



**INSTITUTO
FEDERAL**

Goiano

Campus
Morrinhos

AGRONOMIA

**NEMATOLOGIA AGRÍCOLA - FUNDAMENTOS E MANEJO DE
FITONEMATOIDES**

DANIELA OLIVEIRA

Morrinhos, GO

2025

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL GOIANO CAMPUS MORRINHOS

AGRONOMIA

**NEMATOLOGIA AGRÍCOLA - FUNDAMENTOS E MANEJO DE
FITONEMATOIDES**

DANIELA OLIVEIRA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos,
como requisito parcial para a obtenção do Grau
de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Vieira da Silva

Morrinhos – GO

Outubro, 2025

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

O48n Alves Oliveira, Daniela
 NEMATOLOGIA AGRÍCOLA- FUNDAMENTOS E
 MANEJO DE FITONEMATOIDES / Daniela Alves Oliveira.
 morrinhos 2026.

 78f. il.

 Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Vieira da Silva.
 Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0422021 -
 [MO.GRAD] Bacharelado em Agronomia - Morrinhos (Campus
 Morrinhos).
 1. Nematoides. 2. agronomia. 3. ensino. 4. perdas. 5. manejo
 integrado de pragas. I. Título.

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

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

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

Tese (doutorado)

Dissertação (mestrado)

Monografia (especialização)

TCC (graduação)

Artigo científico

Capítulo de livro

Livro

Trabalho apresentado em evento

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Matrícula:

Título do trabalho:

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

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


O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

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

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

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

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


Documento assinado digitalmente

DANIELA ALVES OLIVEIRA
Data: 14/01/2026 13:52:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Local

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Documento assinado digitalmente


RODRIGO VIEIRA DA SILVA
Data: 16/01/2026 19:31:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ciente e de acordo:



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO
CAMPUS MORRINHOS
COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM AGRONOMIA

ATA DE APRESENTAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos oito dias do mês de dezembro do ano **2025**, no prédio da Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos reuniram-se as 14:00 h, a Banca de Avaliação do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). A mesma, composta pelo professor Dr. **Rodrigo Vieira da Silva**, a **Mestra Gabriela Araújo Martins** e a **mestranda Laryssa Márcia Caetano**, sob a presidência do primeiro, para avaliar o Trabalho de Conclusão de Curso da discente **Daniela Oliveira** intitulado “**NEMATOLOGIA AGRÍCOLA - FUNDAMENTOS E MANEJO DE FITONEMATOIDES**”. Requisito parcial para a obtenção do título de BACHAREL EM AGRONOMIA. Ao iniciar os trabalhos, o presidente da Banca Avaliadora cedeu o tempo regulamentar para que a discente fizesse a apresentação do seu trabalho, a seguir ocorreu a arguição dos Membros da Banca de Avaliação. Na terceira etapa a banca avaliou o desempenho da estudante. Concluído essas etapas o trabalho foi considerado: **APROVADO com nota = 9,0**

Prof. Dr. Rodrigo Vieira da Silva

Orientador - IF Goiano, Campus Morrinhos, GO

Documento assinado digitalmente
RODRIGO VIEIRA DA SILVA
Data: 16/12/2025 12:06:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Mestranda Laryssa Márcia Caetano

Membro - IF Goiano, Campus Morrinhos, GO

Documento assinado digitalmente
LARYSSA MARCIA CAETANO
Data: 16/12/2025 12:25:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Pesquisadora Me. Gabriela Araújo Martins

Membro - IF Goiano, Campus Morrinhos, GO

Documento assinado digitalmente
GABRIELA ARAUJO MARTINS
Data: 22/12/2025 15:29:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO AOS FITONEMATOIDES.....	6
2. HISTÓRICO E IMPORTÂNCIA DOS NEMATOIDES.....	7
2.1. ORIGEM E EVOLUÇÃO DOS ESTUDOS SOBRE NEMATOIDES.....	9
2.2. PRINCIPAIS ESPÉCIES DE FITONEMATOIDES.....	10
2.3. NEMATOIDES DE VIDA LIVRE.....	11
2.4. NEMATOIDES FITOPARASITAS.....	12
2.4.1. <i>Meloidogynes</i> spp.....	12
2.4.2. <i>Heterodera</i> spp.....	16
2.4.3. <i>Pratylenchus</i> spp.....	18
2.4.4. <i>Aphelenchoides</i> spp.....	21
2.4.5. <i>Bursaphelenchus</i> spp.....	23
2.4.6. <i>Crictonemella</i> spp.....	25
2.4.7. <i>Ditylenchus</i> spp.....	26
2.4.8. <i>Helicotylenchus</i> spp.....	28
2.4.9. <i>Radopholus</i> spp.....	29
2.4.10. <i>Rotylenchulus</i> spp.....	31
2.4.11. <i>Scutellonema</i> spp.....	33
2.4.12. <i>Tylenchulus</i> spp.....	35
2.4.13. <i>Xiphinema</i> spp.....	36
2.5. IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E ECOLÓGICA.....	38
3. CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA DOS FITONEMATOIDES.....	40
3.1. ESTRUTURADA CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA.....	41
3.2. PRINCIPAIS FAMÍLIAS E GÊNEROS DE FITONEMATOIDES.....	41
4. MORFOLOGIA DOS NEMATOIDES.....	44
4.1. ESTRUTURA ANATÔMICA E FISIOLÓGICA BÁSICA.....	46
4.2. DIFERENÇAS MORFOLÓGICAS ENTRE GÊNEROS.....	47
5. ASPECTOS BIOLÓGICOS DOS NEMATOIDES.....	48
5.1. SINTOMAS DE INFESTAÇÃO POR FITONEMATOIDES.....	49
5.2. CICLO DE VIDA DOS FITONEMATOIDES E REPRODUÇÃO.....	50
5.3. RELAÇÕES ECOLÓGICAS E SOBREVIVÊNCIA NO SOLO.....	52
6. INFLUÊNCIA DE FATORES BIÓTICOS E ABIÓTICOS.....	54

7. MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO.....	54
8. ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DE FITONEMATÓIDES.....	55
9. PESQUISA E INOVAÇÕES NO MANEJO DE FITONEMATÓIDES.....	57
10. SUSTENTABILIDADE E TENDÊNCIAS FUTURAS.....	58
11. REFERÊNCIAS.....	59

RESUMO

Este trabalho apresenta uma revisão abrangente sobre fitonematoides, patógenos que parasitam as plantas e figuram entre os principais agentes de perdas econômicas na agricultura. Inicialmente, aborda-se a origem e a evolução dos estudos sobre esses organismos, destacando as principais espécies de importância agrícola e diferenciando os nematoides de vida livre dos fitoparasitas. São descritos diversos gêneros de relevância fitopatológica, como *Meloidogyne*, *Heterodera* e *Pratylenchus*, com ênfase em suas características biológicas e no impacto que exercem sobre as culturas. A classificação taxonômica é discutida a partir de aspectos anatômicos e fisiológicos, evidenciando diferenças morfológicas entre gêneros. São também apresentados os principais aspectos biológicos, incluindo sintomas de infestação, ciclo de vida, reprodução, interações ecológicas e mecanismos de sobrevivência no solo, bem como a influência de fatores bióticos e abióticos no desenvolvimento das populações. Além disso, o estudo descreve métodos de diagnóstico e estratégias de controle, destacando práticas de manejo integrado e inovações tecnológicas que visam reduzir os prejuízos causados. Por fim, enfatiza-se a importância da sustentabilidade e das tendências futuras no manejo dos fitonematoides, considerando a necessidade de práticas agrícolas que aliem eficiência econômica e preservação ambiental. Acredita-se que este material seja de grande valia para o estudo dos Fitonematologia nos cursos de Agronomia e áreas afins.

PALAVRAS-CHAVES: Nematoides, Ensino, Agronomia, Perdas, Manejo Integrado de fitopatógenos.

ABSTRACT

This work presents a comprehensive review of phytonematodes, nematodes that parasitize plants and are among the main agents of economic losses in agriculture. Initially, the origin and evolution of studies on these organisms is discussed, highlighting the main species of agricultural importance and differentiating free-living nematodes from phytoparasites. Several genera of phytopathological relevance are described, such as *Meloidogyne*, *Heterodera*, and *Pratylenchus*, with an emphasis on their biological characteristics and the impact they have on crops. Taxonomic classification is discussed based on anatomical and physiological aspects, highlighting morphological differences between genera. Key biological aspects are also presented, including infestation symptoms, life cycle, reproduction, ecological interactions, and soil survival mechanisms, as well as the influence of biotic and abiotic factors on population development. Furthermore, the study describes diagnostic methods and control strategies, highlighting integrated management practices and technological innovations aimed at reducing the damage caused. Finally, the importance of sustainability and future trends in the management of plant nematodes is emphasized, considering the need for agricultural practices that combine economic efficiency and environmental preservation. It is believed that this material is of great value for the study of Phytonematology in Agronomy courses and related areas.

KEYWORDS: Nematodes, Teaching, Agronomy, Losses, Integrated Management of Plant Pathogens

1. INTRODUÇÃO AOS FITONEMATOIDES

A nematologia é a área da ciência que estuda os nematoides, organismos microscópicos de grande importância ecológica e econômica, pois podem atuar tanto como decompositores e recicladores de nutrientes quanto como parasitas de plantas, animais e seres humanos (Afzale Mukhtar, 2024). No Brasil, a nematologia tem recebido destaque principalmente na agricultura, em razão dos prejuízos causados por nematoides fitoparasitas a culturas de relevância econômica, como soja, café, cana-de-açúcar e hortaliças (Machado, 2014). Assim, a nematologia brasileira se consolida como um campo estratégico, integrando inovação científica e práticas agrícolas para reduzir perdas de produtividade e promover uma agricultura mais competitiva e ambientalmente equilibrada (Ferraz e Brown, 2016).

Os nematoides são organismos vermiformes, multicelulares pertencentes ao reino animal, com maior predominância no planeta. Estes pertencem ao filo Nematoda, apresentando simetria bilateral, corpo delgado cilíndrico, trato digestivo completo, é um animal pseudocelomado e são dióicos. No que se refere a área agrônômica, os nematoides podem ser úteis como inimigos naturais de pragas ou prejudiciais quando parasitam plantas cultivadas (Garcia, 2008; Tejo et al., 2020). A infestação da área de uma propriedade rural por fitonematoides é fator negativo para a produção agrícola, pois causam danos diretos e indiretos as culturas agrônômicas (Thomazelli et al., 2020). As perdas, ou seja, os prejuízos econômicos variam de acordo com a variedade vegetal e a densidade populacional das espécies de nematoides presentes no solo (Kolombia et al., 2021).

Os fitonematoides são microrganismos que parasitam as plantas, principalmente os órgãos subterrâneos, como: rizomas, raízes, tubérculos e bulbos (Reis et al., 2024). Estes vermes do solo, correspondem a grande parcela dos problemas bióticos que ocasionam prejuízos nas principais culturas de importância econômica (Mapa, 2025). Vários gêneros de fitonematoides têm sido encontrados associados às raízes, sendo que as espécies dos gêneros *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Heterodera* e *Rotylenchulus* são as que mais prejudicam as plantas (Galdi e Santos, 2020). Os nematoides são classificados em relação ao parasitismo das plantas em ectoparasitos, semi-endoparasitos e endoparasitos (Hailu e Hailu, 2020). Segundo Braga (2021) esses organismos podem migrar para a rizosfera por meio das raízes ou de partes aéreas, assim afetando outras plantas da lavoura.

Os nematoides que infestam as culturas, normalmente habitam no solo e utilizam a estrutura denominada de estilete para alimentar-se das raízes (Miranda, 2021). E, quando isso acontece, a planta, que possui mecanismos de defesa, produz células e forma lesões necróticas ou galhas para curar a área atacada, a água e os nutrientes não são absorvidos pela

planta e isso pode leva-la a morte (Novaes, 2022). Por consequência, essas deformações anatômicas dos tecidos dos sistemas radiculares afetam muitos processos fisiológicos nas plantas, como a fotossíntese, respiração, absorção e movimento de nutrientes e água e o equilíbrio hormonal (Santos, 2024). Como resultado, as plantas tornam-se mais suscetíveis à seca, ao déficit nutricional e a infecções secundárias por fungos e bactérias oportunistas (Silveira, 2021). Além disso, acarretam em perda de resistência das plantas a certos patógenos, devido os danos secundários provocados nas raízes, onde estas aberturas servem de portas de entradas para outros patógenos no processo de infecção (Rocha et al., 2020).

O controle de fitonematoides de maneira eficiente representa uma tarefa difícil. De modo que exige conhecimento técnico especializado. O manejo integrado de nematoides é o mais recomendado, este utiliza diversas estratégias para manter a população dos fitonematoides abaixo do nível de dano econômico (Devi et al., 2024). O controle químico, por meio de nematicidas sintéticos, apesar de sua eficiência, representa vários inconvenientes, pois esses produtos são caros, altamente tóxicos, persistentes, têm amplo espectro e podem contaminar águas subterrâneas, representando, dessa forma, um grande risco a outros organismos e ao ambiente. Por essas razões, os atuais nematicidas antigos e mais tóxicos vêm sofrendo grandes restrições de uso em muitos países (Haydoc et al., 2006). O controle via resistência genética é limitado pela escassez de cultivares resistentes na maioria das culturas, pois, em muitas, tais cultivares inexistem ou são de adaptação restrita, impedindo o seu emprego em larga escala (Dias-Araújo et al., 2017). Embora bastante estudado, o controle biológico utilizando inimigos naturais dos nematoides, como fungos nematófagos, como *Trichoderma*, *Pochonia* e *Paecilomyces* e bactérias do gênero *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Pasteuria*, ainda é uma possível solução para o futuro (Câmara; Lopes; Corrêa, 2015).

Diante do presente cenário de manejo de nematoides, os métodos culturais de controle merecem destaque dentre as alternativas para reduzir os fitonematoides presentes em uma área. As estratégias culturais de manejo de nematoides, mais utilizadas são a rotação de culturas, utilização de plantas antagonistas e o aumento da matéria orgânica do solo.

2. Histórico e importância dos fitonematoides

A história dos fitonematoides está intimamente ligada ao avanço da microscopia e ao desenvolvimento da fitopatologia como ciência. Esses organismos, embora microscópicos, causam danos significativos à agricultura mundial. Em nível acadêmico, os nematoides vêm sendo estudados há mais de três séculos. Os primeiros registros de nematoides datam do

século XVIII, o naturalista alemão Carl Linnaeus mencionou, em 1758, organismos semelhantes a vermes encontrados em raízes de plantas (Moura e Maranhão, 2004).

No entanto, foi só no século XIX que se identificou com clareza a relação com doenças de plantas. Em 1855, o cientista britânico Miles Joseph Berkeley foi o primeiro a associar nematoides à formação de galhas em raízes de pepino. Em 1878, Nathan Cobb, considerado o “pai da nematologia”, começou a estudar sistematicamente esses organismos, assim contribuiu significativamente para a taxonomia e métodos de manejo (Cares, 2015).

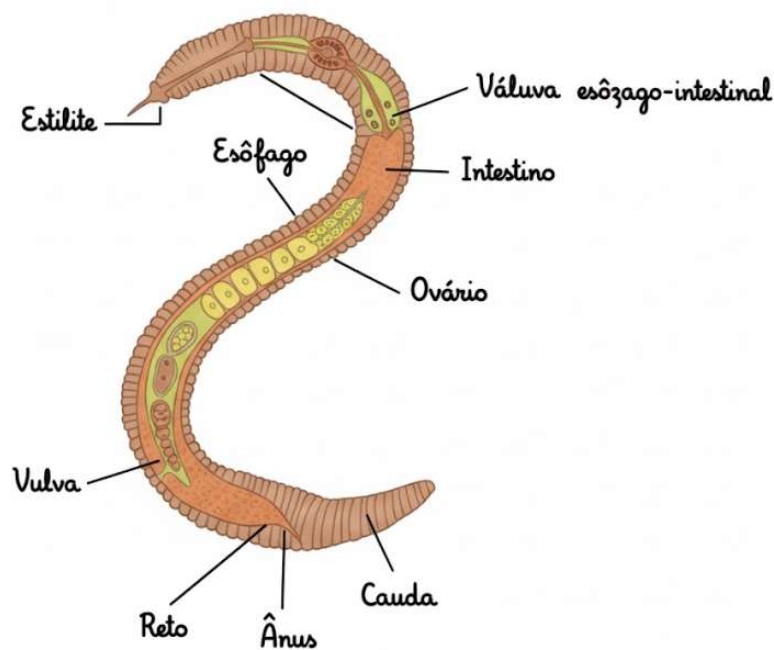
O primeiro grande caso de prejuízos econômicos causados pelo nematoide de galhas (*Meloidogyne* spp.) no Brasil foi registrado em 1978, em plantações de café no estado do Rio de Janeiro. Na época, diversas lavouras apresentaram amarelecimento das folhas, atraso no crescimento e intensa formação de galhas nas raízes, resultando em expressiva queda na produtividade e perdas financeiras significativas para os produtores. Esse episódio tornou-se um marco para a nematologia brasileira, pois evidenciou a gravidade do problema e impulsionou pesquisas voltadas ao monitoramento, manejo integrado e desenvolvimento de cultivares de cafeeiro resistentes, práticas que hoje são essenciais para o controle sustentável do patógeno (Barbosa *et al.*, 2004).

A nematologia agrícola ganhou força no século XX, com a criação de laboratórios especializados. Com o avanço das técnicas de microscopia e cultivo *in vitro*, cientistas começaram a identificar diferentes gêneros e espécies, como *Meloidogyne*, *Heterodera*, *Pratylenchus* e *Radopholus*. Nos anos 1940 a 1960, o uso de microscópios eletrônicos e bioensaios permitiu entender melhor os mecanismos de infecção e os danos fisiológicos nas plantas (Embrapa, 2005).

Não existem informações definitivas sobre a origem dos nematoides e as primeiras descobertas paleontológicas que envolvem esses organismos ocorreram no século XVII e demonstram que eles habitam a Terra desde os mais longínquos períodos pré-históricos (Poinar Jr, 1983). Após o surgimento do microscópio, os nematoides de pequenas dimensões passaram a ser observados e estudados (Taylor, 1935).

De uma maneira geral os nematoides parasitas de plantas estão naturalmente presentes no solo em determinado equilíbrio. Todavia, em áreas extensas sob monocultivo por longos períodos, pode favorecer a reprodução de fitonematoides. Assim, com o passar dos anos, prejuízo causados por esses organismos começam a ser percebidos. As perdas econômicas causadas pelos nematoides variam de acordo com a cultura, com as espécies de nematoides presentes e com as interações dos nematoides, sendo da ordem de 10 a 15% (Zhang *et al.*, 2023).

Figura 1. Principais estruturas da morfologia de um fitonematoide.



Fonte: FERREIRA; NASCIMENTO, 2022.

Os fitonematoides são responsáveis por perdas significativas na produção agrícola global (Abad et al., 2021). Os prejuízos são especialmente severos em culturas de grande escala, como milho, soja, tomate, arroz, hortaliças, olerícolas, frutíferas e ornamentais (Hussey e Janssen, 2020). Além disso, em casos graves, a infecção por nematoides pode até levar ao abandono de campos agrícolas, o que resulta em perdas direta de terras produtivas (Siddiqi, 2020).

Vale salientar que produtos agrícolas que não atendem aos padrões de qualidade exigidos para a exportação devido à presença de nematoides são barrados em mercados internacionais, o que prejudica a competitividade e a imagem do país ou região no comércio global (Liu et al., 2020). Para controlar os nematoides, os agricultores precisam adotar práticas como o uso de cultivares resistentes, a rotação de culturas, o uso de controle biológico ou o uso de nematicidas (Pereira e Pires, 2023).

Nematoides, especialmente os de vida livre ajudam a regular o equilíbrio biológico do solo. Fitonematoides fazem parte do ecossistema complexo do solo, interage com outros organismos, como fungos, bactérias e protozoários. Alguns nematoides podem até ter papel

no controle de doenças e pragas, ao equilibrar populações de organismos nocivos (Jones et al., 2022).

No Brasil, os prejuízos causados por esses organismos estão em cerca de 87 bilhões de reais, sendo 65 bilhões apenas na cultura da soja (Syngenta, 2023). E em todo o mundo estima-se que os prejuízos anuais sejam da ordem de 150 bilhões de dólares (Fontes e Inglis, 2020). Segundo Araújo, (2019) no Brasil, as espécies que causam maiores danos são *Meloidogyne javanica*, *Meloidogyne incognita*, *Heterodera glycines*, *Pratylenchus brachyurus* e *Rotylenchulus reniformis*.

A importância dessas espécies para o país se deve a aspectos relevantes, como a presença endêmica em diversas regiões produtoras (*M. javanica* e *M. incognita*), elevada variabilidade genética (*H. glycines*) e risco potencial de dano com o incremento da área cultivada com espécies suscetíveis (*P. brachyurus* e *R. reniformis*).

A maioria das espécies de nematoides de galhas tem grande relevância em regiões de agricultura tropicais e subtropicais (Le, 2020), como *Meloidogyne incognita* e *M. javanica* (Alves et al., 2022). Eles possuem hábito polífago e são endoparasitas sedentários, sendo *M. incognita* a espécie de maior importância relatada a parasitar culturas de interesse econômico (Mesa-Valle et al., 2020).

Outro nematoide relevante para a agricultura é o das lesões *Pratylenchus brachyurus* (Godfrey) que é amplamente difundido no Brasil nos campos agrícolas e causa perdas de rendimento em culturas (Bonfim et al., 2021). É considerado o segundo grupo de nematoides mais importante na agricultura, após os nematoides de galhas do gênero *Meloidogyne* (Santos, 2020).

Porém, existem outros gêneros importantes para a agricultura mundial como: *Heterodera* spp, *Radopholus* spp, *Globodera* spp, *Nacobbus* spp, *Rotylenchulus* spp, *Tylenchulus* spp. (Pinheiro et al., 2020). Cada espécie possui as suas condições de desenvolvimento, sobrevivência e reprodução específico, e alterar de espécie a espécie (Tomazini, Filho e Oliveira, 2021). As fêmeas imaturas de *Rotylenchulus reniformis* causam infecção nas plantas e possuem alta capacidade de sobreviver sem hospedeiro, além de ter vantagem em relação as outras espécies, pelo fato de entrar em estado de anidrobiose quando o solo está com baixa umidade, suporta assim, a dessecação (Pinheiro et al., 2020).

Os fitonematoídeos são verdadeiros desafios invisíveis, e aqui estão 5 motivos essenciais para o seu estudo:

1. **Segurança Alimentar Global:** Eles causam perdas de produção em culturas cruciais (soja, milho, cana-de-açúcar, café) que podem chegar a 10% a nível mundial, ameaçando o abastecimento de alimentos.
2. **Prejuízo Econômico Bilionário:** Anualmente, representam perdas financeiras para o agronegócio global, tornando o estudo fundamental para a rentabilidade do produtor.
3. **Desenvolvimento de Manejo Sustentável:** O conhecimento sobre o ciclo de vida e a ecologia dos nematoides é a chave para criar métodos de controle mais ecológicos (como controle biológico e rotação de culturas), reduzindo a dependência de químicos.
4. **Diagnóstico Preciso:** A identificação correta da espécie (ex: *Meloidogyne incognita* versus *Meloidogyne javanica*) ou gênero (*Meloidogyne* versus *Pratylenchus*) é crucial, pois o plano de manejo é completamente diferente para cada uma.
5. **Melhoramento Genética de Plantas:** O estudo impulsiona o desenvolvimento de variedades de plantas resistentes, que é a ferramenta de controle mais eficaz, econômica e sustentável a longo prazo.

2.1. Evolução dos estudos sobre nematoides

Os estudos sobre nematoides evoluíram consideravelmente ao longo dos séculos, impulsionados pelo desenvolvimento de novas tecnologias e metodologias aplicadas a ciência dos nematoides (Maggenti, 1971). No início do século XX, pesquisadores começaram a classificar nematoides de acordo com suas características morfológicas e biológicas (Chitwood e Chitwood, 1950). Logo em seguida descobriu que algumas espécies de nematoides eram importantes pragas agrícolas (Croll e Matthews, 1977).

A origem e evolução dos estudos sobre nematoides está profundamente relacionada ao avanço das ciências biológicas, especialmente à microbiologia, zoologia e parasitologia (Jones et al., 2020). Os nematoides têm sido reconhecidos como organismos parasitas desde os tempos antigos, embora o estudo formal tenha começado mais tarde (Handoo et al., 2022). A verdadeira revolução nos estudos sobre os nematoides começou a acontecer nos séculos XVII e XVIII, com o advento do microscópio (Kerry, 2021).

O desenvolvimento da nematologia como campo de estudo se consolidou ao longo do século XIX, à medida que as ciências naturais avançavam e o entendimento sobre parasitas se aprofundava (Santos et al., 2023). O século XX foi fundamental para o avanço dos estudos sobre fitonematoídeos, com os avanços na taxonomia e classificação, primeiras descobertas sobre os danos causados, desenvolvimento de métodos de controle, avanços em biologia e genética (Pereira et al., 2022). Nos tempos modernos, os estudos sobre fitonematoídeos focam em estratégias mais sustentáveis e ambientalmente amigáveis (Campos et al., 2023).

2.1.1. Nematóide modelo de estudo -*Caenorhabditis elegans*

O *C. elegans* é um pequeno nematoide de vida livre, com cerca de 1 milímetro de comprimento, que se estabeleceu como um dos organismos modelo mais importantes na biologia contemporânea. Sua relevância advém de uma combinação única de características que o tornam ideal para o estudo de processos biológicos fundamentais (Peter, 2025).

Uma das suas características mais notáveis é a sua eutelia, o fenômeno de ter um número constante e fixo de células somáticas (exatamente 959 no hermafrodita adulto). Seu corpo é transparente, permitindo que os cientistas acompanhem a divisão, diferenciação e o destino de cada célula em um organismo vivo e intacto. O *C. elegans* possui um curto ciclo de vida (apenas 3-4 dias) e é fácil e barato de cultivar em grandes quantidades, principalmente em placas de Petri com bactérias como fonte de alimento. A reprodução majoritária é por autofecundação hermafrodita, o que facilita a manipulação genética e a criação de linhagens puras. Seu sistema nervoso é simples e totalmente mapeado, consistindo em exatos 302 neurônios, sendo o primeiro organismo a ter seu conectoma (o "cablamento" neural) conhecido. Além disso, o genoma do *C. elegans* foi o primeiro de um organismo multicelular a ser totalmente sequenciado em 1998, e ele compartilha uma alta porcentagem de genes homólogos com os humanos (Zhang et al., 2017).

A simplicidade e a transparência do *C. elegans* o tornaram um modelo essencial para estudos de biologia do desenvolvimento, envelhecimento, neurociência e doenças humanas, preenchendo a lacuna entre estudos em culturas de células e modelos vertebrados. A pesquisa com este nematódeo levou a descobertas fundamentais que foram laureadas com o Prêmio Nobel:

1. Prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina (2002): Concedido a Sydney Brenner, H. Robert Horvitz e John E. Sulston. Eles foram premiados pelas descobertas sobre a regulação genética do desenvolvimento de órgãos e da morte celular programada (apoptose). Brenner foi o pioneiro a estabelecer o *C. elegans* como modelo. Sulston mapeou a linhagem celular completa, e Horvitz identificou genes-chave no controle da apoptose, um processo vital que, quando desregulado, está ligado a doenças como o câncer e distúrbios neurodegenerativos.
2. Prêmio Nobel de Química (2008): Concedido a Osamu Shimomura, Martin Chalfie e Roger Y. Tsien pelo desenvolvimento da Proteína Fluorescente Verde (GFP). O trabalho de Martin Chalfie, em particular, utilizou o *C. elegans* para demonstrar que a GFP poderia ser usada para marcar células e proteínas específicas em organismos vivos, revolucionando a biologia celular.

3. Prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina (2024): Concedido a Victor Ambros e Gary Ruvkun pela descoberta dos microRNAs e seu papel na regulação genética. Eles realizaram seus estudos fundamentais no *C. elegans*, identificando o primeiro microRNA (*lin-4*), que se revelou um mecanismo regulatório essencial conservado em quase todos os animais, incluindo os humanos.

O *C. elegans* continua a ser uma poderosa ferramenta, com suas descobertas moldando a compreensão moderna de como a vida se desenvolve, funciona e envelhece.

2.2. Principais espécies de fitonematoides

As principais espécies de fitonematoides são responsáveis por grandes prejuízos econômicos em diversas culturas agrícolas no mundo, estão discriminadas na tabela a seguir.

Tabela 1. Fitonematoides de maior relevância econômica nas principais culturas do mundo.

Fonte: Adaptado de Ferraz & Brown, 2016.

Espécies principais	Importância	Culturas afetadas
<i>Meloidogyne incógnita</i> <i>M. javanica</i> <i>M. arenaria</i> <i>M. hapla</i>	Formam galhas nas raízes de praticamente todas as culturas, o que dificulta a absorção de nutrientes e água.	Grãos (soja, café e milho), Hortaliças, olerícolas e frutíferas.
<i>Heterodera glycines</i> <i>Globodera rostochiensis</i> <i>G. pallida</i>	Produzem cistos que protegem os ovos, assim tornam o controle difícil.	Soja, feijão, batata e beterraba.
<i>Pratylenchus brachyurus</i> <i>P. zaeae</i> <i>P. coffeae</i> <i>P. penetrans</i>	Causam lesões nas raízes, o que facilita infecção por bactérias e fungos.	Milho, soja, algodão, café, banana e batata.
<i>Radopholus similis</i>	Muito agressivo em culturas	Banana, cana-de-açúcar,

	perenes.	cítricos e pimenta-do-reino.
<i>Tylenchulus semipenetrans</i>	Afeta citros, e assim causam declínio, clorose e baixa produtividade.	Citros (laranja, limão e tangerina).
<i>Xiphinema index</i> <i>X. americanum</i> <i>X. diversicaudatum</i>	Vetores de vírus, causam danos diretos às raízes.	Videira, citros, morango, noqueira e ameixa.
<i>Ditylenchus dipsaci</i> <i>D. destructor</i>	Atacam tecidos aéreos e bulbos, principalmente em culturas hortícolas.	Alho, cebola, ervilha e beterraba.
<i>Rotylenchulus reniformis</i>	Parasitismo semipenetrante, altamente danoso em solos tropicais.	Algodão, soja, abacaxi e feijão.
<i>Aphelenchoides besseyi</i> <i>A. fragariae</i>	Vivem em folhas e causam manchas necróticas.	Morango, arroz e ornamentais.

2.3. Nematoides de vida livre

De acordo com os hábitos alimentares, os nematoides podem ser classificados em zooparasitas, fitoparasitas ou de vida livre. Os nematoides de vida livre são pouco estudados, mas exercem função extremamente importante na ciclagem de nutrientes e carbono e são fundamentais para a fertilidade do solo e produtividade agrícola (Kane et al., 2022). Os nematoides de vida livre se dividem em quatro grupos tróficos, são eles, fungívoros, que se alimentam de fungos; bacteriófagos, que se alimentam de bactérias; predadores, que se alimentam de organismos menores ou de outros nematoides e os onívoros, que possuem dieta variada (da Silva, 2022).

Os nematoides de vida livre são uma categoria de nematoides que não dependem de plantas ou animais para a sua alimentação e reprodução (Maupas, 2022). Eles são encontrados principalmente em sedimentos aquáticos, solos e compostos orgânicos em decomposição (Germida et al., 2021). Sua forma é geralmente simples, com cavidade

corporal chamada de pseudoceloma que é preenchida com fluido e isso ajuda a manter a estrutura e a transportar nutrientes (Hendrix e Berman, 2023).

Podem se reproduzir tanto de maneira assexuada quanto sexuada a depender da espécie e das condições ambientais (Ma et al., 2023). Ao se alimentar de detritos e decompor matéria orgânica, eles ajudam a liberar nutrientes importantes para o solo, como fósforo, nitrogênio e potássio (Katz et al., 2022). Os nematoides fungívoros e bacteriófagos ajudam a regular as populações de fungos e bactérias no solo e garante que esses microrganismos não se tornem abundantes, o que afeta negativamente o equilíbrio ecológico (Neher, 2021).

Os nematoides de vida livre, especialmente aqueles que se alimentam de fungos e bactérias, são indicadores biológicos importantes para avaliar a qualidade do solo (Tian et al., 2022). Alguns dos principais gêneros de nematoides de vida livre incluem *Caenorhabditis*, *Panagrellus*, *Rhabditis* e *Bursaphelenchus* (Zhao et al., 2023).

O gênero *Caenorhabditis* inclui a famosa espécie *Caenorhabditis elegans*, que é amplamente usada em estudos biológicos e genéticos devido ao ciclo de vida curto, transparência e facilidade de criação (Müller et al., 2021). É amplamente utilizado em pesquisas científicas, especialmente em áreas de desenvolvimento, genética, biologia celular e neurociência.

O gênero *Panagrellus* agrupa nematoides saprófitas encontrados em detritos orgânicos e em solos (Bongiorno et al., 2023). Outro gênero de nematoides que pode ser encontrado associado a microrganismos no solo ou a decomposição de matéria orgânica é o *Rhabditis* (Liu et al., 2022). Alguns membros do gênero *Bursaphelenchus* são encontrados em madeira em decomposição, mas o gênero também inclui espécies que são parasitas de árvores.

Embora nem todos os nematoides de vida livre sejam usados diretamente no controle biológico de pragas, sua presença ajuda a regular as populações de microrganismos patogênicos ao criar equilíbrio no solo (Liu et al., 2023). Sendo componente essencial dos ecossistemas aquáticos e do solo, além disso gêneros como *Caenorhabditis* possuem grande importância na pesquisa científica, pois serve como modelo para diversos estudos genéticos e biológicos (Schiffer et al., 2022).

2.4. Principais nematoides fitoparasitas

2.4.1. *Meloidogyne* spp.

O nematoide de galhas, do gênero *Meloidogyne* (Figura 2), são os mais importantes fitonematoides no mundo, devido sua alta capacidade de parasitismo em diversos cultivos

agrícolas e seu difícil controle (Leiva et al., 2020). Se desenvolvem melhor em áreas tropicais, mas sobrevivem em áreas temperadas, dependentes da temperatura para o seu desenvolvimento (Junior e Santos, 2020). Eles causam desordem no sistema radicular da planta (Figura 1), pois formam galhas e compromete a adequada absorção de água e nutrientes (Araujo et al., 2023). São qualificados como endoparasitas sedentários (Bui e Desaegeer, 2022). **Figura 2.** Sintomas da infecção por *Meloidogyne enterolobii* em feijão comum.



Fonte: Oliveira e Mutaguti (p. 2, In: Silva et al., 2021).

Os nematoides de galhas, gênero *Meloidogyne*, pertencem à ordem Rhabditida, superfamília Tylenchidea, família Meloidognidae, esse gênero inclui mais de 98 espécies descritas globalmente, das quais 21 já foram assinaladas no Brasil (Subbotin et al., 2021). Este grupo de nematoides são classificados como endoparasitas sedentários, fêmeas maduras colocam ovos envoltos de matriz gelatinosa protetora, após a embriogênese o juvenil de segundo estágio (J2) eclode, sendo o estágio infectivo, então migram por meio do solo ao encontro da raiz para colonizar, perfuram a parede celular, entram e migram intracelularmente no cilindro vascular por meio da combinação de dano físico causado pelo estomatoestilete e pela ação de injeção de secreções enzimáticas das glândulas esofagianas que atuam na degradação das células e ingestão do conteúdo citoplasmático (Grynberg et al., 2020).

O ciclo de vida de *Meloidogyne* consiste em seis estágios ovo, J1, J2, J3, J4 e adultos (Figura 2). Sendo apenas o estágio J2 (móvel), capaz de infectar as raízes do hospedeiro. Após a infecção os estágios adicionais de desenvolvimento ocorrem dentro da raiz da planta, ou seja, nos locais de alimentação, no entanto, os juvenis J3 e J4 possuem natureza sedentária. O J4 muda para adultos fêmea ou macho (raramente a depender das condições ambientais). A partir dessa associação desarmônica entre o parasita e a planta hospedeira, formam fêmeas com estrutura semelhante com uma vesícula, que perdem o movimento e tornam-se verdadeiras máquinas de produzir ovos (Silva et al., 2022). Os machos não desempenham função na reprodução, pois a maioria dos nematoides de galhas se reproduzem por partenogênese, e migram para fora da planta. Muitas proteínas efetoras, derivadas do nematoide de galhas, funcionam como moduladores de mecanismos celulares das plantas, o que modificam aspectos fisiológicos na planta em benefício do patógeno. O macho adulto recupera sua motilidade e são capazes de deixar a raiz (Figura 3), enquanto as fêmeas permanecem sedentárias, aumentam o tamanho e passam a ter forma globosa, denominada de formato pêra e ovopositam seus ovos fora da raiz em matriz gelatinosa de glicoproteína que serve como proteção contra predadores e perda de água, a fêmea produz em torno 500 a 1000 ovos por ciclo (Sikandar et al., 2020).



Figura 3. Nematoide de galhas –*Meloidogyne javanica*. A: galhas em raízes de giboma. B: Ovos e juvenis de 2º estágio. C: Fêmea exposta fora da raiz; D: macho de *Meloidogyne*. Fonte: A-C: Rodrigo Vieira da Silva. D: Gabriela Martins Araújo.

As raízes infectadas ou parasitadas por nematoides do gênero *Meloidogyne* não são capazes de realizar a função normal de absorção de água e nutrientes (Wiratno et al., 2020). Além disso, os sintomas mais comuns provocados pelos nematoides são a redução do porte da planta, amarelecimento das folhas, seca prematura, o que resulta em baixa produtividade (Neves, 2021).

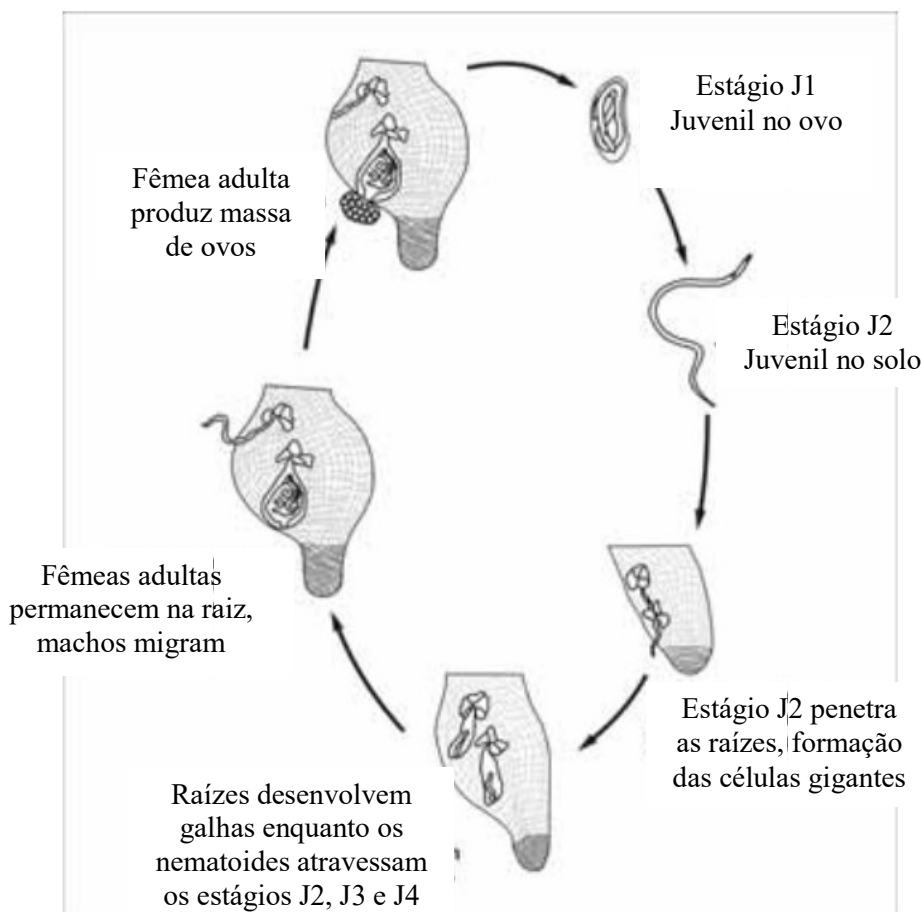


Figura 4. Ciclo de vida do gênero *Meloidogyne* Goldi, 1892.

Esses nematoides são classificados como parasitas obrigatórios, ou seja, seus juvenis infectantes estimulam células nutridoras no vegetal hospedeiro, e para se alimentar sobre essas células o fitonematoide cria canal de alimentação (Khanal e Harshman, 2022). O estabelecimento do sítio de alimentação (células gigantes) além de causar a deformação física da raiz, servem de entradas para outros patógenos oportunistas e prejudica a translocação de seiva, que causam redução no crescimento, amarelecimento e casos mais severos a seca e morte das plantas (Sikandar et al., 2020).

Devido seu hábito alimentar generalista, pode afetar diversas espécies de plantas, incluindo as leguminosas (feijão-caupi, feijão carioca e soja), solanáceas (batata, tomate,

pimenta, berinjela e tabaco), cacau, goiaba, figo, café, kiwi e hortaliças (Magalhães et al., 2021).

Tabela 2. Prejuízos econômicos causados pelo nematoide e galhas (*Meloidogyne* spp.) em algumas das principais culturas agrícolas. Fonte: Ferraz; Santos, 2011.

Cultura	Prejuízo estimado (%)	Sintomas principais	Impactos econômicos
Soja	10-80%	Redução do porte das plantas, folhas amareladas e galhas nas raízes	Queda na produtividade e qualidade dos grãos
Algodão	20-60%	Murcha, queda precoce de flores e galhas extensas	Redução do rendimento por hectare
Tomate	30-100%	Galhas grandes nas raízes, murcha e frutos pequenos	Perdas totais em cultivos não protegidos
Batata	20-70%	Nódulos nas raízes e plantas atrofiadas	Desvalorização dos tubérculos e menor produção
Cenoura	25-80%	Raízes bifurcadas ou deformadas e menor calibre	Impróprias para o mercado consumidor
Milho	5-40%	Redução no desenvolvimento radicular e da planta	Diminuição da produtividade, principalmente em solos leves
Feijão	20-50%	Galhas murcha, menor número de vagens	Menor produtividade e qualidade das sementes
Café	20-60%	Atrofia, murcha e clorose	Redução do crescimento de mudas e pegamento no

			campo
Melancia	30-90%	Clorose, murcha e frutos pequenos	Diminuição do rendimento comercial e qualidade

2.4.2. *Heteroderaglycines*

Os nematoides formadores de cisto, *Heterodera glycines* (Figura 4) também possuem grande importância no Brasil (Tóthné Bogdányi et al., 2021). O seu ciclo de vida se assemelha bastante com o ciclo do gênero *Meloidogyne* spp., com a formação do sítio de alimentação, porém sem a formação de galha (Costa et al., 2020). No entanto, o tecido nutridor recebe o nome de sincício (Varandas et al., 2020). Os juvenis de segundo estágio (J2) infectam a planta hospedeira pela ponta de sua raiz (El-Deriny et al., 2020).

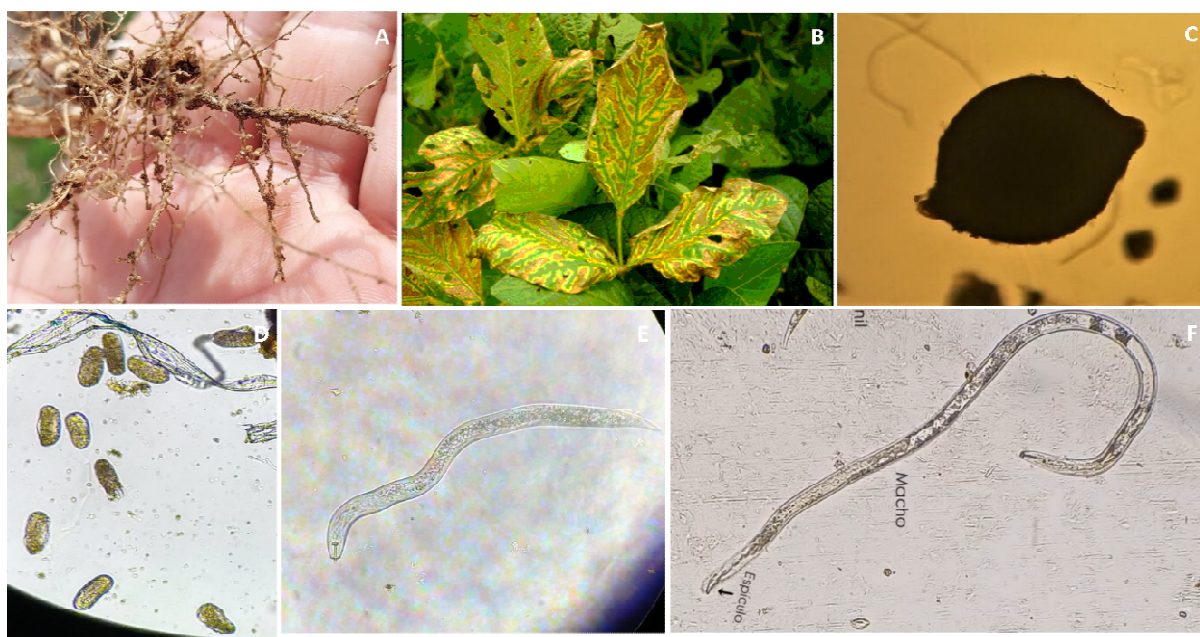


Figura 5. Nematoide do cisto – Nematoide de cisto da soja, *Heterodera glycines*. A: Sintoma e sinais nas raízes de soja. B: sintoma de carijó, amarelecimento foliar em soja sob ataque do nematoide. C: Cisto de *H. glycines*. D: Ovos de *H. glycines*. E: Juvenil de segundo estágio. F: Macho de *H. glycines*. Fonte da imagem A-E: Rodrigo Vieira da Silva F: Warley Peres da Silveira

Depois da infecção, os juvenis de segundo estágio deslocam-se para as camadas internas do córtex, onde perfuram as células à medida que passam (Kumar e Dara, 2021). No momento que os juvenis atingem as camadas internas, eles iniciam a busca pela célula

sincicial inicial e, uma vez encontrada, inserem o estilete na célula e liberam proteínas e secreções efetoras para dar início a formação do sítio de alimentação (Roopa e Gadag, 2020).

O sincício é uma célula com múltiplos núcleos, resultante da fusão das paredes celulares das células próximas a célula sincicial inicial e fusão de seus protoplastos (Shakeel et al., 2020). Os nematoides de cisto não ocasionam o processo de hipertrofia ou hiperplasia e isso evita a formação das galhas (Sivasubramaniam et al., 2020). Dessa maneira, as representantes fêmeas desses fitonematoídeos, na fase adulta, rompem as raízes e expõem o seu corpo para fora, que assume o formato esférico, de coloração amarelada ou branca, permanece presas somente pela região esofágica (Varandas et al., 2020).

As fêmeas dos nematoides de cistos carregam a maior parte de seus ovos no útero, chegam a reter 80 a 90% deles (Tóthné et al., 2021). Cada fêmea pode carregar em média cerca de 200-600 ovos. Esse mecanismo é responsável por causar a sua morte, no qual sua coloração externa muda de branco para marrom e sua cutícula se torna mais rígida, originando assim o cisto. O cisto serve como estrutura de proteção para os ovos, evita os danos causados por estresse ambiental.

Eles podem garantir proteção por anos, e os juvenis infectantes só deixam essa estrutura no momento que as condições ambientais se encontram favoráveis e a partir da presença da planta hospedeira. Os representantes machos se assemelham ao do gênero *Meloidogyne*, que são filiformes. Eles permanecem na raiz da planta somente até a fase adulta, após esse estágio, eles migram pelo solo e fertilizam as fêmeas (Roopa e Gadag, 2020; Varandas et al., 2020).

Há evidências de que os machos são atraídos por feromônios liberados pelas fêmeas. Além disso, uma mesma fêmea pode ser fecundada por machos diferentes, como o caso da espécie *Heterodera glycines*. Esse fenômeno é responsável por aumentar o grau de variabilidade genética em mesmo cisto, originando várias raças desse nematoídeo. Os nematoides do cisto também causam sintomas na parte aérea das plantas, evidenciado pelo mau crescimento das mesmas (Kumar e Dara, 2021).

As raízes também podem apresentar danos, o que compromete a obtenção de nutrientes e água pela planta. Em algumas espécies pode ocorrer murcha em determinados períodos do dia, principalmente nas horas mais quentes do dia (Figura 5).



Figura 6. Sintomas de nematoide do cisto no campo de soja, ressaltando a reboleira. Foto: Bayer.

2.4.3. *Pratylenchus* spp.

Um outro grupo importante de fitonematoides, são os nematoides responsáveis por lesões nas raízes, os nematoides do gênero *Pratylenchus* (Figura 6). Esses organismos são migratórios em todo seu estágio de vida (J2 a J4 e adultos). Seu ciclo de vida dura em média de 3 a 8 semanas, a depender da espécie e das condições ambientais. Após seu desenvolvimento para a fase J1, que ocorre dentro do ovo, ele se desenvolve para J2 e eclode (Orlando et al., 2020).

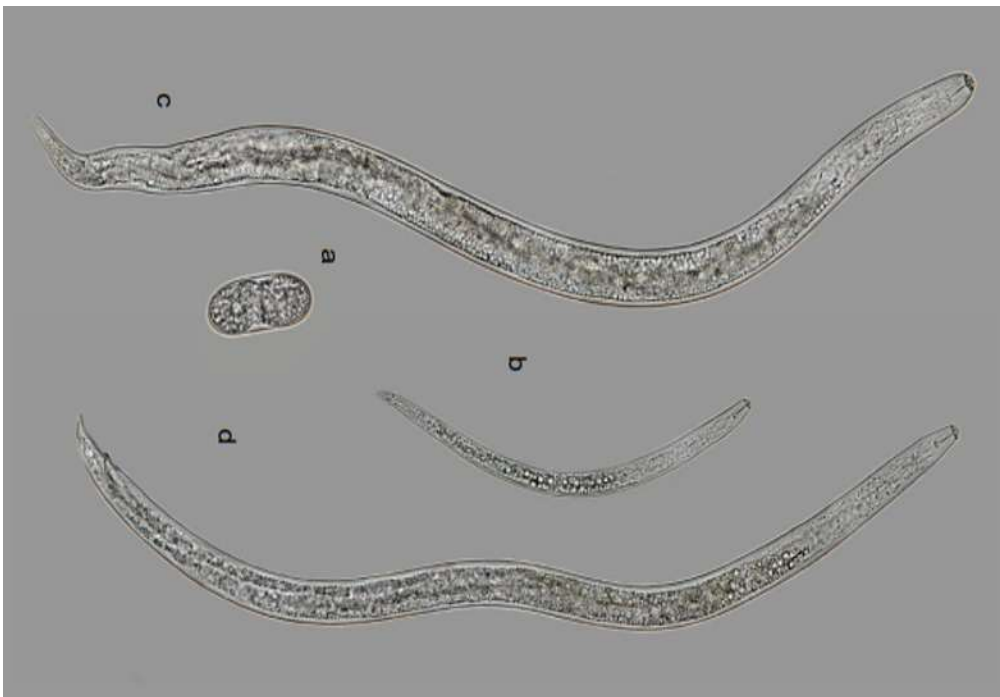


Figura 7. Os diferentes estágios de vida do nematoide das lesões radiculares *Pratylenchus penetrans*: ovo (a), juvenil (b), fêmea (c) e macho (d) adultos. Imagem de Jon Eisenback.

As fêmeas de *Pratylenchus* spp. depositam os ovos na raiz infectada ou no solo. Diversas espécies do gênero desenvolveram respostas às mudanças nas condições ambientais que podem ocorrer no seu habitat. Uma delas é a anidrobiose, estado caracterizado pela redução da alimentação, metabolismo e movimentação. Esse estado é consequência do estresse causado por baixa umidade. Além disso, sob condição de seca, esses nematoides se enrolam para reduzir sua superfície de contato corpo-solo (Ribeiro et al., 2020).

Os indivíduos adultos e juvenis do gênero *Pratylenchus* infectam de forma repetida as raízes de seu hospedeiro (Figura 7). Eles penetram pela epiderme do tecido vegetal e viajam ao longo do córtex, movem-se de célula em célula. Após o processo parasitário, as células entram em colapso e apresentam largas cavidades. Assim, as raízes infectadas apresentam áreas necróticas, lesões, morte celular e podridão radicular por ataque secundário de bactérias e fungos presentes no solo (Nomura et al., 2024).

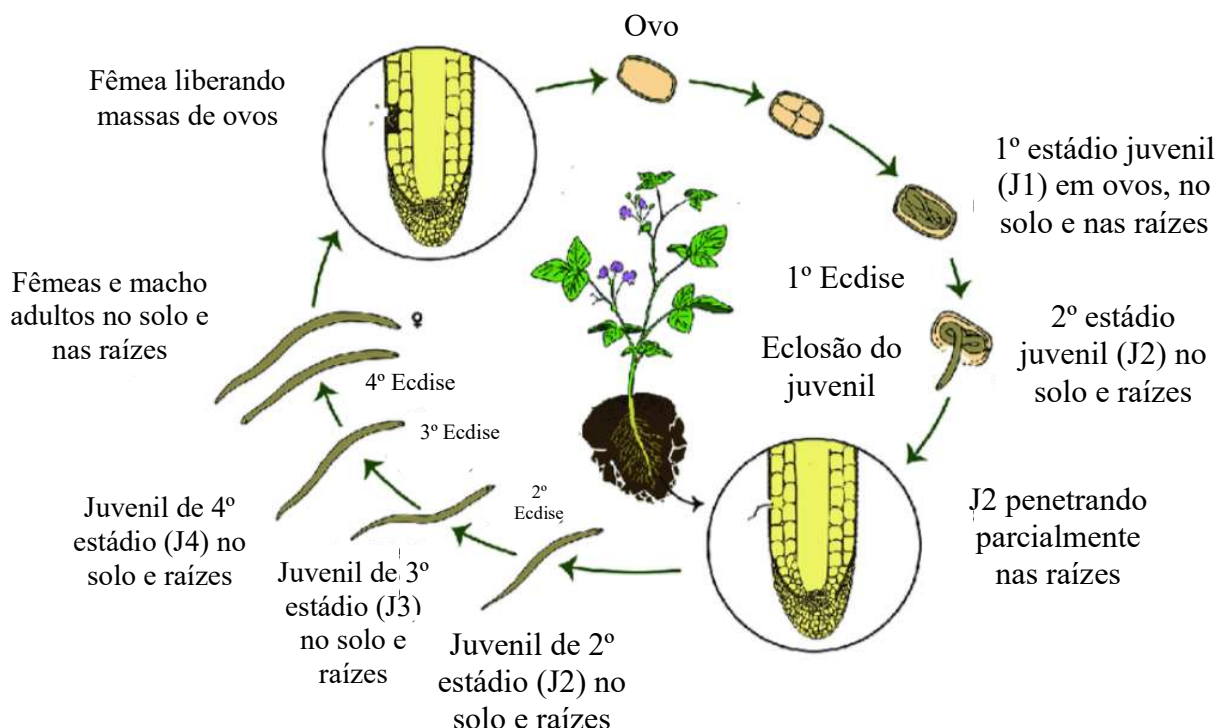


Figura 8. Ciclo de vida de *Pratylenchus brachyurus* em soja. Fonte: Lopez-Nicora et al. (2021).

Além disso, as raízes assumem a coloração escurecida devido às lesões necróticas presentes (Figura 8). O dano apresentado nas raízes é importante indicador do parasitismo de *Pratylenchus* spp. Os sistemas radiculares reduzidos e áreas escuras são sinais da presença desses organismos. Esses danos ocorrem devido à movimentação, alimentação e liberação de enzimas, efetores e toxinas. Não ocorre a formação de galhas e os sintomas são de clorose, nanismo e reboleiras na lavoura (Pinheiro et al., 2020).



Figura 9. Sintomas de necroses (lesões) em raízes de cana-de-açúcar, causadas pelo nematoide das lesões radiculares, *Pratylenchus brachyurus*. Fonte: Syngenta, São Paulo, 2022.

O parasitismo dos nematoides das lesões podem exibir na parte aérea das plantas, sintomas parecidos com os nematoides de galha e cisto, como a murcha nas horas mais quentes do dia e crescimento inferior a plantas saudáveis. É necessário ressaltar que nenhum dos sintomas listados acima é exclusivo das infestações por nematoides. A maioria desses sintomas pode estar relacionada a outras causas, não necessariamente ao parasitismo desses organismos (Dias et al., 2023).

Para reconhecer adequadamente os nematoides presentes nas áreas de cultivo, é preciso realizar análises de solo, para realmente confirmar que as evidências encontradas são causadas por essas espécies. Dessa maneira, devido a essa dificuldade em diagnosticar a doença, os ataques por nematoides são percebidos quando há um alto nível de parasitismo, o que resulta em grandes prejuízos econômicos no setor agrícola e perdas na produção.

2.4.4. *Aphelenchoides* spp.

Aphelenchoides é o gênero de nematoides pertencente à família Aphelenchoididae, conhecido por parasitar plantas. Estes causam danos significativos a diversas culturas agrícolas, em especial a parte aérea das plantas, ao se alimentarem de folhas, caules e brotos. As espécies comuns são *Aphelenchoides besseyi* (Figura 9), nematoide da ponta branca do arroz, *Aphelenchoides fragariae*, nematoide da folha do morango e *Aphelenchoides ritzemabosi*, nematoide foliar do crisântemo (Ji et al., 2023).

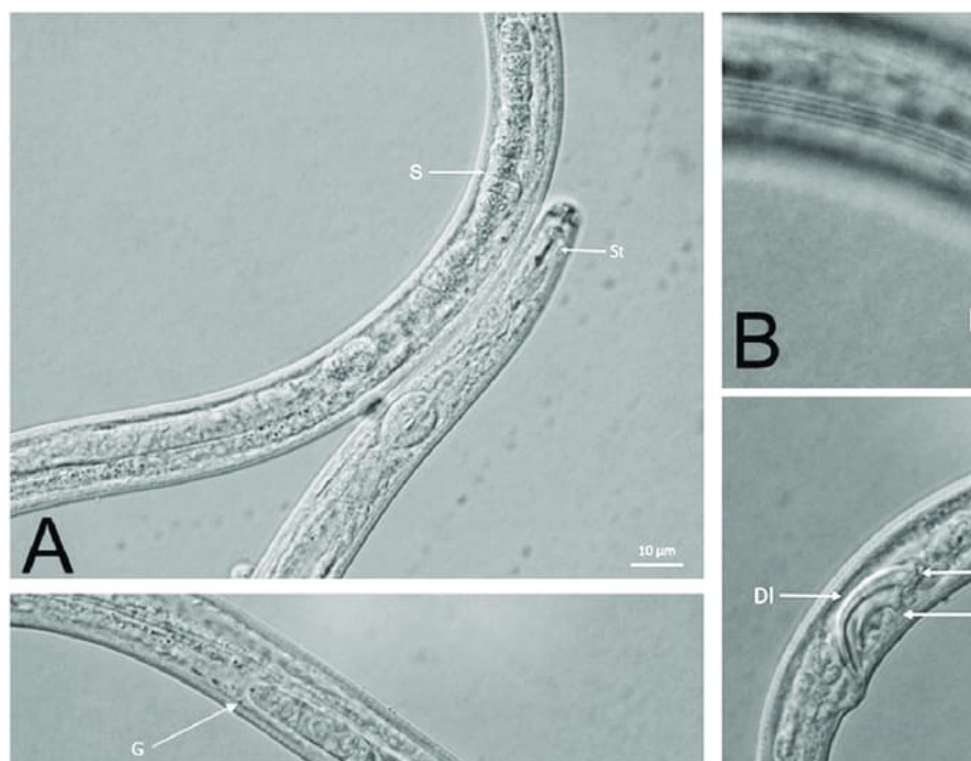


Figura 10. Fotomicrografias de macho de *Aphelenchoides besseyi*. (A) Porção anterior e média do corpo com ênfase no estilete (St) e o espermatozoide (S). (B) Campo lateral (LF) marcado por quatro incisuras. (C) Porção anterior do testículo (T) com evidência da zona germinativa (G). (D) Porção posterior do corpo com destaque para as espículas, o membro dorsal (DL) é bem definido, o côndilo (Cn) e o rostro (Rs) não são bem desenvolvidos. Imagem de Clemem Oliveira.

Além disso, o *A. besseyi* é o responsável pela síndrome da haste verde da soja e representa um desafio significativo para a cultura, caracterizada pela senescência tardia do caule e das hastes, que permanecem verdes e fisiologicamente ativas mesmo após a maturação das vagens e folhas. A literatura especializada aponta que essa condição não é causada por um único fator, mas sim por uma complexa interação entre pragas, doenças e estresses ambientais. De acordo com pesquisas, o ataque de percevejos-pragas, especialmente em fases críticas de desenvolvimento da cultura, está fortemente correlacionado ao aumento da incidência da síndrome (Embrapa, 2020; Hoffmann-Campo et al., 2017).

Vivem em ambientes úmidos, sobrevivem em restos de plantas e no solo, o ciclo de vida pode ser completado em 10 dias sob condições ideais, o que permite rápida multiplicação. Eles são amplamente distribuídos em regiões com clima temperado e tropical, possuem importância agrícola pois atacam diversas culturas, alimentícias e ornamentais. Diferente de outros nematoides que vivem exclusivamente no solo, várias espécies de *Aphelenchoides* são conhecidas como nematoides foliares, pois se alimentam dos tecidos das folhas, caules jovens e brotos (Lai et al., 2023).

Esses nematoides possuem notável capacidade de sobrevivência, podem resistir à dessecação, entram em estado de anidrobiose quando as condições ambientais não são favoráveis, como durante períodos de seca. Quando a umidade retorna, eles reativam o metabolismo e retomam a atividade parasitária. Essa característica dificulta o controle e favorece a disseminação em restos culturais, partes de plantas infectadas ou sementes contaminadas (BASF, 2023).

As fêmeas depositam ovos diretamente nos tecidos da planta hospedeira, onde os juvenis se desenvolvem até a fase adulta. A infestação geralmente começa em manchas localizadas e se espalham rapidamente com a presença de água na superfície das folhas, o que facilita o movimento dos nematoides. O controle dessas pragas é desafiador e envolve medidas integradas, como o uso de sementes ou mudas livres de nematoides, a rotação de culturas, a eliminação de restos vegetais infectados, e em alguns casos, o uso de nematicidas. Em cultivos ornamentais, o controle biológico e o manejo ambiental, como a redução da irrigação por aspersão, são estratégias importantes para limitar a propagação (Lu et al., 2024).

Além das características biológicas, é importante destacar que os nematoides do gênero *Aphelenchoides* apresentam comportamento migratório tanto dentro quanto fora da planta. Eles conseguem se mover entre os espaços intercelulares dos tecidos vegetais, causam destruição das células por meio da liberação de enzimas digestivas. Isso resulta em sintomas visíveis como necrose, deformações, enrugamento e morte dos tecidos afetados (Dayi, 2024).

2.4.5. *Bursaphelenchus* spp.

Bursaphelenchus é gênero de nematoides pertencente à família *Aphelenchoididae*, conhecido principalmente por conter espécies de grande importância florestal, especialmente como vetores de doenças em árvores. São microscópicos e vivem de forma saprofítica ou parasitária. Algumas espécies se associam a besouros da madeira do gênero *Monochamus* spp. que atuam como vetores (Qiu et al., 2023).

A espécie mais conhecida é *Bursaphelenchus xylophilus* (Figura 10) responsável pela murcha do pinheiro (*Pine Wilt Disease*), doença grave que afeta diversas espécies de pinus. Transmitido por besouros cerambicídeos como *Monochamus galloprovincialis*. A doença causa o bloqueio dos vasos condutores da árvore, leva a morte em poucas semanas ou meses. É praga quarentenária A1 no Brasil, de ausência comprovada, e está presente em países como China, Japão, Coreia e partes da Europa (Kirino et al., 2023).

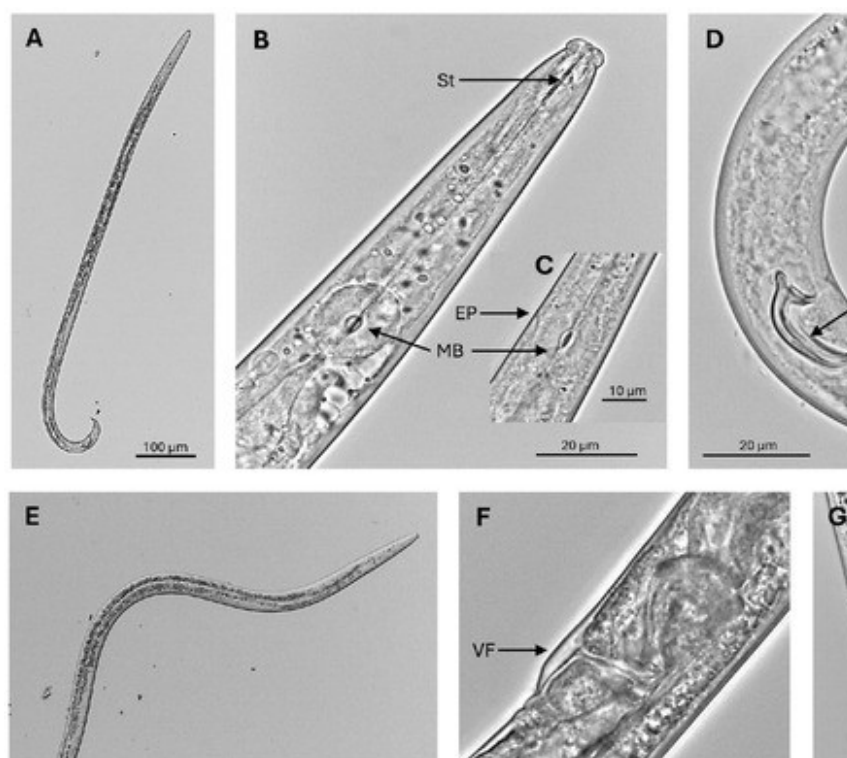


Figura 11. Fotografias microscópicas de *Bursaphelenchus xylophilus* de *Pinus sylvestris*, coletadas em Serra da Lousã (Coimbra, Portugal), mortas com calor e montadas em água. (A) macho (corpo inteiro); (B) região anterior; (C) região da lâmpada média; e (D) cauda masculina. (E) fêmea (corpo inteiro); (F) região vulvar e (G) cauda arredondada feminina. ST: estilete; EP: poro excretor; MB: lâmpada mediana; SP: espículas; Cu: cucullus; VF: retalho vulvar; e An: ânus. Imagem de Luís Fonseca.

O nematoide *B. cocophilus*, conhecido como agente causal do anel-vermelho, é um importante fitopatógeno de palmeiras, especialmente do coqueiro e do dendê. Esse nematoide migra pelo sistema vascular da planta, provocando obstrução dos vasos e levando ao murchamento progressivo, amarelecimento das folhas e formação de um anel avermelhado característico no lenho do estipe (Sarria et al., 2020). A transmissão ocorre principalmente pelo inseto vetor *Rhynchophorus palmarum* (bicudo-da-cana ou broca-do-coco), que carrega os nematoides durante a oviposição em tecidos feridos (Magalhães; Neto; Miguens 2006). O controle exige manejo integrado, incluindo monitoramento e eliminação de plantas

infectadas, uso de armadilhas para o vetor e adoção de mudas saudáveis, sendo fundamental para reduzir prejuízos econômicos nas áreas produtoras de palmeiras (Leal et al., 2011).

Outras espécies importantes são a *Bursaphelenchus mucronatus* semelhante ao *B. xylophilus*, que é menos agressivo. *Bursaphelenchus fraudulentus*, *B. leoni* e *B. hofmanni* que são encontrados em diversos habitats e menos associados a doenças severas. O diagnóstico é feito por análise morfológica em microscópio e, preferencialmente, por métodos moleculares como PCR (Arbuzova et al., 2025).

O controle envolve o monitoramento de serrarias e florestas, controle do vetor, restrição ao transporte de madeira infectada e queima ou tratamento térmico da madeira contaminada. O ciclo da doença começa com a infecção da árvore por nematoides transportados por besouros vetores. Após penetrarem nos canais resinosos da planta, os nematoides se multiplicam e bloqueiam os vasos do xilema, causam estresse hídrico e colapso vascular (Gao et al., 2024).

A disseminação geográfica do *B. xylophilus* está diretamente relacionada ao transporte internacional de madeira não tratada, especialmente paletes, toras e embalagens de madeira. O Japão foi o primeiro país a sofrer grandes perdas econômicas com a doença, e desde então, ela se espalhou para países como China, Coreia do Sul e Portugal. Na Europa, a presença de *B. xylophilus* é ameaça constante às florestas nativas e às plantações comerciais (Qiu et al., 2024).

2.4.6. *Criconemella* spp.

Criconemella é gênero de nematoides fitoparasitas pertencente à família Criconematidae, conhecidos como nematoides anelados devido à presença de cutícula espessa com anéis bem marcados ao redor do corpo (Figura 11). São endoparasitas semi-sedentários ou ectoparasitas, ou seja, vivem no solo e alimentam-se externamente das raízes das plantas. O corpo desses nematoides geralmente são curtos e robustos, com cutícula muito ornamentada em anéis concêntricos (Dehghan e Ghaderi, 2024).

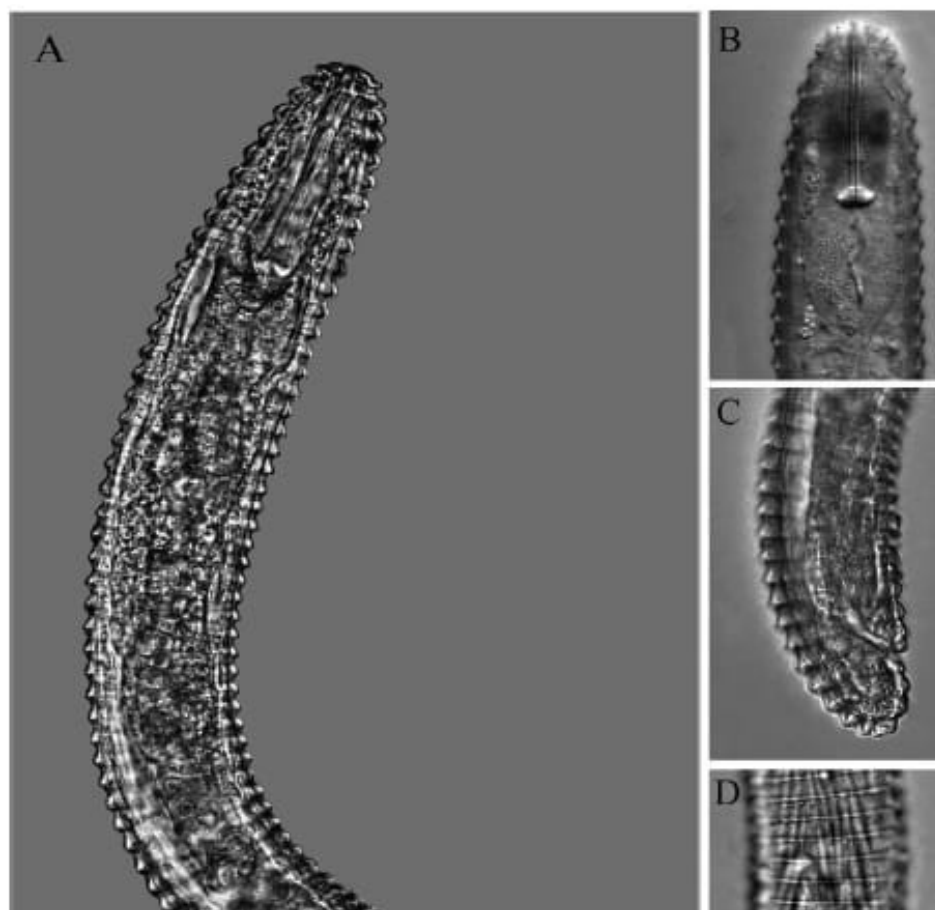


Figura 12. Micrografias de *Mesocriconema sphaerocephalum* (Heredia, Costa Rica, 2013). (A) corpo inteiro da fêmea; (B) porção anterior do corpo com evidência do estilete e os lobos submedianos; (C) e (D) porção posterior com destaque para a vulva e o formato da cauda. Barras de escala = 20 μ m. Imagem de Walter Peraza-Padilha.

O estilete é bem desenvolvido, e é utilizado para perfurar células das raízes e se alimentar do conteúdo celular. O esôfago é do tipo típico dos nematoides fitoparasitas, com bulbo metacorciano bem visível. O sistema reprodutivo das fêmeas é didélfico na maioria das espécies. O *Cicronemella* spp. são encontrados em diversas regiões do mundo, em solos cultivados e não cultivados (Cantalapiedra-Navarrete et al., 2024).

Embora nem todas as espécies causem danos severos, algumas são economicamente importantes em frutíferas como videira, citros e pessegueiro, plantas ornamentais, gramíneas forrageiras e culturas anuais como milho, soja e algodão. Esses nematoides causam redução no desenvolvimento radicular, o que afeta a absorção de nutrientes e água, leva à clorose, murcha e queda de produtividade (Shahkoomahally et al., 2024).

A identificação morfológica requer microscopia óptica e análise detalhada dos anéis da cutícula, vulva, cauda e estilete. Os métodos moleculares vêm sendo utilizados para

confirmar a identificação, especialmente em áreas com várias espécies semelhantes em coexistência. Os principais métodos de controle e manejo são a rotação de culturas com espécies não hospedeiras, uso de matéria orgânica para estimular inimigos naturais no solo, nematicidas químicos ou biológicos e a resistência varietal pois algumas culturas apresentam cultivares mais tolerantes (Sakwe e Geraert, 2023).

As espécies mais comuns são a *Criconemella xenoplax* bastante estudada pela associação com frutíferas, especialmente pessegueiros. As *C. onoense*, *C. curvata* e *C. sphaerocephla* são relatadas em diversas culturas e regiões. Embora esses nematoides geralmente sejam considerados de baixa patogenicidade, a importância é significativa em solos arenosos e pouco férteis, nos quais o estresse hídrico e nutricional potencializa os danos causados (Archidona-Yuste et al., 2024).

2.4.7. *Ditylenchus* spp.

O gênero *Ditylenchus* inclui nematoides fitoparasitas e micófagos amplamente distribuídos no solo e em materiais vegetais. São pequenos medindo cerca de 1 mm, com corpo fino e flexível, e apresentam grande importância agrícola, especialmente as espécies que atacam partes aéreas e estruturas de armazenamento das plantas. As principais espécies de importância econômica são a *Ditylenchus dipsaci* conhecido como nematoide caixeiro (Figura 12) e o *Ditylenchus destructor* (Song et al., 2023).



Figura 13. Nematóide *Ditylenchus dipsaci*. Fotografia: Bruce Watt, Universidade do Maine. Fonte: Bugwood.org.

O *Ditylenchus dipsaci* é o mais importante do gênero, sendo altamente polífago, ataca mais de 500 espécies de plantas. Entre elas a batata, bulbos como alho e cebola, beterraba, aveia, centeio e outras gramíneas. O *Ditylenchus destructor* ataca principalmente tubérculos e raízes, como a cenoura, batata, amendoim e beterraba. São ectoparasitas migradores, vivem dentro de tecidos vegetais ou nos espaços intercelulares, causam necrose e desorganização dos tecidos (Li et al., 2024).

Esses nematoides possuem capacidade de anidrobiose, podem sobreviver por longos períodos em condições secas, especialmente o *D. dipsaci*, o que dificulta o controle. Estes nematoides são disseminados por bulbos, sementes, tubérculos e até por ferramentas agrícolas contaminadas. Os sintomas típicos nas plantas são deformações, inchaços e necroses em bulbos e brotos, encurtamento de entrenós e coloração escura dos tecidos atacados, apodrecimento em estruturas de armazenamento e má germinação de sementes infectadas (Lorenzo et al., 2023).

Para o diagnóstico e a identificação requer análise microscópica do material vegetal ou solo. No sentido morfológico, esses nematoides possuem esôfago do tipo procerciano e sistema reprodutor didélfico. As técnicas moleculares como PCR são usadas para identificação precisa, principalmente em sementes. Os principais métodos de controle e manejo incluem o uso de sementes e material propagativo certificados e livres de nematoides (Huh et al., 2024).

Além de técnicas de rotação de culturas com espécies não hospedeiras, desinfestação de ferramentas e solos, tratamento térmico com água quente para bulbos e sementes e em alguns países, utiliza nematicidas químicos que são permitidos, mas o uso é restrito. Do ponto de vista ecológico, o ciclo de vida dos *Ditylenchus* é bastante eficiente. Os ovos são depositados dentro dos tecidos vegetais e os juvenis passam por quatro estágios até atingirem a fase adulta (Öcal et al., 2023).

De acordo com Silva et al. (2016), *Ditylenchus gallaeformans* Ritzema Bos (1891) foi identificado em canela-de-velho (*Miconia albicans* (Sw.) Triana) no Cerrado goiano, em trabalho conduzido pelo professor Dr. Rodrigo Silva. A espécie hospedeira é nativa de regiões tropicais e comum nesse bioma, e o nematóide tem sido estudado como possível agente de biocontrole de plantas da família Melastomataceae, invasoras em ecossistemas das ilhas do Pacífico.

2.4.8. *Helicotylenchus* spp.

O gênero *Helicotylenchus*, conhecido popularmente como nematoide-espiralado (Figura 13), pertence à família *Hoplolaimidae* e é o grupo mais comuns de nematoides fitoparasitas encontrados em solos florestais e agrícolas. Ele é amplamente distribuído em todo o mundo e pode parasitar diversas culturas, como soja, milho, banana, algodão e café. São ectoparasitas semi-endoparasitas, alimentam-se principalmente da região cortical das raízes, onde causam lesões superficiais e facilitam a entrada de patógenos (Duan et al., 2024).

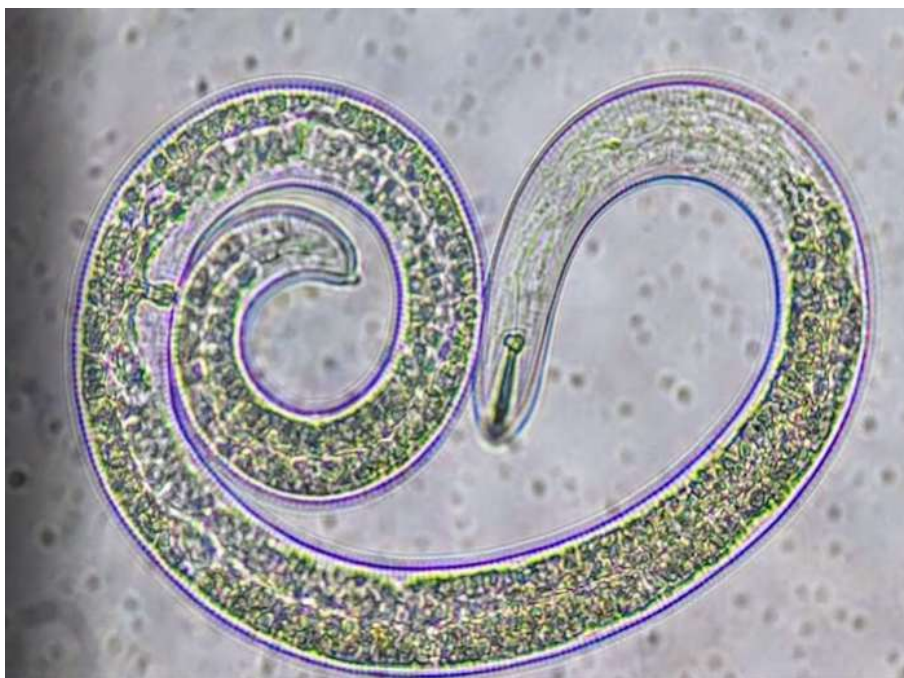


Figura 14. Nematóide do gênero *Helicotylenchus* sp. Fonte: Martins, G. A. 2024.

Possuem estilete curto e robusto, que utilizam para perfurar células vegetais e se alimentar. O dimorfismo sexual é evidente, com machos menores e geralmente menos frequentes. As espécies mais estudadas e frequentes incluem o *Helicotylenchus dihystra*, *Helicotylenchus multicinctus*, *Helicotylenchus pseudorobustus* e *Helicotylenchus erythrinae*. A espécie *H. multicinctus* é especialmente relevante na bananicultura, associada à doença conhecida como “pratylenchoidose” em associação com *Radopholus similis* (Shokoohi e Masoko, 2024).

Embora não sejam os principais causadores de doenças severas, populações elevadas podem causar lesões necróticas nas raízes, redução do sistema radicular, queda na produtividade da planta e amarelecimento e murcha das folhas. Os danos são agravados

quando associados a outros nematoides ou patógenos radiculares. A identificação é feita por meio de análise morfológica com microscopia ótica da alta resolução (Zeng et al., 2024).

Na microscopia deve observar as características da forma espiralada do corpo, morfologia da cauda e o número de bandas anulares na cutícula. Atualmente, técnicas moleculares como PCR têm sido utilizadas para identificação precisa, devido à semelhança morfológica entre algumas espécies. O controle de *Helicotylenchus* spp. deve seguir princípios de manejo integrado (Troccoli e de Luca, 2024).

Os principais métodos do manejo integrado incluem o uso de cultivares tolerantes ou resistentes, rotação de culturas com espécies não hospedeiras, coberturas vegetais e matéria orgânica para favorecer inimigos naturais, solarização do solo, especialmente em regiões tropicais e controle químico com nematicidas, sendo alternativa de último recurso. Esse gênero possui ampla distribuição geográfica, além de possuir adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas (Howland e Quintanilla, 2023).

2.4.9. *Radopholus* spp.

Radopholus é gênero de nematoides fitoparasitas da família Pratylenchidae, sendo os mais destrutivos em regiões tropicais e subtropicais. A espécie mais conhecida é *Radopholus similis*, popularmente chamada de nematoide-da-lesão-radicular ou nematoide-do-caule (Figura 14). O *Radopholus* spp. são endoparasitas migradores, ou seja, penetram no tecido radicular da planta e se movimentam internamente, causam destruição das células por onde passam (Vieira et al., 2021).



Figura 15. Nematóide *Radopholus similis*. Fonte: Wikimedia Commons. Autor: Scot Nelson.

A infecção interfere na absorção de nutrientes e água, compromete o desenvolvimento das culturas. As culturas hospedeiras são citrus, bananeira, gengibre, coco, plantas ornamentais e cana-de-açúcar. Os principais sintomas nas plantas são a redução do sistema radicular, necroses internas nas raízes, queda da planta, murcha e queda das folhas, enfraquecimento geral e morte prematura (Chen et al., 2024).

A identificação de *Radopholus similis* é feita principalmente por extração a partir de raízes infectadas, microscopia para observação do esôfago, estilete e cauda e técnicas moleculares como PCR e sequenciamento de rDNA. As principais técnicas de manejo integrado incluem o uso de mudas livres de nematoides e a rotação de culturas com espécies não hospedeiras (Zhang et al., 2023).

O principal fator que torna o *Radopholus similis* patógeno tão prejudicial é sua capacidade de se mover rapidamente entre os tecidos da raiz, assim promove necroses extensas e abre portas para infecções secundárias por bactérias e fungos. Em plantações de banana, por exemplo, os danos causados por esse nematóide são frequentemente confundidos com estresse hídrico ou deficiência nutricional, o que atrasa o diagnóstico e permite a disseminação do patógeno (Kumar et al., 2023).

A reprodução de *R. similis* é pela via sexual e é muito rápida, o ciclo de vida completo ocorre em 20 a 25 dias em condições ideais de temperatura e umidade. Esse fator contribui para o crescimento exponencial das populações no solo e dentro das raízes hospedeiras, o que dificulta o controle após o estabelecimento. O nematóide penetra as raízes jovens e migra pelos tecidos parenquimatosos, assim destrói células e formam túneis visíveis em cortes transversais (Vásquez et al., 2023).

2.4.10. *Rotylenchulus* spp.

Rotylenchulus é gênero de nematoides fitoparasitas da família Hoplolaimidae, com destaque para a espécie *Rotylenchulus reniformis* (Figura 15), conhecida como nematóide reniforme devido ao formato semelhante ao rim que as fêmeas assumem após se fixarem nas raízes da planta hospedeira. *Rotylenchulus* spp. são semiendoparasitas sedentários, o que significa que as fêmeas penetram parcialmente a raiz e permanecem fixas, enquanto os machos e juvenis permanecem livres no solo (Valdez-Morales et al., 2024).

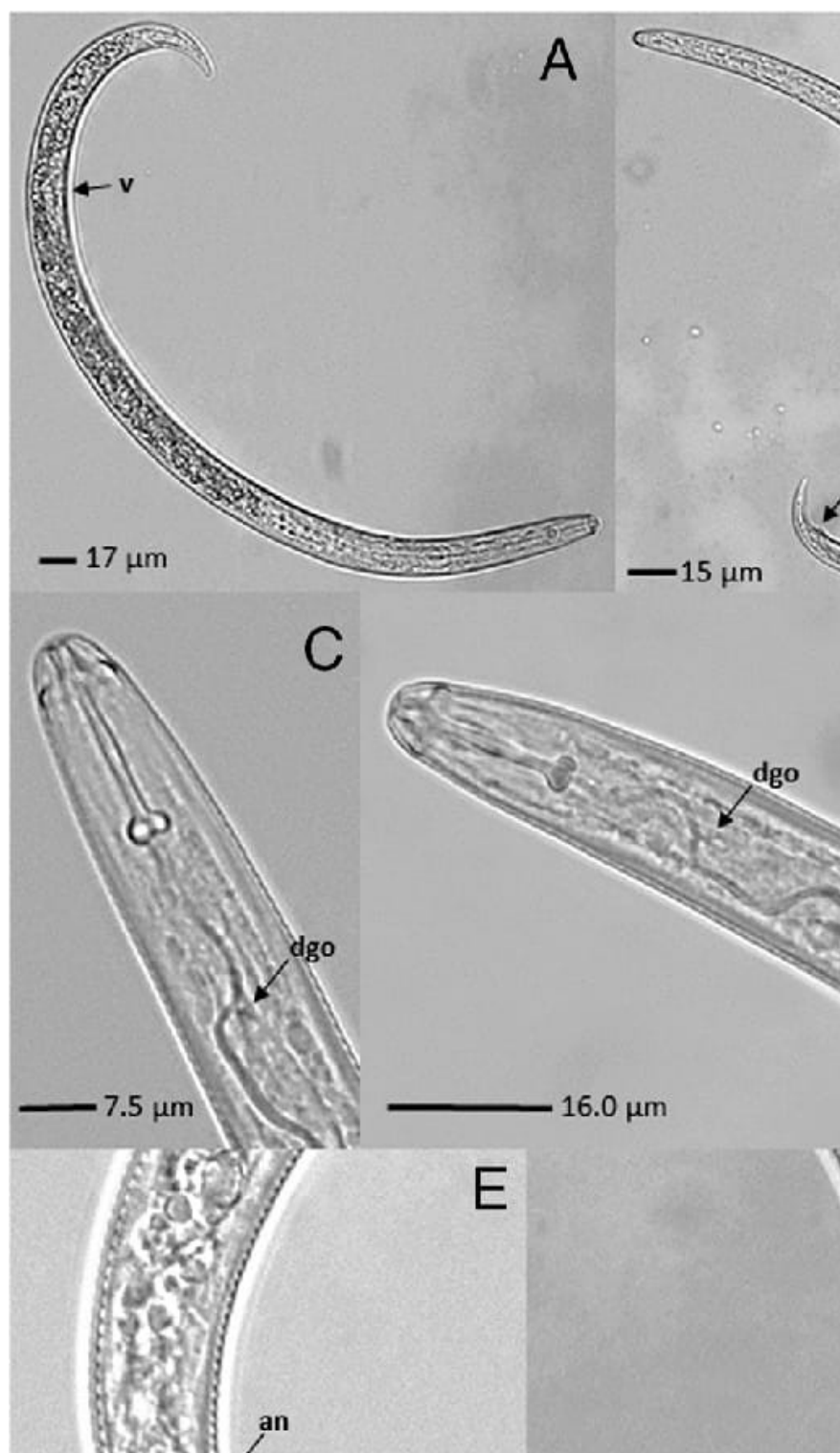


Figura 16. *Rotylenchulus reniformis*. (A) fêmea imatura; (B) macho; (C e D) região anterior do corpo; (E) região posterior da fêmea imatura; e (F) região posterior do macho. V= vulva; s= espícula; dgo= orifício da glândula esofágica dorsal; an= ânus; h= cauda hialina. Imagem de Donald Hebert Riascos.

A estratégia de parasitismo do *Rotylenchulus* spp. permite a multiplicação do nematoide e o contínuo ataque às raízes da planta ao longo do tempo. *Rotylenchulus reniformis* afeta grande variedade de culturas, com destaque para soja, algodão, milho, cana-de-açúcar, tomate, abacaxi, batata-doce e feijão. É um dos nematoides de maior impacto econômico em áreas subtropicais e tropicais, principalmente em solos mal drenados e arenosos (Sandoval-Ruiz e Grabau, 2023).

Os sintomas nas plantas incluem redução do crescimento da planta, amarelecimento e murcha das folhas, diminuição da produtividade, sistema radicular atrofiado e com poucas ramificações e sintomas semelhantes à deficiência de nutrientes. O ciclo de vida ocorre em 20 a 25 dias, a depender da umidade do solo e da temperatura. A fêmea se fixa na raiz, penetra parcialmente no córtex e libera os ovos em massa gelatinosa no solo. Os juvenis eclodem e migram no solo em busca de novas raízes (Watson et al., 2023).

O controle de *Rotylenchulus* spp. é desafiador, mas pode ser feito com práticas integradas como o uso de cultivares resistentes, rotação de culturas com espécies não hospedeiras, controle biológico com fungos nematófagos como *Purpureocillium lilacinum*, plantio de plantas antagonistas como *Crotalaria* spp. e *Tagetes* spp., aplicação de nematicidas biológicos ou químicos, quando necessário e solarização do solo em cultivos protegidos (Turner et al., 2023).

A ampla gama de hospedeiros do nematoide reniforme torna o controle bastante complexo, especialmente em sistemas agrícolas onde há pouca diversidade de culturas. Esse nematoide tem sido associado a perdas significativas de produtividade, particularmente no cultivo de algodão, onde causa redução superior a 60% em áreas infestadas. A dificuldade no diagnóstico precoce, devido à ausência de sintomas específicos no início da infestação, contribui para a subestimação do impacto econômico (Bhuyan et al., 2024).

2.4.11. *Scutellonema* spp.

Scutellonema é gênero de nematoides fitoparasitas pertencente à família Hoplolaimidae. Dentre as espécies mais conhecidas destaca-se *Scutellonema bradys* (Figura 16), popularmente chamado de nematoide da podridão seca do inhame, devido ao impacto severo sobre a cultura. Os nematoides do gênero *Scutellonema* são ectoparasitas migradores ou semiendoparasitas, com capacidade de penetrar parcialmente nas células da raiz, causando danos mecânicos e liberando enzimas que degradam os tecidos vegetais (Fassinou et al., 2024).

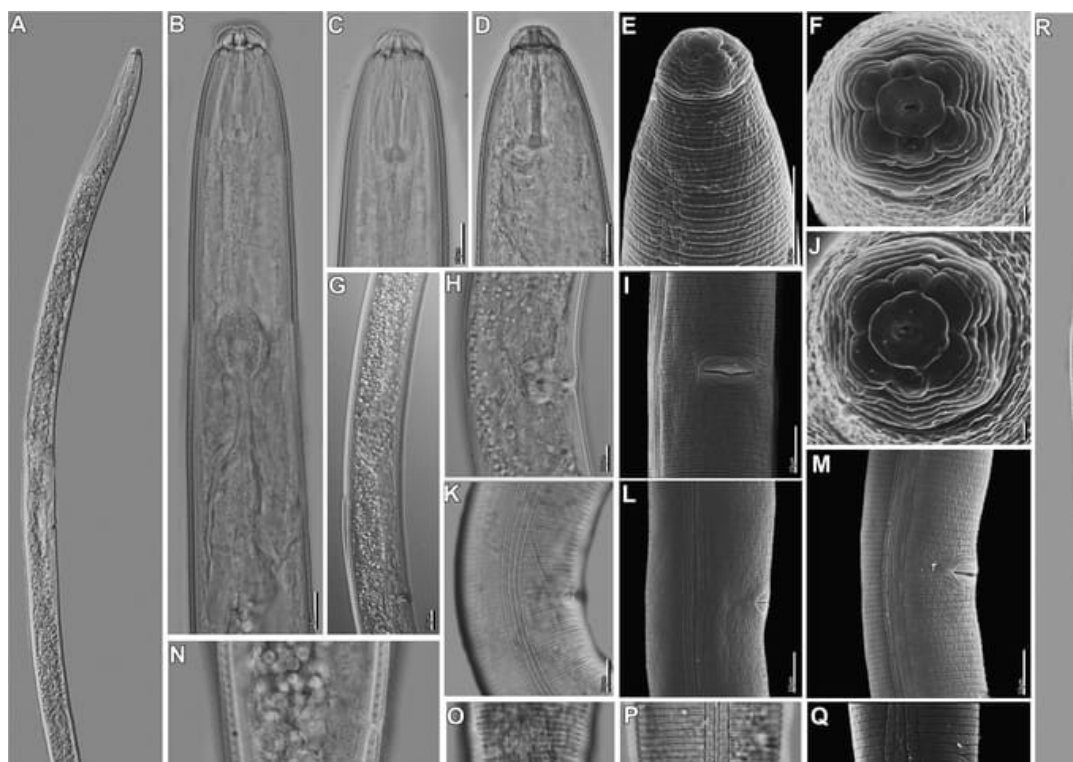


Figura 17. *Scutellonema bradys* (Steiner & LeHew, 1933) Andrásy, 1958. Micrografias de luz (LM) e micrografias eletrônicas de varredura (MEV) da fêmea (A-Q) e macho (R-V). A: Corpo inteiro; B: Faringe; C e D: Extremidade anterior; E: Vista lateral da região labial da fêmea (MEV); F e J: Vistas faciais das regiões labiais (MEV); G: Parte do sistema reprodutor feminino com ênfase para o trato genital e espermateca funcional; H: Região vulvar com destaque para as glândulas vaginais; I: Vulva (MEV); K: Região vulvar com evidência para o campo lateral; L e M: Região vulvar com evidência para o campo lateral (MEV); N: Cauda; O a Q: Campo lateral no escutelo (O e P: LM; Q: MEV); R: Corpo inteiro do macho; S: Extremidade anterior do macho; T: Região labial do macho (MEV); U e V: Cauda do macho (U: LM; V: MEV). (Barras de escala: A e R = 100 µm; B a Q, S a V= 10 µm). Imagem de Yao Kolombia.

Os nematoides desse gênero possuem o corpo robusto, com cutícula anelada, e são frequentemente encontrados na rizosfera de diversas plantas cultivadas. A espécie *Scutellonema bradys* é a mais danosa, principalmente em regiões tropicais do Caribe, África e América do Sul. É o principal patógeno do inhame (*Dioscorea* spp.), sendo responsável por perdas pós-colheita severas, devido à podridão seca dos tubérculos (Houng et al., 2024).

A podridão seca pode ocorrer em outras culturas, como batata-doce, banana, algodão e feijão. Este nematoide causa lesões necróticas internas, que inicialmente são difíceis de detectar, mas se agravam com o tempo de armazenamento, e assim compromete a qualidade e a comercialização do produto. O ciclo de vida do *Scutellonema* varia de 25 a 35 dias, a depender das condições ambientais (Nakweya, 2023).

Os ovos são depositados no solo ou na superfície da raiz e os juvenis se alimentam do conteúdo celular das raízes e tubérculos. As lesões provocadas servem como porta de entrada para fungos e bactérias, o que agrava ainda mais os danos. Os principais sintomas nas plantas são redução do crescimento vegetativo, apodrecimento seco dos tubérculos, lesões necróticas nos tecidos internos, manchas marrons ou pretas sob a casca dos tubérculos e murcha e amarelecimento das folhas (Claudius-Cole et al., 2016).

O controle de *Scutellonema* spp. envolve abordagem integrada, com as seguintes estratégias, rotação de culturas com espécies não hospedeiras, uso de material de plantio livre de nematoides, solarização do solo, tratamento térmico de tubérculos, uso de cobertura vegetal com plantas antagônicas, como *Crotalaria juncea* e aplicação de biofumigantes ou nematicidas naturais, como extratos vegetais (Coyne et al., 2009).

2.4.12 *Tylenchulus* spp.

Tylenchulus spp. é gênero de nematoides fitoparasitas, sendo o mais conhecido o *Tylenchulus semipenetrans* (Figura 17), popularmente chamado de nematoide-das-lesões-lentas ou nematoide-dos-citros. Ele é um dos principais patógenos de citros no mundo, especialmente em regiões de clima mediterrâneo e subtropical. O *Tylenchulus semipenetrans* é nematoide sedentário semiendoparasita (Shaikh et al., 2023).

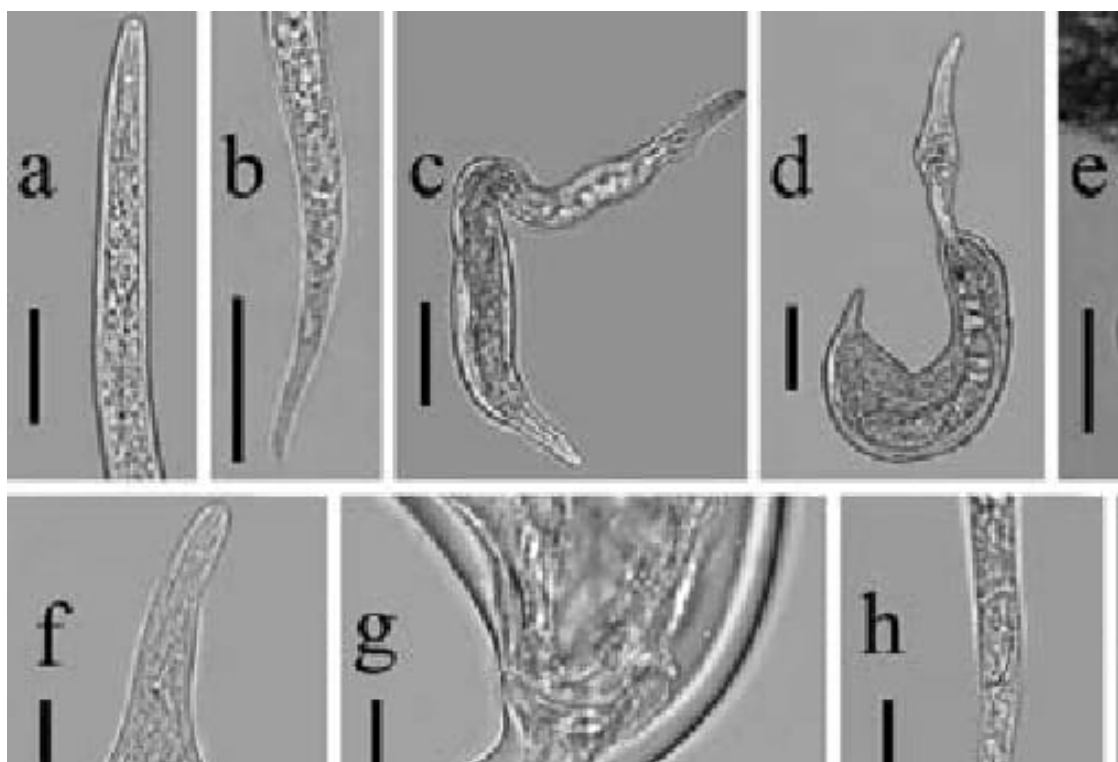


Figura 18. *Tylenchulus semipenetrans*. a: Região anterior do juvenil; b: Região posterior do juvenil; c: Fêmea imatura; d, e: Fêmea madura; f: Região anterior da fêmea; g: Região posterior da fêmea; h, i: Cauda do macho. (Barras de escala: a,b = 20 µm, c-e= 50 µm, f-i= 20 µm). Imagem de P. Eisevand.

As fêmeas penetram parcialmente na raiz do hospedeiro, fixa-se e forma local de alimentação, enquanto a parte posterior do corpo permanece fora da raiz. Os machos, por outro lado, permanecem livres no solo. As fêmeas secretam substâncias que induzem a formação de células nutricionais nas raízes, assim causam crescimento anormal das mesmas. A reprodução é geralmente sexuada, mas pode ocorrer partenogênese (Hussain et al., 2024).

Os nematoides do gênero *Tylenchulus* apresentam dimorfismo sexual acentuado: os machos são móveis e não se alimentam na fase adulta, enquanto as fêmeas se fixam nas raízes das plantas hospedeiras. As fêmeas produzem ovos envoltos por massa gelatinosa, que fica aderida à raiz ou ao solo. O ciclo de vida completo pode durar de 6 a 8 semanas a depender da temperatura (Jawad e Al-Saadi, 2024).

A infecção começa quando as larvas eclodem dos ovos no solo e migram para as raízes, onde as fêmeas se estabelecem. O parasitismo provoca alterações fisiológicas na planta, como redução na absorção de nutrientes e água. Os principais sintomas incluem clorose foliar, redução no crescimento das plantas e queda prematura dos frutos. O *Tylenchulus semipenetrans* afeta principalmente citros, mas também parasita outras espécies como videiras e oliveiras (Jaiman et al., 2023).

Outros membros do gênero *Tylenchulus* podem ser encontrados em plantas ornamentais e figueiras. Os sintomas nas plantas incluem clorose nas folhas, crescimento reduzido, murcha em condições de seca e diminuição na produção e qualidade dos frutos. As raízes afetadas apresentam aspecto escurecido e com presença de massas ovíferas visíveis em análises de laboratório (Shahzad et al., 2024).

2.4.13. *Xiphinema* spp.

O gênero *Xiphinema*, conhecido como nematoides-adaga, compreende nematoides ectoparasitas de raízes de plantas, pertencentes à família Longidoridae (Figura 18). Esses organismos são de grande importância agrícola devido à sua capacidade de causar danos diretos às raízes e de transmitir vírus fitopatogênicos, como os nepovírus. Os nematoides adultos medem entre 1,5 mm e 5,5 mm de comprimento (Riascos-Ortíz et al., 2024).

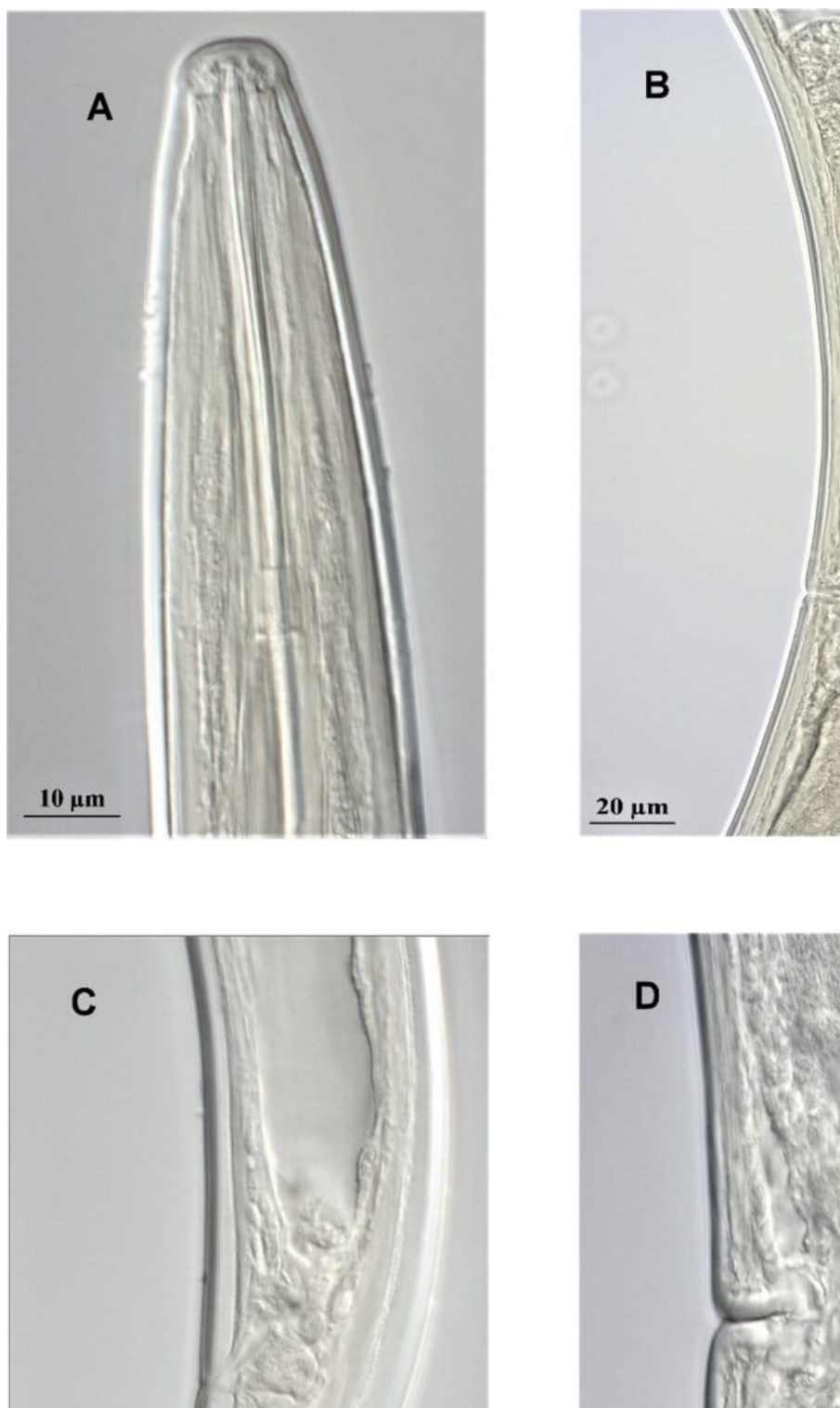


Figura 19. Microscopia óptica de *Xiphinema oxycaudatum*. Região A-D da cabeça, sistema reprodutor feminino com ovário difelfo, região da cauda e vulva. Barras de escala: 10 µm (A,C,D), 20 µm (B). Imagem de Fisayo Yemisi Daramola.

Possuem estilete longo e projetável, com três flanges basais na extremidade posterior e anel guia, o que permite alcançar tecidos vasculares das plantas. Apresentam esôfago

dividido em duas partes, sem metacarpus, mas com bulbo muscular posterior que auxilia na alimentação. Os ovos desses nematoides são depositados individualmente no solo, após a eclosão, ocorrem três ou quatro mudas até atingir a fase adulta (D'addabbo et al., 2023).

Algumas espécies são partenogenéticas, enquanto outras requerem reprodução sexuada, as espécies de *Xiphinema* estão distribuídas mundialmente, ocorre em regiões temperadas e tropicais. São encontradas em diversos países, como Estados Unidos, Ásia, Europa, Austrália África e Nova Zelândia. Esses nematoides possuem ampla gama de hospedeiros, afetam culturas de importância econômica como, morango, videira, tomate, lúpulo, maçã, citrus, banana, pera, soja e framboesa (Ali et al., 2024).

As principais medidas de manejo e controle são a prevenção, com o uso de mudas certificadas livres de nematoides e práticas de quarentena para evitar a introdução em áreas não infestadas, controle cultural, com rotação de culturas com plantas não hospedeiras e manejo adequado do solo para reduzir populações de nematoides, controle químico, com aplicação de nematicidas, embora o uso de produtos químicos deva ser cuidadosamente considerado devido a impactos ambientais (De Jonghe et al., 2023).

Há pesquisas em andamento sobre o uso de agentes biológicos, como fungos e bactérias antagonistas, para o controle de *Xiphinema* spp. Uma das principais ameaças associadas ao gênero *Xiphinema* é a capacidade de transmitir vírus de plantas. Espécies como *Xiphinema index* e *X. diversicaudatum* são vetores de vírus importantes, como o Grapevine Fanleaf Virus (GFV) e o Arabis Mosaic Virus (Naghavi et al., 2023).

2.5. Importância ecológica

Os nematoides fitoparasitas são organismos extremamente dependentes das condições do ambiente ao seu redor, principalmente do solo e do clima. Compreender as preferências é crucial para o manejo. A temperatura é o fator mais importante que influencia o ciclo de vida, a reprodução e a atividade dos nematoides. A maioria dos fitonematoides, como as espécies de *Pratylenchus* e *Meloidogyne*, prefere temperaturas na faixa de 15°C a 30°C. Dentro desse intervalo, a atividade metabólica e a taxa de reprodução são maximizadas (Carneiro e Dias, 2023).

Para muitas espécies de *Meloidogyne* como *M. incognita*, *M. javanica* e *M. arenaria* a faixa ideal está entre 25°C e 30°C. Temperaturas mais baixas, abaixo de 10°C-15°C ou mais altas, acima de 30-35°C tendem a reduzir a atividade dos nematoides, prolongar o ciclo de vida e até mesmo ser letais em extremos. Alguns nematoides possuem mecanismos de sobrevivência para condições adversas, como a anidrobiose em caso de seca, ou a formação

de estruturas de resistências que os protegem de temperaturas e umidade desfavoráveis por longos períodos (Embrapa, 2023).

A água no solo é essencial para a sobrevivência, movimentação e infecção das raízes pelos nematoides. Os nematoides são organismos aquáticos no solo, eles se movem na película da água que envolve as partículas do solo. A umidade do solo entre 40% e 60% da capacidade de campo é geralmente ideal. Solos excessivamente encharcados podem reduzir a aeração, o que é prejudicial para a maioria dos nematoides aeróbios. No entanto, algumas espécies adaptadas a ambientes mais úmidos podem tolerar essas condições (Xeu et al., 2024).

A seca é outro fator limitante. Em solos muito secos, a movimentação dos nematoides é drasticamente reduzida e muitos podem entrar em anidrobiose ou morrer. No entanto, a anidrobiose permite que sobrevivam por longos períodos em condições desfavoráveis. A textura no solo influencia na porosidade, aeração e capacidade de retenção de água, o que impacta diretamente nos nematoides (Nunes et al., 2023).

Muitos nematoides economicamente importantes, como a maioria das espécies de *Meloidogyne* e *Pratylenchus*, são favorecidos por solos arenosos ou de textura média. A maior proporção de poros grandes e a boa aeração nesses solos facilitam a movimentação dos nematoides. Além disso, solos arenosos tendem a secar mais rapidamente, o que pode induzir a anidrobiose e a sobrevivência em períodos de entressafra (Nguyen et al., 2024).

Solos mais argilosos, com poros menores e maior capacidade de retenção de água, podem dificultar a movimentação dos nematoides e, por vezes, apresentar menor infestação de certas espécies. No entanto, existem exceções, por exemplo, o nematoide reniforme pode ser mais comum em solos argilosos. Solos compactados reduzem o espaço poroso e a aeração, e assim inibem a movimentação e o desenvolvimento dos nematoides, além de prejudicar o desenvolvimento das raízes hospedeiras (Silva e Menezes, 2024).

A matéria orgânica é crucial para a saúde do solo e pode influenciar as populações de nematoides. A matéria orgânica pode ter efeitos complexos. De forma geral, solos com altos teores de matéria orgânica e boa atividade biológica tendem a ter maior população de microrganismos antagonistas aos nematoides, o que pode suprimir populações. Solos ricos em matéria orgânica promovem o desenvolvimento de sistemas radiculares mais vigorosos, o que tornam as plantas mais tolerantes ao ataque de nematoides (Almeida e Soares, 2024).

O pH do solo pode influenciar indiretamente as populações de nematoides, pois afetam a disponibilidade de nutrientes para a planta e a atividade de microrganismos do solo. A preferência de pH varia entre as espécies de nematoides. Alguns podem ser favorecidos por

condições de baixa acidez, enquanto outros podem ter o desenvolvimento inibido em solos muito ácidos ou muito alcalinos (Pereira, 2024).

Em síntese, solos com textura arenosa ou média, boa umidade, temperaturas amenas a quentes e baixa matéria orgânica, que indica menor atividade de antagonistas naturais, são frequentemente os ambientes favoritos para muitos nematoides fitoparasitas causarem maiores danos às culturas. É por isso que o manejo do solo e das culturas é tão importante para o controle desses inimigos invisíveis (Embrapa, 2023).

As funções ecológicas dos nematoides no solo incluem a decomposição de matéria orgânica, a mineralização de nutrientes, a degradação de toxinas e a regulação da população de microrganismos, podendo estimular o desenvolvimento de plantas. Em cadeias alimentares, alguns consumidores como os nematoides podem ser relativamente pouco importantes para o fluxo de energia com base na respiração, porém podem realizar um papel importante como reguladores das taxas ou velocidades de certas reações e transformações.

As dinâmicas populacionais de nematoides fungívoros e bacteriófagos (=microbiófagos) tendem a se sincronizar com aquelas dos microrganismos dos quais esses nematoides se alimentam, o que afeta os processos desempenhados por esses microrganismos. Os nematoides assumem importante função como bioindicadores das modificações ambientais e da qualidade do solo. Mas, podem ser tanto prejudiciais quanto benéficos a depender da espécie e do ambiente em que atuam. Principalmente devido aos danos que causam às culturas agrícolas e ao seu papel nos ecossistemas do solo (Van der Putten et al., 2021).

Muito deles, especialmente os que não são fitopatogênicos, ajudam na formação de solos mais férteis e na decomposição de matéria orgânica. Eles servem de alimento para outros predadores, como fungos, nematoides predadores e microinsetos. A importância dos fitonematoides é dupla. No aspecto ecológico, desempenham papel essencial no ciclo de nutrientes e na manutenção da saúde do solo (FAO, 2022).

Em resumo, são organismos que, apesar da natureza prejudicial às plantações, também possuem função ecológica indispensável e, se bem manejados, podem ser integrados de forma mais equilibrada nos sistemas agrícolas (McSorley e Dickson, 2020).

3. Classificação taxonômica dos fitonematoides

O termo “taxonomia” tem origem no grego (*táxis*: organização; *normos*: regra, norma) e refere-se à ciência que classifica os seres vivos em sub-categorias e categorias a fim de organizar as espécies existentes conhecidas em grupos específicos. A taxonomia moderna foi

aplicada pela primeira vez em 1735 na obra *Systema Naturae* pelo naturalista Karl Von Linné, considerado nos dias de hoje como o “pai da taxonomia” pois seu trabalho não apenas constituiu o modelo para a primeira fase da taxonomia como também foi a base para a segunda fase (Constantino, 2024).

Em 1758, Linné apresentou, de maneira inédita, o sistema binomial em latim, que permitia a classificação de espécies animais, sendo este fato de extrema importância para taxonomia zoológica. Os táxons criados por Linné foram reino, classe, ordem, gênero, espécie e variedades, estes foram subdivididos ao longo dos anos por outros autores e são utilizados até hoje.

3.1. Estrutura da classificação taxonômica

A fauna nematológica do solo é classificada segundo a taxonomia, levando em consideração a morfologia do estilete, estrutura bucal, características dos ovários das fêmeas e composição da cutícula. Os fitonematoides pertencem ao filo Nematoda e são classificados na seguinte hierarquia taxonômica:

- Reino: Animalia
- Filo: Nematoda
- Classe: Secernentea ou Chromadorea / Enoplea
- Ordem: Tylenchida / Dorylaimida
- Famílias e gêneros principais:
 - Meloidogynidae → *Meloidogyne* (nematóide de galhas)
 - Heteroderidae → *Heterodera* e *Globodera* (nematóide-de-cisto)
 - Pratylenchidae → *Pratylenchus* (nematóide-das-lesões-radiculares)

Com as eventuais atualizações eles são agrupados em duas classes: nas classes Enoplea, destaca-se os gêneros *Xiphinema* e *Paranlongidorus* e na classe Chromadorea com destaque para os gêneros *Globodera*, *Heterodera*, *Meloidogyne*, *Radopholus*, *Pratylenchus*, *Rotylenchulus*, *Helicotylenchus*, *Ditylenchus*, *Bursaphelenchus* e *Aphelenchoides* ambos possuem grande importância em diversas culturas no mundo (Grymberg et al., 2020).

A identificação taxonômica das espécies de *Meloidogyne* depende de abordagem bioquímica e molecular, uma vez que a caracterização morfológica e perfil perineal de fêmeas adultas apresentam grandes incongruências (SHAO et al., 2020).

4. Morfologia dos nematoides

A caracterização morfológica dos nematoides é a metodologia mais tradicional para o reconhecimento desses organismos e é fundamentada nos seus aspectos físicos (Bogale, Baniya e Digennaro, 2020). O corpo geral é vermiforme na maioria das fases de vida, exceto fêmeas de algumas espécies, que podem ser globosas. O corpo é coberto por cutícula flexível e resistente.

A região anterior é composta pela cabeça e pelo esôfago, possui estilete que é estrutura rígida e afiada que é utilizada para perfurar células vegetais e sugar nutrientes (Figura 19). Os lábios têm variações morfológicas que são usadas na identificação. O esôfago é dividido em partes musculares e glandulares que auxiliam na digestão. A região mediana é composta pelo intestino e pelo sistema reprodutor, o intestino é tubular que se estende da região esofagiana até a cloaca nos machos ou ânus nas fêmeas.

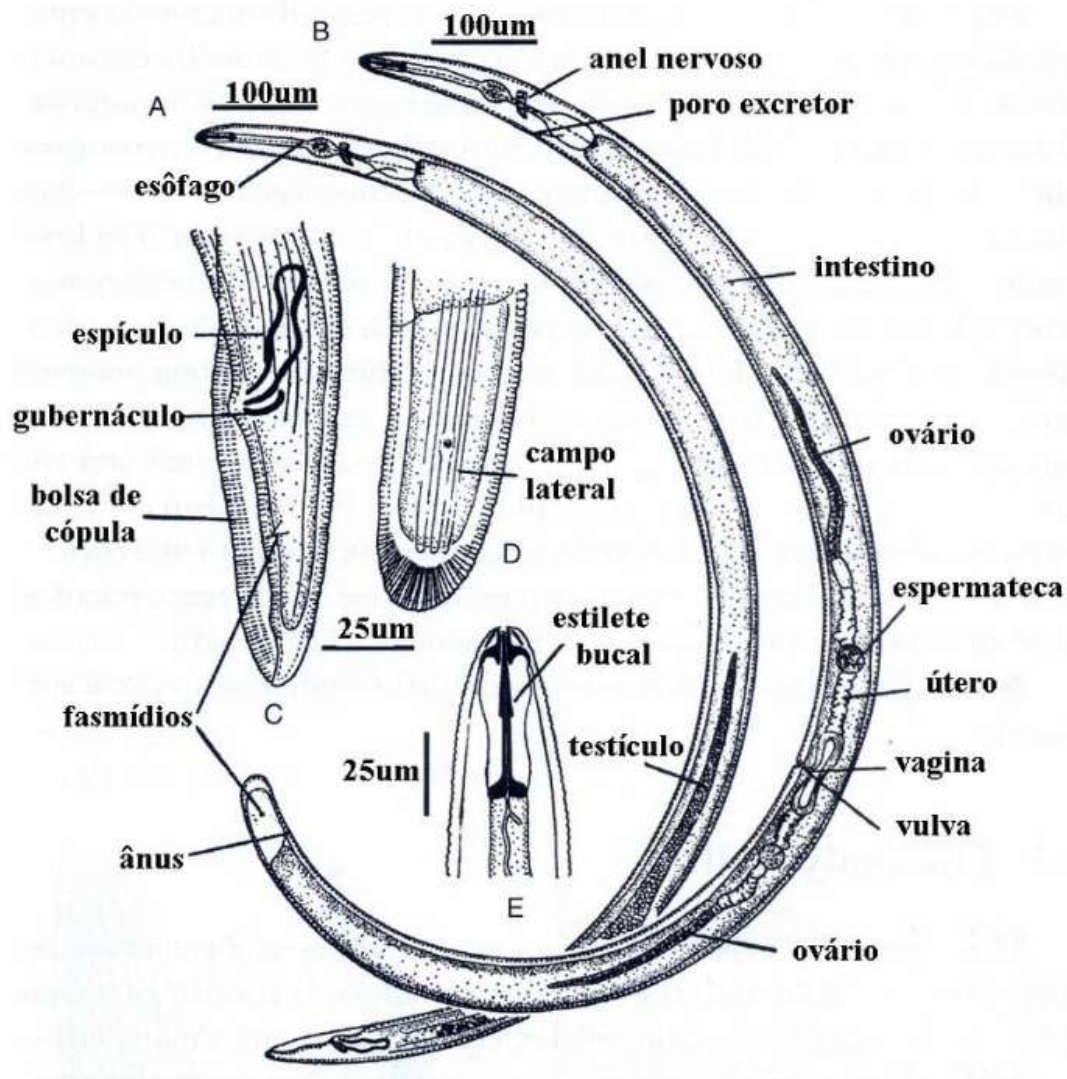


Figura 20. Morfologia geral de macho e fêmea de fitonemátodes (A, B) com detalhes das regiões anterior (E) e caudal (C,D). As escalas, em micrômetros, estão indicadas (de H.R. Wallace).

Os machos possuem como órgãos reprodutores os testículos e espículas copulatórias e as fêmeas podem ser ovíparas ou vivíparas, com um ou dois ovários. A região posterior é formada pela cauda, ela pode variar em forma sendo afunilada, curta, longa ou arredondada e os machos possuem estrutura chamada de bursa copulatória para auxiliar na reprodução (Figura 20).

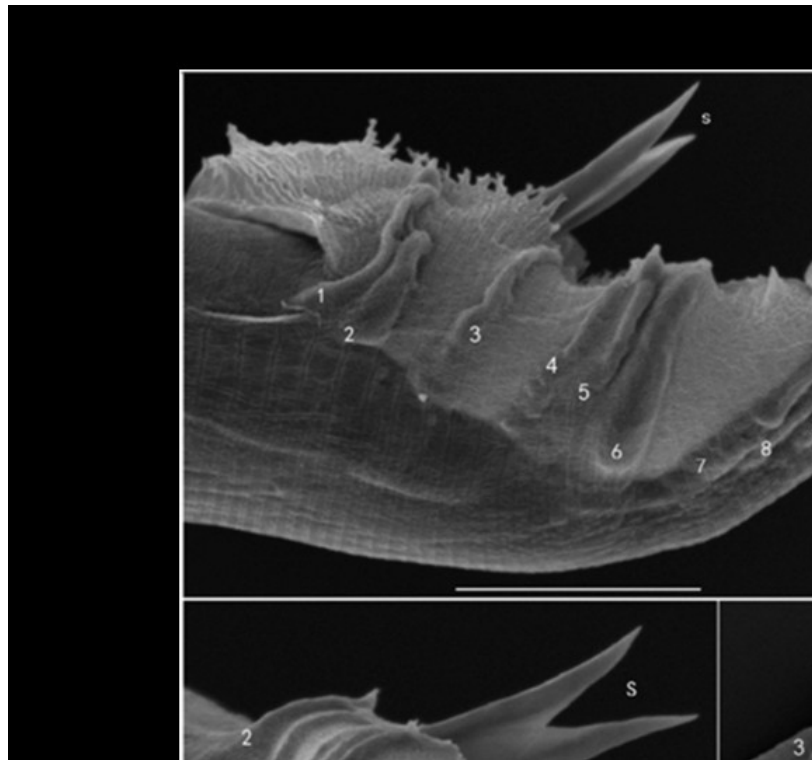


Figura 21. Morfologia do nematoide macho. A, C, D. Várias vistas de caudas masculinas com espículas e papilas bursais. A. Fórmula papilar da bursa (2,1,3). 3. Pontas do quinto e sétimos pares são evertidas. A borda anterior da bursa é irregular, parcialmente estendida e decorada com microvilosidades. B. Corpo cilíndrico, significativamente aumentado para formar bulbo mediano. C. Espículas pareadas, sem separação completa, simétricas, ligeiramente curvadas ventralmente. As pontas das papilas do primeiro, quinto e sétimo pares são evertidas. A cauda não se estende além da bursa. D. As bordas da bursa em ambos os lados tendem a se unir. Barras de escala: A, C e D= 10 mm e B= 20 mm. Imagem de Guixin Zhou et al., 2017.

4.1. Estrutura anatômica e fisiológica básica

Os nematoides são organismos vermiformes de corpo cilíndrico, geralmente alongados e não segmentado, com organização anatômica complexa, tem coloração transparente e apresentam dimorfismo sexual. Possuem musculatura longitudinal que permite movimentos serpentiformes. Eles possuem sistemas especializados que garantem a sobrevivência e a capacidade de parasitar as plantas.

Os principais sistemas fisiológicos incluem o sistema digestivo e alimentação, sistema reprodutivo, sistema nervoso e sensorial, sistema excretor e o sistema locomotor. O sistema digestivo é composto pela boca, estilete, esôfago, glândulas esofagianas, intestino, ânus e cloaca. O estilete é afiado e é utilizado para perfurar células vegetais e sugar nutrientes. O esôfago é dividido em três partes (pró-esôfago, metacórcio e bulbo terminal), importante para sucção e digestão inicial.

As glândulas esofagianas produzem enzimas digestivas que ajudam na quebra dos tecidos vegetais. O intestino possui estrutura simples e em formato de tubo, desempenha a função de absorver os nutrientes. O ânus e a cloaca estão presentes no final do sistema digestivo. O sistema nervoso e sensorial dos fitonematoides é composto por anel nervoso ao redor do esôfago, que age como cérebro primitivo. Possuem anfidios, que são estruturas sensoriais na cabeça, que detectam substâncias químicas no ambiente. E algumas espécies apresentam fasmídios que auxiliam na percepção ambiental com orientação e sensibilidade.

O sistema reprodutor pode ser separado em indivíduos machos e fêmeas (dioico) ou apresentar ambos os sexos no mesmo organismo (hermafroditas). Os machos apresentam espículas que auxiliam na cópula e as fêmeas depositam os ovos diretamente no solo ou nas raízes das plantas e assim garante a disseminação da espécie. O sistema excretor dos fitonematoides é simples, composto por células glandulares ou canal excretor em forma de “H” para eliminação de resíduos metabólicos. Além de ajudar na regulação osmótica e na remoção de toxinas.

E por fim, o sistema locomotor, os fitonematoides se movem por meio de contrações musculares longitudinais, o que permite o deslocamento em padrão ondulatório dentro dos tecidos vegetais ou no solo.

4.2. Diferenças morfológicas entre os gêneros

Os fitonematoides apresentam diferenças morfológicas entre os gêneros, que podem ser observadas em características como o formato do corpo, estrutura do estilete, esôfago, cauda e presença de estruturas sensoriais. As chaves taxonômicas se baseiam em características biológicas e morfológicas observáveis, como a presença de certos órgãos, a estrutura do corpo ou características específicas de cada grupo (Cook e Zuckerman, 2021).

Essas diferenças são utilizadas para identificação taxonômica dos fitonematoides e auxilia no diagnóstico de infecções em culturas agrícolas. Cada gênero possui adaptações específicas ao modo de vida e ao ambiente em que se desenvolve. Segue algumas diferenças entre os principais gêneros (Tabela 4).

Tabela 3. Diferenças morfológicas entre gêneros de fitonematoides.

Fitonematoide	Forma do corpo	Estilete	Esôfago	Cauda
<i>Meloidogyne</i> spp. Nematoide das galhas	Fêmeas: Globosas Machos: Vermiformes	Curto e robusto, com nódulos basais bem desenvolvidos	Com glândulas bem desenvolvidas que secretam enzimas para modificar os tecidos das plantas	Fêmeas: curta e arredondada Machos: afilada
<i>Heterodera</i> spp. Nematoide do cisto	Inicialmente vermiformes, depois tornam-se esféricas (cistos)	Longo e fino, com nódulos basais pequenos	Possui bulbo metacorpóreo bem desenvolvido	Fêmea: curta Machos: afilada
<i>Pratylenchus</i> spp. Nematoide das lesões radiculares	Vermiforme	Curto e fino, com nódulos basais pequenos	Sobrepõe-se parcialmente ao intestino	Longo e afilada
<i>Rotylenchulus</i> spp. Nematoide reniforme	Fêmeas: Semi-endoparasitas, reniformes na fase adulta	Moderadamente desenvolvido, com nódulos basais pequenos	Possui bulbo posterior desenvolvido	Fêmea: pequena e arredondada Macho: longa e afilada
<i>Ditylenchus</i> spp. Nematoide das hastes e bulbos	Vermiforme, alongado	Curto e fino, sem nódulos basais evidentes	Sobrepõe-se ao intestino e tem bulbo posterior pouco distinto	Afilada e longa

Chitwood et al., 2021

Os gêneros *Heterodera* e *Globodera* possuem cabeça bem distinta do corpo, com lábios desenvolvidos. O *Rotylenchulus* possui a cabeça reduzida, pouco diferenciada do restante do corpo. *Heterodera* e *Globodera* possui cutícula espessa, com cistos resistentes e o *Ditylenchus* possui cutícula lisa e fina.

5. Aspectos biológicos dos fitonematoides

A umidade relativa, a umidade do solo, manejo dos cultivos, estresse climático, fisiologia das plantas, época de plantio e melhoramento genético afetam diretamente a sobrevivência e adaptação dos nematoides (Carvalho Filho, 2021). A umidade relativa ideal para os fitonematoides é de 80% a 100% e a faixa ideal da umidade do solo é de 70% a 100% da capacidade de campo (Cook e Zuckerman, 2021). Seus principais aspectos biológicos incluem: ciclo de vida, morfologia, reprodução, modo de alimentação, interação com plantas e adaptação e sobrevivência.

Os fitonematoides passam pelas fases de ovo, quatro estádios de desenvolvimento juvenil e a fase adulta. Alguns são de vida livre, enquanto outros são obrigatoriamente parasitas de plantas. Possuem corpo alongado, cilíndrico e transparente, com extremidades afiladas. E possuem estilete bucal para alimentação e perfuração. A reprodução pode ser sexuada (com machos e fêmeas) ou partenogenética (fêmeas reproduzem sem fecundação).

Os fitonematoides podem atuar como ectoparasitas (alimentam-se externamente das raízes) ou endoparasitas (penetram nos tecidos vegetais para se alimentar). Causam deformações nas raízes, como galhas e necroses, além de facilitar infecções secundárias por bactérias e fungos. E entram em dormência (criptobiose) em condições adversas e assim resistem a temperaturas extremas e secas.

5.1. Sintomas de infestação por fitonematoides

A infestação por fitonematoides causa grande variedade de sintomas, tanto na parte aérea, quanto na raiz. No entanto, muitos desses sintomas são inespecíficos e podem ser confundidos com deficiências nutricionais, doenças fúngicas ou condições de estresse ambiental.

Tabela 4. Principais sintomas da infecção por fitonematoides.

		Características	Causado por	Efeito
Sintomas nas raízes	Galhas	Nódulos nas raízes.	<i>Meloidogyne</i> spp.	Prejudica a absorção de nutrientes e água.
	Lesões escuras	Áreas marrons, geralmente	<i>Pratylenchus</i> spp. e	Morte do tecido radicular e

		alongadas.	<i>Radopholus similis</i> .	facilidade para infecções secundárias.
	Raízes atrofiadas	Raízes finas e quebradiças.	Diversos gêneros de <i>Ditylenchus</i> , <i>Rotylenchulus</i> e <i>Tylenchulus</i> .	Redução da capacidade da planta de se sustentar e se alimentar.
	Raízes com aparência “barbuda”	Proliferação anormal de raízes secundárias.	Geralmente associado a <i>Meloidogyne</i> e <i>Heterodera</i> .	
Sintomas na parte aérea	Clorose	Aparece devido à deficiência nutricional causada pela menor absorção de nutrientes.		
	Murcha	A planta não consegue absorver água adequadamente por causa das raízes danificadas.		
	Retardo no crescimento	Plantas afetadas ficam menores, com menor número de folhas e internódios curtos.		
	Redução da produção	Em frutíferas e hortaliças, há diminuição do número e tamanho dos frutos.		
	Morte de plantas	É comum a morte de plantas em “manchas” no campo, o que pode indicar nematoides no solo.		
	Declínio lento	Em citros e banana, observa-se queda gradual da produtividade e vigor ao longo do tempo.		

5.2. Ciclo de vida e reprodução

O ciclo de vida dos nematoides está relacionado as adaptações para sobrevivência a condições de estresse ambiental. O ciclo de vida geralmente é dividido em ovo, quatro estados juvenis (J1, J2, J3 e J4) e a fase adulta. Entre cada estágio do ciclo ocorre o processo de ecdises, no qual nova cutícula é formada para substituir a anterior. Em locais com

condições desfavoráveis para o crescimento e desenvolvimento, os nematoides prolongam o estágio de seu ciclo de vida a fim de alcançar a sobrevivência.

Esse processo é chamado de diapausa e ocorre com maior frequência na fase de ovo e estágio juvenil ainda dentro do ovo. Algumas espécies promovem a troca de cutícula ainda dentro do ovo, mantém essa cutícula trocada aderida a nova, serve como mecanismo de proteção até a próxima troca.

O ovo mede entre 50 a 100µm de comprimento por 20 a 50 µm de largura, é composto por uma parede seletivamente permeável, resistente a estresses e que propicia ambiente favorável à embriogênese. Os ovos são depositados no solo, dentro das raízes das plantas ou em massas gelatinosas na superfície radicular. Após esta etapa, origina-se o juvenil de primeiro estágio ou J1, o qual pode eclodir, se pertencente à classe Enoplea, ou permanecer no ovo até que haja a primeira troca de cutícula (ecdise) e assim origina o juvenil de segundo estágio ou J2, na classe Chromadorea, o qual eclodirá em condições ideais (Mkandawire et al., 2022).

A duração do ciclo de vida varia de alguns dias a meses, a depender das condições ambientais, tais como temperatura, umidade e presença de hospedeiros adequados. O segundo estágio juvenil (J2) é geralmente o mais importante, pois é quando o nematoide se torna móvel e busca raiz para penetrar. O ciclo se completa com a reprodução, que pode ser sexuada ou partenogenética (sem a necessidade de machos).

As variáveis que impactam o ciclo de vida incluem temperatura, umidade e disponibilidade de hospedeiro. A maioria dos fitonematoides se desenvolve melhor entre 20°C e 30°C, a umidade do solo afeta a locomoção e sobrevivência das larvas e sem a planta adequada, os nematoides podem entrar em dormência.

Os fitonematoides possuem diferentes estratégias reprodutivas a depender da espécie. A reprodução pode ser sexuada, assexuada ou partenogenética. A reprodução sexuada ocorre em espécies dioicas, onde há indivíduos machos e fêmeas separados. A fecundação acontece por meio da cópula, e os ovos são fertilizados internamente. Exemplo: *Meloidogyne hapla* (nematoide das galhas em algumas condições).

A reprodução assexuada (partenogênese mitótica) ocorre sem a participação de machos, as fêmeas produzem ovos que se desenvolvem sem fecundação. Muito comum em espécies como *Meloidogyne* spp., onde os machos são raros ou não necessários para a reprodução. Partenogênese meiótica ocorre quando os óvulos sofrem meiose e se desenvolvem sem a necessidade de fertilização. Pode haver a fusão de células para restaurar a diploidia.

Algumas espécies possuem indivíduos hermafroditas, que produzem gametas masculinos e femininos. Ocorre em alguns nematoides do gênero *Pratylenchus*. A reprodução eficiente dos fitonematoídeos, especialmente a partenogênese, contribui para rápida disseminação e impacto econômico na agricultura pois dificulta o controle.

A concorrência entre espécies de nematoides ocorre quando a capacidade de reprodução de uma espécie é maior isoladamente quando comparada na presença de outra espécie. Essa interação antagônica pode ser causada pelo espaço ocupado nas raízes das plantas hospedeiras ou mesmo na alteração e destruição celular dos locais de alimentação que, por meio de alterações fisiológicas do hospedeiro, se torna menos favorável a uma espécie do que outra.

Na ecologia, a Lei de Gause, também chamada de exclusão competitiva, propõe que em um ambiente estável, no qual indivíduos se distribuem de forma homogênea, duas espécies com nichos ecológicos parecidos não podem coexistir, devido à pressão evolutiva exercida pela competição. Embora duas espécies sejam capazes de coexistirem em um nicho específico, haverá uma interação até que uma espécie predomine.

5.3. Relações ecológicas e sobrevivência no solo

Relações entre diferentes espécies de nematoides podem ser vantajosas ou prejudiciais. Casos em que as relações beneficiam todos os nematoides envolvidos ou apenas um, porém sem prejudicar o outro, são chamadas de relações harmônicas. Mas, na maioria dos casos dessas relações ecológicas ocorre prejuízo para uma ou ambas espécies, nesse caso denomina-se relação desarmônicas.

A relação entre nematoides ectoparasitos e endoparasitos sedentários pode ser mutuamente supressiva. Ocorre que, às vezes, ambas as espécies podem predominar ou não de acordo com fatores ambientais e edáficos. Estudos em plantações de algodoeiro, que tinham mais de seis anos, mostraram que *Heterodera galeatus* era praticamente indetectável, porém, gradualmente foi substituindo o fitonematoídeo predominante na área, *M. incognita*.

Em local diferente, sob condições de campo, dentro área delimitada havia a predominância de *Heterodera galeatus* e na porção restante *M. incognita* era a espécie mais abundante; porém, quando foram detectadas as duas espécies no mesmo local, ambas foram inibidas. Resultados semelhantes de supressão mútua foram observados com *Globodera tabacum* e *Trophurus claytoni* em casa de vegetação após quatro semanas, no entanto, em condições de campo, *G. tabacum* inibiu severamente *T. claytoni*, os autores associam esse fato a persistência do cisto do nematoídeo no solo.

Resultados semelhantes de inibição mútua foram observados em diferentes experimentos em casa de vegetação; como *M. incognita* e *H. galeatus* ou *Bursaphelenchus longicaudatus* em algodoeiro, *M. incognita* e *Criconemoides ornata* em berinjela (*Solanum melongena*), *M. javanica* e *Hemicycliophora arenaria*, em tomate.

Com a finalidade de analisar relações entre espécies distintas *M. javanica* e raças de *M. incognita*, Khan e Haider (1991) em tomateiro, demonstraram que a interação entre as espécies foi mutualmente inibitória, já que as variáveis analisadas de desenvolvimento dos nematoides foram afetadas nos tratamentos inoculados simultaneamente com as duas espécies. Os autores concluíram também, que a raça 2 de *M. incognita* mostrou-se mais competitiva.

No entanto, essa interação não é forte, mas é relevante, pois, em condições de campo as espécies coexistem. Relações entre *M. incognita* raça 2 e *R. reniformis* em genótipos suscetível e resistente de soja foram avaliadas em casa de vegetação e em campo. Em casa de vegetação, o desenvolvimento de *M. incognita* no genótipo de soja suscetível foi estimulado na presença de *R. reniformis*, no campo, densidades populacionais baixas de ambos nematoides demonstraram resultados similares a danos relatados com altas populações de nematoides das galhas. O genótipo resistente a *M. incognita* apresentou elevada taxa de reprodução de *R. reniformis* demonstrando, assim, que a resistência de hospedeiro é o fator chave para determinar a relação entre essas duas espécies de fitonematoides.

Os fitonematoides mantêm várias relações ecológicas com outros organismos no ambiente. Essas relações podem ser classificadas em diferentes tipos: parasitismo, competição, mutualismo, antagonismo, comensalismo, amensalismo e predação. Os fitonematoides são parasitas obrigatórios das plantas, alimenta-se nas raízes e causa danos como galhas, necroses e lesões.

Além disso, os fitonematoides se relacionam com vários microrganismos do solo. Alguns organismos, como *Pochonia chlamydosporia* (fungo) e *Pasteuria penetrans* (bactéria), parasitam os nematoides e ajudam no controle biológico. Alguns fitonematoides facilitam a infecção de patógenos, como *Fusarium* spp. e *Rhizoctonia* spp., e aumentam os danos às plantas. E competem por recursos pois compartilham espaço e nutrientes com outros microrganismos do solo.

Alguns fitonematoides podem tirar proveito das modificações no solo provocadas por outros organismos sem prejudica-los diretamente. No entanto, certos compostos liberados por plantas e microrganismos podem inibir o desenvolvimento dos fitonematoides. Da mesma

forma, existe predadores naturais, como protozoários, artrópodes (ácaros predadores) e fungos nematófagos que capturam e consomem os fitonematoides.

Essas interações ecológicas são fundamentais para a estabilidade dos fitonematoides no ambiente e podem ser exploradas para o manejo sustentável dessas pragas agrícolas. Os fitonematoides têm a capacidade de persistir no solo por longos períodos, mesmo na falta de hospedeiros, a depender de vários fatores ambientais e biológicos. Os principais mecanismos de sobrevivência são a formação de ovos resistentes, anidrobiose e encistamento. Algumas espécies, como *Meloidogyne* spp., produzem ovos protegidos em massas gelatinosas, que resistem a condições adversas.

Alguns nematoides, como *Rotylenchulus reniformis*, entram em estado de dormência (criptobiose) em condições de seca extrema, retorna à atividade quando a umidade aumenta. Algumas espécies, como *Heterodera* spp. formam cistos protetores que preservam os ovos por anos, mesmo na ausência de hospedeiros.

As principais estratégias para diminuir a sobrevivência no solo incluem a rotação de culturas, adubação verde e matéria orgânica, uso de biocontrole e solarização do solo. Cultivar plantas não hospedeiras reduzem a população de nematoides no solo. Algumas plantas, como crotalária e mucuna, possuem efeitos nematicidas naturais. Fungos e bactérias predadores de nematoides (como *Paecilomyces lilacinus* e *Pochonia chlamydosporia*) reduzem as populações.

Cobrir o solo com plástico transparente sob intensa radiação solar diminui consideravelmente a presença de nematoides. A compreensão desses fatores é essencial para o manejo sustentável dos fitonematoides e a preservação da produtividade agrícola.

6. Influência de fatores bióticos e abióticos

Os principais fatores ambientais que influenciam a sobrevivência são a umidade, temperatura, matéria orgânica, textura do solo e a ausência de hospedeiro. A maioria dos fitonematoides precisa de nível mínimo de umidade no solo para se locomover e sobreviver. Temperaturas extremas (altas ou baixas) reduzem a viabilidade dos nematoides. No entanto, algumas espécies toleram grandes variações térmicas. Solos com alta quantidade de matéria orgânica abrigam microrganismos antagonistas que diminuem a sobrevivência dos fitonematoides. E algumas espécies sobrevivem por meses ou anos sem hospedeiro, mas outras morrem rapidamente se não encontrarem planta para parasitar.

De modo geral, a temperatura e a umidade do solo continuam sendo os fatores abióticos mais críticos que afetam a sobrevivência e a capacidade de causar danos dos

nematoides. Publicações recentes, como as apresentadas no 41º Congresso Brasileiro de Nematologia (2023), destacam que a ocorrência de eventos climáticos extremos, como ondas de calor e secas prolongadas, pode influenciar diretamente a taxa de eclosão de ovos e a mobilidade dos juvenis no solo. A pesquisa tem mostrado que, enquanto algumas espécies podem ter sua atividade reduzida em condições de estresse hídrico, outras, como alguns nematoides das galhas (*Meloidogyne* spp.), podem sobreviver em ovos protegidos por sua matriz gelatinosa, esperando por condições mais favoráveis para eclodir.

As interações bióticas são, sem dúvida, o foco da pesquisa mais moderna em manejo de nematoides, especialmente no contexto do Manejo Integrado de Pragas (MIP) e da agricultura sustentável. A planta hospedeira é a primeira linha de defesa. A Embrapa, por exemplo, continua a desenvolver e lançar novas variedades de plantas resistentes e tolerantes que são resultado de programas de melhoramento genético avançados. Essas cultivares são projetadas não apenas para evitar a penetração dos nematoides, mas também para limitar sua reprodução dentro das raízes, uma abordagem que é considerada uma das mais econômicas e sustentáveis (EMBRAPA, 2024).

Além disso, a microbiota do solo é vista como um arsenal de controle biológico. A pesquisa tem avançado significativamente na identificação e no isolamento de fungos nematófagos e bactérias que atuam como inimigos naturais de nematoides. Novos estudos têm explorado o potencial de fungos como *Pochonia chlamydosporia* e *Purpureocillium lilacinum*, que parasitam ovos e fêmeas de nematoides, reduzindo drasticamente a densidade populacional no solo (SBN, 2023). Da mesma forma, bactérias como algumas cepas de *Bacillus* têm sido estudadas por sua capacidade de produzir toxinas que matam ou inibem a movimentação dos nematoides.

7. Métodos de diagnóstico

O diagnóstico de fitonematoides é essencial para a tomada de decisões no manejo e controle das infestações. Os principais métodos de diagnóstico, são divididos em métodos tradicionais, moleculares e avançados. Os métodos tradicionais laboratoriais para extração de nematoides do solo e raízes são o Método de Baermann e Jenkis (1964) que utiliza gaze e funil para coletar nematoides móveis, centrifugação-flotação denominado como método de Jenkins que é mais eficiente para amostras com solo arenoso e o método do peneiramento e decantação que separa nematoides por densidade. Esses métodos servem para o diagnóstico inicial e permite a contagem e observação sob microscópio. Para a identificação morfológica

se utiliza a microscopia óptica para observar características como o estilete, cauda, esôfago e vulva. A principal limitação é que requer especialista em nematologia (Souza et al., 2023).

Os métodos moleculares possuem alta precisão, como a Reação em Cadeia da Polimerase (PCR) ela detecta DNA específico de espécies de nematoides e como vantagens apresenta alta sensibilidade, rapidez e permite distinguir espécies crípticas. Outro método é a qPCR (PCR em tempo real) que permite quantificar a carga de nematoides com base em DNA extraído do solo ou planta, esse método é utilizado em laboratórios comerciais e pesquisa. E o sequenciamento de DNA (DNA barcoding) que identifica espécies com base no gene COI (citocromo oxidase I) ou 18S rDNA, esse método é indicado para estudos taxonômicos, monitoramento e descrição de novas espécies (Oliveira, 2020).

Os métodos avançados incluem a Eletroforese de insoenzimas utilizada para diferenciação de espécies de *Meloidogyne*. Está técnica é baseada em padrões enzimáticos como a esterase e malato-desidrogenase. Outro método é a ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay) apresenta uso limitado a detecção de vírus transmitidos por nematoides vetores como o *Xiphinema index*. E por último o método avançado de diagnóstico por imagem e aprendizado de máquina que ainda está em pesquisa, nele utiliza-se algoritmos para identificar sintomas ou nematoides em imagens microscópicas (Silva et al., 2021).

O diagnóstico em campo é feito pelos sintomas visuais de modo indireto, por meio de manchas irregulares de plantas fracas em reboleiras, clorose, murcha e atraso no desenvolvimento. É realizado também a amostragem de solo e raízes que deve ser feita preferencialmente durante ou após o cultivo e as amostras devem ser enviadas a laboratórios especializados (Moura et al., 2023). No quadro abaixo encontra-se recomendações práticas para a identificação ode fitonematoides (Quadro 1).

Tabela 5. Recomendações práticas dos métodos de diagnóstico dos fitonematoides.

Etapa do diagnóstico	Método sugerido	Recomendado para
Primeira triagem	Extração + microscopia	Produtores e técnicos
Confirmação de espécies	PCR ou qPCR	Pesquisa e controle específico
Estudos taxonômicos	Sequenciamento de DNA	Universidades e institutos
Identificação rápida em	Avaliação visual + coleta de	Acompanhamento de

campo	amostras	lavoura
-------	----------	---------

8. Estratégias de controle de fitonematoides

O controle de fitonematoides exige abordagem integrada, já que o manejo eficaz depende da combinação de diferentes métodos.

8.1. Controle cultural

No controle cultural é realizado a rotação de culturas onde se busca cultivar plantas não hospedeiras para quebrar o ciclo de vida dos nematoides, a rotação de soja com milho ou gramíneas reduz *Meloidogyne* spp. Ou o uso de plantas antagonistas pois algumas produzem substâncias tóxicas ou alelopáticas aos nematoides como a *Crotalaria juncea*, *Tagetes* spp. e *Canavalia ensiformis*. Além disso, a adubação verde melhora a estrutura do solo e assim estimula a microbiota antagonista. Sendo que ambientes desfavoráveis dificultam o desenvolvimento de nematoides (Silva, 2024).

8.2. Controle genético

O controle genético é realizado com o uso de cultivares resistentes ou tolerantes a fitonematoides. Como exemplo possuímos as variedades de soja resistentes ao *Meloidogyne*, *Heterodera glycines* ou algodão resistente ao *Rotylenchulus reniformis*. No entanto, a resistência pode ser específica a uma raça, e o uso contínuo pode favorecer a seleção de raças virulentas (Brasil, 2023).

Gene	Planta	Nematoide (Fitopatógeno)	Ano da Descoberta/Clonagem	Referência Bibliográfica Principal (Clonagem/Caracterização)
Mi-1	Tomateiro (<i>Solanum lycopersicum</i> - provém de <i>S. peruvianum</i>)	<i>Meloidogyne incognita</i> , <i>M. javanica</i> , <i>M. arenaria</i> (Nematoides das galhas)	1998 (Clonagem) / 1956 (Descoberta da Resistência)	Clonagem: MILLIGAN et al. (1998); VOS et al. (1998). Descoberta: GILBERT & MCGUIRE (1956).
Hs1 -	Beterraba	<i>Heterodera</i>	1997 (Clonagem)	CAI et al. (1997)

Gene	Planta	Nematoide (Fitopatógeno)	Ano da Descoberta/Clonagem	Referência Bibliográfica Principal (Clonagem/Caracterização)
pro-1	(<i>Beta vulgaris</i>)	<i>schachtii</i> (Nematoide de cisto)		
Gpa2	Batata (<i>Solanum tuberosum</i>)	<i>Globodera pallida</i> (Nematoide de cisto)	2000 (Clonagem)	VAN DER VOSSSEN et al. (2000)
Rgh1 e Rgh4	Soja (<i>Glycine max</i>)	<i>Heterodera glycines</i> (Nematoide de cisto da soja)	- (Clonados, mas a referência de clonagem não está disponível no snippet)	- (Fontes citam o gene e sua utilização, mas não a referência primária de clonagem com ano exato no resumo)

8.3. Controle químico

O controle químico é feito com o uso de substâncias aplicadas ao solo ou sementes para reduzir a população de nematoides. Exemplos: fluopyram, fostiazato, oxamyl e abamectina. Apresentam desvantagens pois pode afetar a microbiota do solo, além do alto custo, o seu uso é regulamentado por isso se faz necessário consultar a legislação vigente (Souza et al., 2023).

8.4. Controle biológico

O controle biológico utiliza microrganismos antagonistas como fungos e bactérias que parasitam ovos ou inibem a ação de nematoides. Os principais agentes são *Purpureocillium lilacinum*, *Trichoderma* spp., *Bacillus firmus* e *Pasteuriapenetrans*. Os produtos à base de *Bacillus* spp. e *Purpureocillium* já estão disponíveis no mercado agrícola brasileiro (Ferraz e Brown, 2023).

8.5. Controle físico

O controle físico é feito por meio da solarização do solo onde se utiliza cobertura com plástico transparente por 30 a 40 dias durante o verão. Isso eleva a temperatura do solo e reduz significativamente ovos e juvenis. O tratamento térmico de mudas e substratos também

é realizado por meio da exposição a temperaturas específicas para eliminar os nematoides sem danificar as plantas (Santos et al., 2023).

8.6. Controle alternativo

O controle de fitonematoides por meio de métodos alternativos é uma estratégia que se baseia em abordagens biológicas e culturais para reduzir a dependência de produtos químicos. Dessa maneira, as plantas antagonistas são reconhecidas pelo seu papel favorável no controle alternativo de fitonematoides, uma vez que podem ser empregadas em sistemas de rotação de culturas, consórcios agrícolas, adubação verde, bem como na forma de tortas, extratos e óleos vegetais. Assim, o uso dessas plantas na forma de extratos e óleos tem se consolidado como uma estratégia relevante dentro do manejo integrado de fitonematoides (GUIMARÃES et al., 2021).

Diversos estudos têm investigado métodos de controle de fitonematoides por meio de extratos vegetais e óleos de origem vegetal. As espécies com potencial nematicida incluem plantas medicinais, espécies nativas do cerrado e plantas de cobertura. Essas plantas são capazes de produzir metabólitos secundários e compostos químicos que apresentam ação tóxica sobre os nematoides. Entre os principais compostos com atividade nematicida destacam-se alcaloides, saponinas, taninos, xantonas, esteroides, terpenos e flavonoides, os quais são encontrados principalmente em plantas pertencentes às famílias Meliaceae, Fabaceae, Rutaceae, Apocynaceae e Simaroubaceae (BORGES, 2017).

A ação nematicida dos óleos e extratos vegetais está associada à redução da taxa de eclosão, ao aumento da mortalidade de juvenis de segundo estágio (J2) e à diminuição do desenvolvimento dos fitonematoides. Além disso, esses compostos podem interferir na reprodução, reduzindo a multiplicação populacional, o número de massas de ovos por raiz e promovendo a paralisação dos nematoides. Os metabólitos secundários presentes nos extratos e óleos vegetais também podem atuar sobre a membrana plasmática do patógeno, ocasionando a desestruturação de polissacarídeos, fosfolipídeos e lipídeos, o que resulta em alterações na permeabilidade celular. Como exemplo, compostos ricos em taninos apresentam elevada capacidade de precipitar proteínas e quelar íons metálicos essenciais ao desenvolvimento de microrganismos, conferindo efeito antimicrobiano e antifúngico (MARQUES, 2020).

Entre as principais espécies vegetais utilizadas na obtenção de extratos e óleos essenciais destacam-se *Tagetes* spp., *Crotalaria* spp., *Ricinus communis* (mamona), *Azadirachta indica* (nim), brássicas (repolho, couve e mostarda), *Cymbopogon citratus* (capim-limão),

*Ocimum*spp. (manjeriço), *Caryocar brasiliensis* (pequi), *Stryphnodendron adstringens* (barbatimão), *Hymenaea stigonocarpa* (jatobá), *Cassia obtusifolia* (fedegoso), *Euphorbia hirta* (espinho-de-cristo) e *Cordia sessilis* (marmelinho-do-cerrado), entre outras (LOPES, 2017).

O manejo integrado de nematoides utiliza a combinação de todas as estratégias possíveis de forma planejada e contínua. Além do diagnóstico preciso, monitoramento da população e medidas preventivas e corretivas. Exemplo de aplicação integrada, tabela 6.

Tabela 6. Exemplo de aplicação integrada de estratégias de controle de fitonematoides.

Cultura	Problema	Estratégias integradas
Tomate	<i>Meloidogyne incognita</i>	Solarização + rotação com crotalária + nematicida biológico
Soja	<i>Heterodera glycines</i>	Variedade resistente + manejo de plantas daninhas + adubação equilibrada
Banana	<i>Radopholus similis</i>	Mudas sadias + controle biológico + drenagem eficiente

9. Pesquisa e inovações no manejo de fitonematoides

O manejo de fitonematoides tem avançado significativamente nos últimos anos, impulsionado por pesquisas e inovações tecnológicas que visam estratégias mais eficazes e sustentáveis. A biotecnologia e produtos inovadores como Teikko que foi desenvolvido pela Plant Health Care, este produto utiliza peptídeos que ativam as defesas naturais das plantas e promove a resistência contra nematoides e reduz perdas na cultura da soja. O Salibro, lançado pela Corteva em 2023, contém o ingrediente ativo Reklamel, eficaz no controle de nematoides parasitários sem afetar organismos benéficos do solo (Ferraz e Brown, 2023).

O controle biológico avançado, como por exemplo o *Bacillus velezensis* demonstrou eficácia de controle de até 78% na redução de nematoides por grama de raiz, destaca-se assim como alternativa promissora no manejo biológico. E os fungos nematófagos, com pesquisas como do CETENE/MCTI que são focadas no isolamento de fungos capazes de reduzir

populações de nematoides das galhas, para produção de bionematicidas comerciais (Costa, 2023).

As tecnologias de diagnóstico e monitoramento como a NemaNet que é modelo de rede neural convolucional desenvolvido para identificar espécies de nematoides em culturas de soja, alcança até 99,34% de acurácia e facilita diagnósticos precisos. E o instrumento robótico para extração de cistos, no qual o equipamento automatizado extrai cistos e ovos de nematoides do solo, melhora a eficiência e precisão no monitoramento de populações (Agrobiológica, 2023).

E o manejo integrado e sustentável com a rotação de culturas e plantas antagonistas por exemplo o uso de plantas como a crotalária e cravo-de-defunto tem sido eficaz na redução de populações de nematoides, integra assim práticas culturais ao manejo. Além do crescimento significativo na utilização de bionematicidas no Brasil, com 1 em cada 4 produtores adotam essa estratégia, e isso reflete o aumento de mais de 70% na última década. Essas inovações refletem ao movimento crescente em direção a práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes no controle de fitonematoides (Stoller do Brasil, 2023).

10. Sustentabilidade e tendências futuras

A sustentabilidade no manejo de fitonematoides é um dos pilares fundamentais para garantir a produtividade agrícola a longo prazo sem comprometer a saúde do solo, a biodiversidade e os recursos naturais. E as tendências futuras apontam para a adoção de práticas que equilibrem produtividade agrícola, redução de impactos ambientais e saúde do solo, como tecnologias de precisão, biotecnologia e intensificação do uso de agentes biológicos, sempre alinhadas com práticas regenerativas (Ferraz e Brown, 2023).

A substituição de nematicidas sintéticos por bionematicidas reduz a contaminação ambiental e preserva a microbiota do solo. Além de adotar práticas como adubação verde e rotação de culturas pois assim contribui para o controle natural. E sempre realizar o manejo com base em amostragem de solo e diagnóstico preciso para evitar aplicações desnecessárias, logo promove economia e menor impacto ambiental (Souza et al., 2023).

A sustentabilidade está ligada à agricultura regenerativa, que considera o solo como organismo vivo. A integração com culturas de cobertura e consórcios melhora a estrutura e biodiversidade do solo. Como também a capacitação técnica e acesso a informações científicas são essenciais para implementar soluções sustentáveis (Silva, 2022).

As principais tendências futuras são relacionadas a biotecnologia e RNA interferente para o desenvolvimento de cultivares transgênicas com genes que silenciam partes vitais do

genoma dos nematoides é promissora para espécies como *Meloidogyne incognita* e *Heterodera glycines*. E também o crescimento do uso de *Bacillus* spp., *Trichoderma* spp., *Pochonia chlamydosporia* e *Purpureocillium lilacinum*. Com maior investimento da indústria em formulações mais eficazes e com registro legal (Embrapa, 2023).

Outra tendência é o uso de modelos preditivos, inteligência artificial e sensores de solo para monitoramento em tempo real da população de nematoides. Além da integração de dados com drones e imagens multiespectrais para identificar áreas infectadas. Como por exemplo a integração de análises genômicas de populações de nematoides, como o sensoriamento remoto e modelos de tomada de decisão (Elevagro, 2022).

Avanços recentes, como os estudos aprofundados sobre o papel do microbioma nativo como barreira natural contra fitonematoídeos e a manipulação do microbioma como nova fronteira de controle biológico são também novas tendências. E a pressão por parte de governos e consumidores para a adoção de produtos com menor impacto ambiental e resíduos zero. Assim, o futuro do manejo de fitonematoídeos será mais biológico, mais digital, mais sustentável e mais preciso. A integração dessas práticas contribui não apenas para a produtividade, mas para a resiliência agrícola diante das mudanças climáticas e degradação ambiental (Factor-Kline, 2024).

Portanto, estudar a nematologia agrícola é fundamental para garantir a segurança alimentar e a sustentabilidade da produção global. Por serem patógenos de difícil detecção e controle, os nematoides fitoparasitas causam perdas anuais estimadas em bilhões de dólares, prejudicando a produtividade de culturas essenciais como soja, milho e café. O conhecimento aprofundado sobre esses microrganismos, seus ciclos de vida e interações com as plantas hospedeiras permite a implementação de estratégias de manejo integrado, que combinam o uso de cultivares resistentes, controle biológico, rotação de culturas e o manejo químico, quando necessário. Assim, a nematologia é uma ciência estratégica, capacitando agrônomos e pesquisadores a proteger os sistemas agrícolas, otimizar o uso de recursos e mitigar os impactos ambientais, assegurando a viabilidade econômica do agronegócio e a resiliência dos sistemas alimentares no futuro.

REFERÊNCIAS

ABAD, P. et al. Nematode management in agriculture: New insights from the molecular era. *Annual Review of Phytopathology*, v. 59, p. 381-404, 2021.

AFZAL, A.; MUKHTAR, T. Revolucionando o manejo de nematoides para atingir as metas globais de segurança alimentar - Uma visão geral. *Heliyon*, v. 10, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25325>. Acesso em: 18 set 2025.

AGROBIOLÓGICA. Fitonematoides: os vilões invisíveis das raízes das plantas. 2023. Disponível em: <https://agrobiologica.com.br/fitonematoides-os-viloes-invisiveis-das-raizes-das-plantas/>. Acesso em: 4 jun. 2025.

ALI, N. et al. Primeiro registro de quatro espécies de nematoides-daga do gênero *Xiphinema* (Nematoda: Longidoridae) em banana na Síria usando uma abordagem integrativa. *European Journal of Plant Pathology*, v. 170, p. 1-12, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10658-027-02868-3>. Acesso em: 28 maio 2025.

ALMEIDA, R. P.; SOARES, P. L. Fatores Abióticos e Bióticos que Afetam Fitonematoides. In: OLIVERA, C. M.; SANTOS, M. A. (Org.). *Atualizações em Fitonematologia Brasileira*. [S.l.: s.n.], 2024.

ALVES, E. et al. Doenças Fúngicas, Bacterianas e Causadas por Nematoides. In: ALVARENGA, M. A. R. (Ed.). *Tomate: produção em campo, casa de vegetação e em hidroponia*. 3. ed. Lavras, MG: Ed. Universitária de Lavras, 2022. p. 315-380.

ARAÚJO, F. G. et al. Cover crops and biocontrol agents in the management of nematodes in soybean crop. *Revista Caatinga*, v. 36, n. 2, p. 243-250, 2023.

ARBUZOVA, E. N. et al. First finding of *Bursaphelenchus xylophilus* in pine plantations of the Republic of Armenia. *Journal of Nematology*, v. 57, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.2478/jofnem-2025-0004>. Acesso em: 18 maio 2025.

ARCHIDONA-YUSTE, A. et al. A new ring nematode, *Xenocriconemella costaricense* sp. nov. (Nematoda: Criconematidae) from Costa Rica. *Journal of Helminthology*, v. 98, e3, 2024. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-helminthology/article/new-ring-nematode-xenocriconemella-costaricense-sp-nov-nematoda-criconematidae-from-costa-rica/C118F72AA5A9B411EC916C0333200519>. Acesso em: 18 maio 2025.

BASP SE. Use of cyclobutrifluram for controlling plant parasitic nematodes. United States Patent Application US20230309559A1. 2023. Disponível em: <https://patents.justia.com/patent/20230309559>. Acesso em: 18 maio 2025.

BHUYAN, P. et al. Evaluation of Some New Nematicides for the Management of Reniform Nematode (*Rotylenchulus reniformis*) on Tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Experimental Agriculture International*, v. 46, n. 6, p. 492-499, 2024. Disponível em: <https://journaljeai.com/index.php/JEAI/article/view/2501>. Acesso em: 21 maio 2025.

BOGALE, M.; BANIYA, A.; DIGENNARO, P. Nematode identification techniques and recente advances. *Plants*, v. 9, n. 10, p. 1-15, 2020.

BONFIM, J. M. F.; INOMOTO, M. M.; ARAÚJO, F. J. V. D. Phytonematodes infesting common bean fields in Brazil, and pathogenicity tests with *Pratylenchus brachyurus*.

Arquivos do Instituto Biológico, v. 88, p. 1-9, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1808-1657000312020>. Acesso em: 19 jun 2025.

BONGIORNO, G. et al. Role of free-living nematodes in nutrient cycling and organic matter decomposition in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 175, 108771, 2023.

BORGES, D. F.; **Efeito nematicida de extrato de plantas do cerrado e óleos essenciais**. 1-46, 2017.

BRAGA, A. F. *Interação de Trichoderma asperellum e Bacillus spp. utilizados no controle biológico de doenças na soja*. 2021. 35 f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia e Grãos) - Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Mapa registra algumas inovações tecnológicas para o controle de pragas na agricultura. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-registra-algumas-inovacoes-tecnologicas-para-o-controle-de-pragas-na-agricultura>. Acesso em: 4 jun. 2025.

BUI, H. X.; DESAEGER, J. A. Host suitability of summer cover crops to *Meloidogyne arenaria*, *M. enterolobii*, *M. incognita* and *M. javanica*. *Nematology*, v. 24, n. 2, p. 171-179, 2022.

CÂMARA, M. P.; LOPES, E. S.; CORRÊA, M. M. *Bionematologia: conceitos e aplicações no controle de fitonematoides*. São Paulo: Edgard Blücher, 2015. 238 p.

CAMPOS, E. V. et al. Nematodes and their role in sustainable agricultural systems: Insights from recent research and innovative solutions. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 169, 108667, 2023.

CANTALAPIEDRA-NAVARRETE, C. et al. Another new ring nematode, *Xenocriconemella andreae* sp. nov. (Nematoda: Criconematidae) from the Iberian Peninsula. *ZooKeys*, v. 1189, p. 1-20, 2024. Disponível em: <https://zse.pensoft.net/article/129009/>. Acesso em: 18 maio 2025.

CARES, J. Breve histórico e evolução da fitonematologia mundial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 35., 2015, Londrina. *Anais [...]*. Londrina: Sociedade Brasileira de Nematologia, 2015. p. 1-15. Disponível em: <https://anais.infobibos.com.br/cbn/35/Palestras/01%20%-20Juvenil%20Cares.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2025.

CARNEIRO, R. M. D. G.; DIAS, W. P. Ecologia de Fitonematoides. In: OLIVEIRA, C. M.; SANTOS, M. A. (Ed.). *Nematologia Agrícola do Brasil: fundamentos e aplicações*. 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2023.

CARVALHO FILHO, M. R. Interação planta-nematoide: entender para conviver. JCO BIOPRODUTOS, 2021. Disponível em: <https://jcobioprodutos.com.br/2021/04/23/interacao-planta-nematoide-entender-para-conviver/>. Acesso em: 19 fev. 2025.

CHEN, Q. et al. Pectate lyase genes from *Radopholus similis* and their application in molecular identification of two pathotypes. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 108,

p. 1-12, 2024. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11009743/>. Acesso em: 21 maio 2025.

CHITWOOD, B. G.; CHITWOOD, M. B. *Introduction to Nematology*. Baltimore, Maryland: University Park Press, 1950.

CHITWOOD, J. S. L. K.; HOWARD, L. L.; NICKEL, W. R. (Ed.). *Nematology: Advances and Perspectives – Volume I & II*. [S.l.: s.n.], 2021.

CLAUDIUS-COLE, A. O.; ASIEDU, R.; FAWOLE, B. Tropical cover crops for the management of the yam nematode, *Scutellonema bradys*. *International Journal of Pest Management*, v. 62, n. 1, p. 85-91, 2016. Disponível em: <https://gender.cgiar.org/publications/tropical-cover-crops-management-yam-nematode-scutellonema-bradys>. Acesso em: 22 maio 2025.

CONSTANTINO, R. Princípios de taxonomia. In: RAFAEL, J. A. et al. (Ed.). *Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia*. 2. ed. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 2024. Cap. 6, p. 114-119.

COOK, R. S.; ZUCKERMAN, D. J. *Plant Nematology*. 2. ed. [S.l.: s.n.], 2021.

COSTA, G. N. M. *Tecnologias ômicas na identificação e no controle biológico de fitonematoídes*. 2023. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/43798>. Acesso em: 4 jun. 2025.

COSTA, M. G. S. et al. Root-knot nematode population development in macadamia varieties. *Crop Protection*, v. 131, p. 105075, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.CROPRO.2019.105075>. Acesso em: [Preencher data de acesso].

COYNE, D. L. et al. Pathogenicity of *Scutellonema bradys* populations from diferente geographical áreas in Benin on yam (*Dioscorea* spp.). *Crop Protection*, v. 28, p. 715-721, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261219409001252>. Acesso em: 22 maio 2025.

CROLL, N. A.; MATTHEWS, B. *Biology of Nematodes*. New York: Halsted Press, 1977.

D'ADDABBO, T.; LADURNER, E.; TROCCOLI, A. Atividade nematicida de uma formulação de extrato de alho contra o nematoíde da videira *Xiphinema index*. *Plants*, v. 12, n. 4, p. 739, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants12040739>. Acesso em: 28 maio 2025.

DA SILVA, I. I. M. *Efeito da regeneração natural de uma floresta seca da caatinga sobre a comunidade de nematoídes do solo*. [S.l.]: Universidade Federal de Pernambuco, 2022. 46 p.

DAYI, M. Transposable element diversity and evolution in plant-parasitic nematodes. *BMC Genomics*, v. 25, n. 1, 2024. Disponível em: <https://bmcgenomics.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12864-024-10435-7>. Acesso em: 18 maio 2025.

DEHGHAN, A. A.; GHADERI, R. Genetic diversity of the recovered populations of *Mesocriconema xenoplax* (Nematoda: Criconematidae) from orchards in Fars province, Southern Iran. *Journal of Nematology*, v. 56, 2024. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11668531/>. Acesso em: 18 maio 2025.

DE JONGHE, K. et al. Detecção de *Xiphinema* spp. portadores de vírus como alternativa à identificação até o nível de espécie em comércio (XiphiVIR). Zenodo, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7528574>. Acesso em: 28 maio 2025.

DEVI, T. et al. Uma revisão abrangente sobre o manejo integrado de pragas em nematoides. *Revista Internacional de Pesquisa em Agronomia*, v. 7, n. 12, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.33545/2618060x.2024.v7.i12j.2252>. Acesso em: 12 jun 2025.

DIAS-ARAUJO, C. C. et al. *Manejo de nematoides no Brasil: desafios e perspectivas*. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 25 p. (Série Documentos, 20).

DIAS, M. H. F. et al. Extrato de cravo-de-defunto (*Tegetes patula*) e do microgeo no controle de *Meloidogyne javanica* na cultura do tomateiro. In: *Editora Científica Digital*, v. 2, 2022.

DIAS, W. P.; CARNEIRO, R. M. D. G.; AMARAL, A. R. Nematoides. In: *Recomendações técnicas para o cultivo do milho safrinha*. 2. ed. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2023. (Coleção 500 perguntas e 500 respostas).

DUAN, Y. et al. Morphological and molecular characterisation of *Helicotylenchus zenchengensis* n. sp. (Nematoda: Hoplolaimidae) from China. *Phytopathology Research*, v. 6, n. 1, p. 1-12, 2024. Disponível em: <https://phytopatholres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s42483-024-00223-2>. Acesso em: 19 maio 2025.

EL-DERINY, M. M.; IBRAHIM, D. S. S.; MOSTAFA, F. A. M. Organic Additives and Their Role in the Phytoparasitic Nematodes Management. In: *Management of Phytonematodes: Recent Advances and Future Challenges*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 73-93. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-15-4087-5_4. Acesso em: 2 fev. 2025.

ELEVAGRO. Alternativas no controle de fitonematoides. 2022. Disponível em: <https://elevagro.com/blog/alternativas-no-controle-de-fitonematoides/>. Acesso em: 4 jun. 2025.

EMBRAPA. *Condições do solo e o desenvolvimento de nematoides em culturas agrícolas*. [Comunicado Técnico]. Local [do comunicado]: Editora Embrapa, 2023.

EMBRAPA. Histórico da taxonomia dos nematoides. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica*, v. 3, p. 1-15, 2005. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/34602/1/AAPCA-V3-Revisao-03.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2025.

EMBRAPA. *Entenda o que é a síndrome da haste verde na soja*. Brasília, DF: Embrapa, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/56616091/entenda-o-que-e-a-sindrome-da-haste-verde-na-soja>. Acesso em: 19 set. 2025.

EMBRAPA. *Impacto das práticas de manejo do solo na supressão de nematoides em sistemas de produção de grãos*. [S.l.]: Embrapa, 2023.

EMBRAPA. Princípios e tendências do controle biológico de nematoides com fungos nematófagos. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/105580/principios-e-tendencias-do-controle-biologico-de-nematoides-com-fungos-nematofagos>. Acesso em: 4 jun. 2025.

FACTOR-KLINE. Tendências no controle de nematoides em 2024: novas marcas lançadas pela Bayer e pela Corteva. 2024. Disponível em: <https://www.blogfactorkline.com/single-post/tend%C3%Aancias-no-controle-de-nematoides-em-2024-novas-marcas-lan%C3%A7adas-pela-bayer-e-pela-corteva>. Acesso em: 4 jun. 2025.

FAO. *The Impact of Plant Parasitic Nematodes on Global Agriculture and Food Security*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022.

FASSINOU, C. G. et al. High throughput propagation materials for evaluating the response of yam to nematode infestation under controlled environment. *Nematropica*, v. 54, p. 131-148, 2024. Disponível em: <https://journals.flvc.org/nematropica/article/view/138177/143384>. Acesso em: 22 maio 2025.

FERRAZ, L. C. C. B.; SANTOS, J. M. *Nematoides fitoparasitas: diagnóstico e manejo*. Brasília, DF: Embrapa, 2011. 25 p. (Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas).

FERRAZ, L. C. C. B.; BROWN, D. J. F. *Nematologia de plantas: fundamentos e importância*. Manaus: Norma Editora, 2016. v. 1.

FERRAZ, S.; BROWN, D. J. F. Manejo Sustentável de Fitonematoides. 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/272170021_Manejo_Sustentavel_de_Fitonematoides. Acesso em: 4 jun. 2025.

FONTES, E. M. G.; INGLIS, M. C. V. *Controle biológico de pragas da agricultura*. 1. ed. [S.l.: s.n.], 2020.

GALDI, L.; SANTOS, D. Qual a solução para nematoides em milho safrinha. Uberlândia: Campos e Negócios, 2020.

GAO, Y. et al. Detection methods for pine wilt disease: A comprehensive review. *Plants*, v. 13, n. 20, p. 2876, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants13202876>. Acesso em: 18 maio 2025.

GERMIDÁ, J. J. et al. (Ed.). *Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry*. [S.l.]: Academic Press, 2021.

GRYNBERG, P. et al. Comparative genomics reveals novel target genes towards specific control of plant-parasitic nematodes. *Genes*, v. 11, n. 11, 2020.

GUIMARÃES, N. N. et al. Potencial de extratos de plantas e manipueira no controle de *Meloidogyne javanica* em jiloeiro. **Holos**, v. 8, p. 1-15, 2021.

HAILU, F. A.; HAILU, Y. A. Agro-Ecological Importance of Nematodes (Round Worms). *Acta Scientific Agriculture*, v. 4, 2020. Disponível em: <https://actascientific.com/ASAG/pdf/ASAG-04-0763.pdf>. Acesso em: 19 set 2025.

HANDOO, Z. A. et al. (Ed.). *Plant-Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture: Problems and Solutions*. [S.l.]: Springer Nature, 2022.

HAYDOCK, P. et al. Controle químico de nematóides. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1079/9781845930561.0392>. Acesso em: 20 jun 2025.

HENDRIX, P. F.; BERMAN, M. E. Nematodes as Indicators of Soil Health. In: *Soil Health and Sustainability*. [S.l.]: CRC Press, 2023.

HOFFMANN-CAMPO, C. B. et al. *Relação entre a infestação de percevejos e a síndrome da haste verde na cultura da soja*. Londrina: Embrapa Soja, 2017. 18 p. (Documentos, 396).

HOUNGO, A. M. E. et al. Evaluation of the potential for controlling yam (*Dioscorea* spp.) nematodes using the “Wrap and Plant” technology in Togo. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, v. 13, n. 10, p. 1-12, 2024. Disponível em: <https://www.ijcmas.com/13-10-2024/Houngo%20Ame%20Mensah%20Esp%C3%A8re,%20et%20al.pdf>. Acesso em: 22 maio 2025.

HOWLAND, A. D.; QUINTANILLA, M. Plant-parasitic nematodes and their effects on ornamental plants: a review. *Journal of Nematology*, v. 55, n. 1, p. 1-10, 2023. Disponível em: <https://sciencelink.com/article/10.2478/jofnem-2023-0007>. Acesso em: 19 maio 2025.

HUH, S. et al. Morphological and molecular characterization of the potato rot nematode, *Ditylenchus destructor*, parasitizing garlic in Korea. *Horticulturae*, v. 10, n. 9, p. 902, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/10/9/902>. Acesso em: 19 maio 2025.

HUSSAIN, M. I. et al. UHPLC-DAD-MS phenolics profiling and nematicidal activity of plant extracts Against *Tylenchulus semipenetrans*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, v. 132, p. 102090, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S088557652001171>. Acesso em: 28 maio 2025.

HUSSEY, R. S.; JANSSEN, G. Nematode pests of crops and their management in the tropics. *Crops and Soils*, v. 73, n. 4, p. 25-28, 2020.

JAIMAN, M. et al. Eco-friendly management of citrus nematode (*Tylenchulus semipenetrans* Cobb) infecting lemon (*Citrus limon* L.). *Biological Forum – An International Journal*, v. 15, n. 2, p. 327-332, 2023. Disponível em: <https://www.researchtrend.net/bfij/pdf/Eco-friendly-Management-of-Citrus-Nematode.pdf>. Acesso em: 28 maio 2025.

JAWAD, M. J.; AL-SAAD, A. H. Detection and biocontrol of citrus nematode *Tylenchulus semipenetrans* in Wasit province. 2024. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/377348350>. Acesso em: 28 maio 2025.

Ji, Y. et al. Genome of *Aphelenchoides besseyi*: Insights into the parasitic mechanism and horizontal gene transfer. *Phytopathology Research*, v. 5, n. 1, 2023. Disponível em: <https://phytopatholres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s42483-023-00158-0>. Acesso em: 18 maio 2025.

JONES, J. T. et al. Nematode-plant interactions: Mechanisms and control strategies. In: *Nematology: Advances and Emerging Trends*. [S.l.]: CRC Press, 2020.

JONES, J. T. et al. (Ed.). *Plant Parasitic Nematodes: Biology and Control*. [S.l.]: Springer Nature, 2022.

KANE, J. et al. Nematodes fungívoros impulsionam a diversidade microbiana e o ciclo do carbono no solo. *Ecologia*, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ecy.3844>. Acesso em: [Preencher data de acesso].

KATZ, A. et al. Functional diversity of free-living nematodes and their role in ecosystem services. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 173, 108754, 2022.

KERRY, B. R. *Nematode Ecology and Plant Disease*. [S.l.]: Springer, 2021.

KHANAL, C.; HARSHMAN, D. Evaluation of summer cover crops for host suitability of *Meloidogyne enterolobii*. *Crop Protection*, v. 151, p. 105821, 2022.

KHAN, M. W.; HAIDER, S. R. Interaction of the *Meloidogyne javanica* with different races of *Meloidogyne incognita*. *Journal of Nematology*, v. 23, p. 298-305, 1991.

KIRINO, H.; MAEHARA, N.; SHINYA, R. How did *Bursaphelenchus* nematodes acquire a specific relationship with their Beetle vectors, *Monochamus*?. *Frontiers in Physiology*, v. 14, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1209695>. Acesso em: 18 maio 2025.

KOLOMBIA, Y. A. et al. Morphological and molecular characterization of *Pratylenchus* species from Yam (*Dioscorea* spp.) in West Africa. *Journal of Nematology*, v. 52, p. 1-25, 2021.

KUMAR, K. K.; DARA, S. K. Fungal and Bacterial Endophytes as Microbial Control Agents for Plant-Parasitic Nematodes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 18, n. 8, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/IJERPH18084269>. Acesso em: 2 fev. 2025.

KUMAR, S. et al. Burrowing Nematode in Spice and Fruit Crops and Their Management by Novel Biocontrol Strategies. 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/375511424_Burrowing_Nematode_in_Spice_and_Fruit_Crops_and_Their_Management_by_Novel_Biocontrol_Strategies. Acesso em: 21 maio 2025.

LAI, D. et al. Horizontal gene transfers in *Aphelenchoides* genomes reveal insights into evolution of plant parasitism. *Molecular Ecology Resources*, v. 24, n. 1, 2023. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1755-0998.13752>. Acesso em: 18 maio 2025.

LEAL, G. A. et al. *Manejo integrado da doença-do-anel-vermelho do coqueiro*. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2011. 24 p. (Documentos, 142). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/902796/1/DOC142.pdf>. Acesso em: 19 set. 2025.

LE, K. D. *Incidence and pathogenicity of plant-parasitic nematodes on coffee in Australia and the potential of organic amendments as a management tactic*. 2020. Tese (Doutorado) - University of Sydney, Sydney, 2020. Disponível em: <https://ses.library.usyd.edu.au/handle/2123/23277>. Acesso em: 2 fev. 2025.

LEIVA, N. P. F. et al. Soil chemical properties and their relationship with phytonematode populations inside and outside patches of soybean fields. *Rhizosphere*, v. 15, p. 100231, 2020.

LIU, D. et al. Integrated management of plant parasitic nematodes for sustainable agriculture. *Plant Pathology Journal*, v. 36, n. 1, p. 1-17, 2020.

LIU, L. et al. Functional roles of nematodes in soil ecosystems and their implications for sustainable agriculture. *Soil Ecology Letters*, v. 4, n. 1, p. 52-61, 2022.

LIU, Y. et al. Free-living nematodes as indicators of soil biodiversity and ecosystem functioning. *Ecological Indicators*, v. 136, 108621, 2023.

LI, Y. et al. Efficient and direct identification of *Ditylenchus destructor* and *D. dipsaci* in soil and plant tissues using a species-specific PCR assay. *Horticulturae*, v. 10, n. 3, p. 250, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/10/3/250>. Acesso em: 19 maio 2025.

LORENZO, C. et al. Evaluating the influence of water scarcity on the host response of garlic to the stem and bulb nematode *Ditylenchus dipsaci*. *Plants*, v. 12, n. 22, p. 3845, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/22/3845>. Acesso em: 19 maio 2025.

LU, Y. et al. Recent advances in the effectors of migratory endoparasitic nematodes. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 25, n. 12, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/25/12/6435>. Acesso em: 18 maio 2025.

MA, B. et al. Diversity and functional roles of free-living nematodes in terrestrial ecosystems. *Applied Soil Ecology*, v. 171, 104361, 2023.

MAGALHÃES, J.; NETO, A.; MIGUENS, F. Nematóides de *Rhynchophorus palmarum*, L. (Coleoptera: Curculionidae), vetor da doença do Anel Vermelho em coqueiros do norte do Estado do Rio de Janeiro. *Pesquisa em Parasitologia*, v. 102, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00436-008-0906-7>. Acesso em: [Preencher data de acesso].

MAGALHÃES, P. R. et al. Effect of salt stress on the parasitism of *Meloidogyne enterolobii* in cowpea. *Research, Society and Development (RSD)*, v. 10, n. 10, e358101018967, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i10.18967>. Acesso em: 20 mai 2025.

MAGGENTI, A. R. Nemic relationships and the origins of plant-parasitic nematodes. In: ZUCKERMAN, B. M.; MAI, W. F.; ROHDE, R. A. (Ed.). *Plant Parasitic Nematodes*. New York: Academic Press, 1971. v. 1, p. 63-81.

MAPA. Agrofit: consulta aberta. 2025. Acesso em: 1 fev. 2025. [https://www.reclameaqui.com.br/original-solucoes-ltda/cobranca-indevida-e-servico-nao-prestado-pela-original-solucoes_v3J3g7VCVOD_H0QJ/](https://www.reclameaqui.com.br/original-solucoes-ltda/cobranca-indevida-e-servico-nao-prestado-pela-original-solucoes_v3J3g7VCVOD_H0QJ/).

MARQUES, Á. A. **Atividade nematicida do óleo essencial da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense*) no controle de *Meloidogyne javanica***. 1-41, 2020.

MAUPAS, E. Free-living nematodes: Their biology, ecology, and role in ecosystems. In: *Advances in Nematology: Volume 1: Structure and Function*. [S.l.]: Springer, 2022.

MCSORLEY, R.; DICKSON, D. W. *Nematodes in Soil Ecosystems*. [S.l.]: CRC Press, 2020.

MESA-VALLE, C. M. et al. Global research on plant nematodes. *Agronomy*, v. 10, n. 8, p. 1148, 2020.

MIRANDA, I. S. *Avaliação qualitativa do uso de extrato pirolenhoso no controle nematoides das galhas (*Meloidogyne* spp.) na cultura da acerola*. 2021. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sertão Pernambuco, Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina, 2021.

MKANDAWIRE, T. T. et al. Hatching of parasitic nematode eggs: a crucial step determining infection. *Trends in Parasitology*, v. 38, n. 2, p. 174-187, 2022.

MOURA, R. M. de; MARANHÃO, S. R. V. L. Dados históricos e projeções futuras sobre a fitonematologia. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica*, v. 1, p. 47-68, 2004. Disponível em: <https://journals.ufrpe.br/index.php/apca/article/view/53>. Acesso em: 6 jun. 2025.

MOURA, V. H. de; OLIVEIRA, C. M. G. de; SANTOS, M. dos. Técnicas clássicas da diagnose de fitonematoides. 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/366812816_Tecnicas_classicas_da_diagnose_de_fitonematoides. Acesso em: 4 jun. 2025.

MÜLLER, H. et al. *Caenorhabditis elegans* as a model organism for studying the ecological roles of free-living nematodes. *Frontiers in Microbiology*, v. 12, 655703, 2021.

NAGHAVI, A.; NIKNAM, G.; VAZIFEH, N. A. Nova evidência de especiação críptica em nematoides habitantes do solo, com caracterização morfológica e molecular de *Xiphinema sangesarensis* n. sp. (Dorylaimida: Longidoridae) das montanhas do centro-norte do Irã. *Nematology*, v. 25, n. 5, p. 549-562, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1163/15685411-bja10212>. Acesso em: 28 maio 2025.

NAKWEYA, G. Seed wraps protect yams from parasites. *Nature*, 2023. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d44148-023-00059-6>. Acesso em: 22 maio 2025.

NEHER, D. A. Nematodes as bioindicators of soil ecosystem health: Advances and challenges. *Soil Science Society of America Journal*, v. 85, n. 1, p. 1-14, 2021.

NEVES, W. S.; MONTEIRO, T. S. A.; OLIVEIRA, P. M. Incorporação de semente de mamão ao solo para manejo de nematoides na cultura da banana. In: *Agroecologia: métodos e técnicas para uma agricultura sustentável – volume 5*. [S.l.]: Editora Científica Digital, 2021. p. 162-171.

NGUYEN, T. D. et al. Plant-parasitic nematodes associated with maior and their relationship with soil properties in southern and southwestern Ethiopia. *Nematology*, v. 26, n. 7, p. 719-729, 2024.

NOMURA, R. et al. *Pratylenchus brachyurus*: status e perspectivas na agricultura brasileira. *Patologia de Plantas Tropicais*, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40858-024-00669-x>. Acesso em: [Preencher data de acesso].

NOVAES, J. M. P. *Controle alternativo com biocarvão para supressão do nematoide-das-galhas*. 2022. 151 f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical) - Faculdade de Agronomia e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, 2022.

NUNES, D. et al. Impacto de temperatura e regime hídrico na ecologia de nematoides migradores em solos agrícolas tropicais. *Journal of Helminthology*, v. 97, e94, 2023.

ÖCAL, A. et al. Resistance of some Turkish garlic genotypes and landraces against stem and bulb nematode, *Ditylenchus dipsaci* (Kühn, 1857) Filipjev, 1936 (Rhabditida: Anguinidae). *Turkish Journal of Entomology*, Ankara, v. 47, n. 1, p. 111-119, 2023. Disponível em: <https://dergipark.org.tr/en/pub/entoted/issue/76405/1210028>. Acesso em: 19 maio 2025.

ORLANDO, V. et al. Root lesion nematodes of potato: Current status of diagnostics, pathogenicity and management. *Plant Pathology*, v. 69, n. 3, p. 405-417, 2020.

PEREIRA, J. L.; PIRES, A. L. Biological control of nematodes in agroecosystems. *Nematology Today*, v. 15, n. 2, p. 123-141, 2023.

PEREIRA, J. L. et al. Microbial Bioinoculants for Sustainable Management of Nematode-Related Diseases in Agriculture. *Frontiers in Microbiology*, v. 13, 832669, 2022.

PEREIRA, L. F. *Influência da textura do solo e da temperatura na virulência e reprodução de Meloidogyne javanica*. 2024. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - 2024.

Peter J Roy, Triagem de drogas usando o nematóide *Caenorhabditis elegans*. **Genetics**, Volume 231, Edição 1, setembro de 2025.

PINHEIRO, F. F. et al. Nematoids associated with fodder palm culture. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 6, n. 9, p. 69576-69590, set. 2020. Disponível em:

<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/16803/13823>. DOI: 10.34117/bjdv6n9-415. Acesso em: [Preencher data de acesso].

POINAR JR., G. O. *The Natural History of Nematodes*. New Jersey: Prentice-Hall, 1983. 323 p.

QIU, Y. J. et al. Predicting the global potential distribution of *Bursaphelenchus xylophilus* under current and future climate scenarios. *BMC Ecology and Evolution*, v. 24, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12862-024-02234-1>. Acesso em: 18 maio 2025.

QIU, Y. J. et al. The *Bursaphelenchus xylophilus* candidate effector BxLip-3 targets the class I chitinases to suppress immunity in pine. *Molecular Plant Pathology*, v. 24, p. 1033-1046, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/mpp.13334>. Acesso em: 18 maio 2025.

REIS, M. S. M. et al. Potassium phosphite in the management of green mold in citrus. *Observatório de la Economía Latinoamericana*, [S.l.], v. 22, n. 1, p. 422-442, 2024. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/1531>. DOI: 10.55905/oelv22n1-024. Acesso em: 07 fev. 2025.

RIASCOS-ORTÍZ, D. et al. Taxonomia integrativa de dois nematoides-daga conhecidos do gênero *Xiphinema* (Nematoda: Longidoridae) da bacia amazônica na América do Sul, incluindo o primeiro registro de *X. brasiliense* Lordello, 1951 na Colômbia e Equador. *European Journal of Plant Pathology*, [S.l.], v. 170, p. 1-15, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10658-024-02979-x>. Acesso em: 28 maio 2025.

RIBEIRO, L. M. et al. Survival of *Pratylenchus brachyurus* under dry soil conditions. *Heliyon*, [S.L.], v. 6, n. 9, p. 1-6, set. 2020.

ROCHA, A. de J. et al. Interaction between *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* and *Radopholus similis* can lead to changes in the resistance of banana cultivars to Fusarium wilt. *European Journal of Plant Pathology*, v. 158, n. 2, p. 403-417, 2020.

ROOPA, K. P.; GADAG, A. S. Importance of Biopesticides in the Sustainable Management of Plant-Parasitic Nematodes. In: *Management of Phytonematodes: Recent Advances and Future Challenges*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 205-227. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-15-4087-5_9. Acesso em: 02 fev. 2025.

SAKWE, S. B.; GERAERT, E. Survey of ring nematode in South Carolina peanut fields. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, v. 9, n. 1, 2023. Disponível em: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/cft2.70000>. Acesso em: 18 maio 2025.

SANDOVAL-RUIZ, R.; GRABAU, Z. J. Reniform Nematode Management Using Winter Crop Rotation and Residue Incorporation Methods in Greenhouse Experiments. *Journal of Nematology*, v. 55, n. 1, p. 1-10, 2023. Disponível em: <https://sciencemagazine.com/article/10.2478/jofnem-2023-0035>. Acesso em: 21 maio 2025.

SANTOS, B. F. A. D. *Aspectos bioquímicos e fisiológicos em soja infectada por Heterodera glycines em resposta ao agente de biocontrole Bacillus velezensis GF267*. 2020. 33 f. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) - Instituto Federal Goiano, Urutaí, GO, 2020.

SANTOS, J. B. R. *Impactos e métodos de controle de nematoides na fruticultura brasileira*. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2024.

SANTOS, J. M. dos; OLIVEIRA, C. M. G. de; SOUZA, V. H. M. de. Diagnose e manejo de fitonematoides na cultura da soja. 2023. Disponível em: https://www.research.net/publication/344755488_Diagnose_e_manejo_de_fitonematoides_na_cultura_da_soja. Acesso em: 4 jun. 2025.

SANTOS, S. M. et al. Biological control of plant-parasitic nematodes: Current status and future prospects. *Biological Control*, v. 155, 104538, 2023.

SARRIA, G. et al. Identificação molecular de *Bursaphelenchus cocophilus* associado a cultivos de dendê (*Elaeis guineensis*) em Tibu (Norte de Santander, Colômbia). *Journal of Nematology*, v. 52, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.2130/jofnem-2020-117>. Acesso em: 20 jun 2025.

SCHIFFER, P. et al. Free-living nematodes as experimental models in ecological and genetic studies. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, v. 24, 100314, 2022.

SHAHKOOMAHALLY, S. et al. The impact of peach rootstocks and winter cover crops on reproduction of ring nematode. *Plants*, v. 13, n. 6, p. 803, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/13/6/803>. Acesso em: 18 maio 2025.

SHAHZAD, T. et al. Effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungi Against *Tylenchulus semipenetrans*. *Journal of Agriculture and Food Research*, v. 14, p. 100539, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2773078624000396>. Acesso em: 28 maio 2025.

SHAIKH, F. A. et al. Current trends and future prospects in controlling the citrus nematode (*Tylenchulus semipenetrans*). *Agronomy*, v. 15, n. 2, p. 383, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/15/2/383>. Acesso em: 28 maio 2025.

SHAKEEL, A.; KHAN, A. A.; HARIS, M. Multifaceted strategies used by root-knot nematodes to parasitize plants – A review. *Phyton*, [S.l.], v. 89, n. 2, p. 205-215, 2020. Disponível em: <https://doi.org/1032604/PHYTON.2020.08922>. Acesso em: 28 maio 2025.

SHAO, H. et al. Genetic Diversity of the root-knot nematode *Meloidogyne enterolobii* in Mulberry based on the mitochondrial COI Gene. *Ecology and Evolution*, v. 10, n. 12, p. 5391-5401, 2020.

SHOKOOHI, E.; MASOKO, P. Morphological and molecular characters of two *Helicotylenchus* species from South Africa. *Biologia*, [S.l.], v. 79, p. 1-10, 2024. Disponível em: <https://www.ars.usda.gov/ARSEUserFiles/2279/Shakoohi%20et.%20al.%202024-%20Helicoty.%20spp.%20SA.%20Biologia.pdf>. Acesso em: 19 maio 2025.

SIDDIQI, M. R. *Nematode parasitism of plants: A global perspective*. [S.l.]: Springer, 2020.

SIKANDAR, A. et al. Review article: *Meloidogyne incognita* (Root-Knot Nematode) a risk to agriculture. *Applied Ecology and Environmental Research*, v. 18, n. 1, p. 1679-1690, 2020.

SILVA, A. C.; MENEZES, C. S. Resposta de populações de *Meloidogyne incognita* a diferentes tipos de solo e regimes hídricos sob condições controladas. *Scientia Agricola*, v. 81, n. 1, p. 1-8, 2024.

SILVA, A. da et al. NemaNet: A convolutional neural network model for identification of nematodes soybean crop in Brazil. 2021. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2103.03717>. Acesso em: 4 jun. 2025.

SILVA, R. G. et al. Crop succession and rotation with surface liming on nematode management and soybean yield. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 57, e02695, 2022.

SILVA, R. V. da. *Nematoides fitoparasitas: métodos de controle e mecanismos de resistência*. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2022. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/39579/1/2022_RejaneValerianoDaSilva_tcc.pdf. Acesso em: 4 jun. 2025.

SILVA, R. V. et al. Primeiro relato de *Ditylenchus gallaeformans* em *Miconia albicans* do cerrado brasileiro, Estado de Goiás. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 2, p. 729-735, 2016.

SILVA, V. L. N. S. da. *Guia de Nematoides: Diagnóstico, Estratégias de Manejo e Uso*. 2024. Disponível em: https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/5391/1/tcc_Viviane%20Loriene%20Nascimento%20Soares%20da%20Silva.pdf. Acesso em: 4 jun. 2025.

SILVEIRA, R. S. da. *Importância e manejo de nematoides em lavouras de soja*. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2021. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/29566/1/2021_RomanoSantiagoDaSilveira_tcc.pdf. Acesso em: 5 jun. 2025.

SIVASUBRAMANIAM, N.; HARIHARAN, G.; ZAKEEL, M. C. M. Sustainable Management of Plant-Parasitic Nematodes: An Overview from Conventional Practices to Modern Techniques. In: *Management of Phytonematodes: Recent Advances and Future Challenges*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 353-399. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-15-4087-5_16. Acesso em: 02 fev. 2025.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE NEMATOLOGIA (SBN). *Acesse os anais e artigos publicados em seus congressos mais recentes (2023, 2022)*. [S.l.: s.n.], 2023.

SONG, W. et al. Diagnosis and characterization of *Dytilenchus destructor* isolated from *Mazus japonicus* in China. *Life*, Basel, v. 13, n. 8, p. 1758, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-1729/13/8/1758>. Acesso em: 19 maio 2025.

SOUZA, V. H. M. de; OLIVEIRA, C. M. G. de; SANTOS, M. dos. Fitonematoides. 2023. Disponível em: <https://nematologia.com.br/files/rapp/rapp27.pdf>. Acesso em: 4 jun. 2025.

STOLLER DO BRASIL. Controle de nematoides: confira algumas dicas de manejo. 2023. Disponível em: <https://www.stoller.com.br/blog/controle-de-nematoides-de-dicas-de-manejo/>. Acesso em: 4 jun. 2025.

SUBBOTIN, S. A.; PALOMARES-RIUS, J. E.; CASTILLO, P. Systematic of Root-Knot Nematodes (Nematoda: Meloidogynidae). In: HUNT, D. J.; PERRY, R. N. (Ed.). *Nematology Monographs and Perspectives*. Leiden, The Netherlands: Brill, 2021.

SYNGENTA. Levantamento inédito prevê prejuízo potencial de até R\$ 870 bilhões em menos de 10 anos com danos causados por nematoides. 2023. Disponível em: <https://www.syngenta.com.br/press-release/institucional/levantamento-inedito-preve-prejuizo-potencial-de-ate-r-870-bilhoes-em>. Acesso em: 1 fev. 2025.

SYNGENTA. Pesquisa inédita revela mapa de crescimento e danos econômicos causados por nematoides e doenças iniciais nas principais culturas do Brasil. 2022. Disponível em: <https://www.syngenta.com.br/press-release/institucional/pesquisa-inedita-revela-mapa-de-crescimento-e-danos-economicos-causados#:~:text=Soja%2C%20milho%2C%20algod%C3%A3o%2C%20cana,cada%2010%20safras%20do%20gr%C3%A3o>. Acesso em: 7 fev. 2025.

TAYLOR, A. L. A review of the fossil nematodes. *Proceedings Helminthological Society Washington*, v. 2, p. 47-49, 1935.

TEJO, D. P.; FERNANDES, C. H. dos S.; BURATTO, J. S. Fitonematoides e Estratégias Adotadas em seu Controle. *Ensaio e Ciência Biológicas Agrárias e da Saúde*, [S.l.], v. 24, n. 2, p. 126-130, 2020. Disponível em: <https://seer.pgskroton.com/index.php/ensaioeciencia/article/view/8668>. DOI: 10.17921/1415-6938.2020v24n2p126-130. Acesso em: 02 fev. 2025.

THOMAZELI, G. S. et al. Immunity of sugarcane cultivars to *Meloidogyne enterolobii*. *Biosci. J.*, v. 36, n. 6, p. 1984-1989, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/BJ-V36N6A2020-47972>. Acesso em: 01 fev. 2025.

TIAN, B. et al. Ecological roles of free-living nematodes in freshwater and terrestrial habitats: A review. *Freshwater Biology*, v. 67, n. 2, p. 176-191, 2022.

TOMAZINI, M. D.; FILHO, O. G.; OLIVEIRA, C. M. Interações entre fitonematoides. *Divulgação Científica Biológico*, v. 83, p. 1-26, 2021. Disponível em: http://www.biologico.sp.gov.br/uploads/docs/bio/V83_1/00f397c0-5b8c-418b-a347-994a8f5e80f2.pdf. DOI: 10.31368/1980-6221v83a10004. Acesso em: [Preencher data de acesso].

TÓTHNÉ B. F. et al. Composted Municipal Green Waste Infused with Biocontrol Agents to Control Plant Parasitic Nematodes – A Review. *Microorganisms*, [S.l.], v. 9, n. 10, p. 2130, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/MICROORGANISMS9102130>. Acesso em: 02 fev. 2025.

TROCCOLI, L.; DE LUCA, F. Bibliometric and sequence analyses of the pathogenic *Helicotylenchus* nematodes. *Phytopathologia Mediterranea*, [S.l.], v. 63, n. 1, p. 1-15, 2024. Disponível em: <https://oajournals.fupress.net/index.php/pm/article/view/15749>. Acesso em: 19 maio 2025.

TURNER, N. E. et al. Evaluation of *Meloidogyne incognita* and *Rotylenchulus reniformis* Nematode-Resistant Cotton Cultivars with Supplemental Corteva Agriscience Nematicides.

Journal of Nematology, v. 55, n. 1, p. 1-12, 2023. Disponível em: <https://sciendo.com/article/10.2478/jofnem-2023-0001>. Acesso em: 21 maio 2025.

VALDEZ-MORALES, M. T. et al. Occurrence of the Reniform Nematode *Rotylenchulus reniformis* Parasitizing Cucumber and Eggplant in Mexico. *Plant Health Progress*, v. 25, n. 1, p. 1-4, 2024. Disponível em: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/abs/10.1094/PHP-10-23-0087-BR>. Acesso em: 21 maio 2025.

VAN DER PUTTEN, W. H. et al. Ecology of nematode communities in agricultural soils. *Annual Review of Phytopathology*, v. 59, p. 355-376, 2021.

VARANDAS, R.; EGAS, C.; CONCEIÇÃO, I. L. Potato cyst nematodes: New solutions to an old problem. *Crop Protection*, 2020. [Páginas e volume não fornecidos no original].

VÁSQUEZ, C. et al. Effect of *Radopholus similis*, *Pratylenchus araucensis*, *Meloidogyne* spp., and their interaction on plantain seedlings. *Journal of Nematology*, v. 55, n. 1, e2023-0054, 2023. Disponível em: <https://sciendo.com/article/10.2478/jofnem-2023-0054>. Acesso em: 21 maio 2025.

VIEIRA, P. et al. Targeted transcriptomics reveals signatures of large-scale independent origins and concerted regulation of effector genes in *Radopholus similis*. *PLoS Pathogens*, v. 17, n. 11, e1010036, 2021. Disponível em: <https://journals.plos.org/plospathogens/article?id=10.1371/journal.ppat.1010036>. Acesso em: 21 maio 2025.

WATSON, T. T. et al. Evaluation of Fumigant and Non-Fumigant Nematicides for Management of *Rotylenchulus reniformis* on Sweetpotato. *Journal of Nematology*, v. 55, n. 2, p. 1-8, 2023. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38283661/>. Acesso em: 21 maio 2025.

WIRATNO, M. P.; WAHYUNO, T.; DJIWANTI, S. R. Control Strategies of Plant Parasitic Nematodes in Black Pepper Plantation. *Iop Conference Series: Earth and Environmental Science*, [S.L.], v. 418, p. 012053, 10 jan. 2020. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/418/1/012053/pdf>. DOI: 10.1088/1755-1315/418/1/012053. Acesso em: 01 fev. 2025.

ZENG, Y. et al. Morphological and molecular characterization of prevalent plant-parasitic nematodes from turfgrasses in Guangdong, China. 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/391039768_Helicotylenchus. Acesso em: 19 maio 2025.

ZHANG, F. et al. The rise of bionematicides: Tackling the multi-billion dollar threat of plant-parasitic nematodes. *AgroPages*, nov. 2023. [Local de publicação e páginas não fornecidos no original].

ZHANG, Y. et al. Transgenic East African Highland Banana Plants Are Protected Against *Radopholus similis* Infection. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 24, n. 15, 12126, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/24/15/12126>. Acesso em: 21 maio 2025.

ZHANG, F.; BERG, M.; DIERKING, K.; FÉLIX, M.; SHAPIRA, M.; SAMUEL, B.; SCHULENBURG, H. *Caenorhabditis elegans* como modelo para pesquisa do microbioma. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, 2017.

ZHAO, H. et al. Free-living nematodes as indicators of soil health and their role in ecological restoration. *Ecological Indicators*, v. 138, 108682, 2023.