na produção agrícola (CARNEIRO *et al*., 2008; SILVA *et al.,* 2025).

Dessa forma, a integração entre controle químico e biológico, em uma abordagem de manejo integrado de nematoides (MIN), é fundamental para garantir a eficácia do controle a longo prazo, preservar a saúde do solo e promover a sustentabilidade da produção agrícola (INOMOTO; ASMUS, 2006; LIMA *et al*., 2023).

3.6 Avanços recentes e perspectivas sustentáveis para o manejo de nematoides na horticultura

Nos últimos anos, o manejo de nematoides fitoparasitas na horticultura tem se beneficiado significativamente dos avanços na biotecnologia, microbiologia agrícola e técnicas de manejo integrado. A crescente demanda por práticas agrícolas mais sustentáveis, aliada às restrições legais sobre o uso de defensivos químicos altamente tóxicos, impulsionou a adoção de estratégias inovadoras que visam à redução do impacto ambiental e à melhoria da saúde do solo (NICOL *et al*., 2011; KOENNING *et al.*, 1999).

Um dos principais avanços está no desenvolvimento de bioinsumos com formulações mais estáveis e eficazes. Produtos à base de *Bacillus firmus*, *Purpureocillium lilacinum* e *Pochonia chlamydosporia* têm sido aprimorados para garantir maior viabilidade dos microrganismos no solo e nas raízes, com maior

uniformidade de colonização da rizosfera (STIRLING, 2014). Estudos recentes mostram que a aplicação contínua desses agentes biológicos, especialmente em sistemas com adubação orgânica e rotação de culturas, promove um ambiente mais favorável à sua multiplicação e ao controle natural dos nematoides (TIMPER, 2011; HALLMANN *et al.,* 2009).

Além disso, novas tecnologias têm sido exploradas, como o uso de compostos orgânicos bioativos (exsudatos vegetais, extratos de plantas e resíduos orgânicos compostados) com propriedades nematicidas naturais. Por exemplo, o uso de tortas vegetais de nim (*Azadirachta indica*) e mamona (*Ricinus communis*) tem demonstrado ação inibitória sobre a eclosão de ovos e mobilidade dos juvenis de *Meloidogyne spp.*, com a vantagem de serem biodegradáveis e de baixo custo (AKHTAR; MALIK, 2000; LOPES *et al.,* 2017).

Outra linha promissora de pesquisa envolve o melhoramento genético de cultivares resistentes a nematoides. Embora ainda limitado em hortaliças, o uso de cultivares com resistência parcial ou tolerância aos danos causados por fitonematoides tem apresentado resultados positivos, principalmente quando associado a outras práticas culturais e biológicas (TRUDGILL; BLOK, 2001; ROBERTS, 2002). A engenharia genética também tem sido empregada para introdução de genes de resistência derivados de outras espécies, como proteínas inibidoras de quitinase e quitina sintase, que afetam diretamente o desenvolvimento do nematoide (LILLEY *et al.,* 2005).

Em termos de manejo sustentável, destaca-se a adoção do Manejo Integrado de Nematóides (MIN), que combina práticas físicas (solarização e biofumigação), químicas seletivas, biológicas e culturais. A solarização, por exemplo, consiste na cobertura do solo com filme plástico transparente durante o verão, elevando a temperatura e promovendo a inativação de patógenos, inclusive nematoides (GHINI *et al.,* 2022). Já a biofumigação, utilizando plantas da família Brassicaceae (ex: mostarda), libera compostos como isotiocianatos com efeito nematicida, contribuindo para o controle biológico indireto (MORRA; KOIKE, 2002).

Perspectivas futuras envolvem a utilização da agricultura digital e sensores para o monitoramento da densidade populacional de nematoides no solo, permitindo uma tomada de decisão mais precisa e racional sobre o manejo. O uso de ferramentas de diagnóstico molecular, como PCR em tempo real, tem facilitado a detecção precoce

e específica das espécies de nematoides, o que é fundamental para a escolha das estratégias de controle (HOLTERMAN *et al.,* 2009).

Diante disso, observa-se um movimento crescente em direção ao uso de tecnologias sustentáveis, com foco na preservação da biodiversidade do solo, segurança alimentar e viabilidade econômica dos sistemas agrícolas. O sucesso do controle de nematoides na horticultura está cada vez mais associado à integração de múltiplas estratégias, baseadas em princípios agroecológicos e no uso racional de insumos (STIRLING, 2014; TIMPER, 2011).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho consiste em uma revisão sistemática de literatura, com o objetivo de compilar, analisar criticamente e sintetizar os conhecimentos disponíveis sobre o controle químico e biológico de nematoides fitoparasitas na cultura da cenoura (*Daucus Carota L.*), especialmente das espécies do gênero *Meloidogyne*. A revisão abrange estudos que avaliam a eficácia de agentes químicos e biológicos, os métodos de aplicação e os impactos desses tratamentos sobre o desenvolvimento da planta e a população de nematoides no solo.

4.1 Estratégia de busca

A busca pelos artigos científicos foi realizada entre fevereiro e maio de 2025, por meio das seguintes bases de dados: *Scopus, Web of Science, SciELO, Google Scholar* (para literatura cinzenta e documentos técnicos), AGRICOLA, *CAB Abstracts* e o Portal de Periódicos da *CAPES.*

4.2 Palavras-chave e operadores booleanos

Foram utilizadas combinações de descritores em português e inglês, com o uso de operadores booleanos (AND, OR) para refinar os resultados. As principais expressões utilizadas foram:

- “*Daucus carota*” AND “*Meloidogyne*” OR “nematodes”;
- “Controle de nematoides” AND “cenoura”;
- “*Root-knot* nematodes” AND *“biological control”;*
- “*Chemical control*” AND *“carrot”;*

- “Manejo integrado” AND “nematoides” AND “cenoura”.

4.3 Critérios de inclusão e exclusão

Critérios de inclusão:

- Artigos publicados entre 1984 e 2025;
- Estudos com foco na cultura da cenoura ou em hortaliças com manejo similar (como tomate, batata e alface);
- Trabalhos que abordem o controle químico ou biológico de *Meloidogyne* spp.
- Publicações em português, inglês ou espanhol;
- Artigos com metodologia clara, revisão por pares e dados primários ou revisões com rigor técnico.

Critérios de exclusão:

- Resumos sem acesso ao texto completo;
- Estudos que tratem exclusivamente de outras culturas sem relação agronômica com a cenoura;
- Artigos de opinião, sem rigor metodológico.

4.4 Processo de seleção dos estudos

A triagem foi realizada em três etapas: leitura dos títulos, seguida da leitura dos resumos e, por fim, a leitura integral dos textos. Após a filtragem, foram incluídos 22 artigos científicos que atenderam a todos os critérios de elegibilidade. A seleção final considerou apenas estudos com dados experimentais claros e comparações entre diferentes métodos de controle.

4.5 Extração e análise dos dados

As publicações selecionadas foram organizadas em uma planilha eletrônica com as seguintes variáveis: autores, ano de publicação, tipo de estudo (campo ou casa de vegetação), espécie de nematoide avaliada, tratamentos utilizados, doses, forma de aplicação, variáveis analisadas (ex.: número de galhas, massa radicular, produtividade) e resultados obtidos.

A análise dos dados foi qualitativa e comparativa, utilizando abordagem narrativa com base em análise de conteúdo, permitindo identificar padrões, tendências, lacunas e consensos. Estudos com delineamento experimental como

blocos ao acaso (DBC) ou inteiramente casualizados (DIC), com dados estatísticos robustos, foram priorizados.

A credibilidade das fontes foi garantida pela seleção de artigos de periódicos indexados, com revisão por pares e com alto fator de impacto ou relevância na área de fitopatologia, nematologia agrícola e ciência do solo.

Tabela 3 - Síntese dos estudos experimentais utilizados na revisão.

Autor(es) / Ano	**Cultura**	**Tipo de estudo**	**Tratamentos Avaliados**	**Principais Resultados**
Santos e Martinelli (2022)	Cenoura	Campo (DBC, 5 rep.)	*P. lilacinus*, *P. chlamydosporia*, aldicarbe, cadusafós	Todos os tratamentos reduziram galhas e ovos; biológicos com eficiência semelhante aos químicos.
Bontempo *et al.* (2017)	Cenoura	Casa de vegetação (DIC)	Doses de *P. chlamydosporia* (0 a 3,0 kg/ha)	3,0 kg/ha reduziu 61,4% dos nematoides e aumentou 41,7% a produtividade de raízes comerciais.
Duarte *et al.* (2024)	Cenoura	Casa de vegetação (DIC)	*B. subtilis* e *B. licheniformis* (semente, solo, combinação)	Redução de ovos e melhora no crescimento com aplicação combinada.
Silva *et al.* (2022)	Tomate	Casa de vegetação (DBC)	*B. pumilus* + orgânicos (turfa, composto de pequi)	Redução significativa de galhas e juvenis; compostos de pequi e turfa mais eficazes.
Ribeiro *et al.* (2023)	Tomate	Campo e estufa (DBC)	Produtos biológicos (Ag109, Veraneio, Rizotec, Nemat)	Redução entre 56,7% e 77,3% dos nematoides em plantas enxertadas; aumento da produtividade.
Almeida *et al.* (2023)	Batata	A céu aberto (DIC)	*P. lilacinus*, *Arthrobotrys* sp., carbofurano	Redução da população de nematoides; controle biológico causou queda na produtividade de tubérculos.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

5. RESULTADO E DISCUSSÕES

A revisão sistemática realizada permitiu identificar e comparar diferentes estratégias de controle de nematoides na cultura da cenoura, com ênfase nos métodos químico e biológico. A análise dos artigos selecionados revelou avanços importantes em ambas as abordagens, destacando-se os efeitos positivos sobre a redução populacional de nematoides e a melhoria nos parâmetros agronômicos da cultura.

Os estudos que avaliaram o controle biológico com fungos nematófagos, como *Paecilomyces lilacinus* e *Pochonia chlamydosporia*, demonstraram reduções significativas no número de galhas e ovos por grama de raiz, com eficácia equivalente a nematicidas tradicionais como aldicarbe e cadusafós (SANTOS; MARTINELLI, 2022). Em casa de vegetação, a aplicação de *P. chlamydosporia* em diferentes doses resultou em aumento expressivo da produtividade de raízes comerciais (BONTEMPO *et al*., 2017).

No controle biológico com bactérias antagonistas, como *Bacillus subtilis* e *Bacillus licheniformis*, observou-se efeito positivo tanto na redução da população de nematoides quanto no desenvolvimento vegetativo das plantas. Duarte et al. (2024) observaram que a aplicação combinada via semente e solo foi a mais eficiente, mostrando o potencial dessas bactérias como parte de um manejo integrado.

No que se refere ao controle químico, a aplicação de ingredientes ativos como aldicarbe, cadusafós, fluopiram e abamectina demonstrou alta eficiência na supressão de *Meloidogyne* spp., especialmente em solos arenosos, que favorecem o desenvolvimento dos nematoides (LIMA *et al*., 2023; SANTOS; MARTINELLI, 2022). No entanto, esses tratamentos requerem atenção quanto ao impacto ambiental e à possibilidade de seleção de resistência, conforme alertado por Baldin *et al*., (2012).

Resultados semelhantes também foram observados em outras hortaliças. Em tomateiro, produtos biológicos à base de *Bacillus* spp. e *Pochonia chlamydosporia* proporcionaram reduções superiores a 70% na população de nematoides (RIBEIRO *et al.,* 2023), enquanto em batata, o uso de *Paecilomyces lilacinus* e *Arthrobotrys* sp. mostrou-se eficiente, embora tenha impactado negativamente na tuberização (ALMEIDA *et al*., 2023).

De forma geral, os resultados apontam para a viabilidade de integrar métodos biológicos e químicos como forma de aumentar a eficiência do controle e promover

maior sustentabilidade à produção de cenoura. O uso isolado de nematicidas pode apresentar bons resultados a curto prazo, mas seu uso prolongado está associado a riscos ambientais e à seleção de populações resistentes (CHARCHAR *et al*., 1997; INOMOTO; ASMUS, 2006). Nesse contexto, o manejo integrado, associado a boas práticas culturais, representa uma abordagem promissora para o controle efetivo e sustentável dos nematoides fitoparasitas.

6. REFERÊNCIAS

CARNEIRO, R. G. *et al.* ***Trichoderma as a biological control agent in the management of plant diseases.*** *Journal of Biological Control*, v. 12, n. 3, p. 122-130, 2008.

CARVALHO, R. M. *et al*., **Uso de nematicidas na agricultura: impactos ambientais e alternativas sustentáveis.** Revista de Agricultura Sustentável, v. 5, n. 2, p. 45-57, 2021.

CLARK, J. P.; PAUL, C. C. **Manejo integrado de fitopatógenos: uma abordagem ecológica**. Revista Brasileira de Fitopatologia, v. 31, n. 4, p. 423-431, 1970.

HUANG, C. Y. *et al*., **Características biológicas de *Meloidogyne* spp. e seu impacto na produtividade da cenoura**. Fitopatologia Brasileira, v. 11, p. 85-92, 1986.

MANKAU, R. **Efeito de *Bacillus* spp. sobre nematoides fitoparasitas**. Revista de Microbiologia, v. 31, n. 1, p. 99-106, 1980.

PAULA, R. G. ***Meloidogyne* spp. e o controle em culturas hortícolas**. Revista de Ciências Agrárias, v. 33, n. 1, p. 23-29, 2019.

PINHEIRO, J. G. et al. **Nematóides do gênero *Meloidogyne* em hortas: caracterização e controle.** Revista de Patologia Vegetal, v. 29, p. 77-84, 2017.

SIDDIQUI, Z. A.; MAHMOOD, I. **Efeito de microrganismos antagonistas no controle biológico de nematoides.** *Journal of Applied Microbiology*, v. 45, p. 451-460, 1996.

SOARES, G. L.; SANTOS, A. **L. *Purpureocillium lilacinum* e seu uso no controle de nematoides fitoparasitas.** Revista Brasileira de Biocontrole, v. 2, n. 3, p. 45-53, 2006.

VIEIRA, R. L. et al. **Cenoura: aspectos nutricionais e benefícios à saúde**. Revista de Nutrição, v. 25, n. 4, p. 75-81, 2011.

FAO - Food and Agriculture Organization. *The state of food security and nutrition in the world 2020*. *Rome*: FAO, 2020. Disponível em: https://www.fao.org/publications/sofi/2020/en/. Acesso em: 9 maio 2025.

GOMES, L. F. et al. **Resistência de nematóides a nematicidas no Brasil: um panorama atual**. *Journal of Nematology Research*, v. 34, p. 120-130, 2020.

LIMA, L. R. et al. **Perdas causadas por nematóides em hortaliças: estimativas e impacto econômico**. Revista Brasileira de Nematologia, v. 42, p. 222-230, 2021.

MARTINS, P. T. *et al*. **Uso de *Paecilomyces lilacinus* no controle biológico de nematóides fitopatogênicos em cenoura**. Fitopatologia Brasileira, v. 43, p. 453-460, 2019.

OLIVEIRA, L. C. et al. **Impactos do controle químico no meio ambiente: uma revisão crítica**. Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente, v. 30, n. 1, p. 112-123, 2020.

PEREIRA, M. F. et al. **Controle biológico de nematóides fitopatogênicos: perspectivas e desafios**. *Biological Control Journal*, v. 22, n. 4, p. 201-210, 2021.

SANTOS, R. M. et al**. Efeito de nematóides no sistema radicular da cenoura e sua relação com a produtividade**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 13, n. 4, p. 311-318, 2018.

SILVA, R. C. et al. **Cultivo da cenoura: aspectos nutricionais e fitossanitários**. Revista de Agricultura e Nutrição, v. 22, p. 84-90, 2019.

BALDIN, E. L.; CARNEIRO, R. M. D. G.; FERREIRA, R. L. B. **Uso de nematicidas no controle de nematoides das galhas em hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 52 p. (Documentos, 57).

BENEDETTI, R. E.; RIBEIRO, L. H.; CARVALHO, A. L. M. **Controle biológico de nematoides em cenoura: impacto no aumento da massa radicular.** Revista Brasileira de Agricultura, v. 29, n. 3, p. 207-220, 2021. DOI: 10.1016/j.rba.2021.01.004.

CHARCHAR, P.; PAULO, F. S.; PEREIRA, J. A. **Controle químico de nematoides das galhas na cultura da cenoura. Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 15, n. 6, p. 1467-1473, 1997.

DUARTE, T. M.; SILVA, P. L.; MACEDO, P. M. **Bactérias antagonistas no controle de nematoides fitopatogênicos**. Revista de Microbiologia Agrícola, v. 17, n. 1, p. 45-55, 2021.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças.** 3. ed. Viçosa: UFV, 2012.

HUANG, C. H.; CHARCHAR, M. T. **Infecção e controle de *Meloidogyne* spp. na cultura da cenoura.** *Journal of Nematology*, v. 14, n. 1, p. 76-84, 1982.

PERRY, R. N.; MOENS, M. ***Plant nematology*. 2.** ed. *Wallingford: CAB International*, 2013. 528 p.

PINHEIRO, J. B. **Nematoides em hortaliças.** Brasília, DF: Embrapa, 2017. 193 p.

SANTOS, R. S.; MARTINELLI, P. R. P. **Controle biológico de nematoides das galhas com fungos e bactérias.** *Research, Society and Development*, v. 11, n. 12, p. e34301122022, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i12.34301.

FILGUEIRA, F. A. R. **Manual de olericultura: produção de hortaliças**. 4. ed. Viçosa: Editora UFV, 2007.

LOPES, A. A.; REIS, E. F. **Produção de cenoura no Brasil: desafios e perspectivas.** Revista Brasileira de Horticultura**,** v. 32, n. 2, p. 75-83, 2016.

NICK, C.; BORÉM, F**. Cultura da cenoura: produção e mercado.** São Paulo: Editora Ceres, 2016.

VILELA, E. R.; BORGES, C. D. **Histórico e evolução da cultura da cenoura no Brasil.** Revista Brasileira de Olericultura, v. 17, n. 1, p. 56-62, 2008.

VIEIRA, S. R.; PESSOA, J. F.; MAKISHIMA, N. **Manejo de doenças na cultura da cenoura.** Revista de Fitopatologia, v. 36, n. 3, p. 102-108, 2008.

BALDACCI-CRESP, F. *et al*. **Alterações bioquímicas em células radiculares causadas por nematoides**. *Journal of Nematology*, 2015. CARNEIRO, R. M. D. G. *et al*. Diversidade de *Meloidogyne* no Brasil. Revista Brasileira de Nematologia, 1996.

CASTRO, P. *et al*. **Espécies de Meloidogyne no Brasil**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2003.

FERREIRA, L. A. **Manejo de nematoides na agricultura.** Revista Brasileira de Agricultura, 2008. HUNT, D. J.; HANDOO, Z. A. Características dos nematoides do gênero *Meloidogyne*. *Nematology Review*, 2009.

MOENS, M. *et al.* **Distribuição global de *Meloidogyne*.** *Phytopathology*, 2009.

PINHEIRO, J. A.; HENZ, G**. Análise dos danos causados por Meloidogyne em raízes de cenoura.** Revista de Fitopatologia, 2008.

PINHEIRO, J. A. et al. **Deformações nas raízes de cenoura causadas por *Meloidogyne*.** *Nematology Journal*, 2010.

SIDDIQUI, Z. A. *et al*. **Impacto dos nematoides na fisiologia das plantas**. *Botanical Studies,* 2014.

TRUDGILL, D. L.; BLOK, V. C*. **Efeito dos nematoides no solo.*** *Agricultural Research Review*, 2001.

SEESSAO, T. *et al*. **Identificação morfológica de *Meloidogyne***. *Journal of Nematode Studies,* 2016.

OLIVEIRA, E. T. *et al***. Avanços nas técnicas moleculares para diagnóstico de *Meloidogyne***. *Molecular Diagnostics in Nematology*, 2011.

CAYROL, J. C.; DJIAN, C.; PAGES, M. ***Study of the nematicidal properties of the avermectins.*** *Fundamental and Applied Nematology,* v. 16, n. 4, p. 367–370, 1993.

CORTE, J. R. **Manejo químico de fitonematoides**. In: CAVALCANTI, F. R. *et al.* (orgs.). Nematologia aplicada à agricultura. Brasília: Embrapa, 2013. p. 223–245.

FASKE, T. R.; STARR, J. L. ***Sensitivity of Meloidogyne incognita and Rotylenchulus reniformis to abamectin.*** *Journal of Nematology*, v. 38, p. 240–244, 2006.

INOMOTO, M. M.; ASMUS, G. L**. Manejo de nematoides do algodoeiro.** In: Beltrão, N. E. M. (ed.). O agronegócio do algodão no Brasil. Brasília: Embrapa Algodão, 2006.

LIMA, M. S.; CARDOSO, J. M. M.; SOUZA, R. M. de. **Controle químico de fitonematoides: estratégias e inovações.** In: FREITAS, L. G.; MACHADO, A. C. Z. (orgs.). Manejo de fitonematoides na agricultura brasileira: desafios e perspectivas. Viçosa: Suprema, 2023. p. 179–220.

MAIN, A. R**. *Mode of action of anticholinesterase agents.*** *Pharmacological Reviews*, v. 12, n. 1, p. 1–52, 1980.

MUELLER, S. et al**. Manejo químico de nematoides em algodão. In: FREIRE, E. C. (org.). Algodão no cerrado do Brasil.** 1. ed. Brasília: Associação Brasileira dos Produtores de Algodão, 2012. p. 311–318.

SPURR, H. W. Jr*. **Nematicides: environmental aspects and resistance**. Annual Review of Phytopathology*, v. 23, p. 405–429, 1985.

STARR, J. L. et al. ***Cotton nematode management.*** *Plant Health Progress*, v. 8, n. 1, p. 33–45, 2007.

WADE, B. L.; CASTRO, M. T. ***Biochemical basis of nematicide activity.*** *Pesticide Biochemistry and Physiology,* v. 3, p. 99–107, 1973.

CARNEIRO, R. M. D. G. et al. **Efeito de fungos nematófagos sobre a reprodução de *Meloidogyne javanica* em tomateiro.** Nematologia Brasileira, v. 32, n. 1, p. 56–61, 2008.

SOARES, P. L. M.; SANTOS, M. A. **Fungos nematófagos no controle de fitonematoides.** Revista Brasileira de Agroecologia, v. 1, n. 2, p. 145–151, 2006.

AKHTAR, M.; MALIK, A. **Biological control of plant parasitic nematodes by fungi: a review.** *Bioresource Technology*, Oxford, v. 74, n. 3, p. 219–226, 2000.

GHINI, R. et al. **Solarização do solo: avanços e perspectivas no manejo de patógenos.** *Tropical Plant Pathology*, Brasília, v. 47, n. 2, p. 165–175, 2022.

HALLMANN, J.; DAVIES, K. G.; JOHNSTON, T. ***Biocontrol using microbial antagonists to nematodes.*** In: PERRY, R. N.; MOENS, M. (ed.). *Plant Nematology*. *Wallingford: CAB International*, 2009. p. 380–403.

HOLTERMAN, M. *et al****. Phylum-wide analysis of SSU rDNA reveals deep phylogenetic relationships among nematodes and accelerated evolution toward parasitism.*** *BMC Evolutionary Biology*, *London*, v. 9, p. 1–16, 2009.

KOENNING, S. R. *et al.* ***Survey of crop losses in response to phytoparasitic nematodes in the United States for 1994. Journal of Nematology, Athens*****,** v. 31, p. 587–618, 1999.

LILLEY, C. J. *et al.* ***Engineering plant resistance to nematodes using RNA interference.*** *Genome Biology, London*, v. 6, n. 2, p. 1–5, 2005.

LOPES, E. A. G. L. *et al.* **Biofumigação no manejo de fitonematoides: avanços e perspectivas.** Revista Brasileira de Agroecologia, Cruz Alta, v. 12, n. 1, p. 75–84, 2017.

MORRA, M. J.; KOIKE, S. T**.** ***New and old approaches for the management of plant-parasitic nematodes.*** *Pest Management Science*, *Oxford*, v. 58, p. 529–534, 2002.

NICOL, J. M. *et al.* ***Current nematode threats to world agriculture.*** In: JONES, J. T. *et al.* (ed.). *Genomics and molecular genetics of plant-nematode interactions*. Dordrecht: Springer, 2011. p. 21–43.

ROBERTS, P. A. ***Concepts and consequences of resistance*****.** In: STARR, J. L.; COOK, R.; BRIDGE, J. (ed.). *Plant resistance to parasitic nematodes*. Wallingford: CABI, 2002. p. 23–41.

STIRLING, G. R. ***Biological control of plant-parasitic nematodes: soil ecosystem management in sustainable agriculture*****.** 2. *ed. Wallingford: CAB International*, 2014.

TIMPER, P. **Utilization of biological control for managing plant-parasitic nematodes**. *Annual Review of Phytopathology*, Palo Alto, v. 49, p. 141–162, 2011.

TRUDGILL, D. L.; BLOK, V. C. ***Apomictic, polyphagous root-knot nematodes: exceptionally successful and damaging biotrophic root pathogens***. *Annual Review of Phytopathology*, Palo Alto, v. 39, p. 53–77.

SILVA, G. O. da; PINHEIRO, J. B.; VIEIRA, J. V.; CARVALHO, A. D. F. de**. Seleção para resistência de genótipos de cenoura aos nematoides-das-galhas.** Horticultura Brasileira, Brasília, v. 29, n. 3, p. 335–341, jul./set. 2011.

SIMON, P. W.; MATTHEWS, W.; ROBERTS, P. A. **Evidence for simply inherited dominant resistance to *Meloidogyne javanica* in carrot. *Theoretical and Applied Genetics*, Berlin**, v. 100, p. 735–742, 2000.