



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA – FAV**

**IMPORTÂNCIA E MANEJO DE NEMATOIDES EM LAVOURAS DE
SOJA NO BRASIL E PERSPECTIVAS FUTURAS.**

ROMANO SANTIAGO DA SILVEIRA

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**BRASÍLIA-DF
Maio/2021**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA – FAV**

**IMPORTÂNCIA E MANEJO DE NEMATOIDES EM LAVOURAS DE
SOJA NO BRASIL E PERSPECTIVAS FUTURAS.**

ROMANO SANTIAGO DA SILVEIRA

**Trabalho de Conclusão de Curso
submetido a apresentação e defendido
perante uma Banca Examinadora como
requisito para obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo no curso de
Graduação em Engenharia Agrônômica**

ORIENTADOR: PROF. DR. MARCELO FAGIOLI

**BRASÍLIA-DF
Maio/2021**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA – FAV

**IMPORTÂNCIA E MANEJO DE NEMATÓIDES EM LAVOURAS DE SOJA NO
BRASIL E PERSPECTIVAS FUTURAS.**

ROMANO SANTIAGO DA SILVEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília - UnB, como parte das exigências do Curso de Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

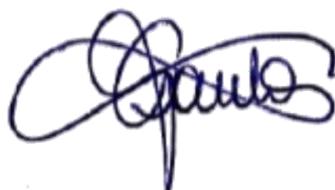
APROVADO PELA BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Marcelo Fagioli
Universidade de Brasília - UnB
Orientador



Engenheira Agrônoma MSc. Nayara Carvalho
Doutoranda em Agronomia - UnB
Examinadora externa



Engenheira Agrônoma Geovana Alves Santos
Mestranda em Agronomia - UnB
Examinadora externa

FICHA CATALOGRÁFICA

Santiago da Silveira, Romano
Importância e manejo de nematoides em lavouras de soja no brasil e perspectivas futuras / Romano Santiago da Silveira; orientador Marcelo Fagioli. -- Brasília, 2021.

62 p.

Monografia (Graduação - Agronomia) -- Universidade de Brasília, 2021.

1. Glycine max (L.) Merrill. 2. Problemas com nematoides. 3. Manejo de nematoides. I. Fagioli, Marcelo, orient. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVEIRA, R.S. Importância e manejo de nematoides em lavouras de soja no brasil e perspectivas futuras. 2021. 62f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, FAV, Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 2021.

CESSÃO DE DIREITOS

Nome do Autor: ROMANO SANTIAGO DA SILVEIRA

Título da Monografia de Conclusão de Curso: **IMPORTÂNCIA E MANEJO DE NEMATOIDES EM LAVOURAS DE SOJA NO BRASIL E PERSPECTIVAS FUTURAS.**

Grau: 3° **Ano:** 2021.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia de graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

ROMANO SANTIAGO DA SILVEIRA

Matrícula: 150081791

E-mail: romano.santiago97@gmail.com

Dedico este trabalho à Deus, que constituiu a minha fonte de fé e sabedoria durante todo o percurso que trilhei até aqui, e à minha família, por acreditar no meu potencial, me apoiar e incentivar a finalização de mais uma etapa, e com certeza início de outra. Gratidão!

AGRADECIMENTOS

A realização desse trabalho não teria sido possível sem a presença de pessoas que me ajudaram e deram suporte em diversas áreas da minha vida no decorrer desse período de grande tensão, que é o desenvolvimento de um trabalho de conclusão de curso.

Primeiro, gostaria de agradecer aos meus pais, que sempre me apoiaram e nunca me deixaram cogitar a possibilidade de desistir da graduação e ao meu orientador e amigo Marcelo Fagioli, que me ajudou a trilhar o melhor caminho dentro da minha caminhada profissional. Agradeço também, todos os meus amigos da graduação e da vida, por todo o apoio que deram.

Entre os amigos, gostaria de dar uma ênfase especial, para os meus irmãos de graduação que me renderam algumas das melhores histórias da vida, André, Antônio, Augusto, Caio, Erick, Gabriel Felipe, Gustavo, Jhonatan, Jiossep, Lucas, Marcos, Mateus Malheiros, Matheus Lima, Matheus Monteiro, Otavio e Rodrigo, pois foram os companheiros durante todas as vitórias e derrotas que vivenciei na graduação.

Além de todos esses companheiros de jornada acadêmica, gostaria de citar companheiros da vida que estiveram ao meu lado durante longos anos, Caroliny, Felype, Guilherme, Jackson, Jonatas e Leninha me apoiando e comemorando as conquistas que tive em vários aspectos da minha vida pessoal, acadêmica e profissional.

RESUMO

O Brasil é considerado o maior produtor e exportador mundial de soja. A infestação dos nematoides nas lavouras têm causado importantes prejuízos para a agricultura e economia brasileira. O presente trabalho tem como objetivo descrever os problemas, perdas e sintomas causados pelos nematoides agrícolas, possíveis técnicas de manejos em lavouras de soja no Brasil e apresentar perspectivas futuras das estratégias de controle para convívio com esta praga tão importante. Os parasitas mais relevantes no Brasil são o *Pratylenchus brachyurus*, o *Heterodera glycines*, o *Meloidogyne* spp. e o *Rotylenchulus reniformis*. Os principais sintomas causados nas plantações são a redução do porte da planta, amarelado nas folhas, perda prematura das folhas e na maioria dos casos, o aparecimento de reboleiras. Os manejos mais utilizados são o controle biológico, químico, rotação/sucessão de culturas, cultivares resistentes e a solarização. No manejo químico, os produtos mais difundidos foram o Brometo de metila e o Dazomet. O ideal é que o emprego desse tipo de controle seja restringido com o passar dos anos, à medida que outros eficientes e menos prejudiciais ao solo sejam disponibilizados. Atualmente, a Abamectina e o Tiocarbe são aplicados como produtos químicos para o tratamento de sementes. No que se refere ao controle biológico, os inimigos naturais que apresentam maior potencial são as bactérias e os fungos. Acredita-se que esse tipo de manejo continuará evoluindo, especialmente pela necessidade de produtos mais seguros ao meio ambiente. A resistência de cultivares ao ataque de nematoides é um campo ainda pouco explorado e que necessita receber mais atenção. A disseminação dos nematoides e a escassez de cultivares de soja resistente disponíveis são fatos que justificam a importância de investir em pesquisas na área. Na rotação de culturas, as mais indicadas para reduzir a população dos nematoides são as Crotalárias solteiras ou associadas ao milheto (ADR 300). Em áreas onde o nematoide já foi identificado, o produtor deve conviver e investir no manejo, uma vez que a chance de erradicação é praticamente inexistente. Para o controle eficiente dos nematoides na soja é necessária a correta identificação do patógeno e o manejo integrando diferentes técnicas.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merrill; problemas com nematoides; manejo de nematoides.

SUMÁRIO

RESUMO	iii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1 Desenvolvimento da soja	3
3.2 A soja: tropicalização e evolução da produção no Brasil	4
3.3 O parasitismo dos nematoides nas lavouras de soja	7
3.4 Diagnóstico baseado na morfologia dos nematoides	9
3.5 Diagnóstico molecular dos nematoides.....	10
3.6 Nematóide de cisto <i>Heterodera glycines</i>	12
3.6.1 Epidemiologia	12
3.6.2 Biologia e ciclo de vida	13
3.6.3 Sintomatologia	15
3.7 Nematóide de galha <i>Meloidogyne</i> spp.	16
3.7.1 Epidemiologia	16
3.7.2 Biologia e ciclo de vida	16
3.7.3 Sintomatologia	18
3.8 Nematóide das lesões <i>Pratylenchus brachyurus</i>	20
3.8.1 Epidemiologia	20
3.8.2 Biologia e ciclo de vida	20
3.8.3 Sintomatologia	21
3.9 Nematóide reniforme <i>Rotylenchulus reniformis</i>	22
3.9.1 Epidemiologia	22
3.9.2 Biologia e ciclo de vida	22
3.9.3 Sintomatologia	24
3.10 Manejos de nematoides	25
3.10.1 Controle biológico	26
3.10.2 Controle químico	28
3.10.3 Rotação e sucessão de culturas	30
3.10.4 Cultivares resistentes e uso de marcadores moleculares	32
3.10.4.1 Cultivares resistentes e uso de marcadores moleculares associados ao Nematóide de cisto da soja (<i>Heterodera glycines</i>)	34
3.10.4.2 Cultivares resistentes e uso de marcadores moleculares associados ao Nematóide de galha (<i>Meloidogyne</i> spp.)	35
3.10.4.3 Cultivares resistentes e uso de marcadores moleculares associados ao Nematóide das lesões (<i>Pratylenchus brachyurus</i>)	37
3.10.4.4 Cultivares resistentes e uso de marcadores moleculares associados ao Nematóide reniforme (<i>Rotylenchulus reniformis</i>)	38
3.10.4.5 Cultivares resistentes mais utilizadas no Brasil	39
3.11 Técnica de solarização	42
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1. INTRODUÇÃO

A infestação dos nematoides nas lavouras têm causado importantes prejuízos para a agricultura e economia brasileira. Em decorrência da ampla distribuição geográfica, das mais de 100 espécies conhecidas e dos danos estimados em 16 bilhões anualmente, as altas taxas de incidência dos parasitas preocupam os agricultores, especialmente os produtores de soja (*Glycine max* (L.) Merrill), já que é a cultura mais explorada em todos os segmentos da atividade agrícola no país, e a rápida expansão do seu cultivo coloca o Brasil como o maior produtor mundial desde 2020.

Os parasitas mais relevantes no Brasil são o *Pratylenchus brachyurus*, causadores das lesões radiculares, o *Heterodera glycines*, que formam os cistos, o *Meloidogyne* spp., formadores de galhas e o nematoide reniforme, *Rotylenchulus reniformis*. Os principais sintomas são a redução do porte da planta, amarelado nas folhas, perda prematura das folhas e na maioria dos casos, se manifestam em reboleiras. Porém, nem sempre os sintomas de todos os gêneros são visíveis, o que dificulta a identificação do problema na área. As perdas além de comprometer a produtividade, provocam danos permanentes nas lavouras afetadas.

Diversas medidas de proteção podem ser adotadas, com o objetivo de reduzir os danos causados pelos parasitas. Entre as estratégias utilizadas estão o controle biológico, químico, rotação de culturas, variedades resistentes e a solarização. No entanto, mesmo com as diferentes possibilidades de controle, o manejo inadequado e a intensificação da monocultura ainda são fatores contribuintes para os danos causados pelos nematoides. Ademais, os ovos e larvas podem sobreviver por longos períodos no solo, facilitando sua disseminação e dificultando a prevenção do parasita.

Para tanto, além de conhecer na literatura científica os principais problemas, sintomas e medidas de controle adotadas nos últimos anos, as perspectivas futuras para o manejo adequado estão diretamente atreladas ao aprimoramento dos estudos já realizados. Desse modo, é essencial entender os fatores que limitam o potencial produtivo da soja e o incentivo ao manejo correto dessa cultura, com o intuito de reduzir os impactos financeiros, comerciais e de qualidade do plantio e colheita, causados pelo parasitismo nas culturas.

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo descrever os problemas, perdas e sintomas causados pelos nematoides agrícolas, possíveis técnicas de manejos em lavouras de soja no Brasil e apresentar perspectivas futuras das estratégias de controle para convívio com esta praga tão importante.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Desenvolvimento da soja

O Brasil é considerado o maior produtor mundial de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) e possui uma área semeada estimada em 38 milhões de hectares de oleaginosa (EMBRAPA, 2020; CONAB, 2021). É a cultura mais explorada em todos os segmentos da atividade agrícola no país, correspondendo a 57% do total da área de grãos. A rápida expansão do seu cultivo também coloca o Brasil entre um dos maiores exportadores mundiais. Além disso, assim como as demais culturas e simultaneamente ao desenvolvimento tecnológico, a soja é acometida por problemas fitossanitários. As perdas por doenças são especialmente ocasionadas por nematoides (CONAB, 2019).

A intensificação da monocultura, o avanço da produção de soja para novas fronteiras e o manejo inadequado têm sido fatores contribuintes para os danos causados pelos nematoides, nos últimos anos (FLEMING et al., 2016). Os nematoides são definidos como microorganismos de tamanho reduzido, na maioria dos casos microscópicos. Em algumas espécies, os ovos e larvas podem sobreviver por períodos prolongados na matéria orgânica e nas camadas mais profundas e úmidas do solo (TIHOHOD, 2001). Além de provocarem danos diretos às plantações de soja, pela redução da absorção de água e nutrientes, as lesões causadas às raízes da planta se tornam um portal para a entrada de outros parasitas, tais como os fungos e bactérias, provocando danos secundários (AGRIOS, 2005).

Anualmente, os prejuízos ao agronegócio provocados pelos nematoides contabilizam cerca de 35 bilhões. De acordo com a Sociedade Brasileira de Nematologia (SBN, 2017), só na produção de soja, os danos chegam a 16 bilhões. Os nematoides são parasitas que possuem vasta distribuição geográfica e de acordo com Machado et al. (2015), mais de 100 espécies, que incluem cerca de 50 gêneros, estão associadas ao cultivo de soja no mundo. No Brasil, entre os principais parasitas estão o *Pratylenchus brachyurus*, responsável por lesões radiculares, o *Heterodera glycines*, que constituem os cistos, o *Meloidogyne spp.*, formadores de galhas e o nematoide reniforme, *Rotylenchulus reniformis* (HUSSAIN et al., 2016; KAYANI et al., 2017).

No cenário atual, as principais Regiões brasileiras produtoras de soja são o Centro-Oeste, que compreende os Estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e Distrito Federal, e a Região Sul, onde estão localizados os Estados do Rio

Grande do Sul, Paraná e Santa Catarina (EMBRAPA, 2020). Nesse sentido, as espécies de nematoides são encontradas largamente disseminadas pelas regiões produtoras do país. Segundo o estudo de Ribeiro (2012), realizado na Região Centro-Oeste, observou-se uma elevada frequência de *Pratylenchus brachyurus*, com incidência de 96% entre as amostras coletadas, seguido dos nematoides do gênero *Heterodera glycines*, com incidência de 35% e o *Meloidogyne spp.* e *Rotylenchulus reniformis* com incidência de 23% e 4%, respectivamente.

As plantações de soja estão suscetíveis aos nematoides já que a infestação inicial nas áreas de plantio passa, na maioria das vezes, despercebida pelos produtores devido seu tamanho encurtado e por, frequentemente, não desencadearem sintomas visíveis nas plantas. Sua locomoção no solo é limitada, e desse modo, a disseminação é altamente condicionada ao homem e as práticas agrícolas. Os sintomas mais frequentes no campo, são as reboleiras e o nanismo na plantação (SOUZA, 2008).

3.2 A soja: tropicalização e evolução da produção no Brasil

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill), faz parte da família *Fabaceae* (leguminosas), assim como o feijão e a lentilha, e teve sua origem no Leste da Ásia, com registros precisos da existência a partir de 1.100 a.C. No ocidente, sua introdução ocorreu somente na década de 70, sendo relatado pela primeira vez o cultivo nos Estados Unidos da América (EUA) em 1.765 (EMBRAPA, 2020). Posteriormente, em 1882, foi inserido o plantio no Brasil, mas a priori não obteve sucesso, já que o material genético havia sido desenvolvido para climas frios ou temperados e não se adaptou às condições climáticas da Região Nordeste (APROSOJA, 2019).

Os investimentos em pesquisa permitiram a "tropicalização" da soja, possibilitando, pela primeira vez, que o plantio do grão tivesse sucesso em território nacional. Em pouco tempo notou-se um salto na evolução dos setores da agricultura, passando de uma cultura experimental e tornando-se um dos principais produtos de exploração agrícola e também da economia (EMBRAPA, 2020). Entre os fatores que contribuíram para a o desenvolvimento da soja no país, estão a fácil adaptação das variedades e das técnicas de cultivo oriundas dos EUA, a carência de óleos vegetais comestíveis para substituir a cultura animal, a possibilidade da mecanização total da cultura e também as condições favoráveis no mercado de exportação (JUHÁSZ et al., 2013; APROSOJA, 2019)

É rica em proteínas e considerada a principal oleaginosa cultivada no mundo. Atualmente, os líderes mundiais na produção de soja são o Brasil, EUA, Argentina, China, Índia e Paraguai. No ano de 2020, a Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB registrou a produção de 337.298 milhões de toneladas de soja no mundo e uma área plantada total de 122.647 milhões de hectares. Em setembro desse mesmo ano, o Brasil assumiu o posto de maior produtor mundial do grão (CONAB, 2020). O último levantamento realizado pela Conab, em março de 2021, aponta o crescimento da área plantada da soja na safra 2020/21 no Brasil, alcançando 4,1% a mais em comparação a safra anterior, agora estimada em 38,5 milhões de hectares e uma produção de 135.131 milhões de toneladas (Tabela 1) (CONAB, 2021).

Mesmo com a instabilidade do clima na Região Centro Oeste, que causou problemas, especialmente no momento da colheita da safra 2020/2021, ainda é previsto que ocorra incremento na área plantada de 3,3% em relação ao plantio passado, atingindo 17,2 milhões de hectares. O Centro-Oeste é a primeira em produção e área plantada, dentre as cinco Regiões brasileiras. No último levantamento a produção estimada foi de 61.128 milhões de toneladas. Em seguida, na Região Sul, existe a expectativa para um incremento na área plantada de 2,3%, atingindo 12.368 milhões de hectares. A região deverá apresentar forte produção, comparada à safra passada, severamente afetada pelas condições climáticas. A produção referente a estimativa de março de 2021 é de 42.832 milhões de toneladas (CONAB, 2021) (Tabela 1).

Na Região Nordeste foi registrado até o momento, o incremento de 6,4% quando comparada a área plantada na safra passada. O plantio atingiu 3.539 milhões de hectares e a produção 12.470 milhões de toneladas. Para o ano de 2021, é esperada uma produção de 19.799 milhões toneladas, representando incremento de 5,8% comparado ao anterior. A Região Sudeste atingiu 3.079 milhões de hectares e até o momento registrou um incremento de 11,7% na área plantada. A produção também registrou aumento de 12,2% em relação ao ano passado, e alcançou 11.371 milhões de toneladas (CONAB, 2021). Na região Norte, a contribuição para a safra foi a menos expressiva, de 2.278 milhões hectares em área plantada e uma produção de 7.328 milhões de toneladas (Tabela 1).

Tabela 1. Estimativas da área e produção da safra de soja, nas regiões do Brasil, 2020/2021.

<i>Região</i>	<i>Área (em mil ha)</i>	<i>Produção (em mil t)</i>
<i>Norte</i>	2.278,0	7.328,7
<i>Nordeste</i>	3.539,8	12.470,4
<i>Centro-oeste</i>	17.195,8	61.128,7
<i>Sudeste</i>	3.079,5	11.371,1
<i>Sul</i>	12.368,4	42.832,7
<i>Brasil</i>	38.461,5	135.131,6

Fonte: CONAB, 2021.

Nota: Estimativa em março/2021.

No que se refere aos Estados brasileiros, o Mato Grosso (Região Centro-Oeste) protagoniza a produção de soja, com 35.682 milhões de toneladas colhidas e 10.274 milhões de hectares de área plantada, no último ano. Em seguida estão o Paraná (Região Sul), com uma produção de 20.231 milhões de toneladas e 5.502 milhões de hectares plantados e o Rio Grande do Sul, com 20.066 milhões de toneladas e 5.901 milhões de hectares plantados. E ainda, o Goiás (Região Centro-Oeste), com 13.723 milhões de toneladas colhidas e área plantada de 3.694 milhões de hectares (CONAB, 2021).

De acordo com estimativas do Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (IPEA) e da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD), além do consumo da soja para alimentação como fonte de proteína, o uso de óleo para matéria prima de cosméticos e biodiesel pode ser responsável por impulsionar ainda mais a sua produção (CONAB, 2019). No setor industrial, este grão tem ampla aplicação e na produção alimentícia, é utilizado como matéria-prima para a produção de leite de soja, doces, óleo de soja, carnes e rações para animais (SANTOS et al., 2013; EMBRAPA, 2020).

Atualmente, uma parcela da soja produzida é modificada geneticamente, e recebe o nome de soja transgênica, com o intuito de aumentar a produtividade da cultura, bem como reduzir as perdas por fatores limitantes, diminuição da quantidade de herbicidas e do custo de produção. Por esses motivos, o cultivo da soja transgênica tem superado o da soja convencional. Na Embrapa, por exemplo, são mantidos três principais programas de melhoramento, denominados de (i) Soja convencional (ii) Soja RR (resistente ao glifosato) e (iii) Soja "intacta" (cultivares IPRO, com resistência

a algumas lagartas + tolerância ao glifosato). Pesquisas direcionadas para a utilização da transgenia, introduziram um gene nas sementes e plantas que confere resistência ao ataque de lagartas desfolhadoras. Essa tecnologia é conhecida como Intacta e está incluída na maioria das cultivares de soja utilizadas nos últimos anos, também denominadas de soja *Bt* (EMBRAPA, 2020). A abreviação *Bt* é uma derivação do nome da bactéria entomopatogênica, *Bacillus thuringiensis* Berliner. No caso da cultura da soja, foram trabalhadas as proteínas Cry1Ac e Cry1F derivadas da bactéria *B. thuringiensis*, com o intuito de buscar resistência aos principais insetos-praga da ordem *Lepidoptera* (lagartas).

As proteínas inseticidas *Bt* atuam no trato digestivo do alvo, e portanto, precisam ser ingeridas pelo inseto para serem capazes de provocar a ação esperada. As proteínas *Bt* não dependem do pH intestinal do inseto para produzirem seu efeito, como no caso dos inseticidas formulados à base de *B. thuringiensis*, porque já expressam as proteínas inseticidas na forma ativa. Desse modo, quando as lagartas se alimentam da folha de cultivares com tecnologia *Bt*, as proteínas Cry na sua forma ativa ligam-se a receptores específicos, que ficam localizados no epitélio do intestino médio, provocando rompimento celular. Tal ação compromete a integridade da membrana do intestino e permite o extravasamento do conteúdo intestinal para dentro da cavidade do corpo do inseto. Esse processo favorece a multiplicação de bactérias no interior do corpo do inseto, levando-o à morte por infecção generalizada (septicemia) (POGETTO et al., 2017).

A Agência Embrapa de Informação Tecnológica (AGEITEC) revela que, o Brasil é o país com o maior potencial de expansão da área cultivada, considerando o crescimento exponencial dos últimos anos, podendo, a depender da demanda de consumo do mercado do farelo e do óleo (consumo doméstico, biodiesel e H-Bio), ultrapassar o dobro da sua produção atual e, em curto prazo, consolidar-se de modo permanente como maior produtor e exportador mundial de soja e derivados (EMBRAPA, 2020).

3.3 O parasitismo dos nematoides nas lavouras de soja

Entre os desafios fitossanitários que podem afetar a produtividade das lavouras, estão os nematoides. Estes, por infestarem as lavouras, podem ser denominados fitonematoídeos e são considerados vermes predominantemente filiformes, que medem de 0,2 a 3,0 mm de comprimento (Figura 1). Algumas espécies

podem sobreviver em sementes, órgãos vegetais e até mesmo no solo, por longos períodos em estado de inércia. O parasitismo se concentra preferencialmente no sistema radicular da planta, contudo existem espécies que parasitam órgãos aéreos (FERRAZ; BROWN, 2016).

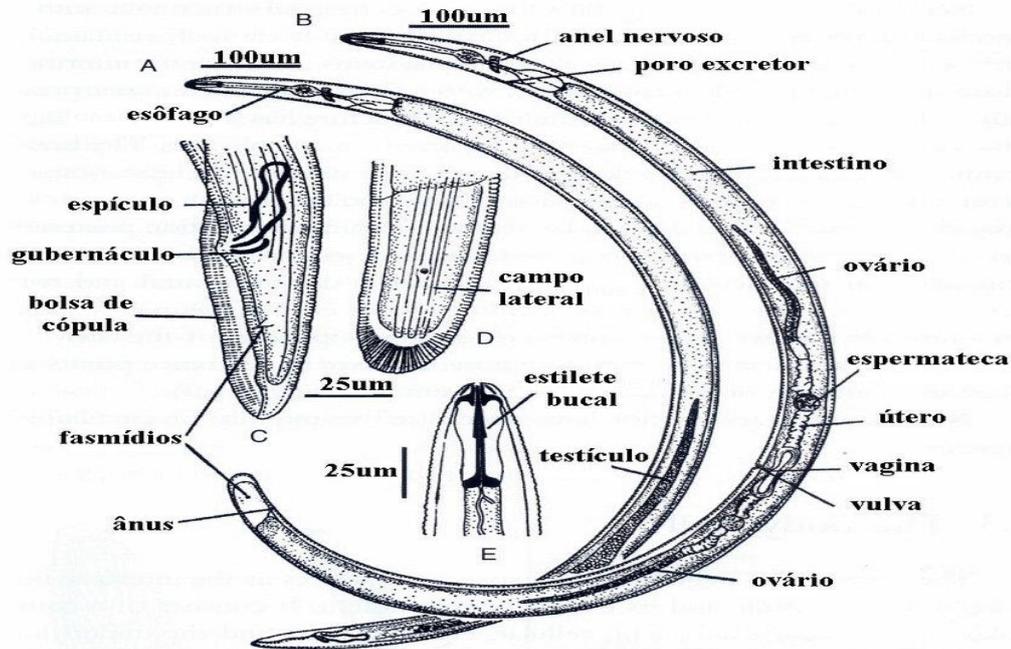


Figura 1. Morfologia dos nematoides.

Fonte: Ferraz (2018).

Podem ser agrupados pelo seu parasitismo e mobilidade em três grupos principais: endoparasitas migratórios – nematoides móveis que se alimentam no interior dos tecidos radiculares, endoparasitas sedentários – nematoides que, quando encontram um local de alimentação no interior da planta, ficam imóveis e fixam-se num local para se alimentarem e ectoparasitas – nemátodes que se alimentam no exterior da planta. Os gêneros *Meloidogyne* spp. e *Heterodera* spp. são considerados endoparasitas sedentários, o gênero *Rotylenchulus* spp. semiendoparasita sedentário, e o *Pratylenchus brachyurus* endoparasita migratório (FERRAZ; BROWN, 2016).

Diferentes espécies de nematoides são observadas na cultura da soja, provocando sintomas decorrentes do parasitismo no sistema radicular. No Brasil, as mais prejudiciais à agricultura são o *Heterodera glycines* (nematóide de cisto), *Meloidogyne* spp. (nematóide de galhas), *Pratylenchus brachyurus* (nematóide das lesões radiculares) e *Rotylenchulus reniformis* (nematóide reniforme) (DIAS et al., 2010). A intensidade dos danos causados pelos parasitas são determinadas pela densidade populacional do fitonematóide nas raízes e a suscetibilidade da planta. Os

danos nas raízes influenciam a produtividade e a sobrevivência da planta porque afetam a absorção de água e nutrientes (PINHEIRO et al., 2014).

Esses parasitas possuem um cortante, semelhante a um estilete bucal, com a capacidade de retirar nutrientes das plantas e ocasionar a injeção de substâncias tóxicas no interior da célula vegetal. Na maioria dos casos, a infestação é evidenciada pelo aparecimento de estruturas disformes, como as galhas e o escurecimento do tecido. Os nematoides podem migrar até as áreas de cultivo, por meio dos ventos fortes, água de irrigação, solos infectados, máquinas agrícolas e movimentação de pessoas e animais no local (ROSSETTO; SANTIAGO, 2021).

3.4 Diagnóstico baseado na morfologia de nematoides

O diagnóstico confiável e em tempo oportuno para identificação de nematoides são condições essenciais para a escolha de estratégias de controle e manejo adequadas. Porém, os nematoides constituem um dos organismos mais delicados de serem identificados, em virtude de seus pequenos tamanhos microscópicos e a dificuldade em observar as principais características de diagnóstico ao microscópio óptico convencional. Além disso, as diferenças nas características morfológicas e morfométricas são sutis, subjetivas e possuem regiões sobrepostas, que dificultam a identificação adequada da espécie (OLIVEIRA et al., 2011).

Além disso, a identificação de nematoides por meio da morfologia clássica exige taxonomistas de nematoides treinados e experientes, que estão em declínio decorrente do desenvolvimento de novas tecnologias. Atualmente, as novas técnicas e ferramentas que utilizam abordagens bioquímicas e moleculares têm sido usadas com sucesso como diagnóstico para nematoides parasitas, mas apesar da viabilidade e precisão que apresentam, os diagnósticos baseados na morfologia ainda são insuficientes e até mesmo necessários em casos específicos. Quando viável, o uso de abordagens diagnósticas integradas usando dados morfológicos, bioquímicos e moleculares, mesmo sendo mais demorado, propiciam um diagnóstico mais preciso dos nematoides, principalmente para espécies recém descritas (OLIVEIRA et al., 2011).

Comparando os diferentes métodos de identificação dos nematoides, a microscopia de luz foi aquela que recebeu menos benefícios com o desenvolvimento de novos equipamentos. É sabido que outros métodos de identificação têm se tornado de uso mais fácil, frequente e preciso. Porém, a microscopia de luz ainda atua como

uma importante ferramenta para identificação dos fitonematoides, principalmente por: (i) permitirem uma ligação clara entre função e aspectos morfológicos do espécime analisado; (ii) fornece resultados rápidos; (iii) é adequado para avaliações quantitativas; (iv) é barato; (v) dos métodos disponíveis, é aquele que permite o contato mais direto entre o examinador e o organismo; (vi) é o método com menor probabilidade de erros grosseiros, em função de descuidos no processo de análise (OLIVEIRA et al., 2011).

Uma desvantagem da taxonomia clássica é a preparação das lâminas de espécimes de nematoides, que pode resultar em modificações anatômicas. Isso porque grande parte da composição corporal dos parasitas são proteínas e gorduras, que sofrem coagulação. Também podem ocorrer alterações durante o processamento, devido ao uso de substâncias como sacarose, glicerina, formaldeído, além do aquecimento que podem sofrer durante a fixação. Desse modo, as amostras após serem fixadas e montadas em preparações microscópicas, frequentemente apresentam artefatos que dificultam a localização de estruturas com valor diagnóstico, e até mesmo produzem características que não são naturais (OLIVEIRA et al., 2011).

3.5 Diagnóstico molecular dos nematoides

A engenharia molecular é uma estratégia que pode identificar a presença de nematoides em diferentes amostras, facilitando sua diagnose e manejo em áreas afetadas e a diferenciação de uma espécie da outra, em atividade quarentenária, por exemplo. Esse tipo de identificação tem sido adotada porque pode ser implementada sem a necessidade de um especialista com treinamento em identificação morfológica (EMBRAPA, 2008).

Sendo assim, são utilizadas algumas principais técnicas de identificação: a análise morfológica; a análise proteica, englobando eletroforese de proteínas totais ou de uma proteína específica; e a análise sorológica, fundamentada pelos testes de ELISA e imunodifusão. As metodologias que utilizam o PCR (*Polymerase Chain Reaction*) e a amplificação com *primers* específicos também se mostram promissoras por serem rápidas, de baixo custo quando comparada a outras técnicas, sensíveis e reproduzíveis (EMBRAPA, 2008).

As populações de *H. glycines* nas lavouras são geneticamente variáveis, sendo esta versatilidade demonstrada pela habilidade das populações de Nematoides de Cisto da Soja (NCS) se reproduzirem de maneira diferenciada em genótipos de soja.

Desse modo, métodos conjugados de análise podem facilitar a identificação das diferentes raças da espécie (FIGUEIREDO, 2008).

As espécies de *Meloidogyne spp.* podem ser caracterizadas pelo padrão de atividade isoenzimática ou por identificação molecular no DNA. A diferenciação das espécies do gênero *Meloidogyne spp.* pode ocorrer pela caracterização do polimorfismo das esterases de fêmeas, sendo esse parâmetro bastante confiável. No entanto, considerando que essa estratégia faz a análise da expressão de um único gene e se aplica apenas a fêmeas adultas, é recomendado o uso de metodologias moleculares que permitam a identificação do nematoide em todas as fases do ciclo (EMBRAPA, 2008). Utilizando-se o DNA, por exemplo, a identificação é estável em qualquer fase do desenvolvimento do nematoide e é possível a análise de vários genes simultaneamente. A metodologia do PCR é considerada uma boa alternativa para essa identificação (EMBRAPA, 2008).

O gênero *Pratylenchus spp.* possui diversas características morfométricas e morfológicas que se assemelham com outras espécies, e por isso revela dificuldades de identificação. Além disso, soma-se a grande variabilidade morfológica dentro das espécies, que justificam a complicada tarefa de amostragem quando mais de uma espécie de *Pratylenchus spp.* está presente. A identificação das espécies pode ser facilitada pelo uso de métodos que considerem caracteres menos variáveis, com base em um único espécime, como a técnica de PCR, utilizando-se *primers* específicos (pontos de iniciação da sequência de interesse para a reação de polimerização). O método caracteriza-se como uma ferramenta de diagnóstico eficiente e rápido em estudos e manejo de nematoides do gênero *Pratylenchus spp.* (EMBRAPA, 2008).

Em pesquisa realizada pela Embrapa (2008), quatro *primers* com capacidade para identificar o Nematóide *P. brachyurus* em amostras de solo infestado foram utilizadas. De acordo com os autores, a validação de *primers* auxilia no rápido diagnóstico molecular do nematoide. Tal técnica demonstra um impacto positivo quando comparada a outras abordagens, pois não necessita de etapas subsequentes de digestão enzimática (PCR-RFLP), uma vez que a seleção dos *primers* pode se basear unicamente na reação do PCR. (EMBRAPA, 2008).

Até o ano de 2007, não existiam relatos na literatura de fragmentos de DNA que fossem marcadores específicos para o *R. reniformis*. Era possível realizar sua identificação em nível molecular por meio de isoenzimas, amplificação de fragmentos específicos a regiões de rDNA ou por PCR-RFLP. Em estudo divulgado pela Embrapa

(2008), foram desenhados três pares de oligonucleotídeos específicos para rDNA de *R. reniformis* com base nas sequências presentes em banco de dados. Foi verificado que todos os pares foram capazes de amplificar em reação de PCR com fragmentos de DNA reprodutíveis e potencialmente específicos para o *R. reniformis*. A pesquisa apresentou o primeiro relato para um diagnóstico molecular de *R. reniformis* e possibilitou desde então, a identificação do nematoide reniforme em amostras monoespecíficas e de solo infestado.

3.6 Nematoide de cisto (*Heterodera glycines*)

3.6.1 Epidemiologia

Na safra de 1991/1992 o nematoide de cisto foi detectado pela primeira vez no Brasil. O *Heterodera glycines* é pertencente a ordem Tylenchida e família Heteroderidae (SANTANA, 2007). É considerado de fácil disseminação e, atualmente, está presente em cerca de 150 municípios dos principais Estados brasileiros produtores de soja. No Brasil, já foram encontradas 11 raças de *H. glycines*, sendo que no Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, as principais são MT (1, 2, 3, 4, 4+ , 5, 6, 9, 10, 14 e 14+) e MS (1,3, 4, 5, 6, 9, 10 e 14), seguidas do Goiás, com o terceiro maior número de espécies identificadas GO (3, 4, 5, 6, 9, 10 e 14) (EMBRAPA SOJA, 2011). Na região central do Brasil, as perdas por esse nematoide podem chegar a 100% em locais com alta incidência, principalmente em áreas com excesso de calagem (DIAS et al., 2009). No entanto, os danos também podem variar de acordo com o grau de suscetibilidade das cultivares, condições de fertilidade e de manejo do solo, déficit hídrico e raça (DIAS et al., 2007).

No estudo de Allen (2017) foi realizado um levantamento dos nematoides de cistos ao longo de cinco anos em Montgomery, Condado de Bladen, Washington, Carterett e Harnett, nos EUA e em Ontário, no Canadá e observou-se perdas de cerca de 31% relacionadas a danos ocasionados por nematoides, e desses, 28% dos danos são causados exclusivamente pelo NCS (ALLEN et al., 2017). Esse fato aliado a fatores de região, macroclima e microclima, torna essa espécie um dos principais problemas fitossanitário nos EUA e também no Brasil. Ademais, muitos danos ainda passam despercebidos pelos produtores, já que mais de 30% das perdas devido aos cistos podem ocorrer sem sintomas visíveis na superfície (MUELLER et al., 2016).

3.6.2 Biologia e ciclo de vida

O ciclo de vida do *H. glycines* pode ser influenciado por fatores como umidade e temperatura, e pode durar entre 21 a 30 dias (Figura 3) (JUNG; WYSS, 1999). Os ovos, dentro dos cistos, podem permanecer latentes no solo por anos. Isso ocorre porque são resistentes às condições climáticas desfavoráveis, podendo viabilizar os ovos por até oito anos (INAGAKI; TSUTSUMI, 1971). Cada fêmea madura pode produzir de 200 a 600 ovos viáveis, sendo que uma parte permanece retida no interior da fêmea até se tornarem cistos e a outra é depositada no solo ou superfície da raiz parasitada. Quando depositados no solo, são protegidos por uma massa gelatinosa, que é removida pela água da chuva ou da irrigação, permitindo a eclosão dos ovos. Os ovos contêm juvenis de primeiro estágio, denominados de J1, e a primeira ecdise ocorre entre J1 e J2 ainda dentro do ovo (JENKINS; TAYLOR, 1967).

Os ovos do NCS eclodem como juvenis pré-infectivos em estágio J2, e se deslocam para as raízes, atraídos pelos exsudatos radiculares. Os nematoides J2, penetram na região da coifa da raiz, tornando-se infecciosos e se alojam na região de alongamento das mesmas. Em seguida, J2 migra na direção do tecido vascular, seleciona uma célula adjacente ao tecido e perfura-o com o estilete para iniciar o desenvolvimento de um local de alimentação, e ao mesmo tempo injeta substâncias nas células, provocando alterações fisiológicas e anatômicas nas mesmas (Figura 3) (GIPSON et al., 1971; JONES; DROPIN, 1975; KLINK et al., 2009).

As células adjacentes ao local de alimentação tornam-se metabolicamente hiperativas nos estágios iniciais de infecção e começam a se dissolver. Estas células são incorporadas no local de alimentação por fusão para formar um sincício. Os sítios de alimentação são denominados de sincício, formados pelo agrupamento de até 100 células individuais (Figura 2) (SANTANA, 2007). Tais alterações, incluem hipertrofia dos núcleos e nucléolos, proliferação de organelas citoplasmáticas, redução ou dissolução do vacúolo e expansão da célula à medida que incorpora células adjacentes (JONES; DROPKIN, 1975; KLINK et al., 2009). As células funcionam como um depósito de nutrientes, em que o nematoide pode alimentar-se durante o seu ciclo de vida (KLINK et al., 2009).

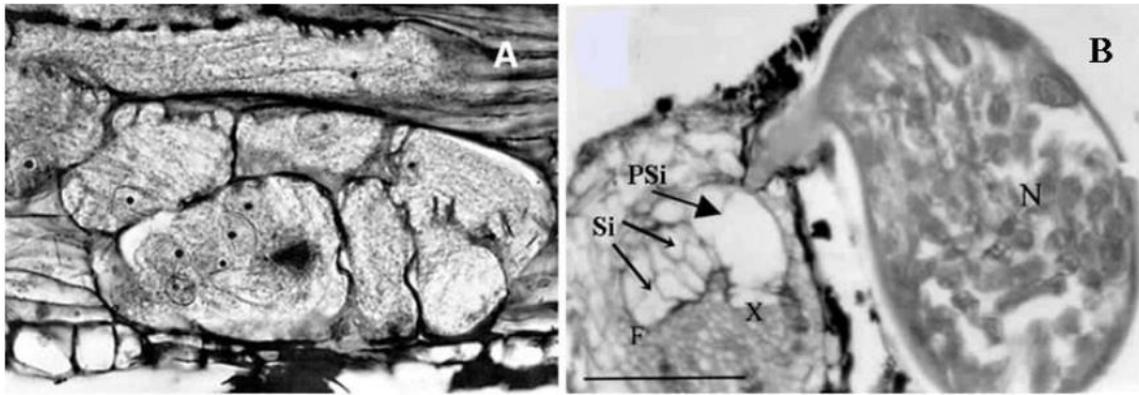


Figura 2. Sincício induzido por *Heterodera glycines* em raiz de soja: A. visão geral do tecido nutridor induzido; B. detalhes do pró-sincício (PSi), sincício (Si), floema (F) e xilema (X), com clara indicação de posição externa à raiz da fêmea do nematoide (N) durante o parasitismo.

Fonte: Ferraz (2008)

Após a instauração no sincício, os machos de nematoides de cisto se alimentam por vários dias até o final do estágio J3, e tornam-se sedentários temporários. Em seguida, os machos descontinuum a alimentação e mudam para J4, chamados de vermiformes. Os machos J4 são retidos dentro de sua cutícula J3 e após aproximadamente 3 semanas, já em J5, saem da raiz (JENKINS; TAYLOR, 1967). No caso das fêmeas, tornam-se sedentárias após o estabelecimento de seu local de alimentação e expandem-se quando passam pelos estádios J3 e J4. Ao chegar no estágio J5 tornam-se obesas e adquirem aparência limoniforme (Figura 3).

A reprodução do *H. glycines* é anfimítica, ou seja, ocorre pela união de dois gametas na reprodução sexual, dando origem a uma grande variabilidade genética, evidenciada pela presença de raças fisiológicas. No processo de crescimento dos juvenis, este nematoide força gradativamente o rompimento do córtex e da epiderme da radicela infectada, e começa o processo de exposição da parte posterior do seu corpo. No estágio J5, a região posterior da fêmea se torna totalmente exposta, fora da epiderme da raiz da soja, mantendo-se presa pela região esofagiana, possibilitando o acesso dos machos para a cópula, além de apresentar coloração branca ou amarelada. A fêmea cheia de ovos, tem seus órgãos comprimidos, causando a sua morte. Após morrer, torna-se o cisto, envolvendo e protegendo os ovos. Os juvenis que eclodem, são liberados passando pela “fenestra”, uma área translúcida ao redor da vulva (KLINK et al., 2009).

Os machos de *H. glycines* possuem o corpo alongado, desprovido da bolsa de cópula presente nas fêmeas e não possuem hábito alimentar fitoparasita. São

formados sob condição de estresse, quando juvenis em estágio 4 sofrem reversão sexual, tornando-se vermiformes. Tal processo, permite que os machos saiam das raízes parasitadas e fecundem as fêmeas maduras que estão expostas (SANTANA, 2007).



Figura 3. Ciclo de vida do Nematóide de Cisto da Soja (NCS).

Fonte: Santana (2007).

3.6.3 Sintomatologia

O *H. glycines* é o nematóide causador da doença conhecida como “nanismo amarelo da soja”. Além da redução do porte da planta e amarelado nas folhas, podem causar a perda prematura das folhas e refletem diretamente na queda da produtividade (CAIXETA et al., 2016). O nematóide de cisto, por ser um endoparasita sedentário, promove alterações morfológicas nas raízes parasitadas, que sofrem redução na translocação de água e nutrientes, causando sintomas reflexos na parte aérea da planta, como o nanismo, folha carijó, deficiência mineral e pobre enchimento de grãos (SANTANA, 2007).

Por vezes, também é possível a visualização das fêmeas nas raízes, que apresentam uma coloração que varia de branco leitoso, passando por amarela a marrom e de cistos na coloração marrom escuro. Na maioria dos casos, os sintomas se manifestam em reboleiras, porém nem sempre elas são visíveis, o que dificulta a identificação do problema na área. O déficit hídrico, manejo inadequado do solo e as

condições deficientes de fertilidade podem agravar os sintomas (Figura 4) (DIAS et al., 2009).



Figura 4. Nematóide de cisto na plantação de soja.

Fonte: MAIS SOJA (2021).

3.7 Nematóides de galha (*Meloidogyne* spp.)

3.7.1 Epidemiologia

Os primeiros registros prejudiciais à soja pelos nematóides de galha no Brasil coincidem com a introdução do cultivo no país. O gênero *Meloidogyne* spp. está amplamente distribuído no mundo e engloba um grande número de espécies, sendo *M. incognita* e *M. javanica* as que mais limitam a produção de soja no Brasil. *M. javanica* possui ocorrência generalizada, enquanto *M. incognita* é predominante em áreas cultivadas anteriormente com algodão ou café (JUHÁSZ et al., 2013).

Os dados sobre as perdas de rendimento específicas causadas por essas duas espécies são comuns e variam entre as diferentes áreas de cultivo ou regiões, chegando a 40% em solos arenosos de baixa fertilidade (FONTANA et al., 2018). A elevada disseminação ao longo do território nacional, bem como a ampla gama de plantas hospedeiras suscetíveis, tornam essas espécies as mais importantes no cenário nacional.

3.7.2 Biologia e ciclo de vida

Os nematóides do gênero *Meloidogyne* spp. formam estruturas no sistema radicular da planta, conhecidas como galhas, que consistem em protuberâncias nas

raízes, e acontecem devido à hiperplasia e hipertrofia de células (PINHEIRO et al., 2010). É durante o estágio juvenil infectivo móvel dos nematoides que as raízes são infectadas. Nesse período, o nematoide migra para as raízes das plantas e penetra na ponta atrás da coifa, destruindo as células epidérmicas (Figura 5). Os parasitas juvenis movimentam-se dentro da célula em direção à área de alongamento da raiz e nessa fase, selecionam um conjunto de células (futuras células gigantes) como local de alimentação, induzidas e mantidas por secreções liberadas pelo nematoide (BALDACCI-CRESP et al., 2015).

Com o processo da alimentação, a fêmea passa por três estádios, até se tornar adulta e obesa, apresentando formato de pera (Figura 6) (CAILLAUD et al., 2008; PINHEIRO et al., 2010). A maioria dos nematoides de galha se reproduz por partenogênese. Os machos migram da planta e não desempenham nenhum papel além da reprodução. Após o desenvolvimento da fêmea no formato de pera, os ovos são liberados na superfície da raiz e envolvidos por uma substância gelatinosa e protetora (CAILLAUD et al., 2008).

A embriogênese ocorre dentro do ovo, seguida pela primeira ecdise, levando ao segundo estágio juvenil (CAILLAUD et al., 2008). Os ovos são o meio de sobrevivência dessas espécies, podendo permanecer no solo, mesmo na ausência de plantas hospedeiras, pelo período de até 12 meses, já que conseguem entrar em um estado de inércia, principalmente em situações de solo seco e sem a presença de plantas hospedeiras (FERRAZ; BROWN, 2016). O ciclo de vida dessas espécies pode durar entre 21 a 45 dias, dependendo das condições climáticas do território (PINHEIRO et al., 2010).

O local de alimentação é formado por grandes células e células vizinhas. A proliferação dessas células por divisões celulares, dá origem à deformação das raízes, que é responsável pelo sintoma de galha (ABAD et al., 2003). As células gigantes desenvolvem-se a partir do tecido vascular, tornam-se hipertrofiadas por meio da divisão nuclear sucessiva sem divisão celular completa em vários ciclos de reduplicação (CAILLAUD et al., 2008). As células gigantes constituem a fonte exclusiva de nutrientes para o desenvolvimento para as espécies de *Meloidogyne* spp. (BALDACCI-CRESP et al., 2015).

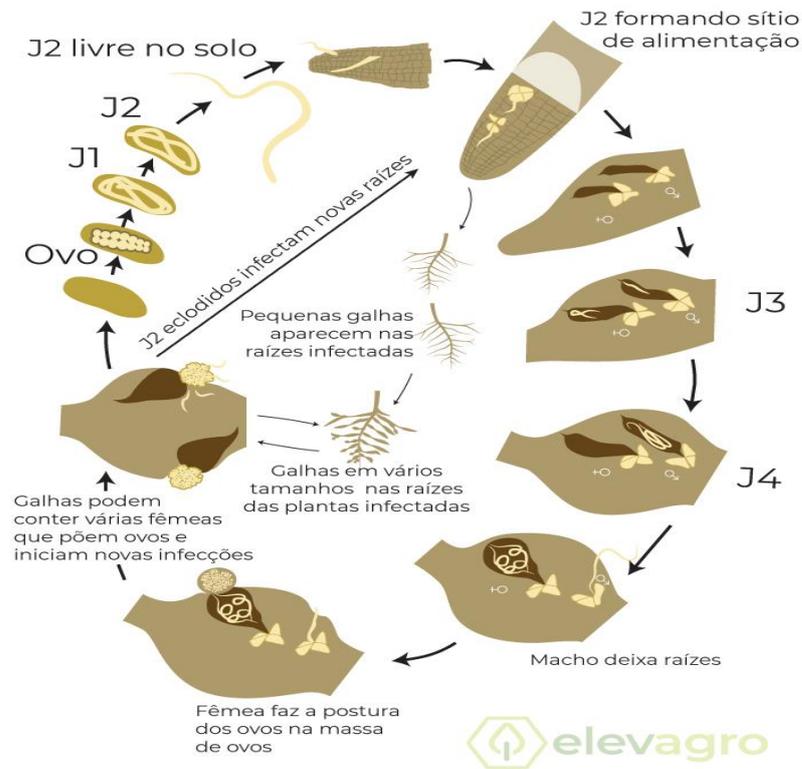


Figura 5. Ciclo de vida do Nematóide de galha.
Fonte: Agrios (2005).

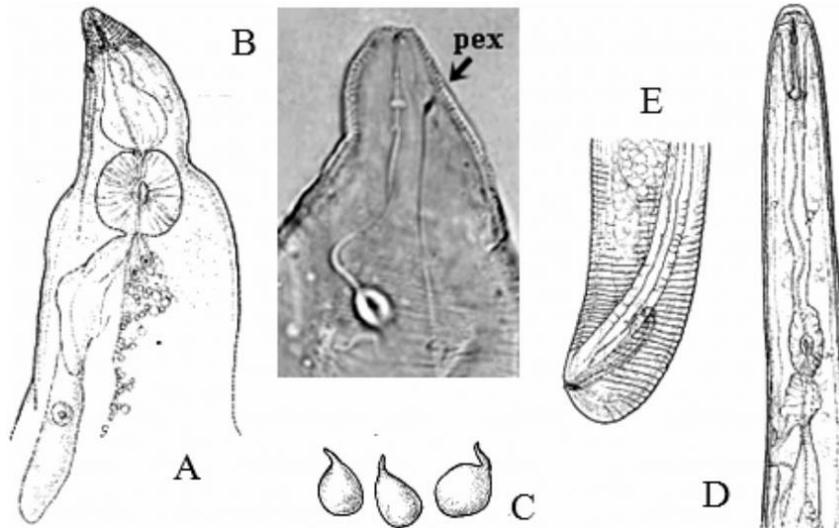


Figura 6. Morfologia do *Meloidogyne*: A, B. região anterior de fêmea, pex = excretor-secretor de poro; C. enduras maduras em forma de pêra e de saco; D, E. região anterior e típico retorcimento do corpo do macho como percebido na região posterior.
Fonte: Ferraz (2018).

3.7.3 Sintomatologia

A infestação pelo *Meloidogyne* spp. tem como principal sintoma o surgimento das galhas, que interferem diretamente no processo de fotossíntese, respiração, balanço hormonal e o fluxo de seivas, impedindo assim o desenvolvimento da planta

(Figura 7). As modificações celulares obstruem o xilema e o floema, e reduzem o fluxo saudável de água, nutrientes e fotoassimilados da planta (SIDDIQUI et al., 2014). Além disso, podem provocar nas plantas o nanismo, queda prematura das folhas, clorose, sintomas de deficiência mineral, redução e deformação do sistema radicular, comprometimento da produção ou por vezes até inviabilizando o cultivo em situações de elevada infestação (TIHOHOD, 2001). Na lavoura, esses sintomas se manifestam em reboleiras, devido à baixa mobilidade do nematoide no solo (Figura 8) (BRIDA et al., 2016).



Figura 7. Galhas na plantação causadas pelo *Meloidogyne* spp.
(Fonte: BAYER, 2021)



Figura 8. Reboleiras causadas pelos nematoides de galha.
(Fonte: SOEST, 2021).

3.8 Nematóide das lesões (*Pratylenchus brachyurus*)

3.8.1 Epidemiologia

Os nematóides das lesões, *Pratylenchus brachyurus*, têm causado danos expressivos, além de perdas econômicas preocupantes, em diversas culturas e regiões do Brasil, especialmente no cerrado e nas culturas de soja, feijão, milho e algodão (OLIVEIRA et al., 2019; JUHÁSZ et al., 2013). O estudo de Goulart (2008) revela danos elevados por esses nematóides em vários municípios do Estado do Mato Grosso. Demonstra ainda, que as lavouras infestadas registram perdas de 30% a 50% da produtividade.

O *P. brachyurus* é considerado uma espécie polífaga, ou seja, com a capacidade de multiplicar e parasitar em um grande número de plantas hospedeiras (FRANCHINI et al., 2014). Pesquisas como a de Mainardi e Asmus (2015) revelaram que a soja e o milho propiciam uma maior multiplicação do nematóide de lesões, especialmente nas regiões produtoras de soja caracterizadas pela sucessão do milho safrinha após a colheita da soja. Por ser um endoparasita migrador, essa espécie pode movimentar-se livremente dentro das raízes ao longo do seu ciclo de vida, diferente de outras espécies como *Meloydogine* spp., *R. reniformis* e *H. glycines* (ALMEIDA et al., 2005).

3.8.2 Biologia e ciclo de vida

A reprodução do *P. brachyurus* ocorre por partenogênese mitótica e por este motivo os machos da espécie são raros. A fêmea é capaz de colocar ovos diretamente no solo ou dentro das raízes e o número varia de 70 a 120 por fêmea. Os ovos dão origem aos juvenis de 2º estágio. O parasitismo nas raízes pode ser iniciado em todos os estágios e formas adultas desse nematóide (TIHOHOD, 2001). Assim como outras espécies, a duração do ciclo de vida do *P. brachyurus* pode ser alterada de acordo com fatores ambientais, tais como temperatura e umidade, mas em condições favoráveis o ciclo dura de 3 a 6 semanas.

Após penetração nas raízes o nematóide se desloca em direção ao cilindro central onde inicia o movimento migratório inter e intracelular nas camadas mais profundas do córtex em paralelo ao eixo da raiz (SANTOS, 2015). Esse movimento afeta o parênquima cortical da planta, provoca a destruição de células e forma cavidades no córtex, sendo grande parte por meio da ação mecânica e injeção de

substâncias tóxicas ou digeridas pelo nematoide (Figura 9). Este processo resulta em uma porta de entrada para fungos e bactérias presentes no solo, que podem causar a destruição completa do sistema radicular (ALMEIDA et al., 2005; AGRIOS, 2005).

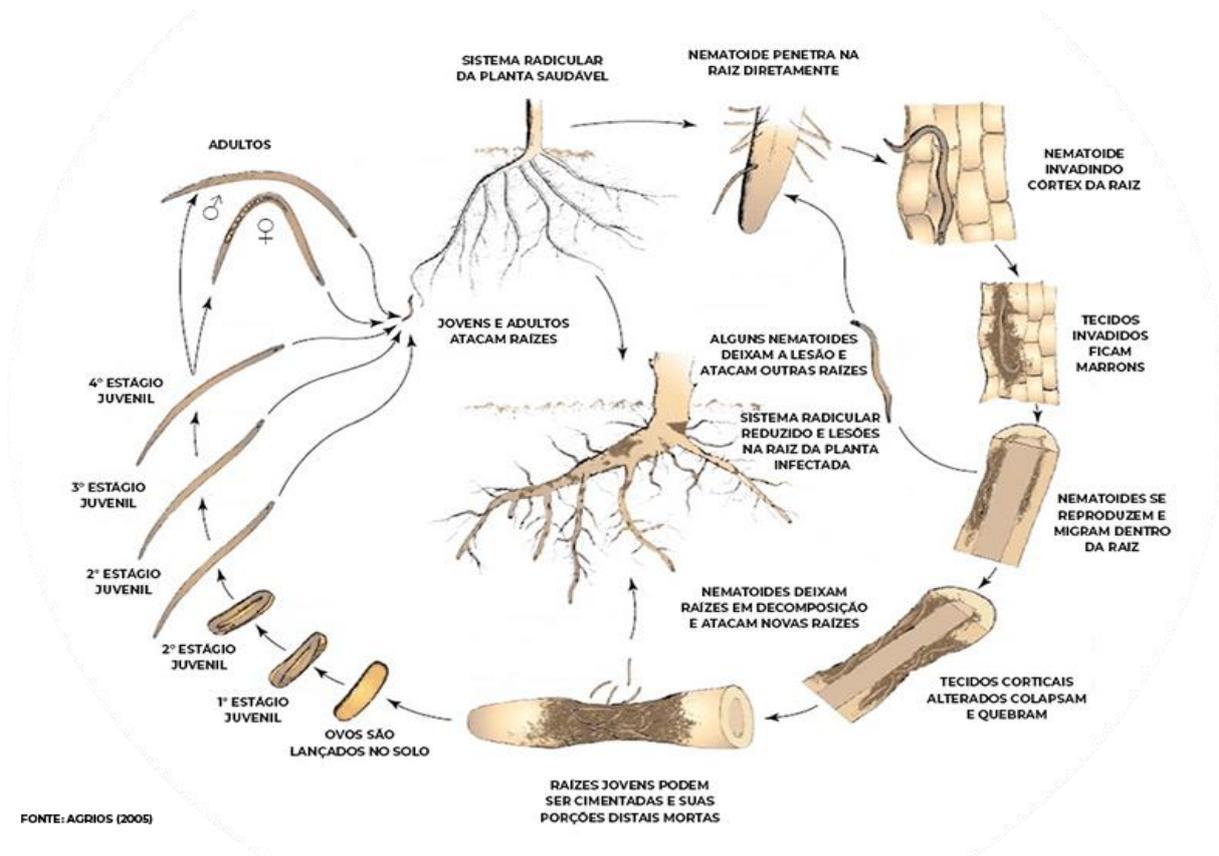


Figura 9. Ciclo de vida do Nematoide das lesões.

Fonte: Agrios (2005).

3.8.3 Sintomatologia

Os principais sintomas observados por esses invasores são a diminuição no volume do sistema radicular, caracterizado por uma coloração parda e marrom-avermelhada, necrose causada pela rápida colonização de invasores oportunistas, que são capazes de acelerar a decomposição dos tecidos, ineficiência das funções de absorção e transporte de nutrientes e água (FERRAZ; BROWN, 2016). Os sintomas observados na parte externa das plantas são decorrentes da redução do sistema radicular, principalmente folhas cloróticas, subdesenvolvimento acentuado, murchamento nos períodos mais quentes e secos do dia, bem como a diminuição da produtividade (Figura 10) (LORDELLO, 1984; AGRIOS, 2005; ALMEIDA et al., 2005).



Figura 10. Lesão causadas pelo nematoide das lesões.
Fonte: Bayer (2021).

3.9 Nematoide reniforme (*Rotylenchulus reniformis*)

3.9.1 Epidemiologia

O nematoide *Rotylenchulus reniformis* já foi relatado em mais de 38 países e é encontrado especialmente em regiões tropicais e subtropicais, devido à sua incapacidade de sobreviver em regiões frias (HEALD; THAMES, 1982). Além da soja, o nematoide reniforme foi relatado parasitando culturas como algodoeiro, tomateiro e maracujazeiro no território brasileiro (LORDELLO, 1984). Os danos causados dependem da densidade populacional deste patógeno no solo e são intensificados quando essa espécie ocorre com *M. incognita* na mesma área. Entretanto, uma espécie se sobressai sobre a outra em função de sua densidade populacional inicial, condições ambientais, tipo de solo e nível de suscetibilidade da cultivar. Na cultura de soja, o estudo de Asmus (2005), revelou perdas de até 32% causadas pelo *R. reniformis*.

3.9.2 Biologia e ciclo de vida

O *R. reniformis* é um semi-endoparasita que após penetrar as raízes do hospedeiro, parasita as células da endoderme, permanecendo com mais de dois terços da parte posterior do corpo para o exterior, e adquire comportamento

sedentário. O ciclo de vida tem início quando as fêmeas adultas maduras depositam, aproximadamente, 50 a 120 ovos, dentro de uma matriz gelatinosa que envolve totalmente o corpo do nematoide em sua parte reniforme, exposta no solo. O ciclo de vida dura de duas a quatro semanas, podendo se prolongar por mais de dois anos, dependendo da temperatura e da presença do hospedeiro (LIRA et al., 2018).

Um aspecto que difere o *R. reniformis* dos outros gêneros, se refere ao ciclo de vida, pois o estágio infectante não é o juvenil J2, como acontece usualmente, mas sim, quando a fêmea está no período de imaturidade sexual. Nesse período o corpo possui formato filiforme, esguio e alongado (Figura 12). A estratégia de alimentação de *R. reniformis* se dá por meio da penetração da fêmea imatura no córtex da raiz do hospedeiro, responsável por causar a morte de células por destruição mecânica durante o trajeto. A penetração é parcial e restringe-se à região anterior do corpo do nematoide (Figura 11) (LIRA et al., 2018).

Após a seleção e perfuração da parede da célula que irá atuar como pró-sincício, o nematoide injeta em seu citoplasma secreções glandulares. Em seguida, as células sofrem hipertrofia e alcançam cerca de cinco vezes o tamanho anterior a infecção, causando a dissolução das paredes celulares e começam assim, o processo de estabelecimento do sincício. Para dar origem ao tecido nutridor sincicial definitivo, são incorporadas cerca de quinze células localizadas próximas ao pró-sincício (LIRA et al., 2018).

A dissolução das paredes, mesmo que parcial, evidencia a formação de conexões entre os citoplasmas das células constituintes do sincício e é formado o tubo de alimentação. As células do sincício passam por intensa atividade metabólica e por isso possuem citoplasma com característica densa e granulosa. Nesse caso, a infestação dos nematóides não resulta em galhas radiculares visíveis, isso porque não ocorre hipertrofia e hiperplasia marcantes na região do córtex. Com a evolução do parasitismo, alimentação a partir do tecido nutridor induzido e a maturação dos órgãos reprodutivos, a fêmea expande seu tamanho e adquire o formato de um rim, característica que justifica a denominação "reniforme" (Figura 12) (LIRA et al., 2018).



Figura 11. Ciclo de vida do Nematoide reniforme.

(Fonte: Lira et al., 2018)

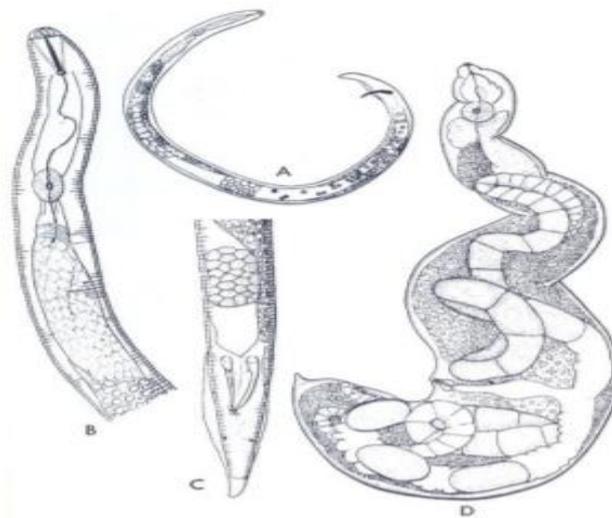


Figura 12. Morfologia do nematoide reniforme: A-C = macho; D = fêmea madura

(Fonte: Linford e Oliveira, 1940).

3.9.3 Sintomatologia

Em comparação com outras espécies, o reconhecimento do nematoide reniforme é muito difícil e por isso, durante muito tempo foi considerado de importância secundária. Isto ocorre pela ausência de sintomas característicos nas plantas

parasitadas, diferente do que acontece com outras espécies de ocorrência comum no Brasil. As lavouras de soja infestadas apresentam desuniformidade e extensas áreas de plantas subdesenvolvidas que assemelham-se a problemas de deficiência mineral e de compactação do solo. Os sintomas também podem ser confundidos com problemas no solo, tais como encharcamento, compactação e baixa fertilidade (JUHÁSZ et al., 2013). Além disso, o sistema radicular apresenta-se mais pobre e, em alguns pontos da raiz, é possível visualizar uma camada de terra aderida às massas de ovos dos nematoides, produzidas externamente (DIAS, et al., 2010).

3.10 Manejos de nematoides

O controle de nematoides consiste na adoção de medidas protetivas, com o intuito de reduzir a intensidade dos danos causados, por meio de mecanismos de defesa capazes de evitar, controlar ou inibir a entrada do patógeno nas plantações (STANGARLIN et al., 2011). Os métodos com maior eficácia de controle são os que associam várias tecnologias, a saber: rotação de cultura, controle biológico, controle químico, variedades resistentes, solarização, entre outros. Entretanto, tal prática tem sido negligenciada e as técnicas básicas para controle de doenças, como a rotação de culturas, não são adotadas pelos agricultores (HUSSAIN et al., 2016; FERRAZ et al., 2010).

Como estratégia de manejo das infestações por nematoides, o controle biológico utiliza-se de plantas antagonistas produtoras de compostos nematicidas ou nematostáticos, rotação de culturas através cultivares resistentes e tratamento de sementes (RIBEIRO et al., 2012). O manejo químico também tem sido utilizado, no entanto, em decorrência do uso contínuo, são capazes de contaminar o solo (GAO et al., 2016). É por este motivo também, que diversos agrotóxicos tem sido proibidos, tais como os que pertencem ao grupo químico dos Metilcarbamatos (Aldicarbe, Carbofurano e Carbosulfano) e o grupo químico Organofosforados (Fenamifós).

Entre as diferentes alternativas disponíveis na agricultura brasileira, estão a Abamectina (Avermectina), Terbufós e Cadusafós (Organofosforados), Fluensulfona (Fluoroalquenil Sulfur Heterocíclica), Benfuracarbe (Metilcarbamato), Dazomete e metam sódicos (precursores de Isoticianato de metila) (ADAPAR, 2018). Com o intuito de conter a infestação de nematoides resistentes, são realizadas pesquisas que buscam aprimorar os métodos, especialmente com agentes de controle biológico, por meio de bionematicidas com princípios ativos como fungos e bactérias

biocontroladores, sendo que, algumas espécies possuem registro no Brasil (ADAPAR, 2018; MASCARIN et al., 2012; SILVA et al., 2014). Além disso, os esforços dos últimos dez anos também têm sido direcionados para a indução de resistência dos cultivares, visando controle de fitonematoides, em virtude do forte potencial que possuem para produzir resultados positivos (DIAS-ARIEIRA et al., 2012).

A rotação e sucessão com culturas não hospedeiras é indicada para o manejo de todas as espécies de nematoide e em alguns casos, já estão disponíveis cultivares de soja resistentes. No entanto, o uso da resistência genética nunca deve ser empregado de forma isolada para evitar-se a seleção de indivíduos capazes de parasitar as cultivares resistentes. Esse caso é aplicável para o NCS que, por possuir grande variabilidade genética, novas raças podem surgir em função do manejo errôneo de cultivares resistentes (DIAS-ARIEIRA et al., 2012).

3.10.1 Controle biológico

Aproximadamente 75% dos antagonistas de nematoides são fungos que habitam o solo, podendo ser parasitas de ovos, cistos ou, ainda, capazes de produzir metabólitos danosos aos nematoides (JATALA, 1986). O controle biológico pode ser definido como “a ação de parasitoides, predadores e patógenos na manutenção da densidade de outro organismo em nível mais baixo do que aquele que normalmente ocorreria nas suas ausências” (DEBACH, 1968). Com base nisso, considerando os diferentes inimigos naturais dos nematoides encontrados no solo, os que apresentam maior potencial de controle biológico são as bactérias e os fungos (FERRAZ et al., 2010).

Os agentes capazes de realizar o controle biológico podem agir por competição, antibiose e parasitismo (DEMIRCI et al., 2011). Os microrganismos podem estimular o crescimento das plantas diretamente, por meio da aceleração do processo de mineralização, produção de hormônios, solubilização do fósforo, fixação biológica de nitrogênio, e produção de sideróforo e também indiretamente, através da indução de resistência sistêmica, a produção de antibióticos e antagonismo em relação a patógenos (DALLEMOLE-GIARETTA et al., 2015).

Ainda que exista na literatura diversos trabalhos com enfoque no manejo biológico para nematoides, grande parte das abordagens aplicadas consiste no uso de apenas um antagonista contra as infestações (XIANG et al., 2017). Contudo, para que o controle biológico ocorra de modo mais efetivo, tal evento deve ser resultado da

mistura de antagonistas, muito mais do que a grande população de apenas um deles. Corroborando com essa premissa, a pesquisa de Zhao et al. (2019), aponta que a utilização de diversos antagonistas têm maior sucesso no manejo biológico e aumenta a eficácia e confiabilidade do manejo, decorrentes da ampliação do espectro de atividade, que podem reunir vários mecanismos de ação contra o patógeno alvo.

Estudo como o de Soares (2006) aponta as principais vantagens do controle biológico quando comparados a outro tipo de manejo, dentre eles, a não contaminação do solo, a inexistência de resíduos, acessibilidade e fácil aplicação. Em uma série histórica dos últimos dez anos, os produtos mais pesquisados e utilizados como bionematicidas são desenvolvidos à base de fungos parasitas de cistos e fêmeas. Entre os principais, estão o *Paecilomyces lilacinus*, um fungo primariamente saprófita, que cresce por meio de substratos presentes no solo. Ele possui propriedades de rápida disseminação e coloniza cistos de nematoides após o crescimento micelial, como é o caso do que ocorre na espécie *H. glycines* (DEMIRCI et al., 2011).

Além dos fungos, bactérias como a *Pasteuria penetrans*, uma endoparasita, capaz de formar esporos de resistência no solo também apresenta resultados promissores para o controle biológico de nematoides que sobrevivem por longos períodos no solo e que possuem resistência ao calor (FERRAZ et al., 2010). Já a bactéria *Bacillus amyloliquefaciens* tem potencial para modificar as características químicas na região da rizosfera do solo. Nesse caso, os nematoides são guiados quimicamente até a raiz, por meio do reconhecimento químico dos exsudatos e não conseguem reconhecer os exsudatos radiculares, inibindo assim, a penetração nas raízes (RIVAS, 2015).

O *Bacillus* spp, possui elevado potencial de exploração comercial de isolados de *B. subtilis* para a formulação de bionematicidas, em decorrência da produção de substâncias nematóxicas que alteram os exsudatos radiculares, unida à habilidade de sobreviver no solo. Já o *Pochonia chlamydosporia* é considerado um parasita de nematoides de galha, *Meloidogyne* spp., e também tem sido descrito na literatura como parasita de fungos patogênicos de plantas, propriedades que o tornam um potencial bioagente de controle duplo e simultâneo (VAZ et al., 2011).

Pesquisa publicada por Hahn et al. (2015) buscou avaliar a eficácia de fungos nematófagos no controle de *M. incógnita* parasitando plantas de soja. Os tratamentos foram constituídos por *Pochonia chlamydosporia*, *Paecilomyces lilacinus*, *Coprinus*

comatus e uma junção de *P. chlamydosporia* e *P. lilacinus*, além de plantas testemunhas inoculadas com *M. incognita* sem qualquer um dos agentes de controle. Os resultados evidenciaram a redução potencial do número de juvenis por grama de solo para o tratamento à base de *P. chlamydosporia*, contribuindo também para a redução do inóculo secundário, causado pelo parasitismo dos ovos liberados pelas fêmeas do interior das galhas (BAILEY et al., 2008).

3.10.2 Controle químico

No fim do século XIX, quando os danos causados por nematoides já haviam sido demonstrados com maior clareza, especialmente na Europa, eram realizadas pesquisas buscando a descoberta de substâncias que, se aplicadas ao solo, pudessem livrar os agricultores de pragas. No entanto, os primeiros produtos a manifestar resultados positivos, como o bissulfeto de carbono e a cloropicrina, também apresentaram elevados riscos aos aplicadores e ação potencialmente fitotóxica. No ano de 1930, o Brometo de metila foi descoberto como produto fumigante que, mesmo com desvantagens, constituiu avanço no controle químico de fitonematoides, tendo sido utilizado em todo o mundo por cerca de 60 anos (FERRAZ; BROWN, 2016).

Após a proibição de uso e comercialização do Brometo de metila, o Dazomet, assumiu o posto de produto fumigante mais utilizado no mundo. Posteriormente, outros produtos com ação nematicida foram desenvolvidos objetivando tratamento do solo em áreas infestadas de maior extensão. Na década de 1970 os Organofosforados e Carbamatos foram lançados em diferentes formulações e também com ação sistêmica, ou seja, podiam matar inclusive espécimes contidos em tecidos das raízes ou de outros órgãos vegetais atacados. Entre os produtos não fumigantes incluem-se Aldicarbe, Cadusafós, Carbofurano, Carbossulfano, Etoprofós, Fenaminós, Fostiozato, Oxamyl e Terbufós, e alguns ainda são bastante utilizados no Brasil, outros, foram oficialmente proibidos (o Aldicarbe em 2012) e ainda, retirados do mercado por iniciativa dos fabricantes (FERRAZ; BROWN, 2016).

Atualmente, o controle químico constitui uma importante ferramenta para o manejo de nematoides. Nos últimos anos, novos produtos e formulações vêm sendo estudados e testados, acompanhado do desenvolvimento de novas técnicas de aplicação, que buscam aperfeiçoar a utilização desses produtos, com a redução dos

impactos causados sobre os organismos não alvos, tornando assim, uma estratégia eficiente e econômica (NOVARETTI et al., 1998).

Os produtos químicos podem ser utilizados para o tratamento de sementes, que atualmente, encontram-se amplamente utilizados como uma ferramenta de fácil aplicação no manejo dos nematoides. A proteção inicial conferida pelos nematicidas por meio do tratamento de sementes, na maioria das vezes pode ser percebida na produtividade da cultura da soja. Isso se deve ao fato das plantas apresentarem bom estabelecimento inicial, sistemas radiculares mais vigorosos e, conseqüentemente, uma maior tolerância ao ataque dos nematoides. A referida técnica fornece uma proteção inicial nos primeiros dias após germinação, que é essencial para o estabelecimento da cultura e de um sistema de produção mais eficiente (STARR et al., 2007). Mesmo apresentando vantagem na proteção inicial do sistema radicular, a quantidade de produto utilizada no tratamento de semente não é suficiente para proteger a cultura durante todo o seu ciclo. O efeito de proteção dura em torno de 25 a 30 dias e após esse período as raízes ficam novamente expostas a infestação dos nematoides (KUBO et al., 2012).

O tratamento de sementes não deve ser utilizado de modo isolado no manejo de nematoides, uma vez que superado esse período, os níveis populacionais do nematoide retomam o seu crescimento, chegando a atingir valores superiores aos encontrados antes do plantio. Dentre os princípios ativos empregados no manejo de nematoides, via tratamento de sementes, destacam-se os à base de abamectina e de tiodicarbe. Esses produtos têm sido empregados em várias dosagens e geralmente associados ao tratamento com fungicidas e inseticidas (Tabela 2). Além disso, possuem como principal objetivo a redução da penetração do nematoide nas raízes da soja e portanto, a redução do parasitismo. Pesquisas conduzidas pelo Laboratório de Nematologia do Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, observaram a redução na penetração e no parasitismo dos nematoides *M. incognita*, *P. brachyurus* e *H. glycines*, quando as sementes de soja foram tratadas com produtos químicos à base de Abamectina e Imidacloprido + Tiodicarbe. As doses recomendadas para produzir o efeito estão descritas na tabela 1 (Tabela 1) (ARAÚJO, 2020).

Tabela 2. Produtos químicos registrados para o manejo de nematoides na cultura da soja via tratamento de sementes.

Produtos químicos para o controle de nematoides		
Ingrediente ativo	Dose recomendada	Nematoides controlados
Abamectina	100 a 125	<i>P. brachyurus</i> <i>M. incognita</i>
Imidacloprido + Tiodicarbe	500 a 700	<i>P. brachyurus</i> <i>M. javanica</i>

Fonte: Adaptado de Araújo (2020).

Com o intuito de aumentar a eficiência no manejo de nematoides, via tratamento de sementes, tem-se buscado a associação de produtos químicos com agentes de controle biológicos. Destacam-se os fungos do gêneros *Paecilomyces* e *Arthrobotrys* e algumas bactérias. Os fungos são bastante difundidos e atuam sobre juvenis e ovos dos nematoides. Já a utilização das bactérias tem como base a modificação da rizosfera e afeta direta ou indiretamente estes parasitas. A relevância dessas bactérias para o controle de nematoides é maior quando possuem a capacidade de colonizar o interior das plantas, podendo agir sobre os nematoides antes e depois da penetração dos vegetais (ARAÚJO, 2020).

Outra estratégia de controle químico utilizando nematicidas é o método de aplicação no sulco de semeadura. A técnica tem sido utilizada com respostas positivas na redução populacional dos nematoides no solo, especialmente sobre as culturas soja. Entretanto, informações referentes à eficiência de produtos químicos aplicados no sulco de semeadura na cultura da soja, ainda são extremamente restritas e escassas, demonstrando a necessidade de estudos que visam aperfeiçoar o uso desta ferramenta no controle de fitonematoides (ARAÚJO, 2020).

3.10.3 Rotação e sucessão de culturas

O controle natural é um importante método no manejo dos nematoides da cultura da soja. O método baseia-se no cultivo de plantas não hospedeiras ou que possuam baixo fator de reprodução (FR), como forma de supressão das populações

dos nematoides, podendo ser por rotação ou sucessão de culturas (FERRAZ et al., 2010). Segundo Franchini et al., (2014), a rotação de culturas pode ser definida como a alternância regular do cultivo de diferentes espécies vegetais, numa sequência temporal em determinada área agrícola. “A sucessão de culturas, é definida como o ordenamento de duas culturas na mesma área agrícola por tempo indeterminado, cada qual cultivada em uma estação do ano” (FRANCHINI et al., 2014)

Ambos os métodos objetivam manter ou restabelecer o equilíbrio biológico do solo e a ciclagem de nutrientes. Além disso, as duas opções podem ser eficientes no manejo de nematoides, desde que sejam utilizadas plantas não hospedeiras ou resistentes, uma vez que a maioria das espécies cultivadas, podem multiplicar os nematoides, principalmente os de galha (DIAS et al., 2010).

No controle dos nematoides das galhas podem ser utilizadas diferentes estratégias, simultaneamente. Mas já é reconhecido em pesquisa como a de Fontana et al., (2018) que as de maior eficiência são a rotação e sucessão com culturas não hospedeiras e a utilização de cultivares resistentes. A rotação de culturas deve possuir planejamento adequado, pois a maioria das espécies cultivadas pode ser atacada. As plantas daninhas também facilitam a reprodução e sobrevivência desses nematoides (FONTANA et al., 2018). Desse modo, é necessário um controle sistemático dessas plantas nas reboleiras.

A escolha da rotação é variável de um local para outro e por isso, deve ser baseada na viabilidade técnica e econômica da cultura na região (JUHÁSZ et al., 2013). Como existe variação dentro das espécies vegetais com relação à capacidade de multiplicar as diferentes espécies de *Meloidogyne* spp. somente a partir do conhecimento da reação de cultivares híbridos em multiplicar a espécie de *Meloidogyne* spp. predominante na área é que se pode montar um esquema eficiente de rotação e sucessão de culturas (BALDACCI-CRESP et al., 2015).

O manejo adequado de *R. reniformis* necessita de várias medidas de controle. Inicialmente, é importante interromper a dispersão do nematoide, adotando práticas de limpeza dos equipamentos utilizados para o preparo das áreas. De acordo com Inomoto et al. (2006), o uso da rotação de culturas ou sucessão, utilizando plantas não hospedeiras do nematoide ou variedades que apresentam resistência também é uma medida eficiente para o controle desse patógeno.

As culturas não hospedeiras e com fonte de resistência são as mais indicadas para a semeadura em áreas infestadas, pois reduzem a multiplicação dos nematoides.

Debiasi et al. (2016) indicaram que as Crotalárias (*Crotalaria ochroleuca*, *C. breviflora* e *C. spectabilis*), solteiras ou associadas ao milheto (ADR 300) foram as melhores opções de entressafra. No estudo de Inomoto et al. (2008) também foram realizadas pesquisas com plantas não hospedeiras e com baixo Fator de Reprodução (FR) que favorecem a redução populacional dos fitonematóides. Além das Crotalárias, que apresentam baixo FR para as quatro espécies de nematoide enfatizadas neste trabalho, a pesquisa também apontou que o algodoeiro, o milho, a cana-de-açúcar, o amendoim e a mandioca têm ação positiva para o *H. glycines*, o algodoeiro auxiliou também na redução da população de *M. javanica*, o milho, a cana-de-açúcar e o amendoim, apresentaram resultados positivos para a diminuição do *R. reniformis* e o amendoim também demonstrou resultados promissores na contenção da *M. incógnita*.

3.10.4 Cultivares resistentes e uso de marcadores moleculares

O desenvolvimento e uso de cultivares resistentes é considerado um método importante de limitar perdas de rendimento de soja causadas por nematoides. Tal estratégia, não aumenta o custo de produção, visto que a própria semente é a ferramenta de manejo e não é necessário realizar adaptações de maquinário agrícola dentro da lavoura. De acordo com Souza et al. (2008), uma cultivar resistente é definida como “aquela que expressa características fenotípicas físicas, morfológicas ou químicas, que as tornam menos infestadas ou injuriadas que outras (suscetíveis) em igualdade de condições”. A resistência portanto, consiste na capacidade de cultivares de não permitirem ou dificultarem a multiplicação dos nematoides na plantação. Dessa forma, sua utilização favorece o declínio da densidade populacional desses parasitas.

Segundo pesquisa divulgada por Rivas e Agrolink (2015), nenhum método demonstra 100% de efetividade no controle de nematoides quando aplicado de modo isolado, ou seja, as cultivares resistentes não devem ser única opção, especialmente pela elevada diversidade genética dos nematoides, que podem apresentar vasta variabilidade e favorecer o surgimento de novas raças. Ainda assim, diversos estudos buscam aprimorar o desenvolvimento de cultivares de soja com maior resistência ao ataque desses parasitas, já que é uma alternativa econômica, que também contribui para a redução do impacto ambiental como consequência da minimização na utilização de insumos.

Nesse sentido, existem programas de melhoramento da soja que buscam o desenvolvimento de cultivares resistentes aos nematoides. A resistência pode ser descrita pelo número de genes que controlam a característica, podendo ser monogênica, oligogênica ou poligênica. O modo como a resistência a nematoides é herdada é importante para traçar a estratégia de melhoramento a ser incorporada em cultivares comerciais de soja. As características monogênica e oligogênica são as mais comuns. Os genes de resistência também podem ser classificados, com base em seus efeitos na expressão da característica, em genes de efeito maior e genes de efeito menor (SOUZA, 2019).

O desenvolvimento de cultivares depende da existência de variabilidade no germoplasma, que identifiquem plantas com características favoráveis, e serão responsáveis por um maior ganho genético com a seleção. Os marcadores moleculares são reconhecidos como uma excelente ferramenta para esta técnica e são definidos por Agarwal et al. (2008), como marcas genéticas de DNA, que podem ser usadas para comparar e representar diferenças em nível genômico. Podem ser identificados através de enzimas de restrição, hibridização ou comparação entre sequências homólogas de DNA, via PCR, ou reação de polimerização em cadeia da enzima DNA polimerase, por sequenciamento direto e comparação de fragmentos das moléculas de DNA, ou ainda por métodos que combinem as técnicas. Como principais ganhos da aplicabilidade de marcadores moleculares estão a sua estabilidade, são ilimitados em número, e podem ser detectados em todos os tecidos, independente do estágio fisiológico do organismo ou estágios de defesa da célula. Portanto, não são confundidos com efeitos ambientais, pleitrópicos, ou epistáticos (SOUZA, 2019).

Existe uma grande variedade de aplicações dos marcadores moleculares, destacando-se a caracterização de germoplasma e o mapeamento de genes *Quantitative Trait Loci* (QTLs) de interesse. Por meio da evolução da biotecnologia, a utilização dos marcadores facilitou a identificação, caracterização e localização de QTLs associados características de resistência aos nematoides. Utilizando o QTLs, é possível realizar a seleção assistida por marcadores moleculares, permitindo a escolha precoce de linhagens resistentes com base em marcadores genéticos (FERREIRA et al., 2011). Dentre os vários tipos de marcadores moleculares disponíveis para estudos genéticos, estão as izoenzimas, o *Simple Sequence Repeats* (SSR), *Single Nucleotide Polymorphisms* (SNP), *Random Amplified Polymorphic DNA* (RAPD) e *Restriction Fragment Length Polymorphism* (RFLP), *Sequence*

Characterized Amplified Regions (SCAR) e *Clustered Regulatory Interspaced Short Palindromic Repeats* (CRISPR), que tem se mostrado bastante promissoras na edição do genoma (BAO et al., 2014).

Atualmente, as pesquisas científicas tem concentrado esforços principalmente nos marcadores SNP. Estes, consistem em diferenças entre fragmentos homólogos de DNA em um único nucleotídeo, ou diferenças devidas a pequenas inserções ou deleções de um único nucleotídeo. O desenvolvimento de plataformas de genotipagem automatizadas e com vasta capacidade de processamento, a custos pequenos, abriram novos horizontes para a aplicação e uso desses marcadores moleculares nos programas de melhoramento de cultivares (SOUZA, 2019).

O mapeamento também concebe uma das aplicações de maior impacto na tecnologia dos marcadores moleculares, já que possibilita a identificação de regiões genômicas envolvidas no controle genético de característica alvo, a quantificação dos efeitos dessas regiões, a seleção assistida e até mesmo a clonagem de genes (SOUZA, 2019).

3.10.4.1 Cultivares resistentes e marcadores moleculares associadas ao Nematóide de cisto da soja (*Heterodera glycines*)

O melhoramento genético da soja é necessário em todas as culturas, sobretudo pela demanda humana. Então, com a detecção do *Heterodera glycines* no Brasil, o germoplasma de soja Norte-Americano passou a incluir genes de resistência ao nematóides de cisto em cultivares brasileiras. Atualmente, existem muitas cultivares de soja resistentes disponíveis, porém, a variabilidade genética exibida pelo nematóide de cisto no país (raças 1, 2, 3, 4, 4+, 5, 6, 9, 10, 14 e 14+) ainda dificulta o desenvolvimento de tais cultivares. A maioria das cultivares de soja resistentes disponíveis no Brasil são adequadas apenas para as raças 1 e 3, mas não existem cultivares adaptadas para todas as regiões de cultivo. Na região Centro-Oeste, onde são frequentes as raças com maior número de genes de parasitismo (raças 2, 4, 5, 6, 9 e 14), existe uma escassez de cultivares resistentes (BRIDA et al., 2017).

O genótipo Hartwig foi o primeiro cultivar de soja relatado como resistente ao NCS. Devido à importância desse patógeno, a base genética para a resistência tem sido continuamente estudada. Os primeiros genes de resistência foram verificados em estudos de herança. Outras pesquisas direcionadas para a cultivar Peking encontraram 3 genes recessivos, denominados rhg1, rhg2 e rhg3 e posteriormente,

verificou-se um quarto gene dominante de resistência, denominado Rhg4. Ainda, um quinto gene dominante oriundo do acesso PI 88788 também foi identificado, sendo este denominado Rhg5, porém as dificuldades envolvidas na realização de testes de alelismo ainda tornam difícil a comprovação de novos genes (AZEVEDO, 2018).

Com o auxílio da biotecnologia, pesquisa realizada por Kim e Diers (2013), verificou que QTLs de resistência ao nematoide do cisto foram mapeados em 18 dos 20 cromossomos da soja. Destes QTLs, seis foram mapeados e confirmados de acordo com as regras do Comitê de Genética da Soja, incluindo o gene de resistência maior rhg1, o qual foi localizado no cromossomo 18. Contudo, embora diversos genes tenham sido identificados, mais de 90% das cultivares comerciais possuem a resistência ao NCS derivadas das plantas introduzidas PI 88788 e PI 548402 (Peking), ou seja, os genes rhg1-(A/B) e Rhg4. A resistência do gene rhg1 é classificada em dois tipos, sendo, rhg1-A, em “*Peking-type*” na qual são necessários os genes rhg1-A e Rhg-4 para a resistência, e rhg1-B em PI 88788-type na qual apenas o gene rhg1-B confere a resistência ao genótipo (AZEVEDO, 2018).

Diversos estudos contribuíram para a localização de QTLs e validação de marcadores SSR e RAPD ligados a resistência ao NCS. Dentre os marcadores moleculares, os do tipo microssatélites ou SSR, têm sido utilizados por possuírem importantes características como abundância no genoma, fácil utilização, e a possibilidade de resultados reprodutíveis. No entanto, a principal limitação do uso de SSR é o conhecimento prévio das sequências para a utilização e elaboração de *primers*. O elevado custo, que já constituiu um problema, tem deixado de ser uma entrave com a chegada dos sequenciadores de última geração no Brasil (ALVARENGA, 2019).

3.10.4.2 Cultivares resistentes e marcadores moleculares associadas ao Nematóide de galha (*Meloidogyne spp.*)

No que se refere ao *Meloidogyne spp.*, o estudo de Kirsch et al. (2020), verificou as relações de tolerância, resistência e suscetibilidade de algumas cultivares de soja disponíveis no mercado, incluindo a avaliação de seis genótipos de soja submetidas ao parasitismo das populações de nematoides, das espécies *M. javanica*, *M. incognita*. As cultivares BMX Ponta IPRO, BMX Potência RR, FPS Urano RR e TEC 6029 IPRO, quando inoculadas com as diferentes populações do *Meloidogyne*, apresentaram-se suscetíveis. A cultivar BMX Turbo RR se destacou por ser

classificada como resistente e as cultivares BMX Potência RR, TEC 6029 IPRO e Fundacep 58 RR, foram descritas como moderadamente resistentes a *M. javanica* (KIRSCH et al., 2020).

As cultivares resistentes aos nematoides do gênero *Meloidogyne* apresentam base genética estreita, porque descendem basicamente da mesma fonte de resistência, a cultivar Bragg. Isso sugere que a resistência aos nematoides de galhas possa ser controlada por um pequeno número de genes de efeito maior, mesmo que a expressão fenotípica seja quantitativa. O mesmo ocorre com a resistência ao NCS. Os genes Rpp1 a Rpp4 foram identificados para a resistência da soja ao NCS, mas, em muitos casos, um único gene é suficiente para a resistência, embora a expressão fenotípica seja quantitativa. Isso ocorre porque a expressão fenotípica é influenciada pelo ambiente e não depende apenas da presença de genes de resistência nas plantas. Nesse sentido, a incrementação da Biotecnologia e os estudos da diversidade genética têm auxiliado no melhoramento genético (OLIVEIRA, 2012).

Inicialmente, os estudos eram realizados utilizando-se marcadores morfológicos. Esse marcador é determinado por mutações simples em um gene particular, gerando alterações fenotípicas de fácil identificação nos organismos. No entanto, o número reduzido de marcadores fenotípicos disponíveis, a ausência de ligação destes com caracteres de importância econômica e os efeitos deletérios das mutações restringiam sua utilização. Com descobertas importantes, como das enzimas de restrições e da PCR, na década de 80, foi viabilizado o desenvolvimento e o avanço das técnicas da Biologia Molecular, tornando possível a manipulação do DNA, que culminou no surgimento dos vários tipos de marcadores moleculares (OLIVEIRA, 2012).

Marcadores moleculares associados a genes de resistência a nematoides do gênero *Meloidogyne* spp. em soja têm sido descritos na literatura (OLIVEIRA, 2012). Funganti et al. (2004), estudaram marcadores RFLP e encontraram oito marcadores associados à resistência, sendo que dois deles, B212-1 e A757-A, pertencentes ao grupo de ligação F e D1, explicam 51% da resistência. Pesquisa realizada por Silva et al. (2001), com populações resultantes de um cruzamento entre cultivares de soja resistentes e suscetíveis à *M. javanica*, corrobora com o estudo de Funganti et al. (2004). Verificou-se um marcador microssatélite, SOYHSP 176, que apresentou associação significativa com o número de galhas. Este marcador também se localiza

no grupo de ligação F, entre os marcadores de RFLP A186D e A757V (FUGANTI et al., 2004).

No estudo de Oliveira (2012), foram realizados cruzamentos entre as linhagens CD 201 (resistente a *M. incognita*) e BRS 133 (suscetível). Foram obtidos 129 indivíduos F2 e respectivas famílias F2:3, utilizados nos estudos genéticos envolvidos na resistência. A confirmação dos cruzamentos foi verificada por meio de marcadores moleculares e fenotípicos nas plantas F2. Os resultados evidenciaram que a resistência ao nematoide *M. incognita* presente na variedade CD 201 é conferida por três genes epistáticos, dois dominantes e um recessivo. Para a resistência completa (R), as plantas necessitam dos três genes. Dois genes conferem resistência moderada (MR) e com um gene as plantas são moderadamente suscetíveis (MS). Plantas suscetíveis (S) não possuem nenhum gene de resistência. O marcador Satt358 está ligado a um gene/QTL dominante, conferindo resistência ao nematoide *M. incognita*, que explica 9,9% da resistência. A seleção assistida pelo marcador Satt358 para resistência da *M. incognita* aumenta a frequência de obtenção de linhagens resistentes ou moderadamente resistentes. Com isso, um maior número de plantas pode ser avaliado, e a avaliação em fases iniciais pode aumentar a eficiência dos programas de melhoramento de soja (OLIVEIRA, 2012).

3.10.4.3 Cultivares resistentes e uso de marcadores moleculares associadas ao Nematoide das lesões (*Pratylenchus brachyurus*)

No caso das áreas infestadas com *P. brachyurus*, as cultivares de soja tem se comportado apenas como tolerantes e geram portanto, uma escassez de cultivares resistentes e desenvolvimento de marcadores moleculares (SILVA, 2015). O hábito de parasitismo do *Pratylenchus brachyurus* dificulta o desenvolvimento cultivares de soja resistentes. Os nematoides endoparasitas migradores, como o *P. brachyurus*, deslocam-se ao longo do tecido cortical das raízes, e causam a morte de células pela alimentação de seus conteúdos citoplasmáticos e destruição mecânica decorrente da sua movimentação. Logo, por não estabelecerem uma relação prolongada com seus hospedeiros, que é o principal mecanismo de resistência a nematoides encontrado nas cultivares para os nematoides sedentários, não ocorre o abortamento do tecido nutridor via reação de hipersensibilidade, portanto, não são efetivos para *P. brachyurus*. Esse tipo de resistência é conhecido como resistência ativa ou pós-infeccional, e trata-se de mecanismos de defesa da cultivar que ocorrem após o

ataque do nematoide, como respostas fisiológicas que induzem necrose localizada e restringem a capacidade do nematoide de incitar a formação do tecido nutridor, essencial para seu desenvolvimento (MACHADO, 2019).

No caso do *P. brachyurus*, para que a cultivar expresse resistência ao nematoide das lesões, o mecanismo utilizado deve ser pré-infeccional, ou passivo. Essa resistência ocorre por meio da produção de exsudatos radiculares com função repelente ou tóxica ao nematoide. Plantas como a *Tagetes spp.* apresentam esse tipo de resistência e tem ação supressiva sobre nematoides atribuída à ação dos compostos nematicidas presentes nas raízes dessa planta. Compostos dessa natureza são pouco expressos em cultivares como a soja, razão pela qual parece não existir um mecanismo que impeça a penetração de *P. brachyurus* em suas raízes (MACHADO, 2019). Desse modo, as cultivares brasileiras de soja nas áreas infestadas com *P. brachyurus* não têm indicado a existência de materiais resistentes ou tolerantes (OLIVEIRA et al., 2019).

3.10.4.4 Cultivares resistentes e marcadores moleculares associadas ao Nematóide reniforme (*Rotylenchulus reniformis*)

De acordo com Robbins e Rakes (1996), os genótipos resistentes as raças 3, ou 1 e 3, do nematoide do cisto da soja, tendem a apresentar resistência ao nematoide reniforme. Em estudo como o de Asmus e Schirmann (2004), verificou-se que, com exceção do PI 88788, as fontes de resistência ao nematoide de cisto também conferiram resistência ao *R. reniformis*. Além disso, constatou-se que, ao avaliar cultivares comerciais de soja no Mato Grosso do Sul, a M-SOY 8001 e a CD 201 foram as que apresentaram melhores resultados na resistência ao nematoide reniforme. Por este motivo, sugere-se que os estudos de marcadores moleculares do nematoide reniforme sejam focado nos genótipos que apresentam resistência comprovada ao nematoide do cisto.

Além da resistência, os programas de melhoramento precisam combinar características agronômicas desejáveis, para que as cultivares desenvolvidas sejam realmente utilizadas para cultivo. Nos processos de seleção de germoplasma, deve-se ter o conhecimento que a herança da resistência em soja à *R. reniformis* pode aumentar a eficiência, principalmente se aliada a marcadores moleculares. Procurando obter informações sobre essa herança, Cardoso et al. (2014), por meio

de cruzamentos entre parentais resistentes com parentais suscetíveis, observaram que a herança é quantitativa, ou seja, é controlada por dois pares de genes com efeitos desiguais (LOBO et al., 2017).

Até o momento, poucos programas de melhoramento da soja se preocuparam com a busca de genótipos resistentes ao *R. reniformis*, visto que esse nematoide ainda não apresenta elevada disseminação. Porém, devido a sua capacidade de sobreviver por longos períodos no solo, e por apresentar grande potencialidade de causar danos em culturas como a soja, que compõem grande parte do sistema de produção do cerrado, propicia condições altamente favoráveis para que a população do nematoide atinja elevadas densidades, com riscos de perdas para as culturas, fato que vem ocorrendo no Mato Grosso do Sul (LOBO et al., 2017).

3.10.4.5 Cultivares resistentes mais utilizadas no Brasil

Na Tabela 3, é possível visualizar as principais cultivares de soja utilizadas atualmente no Brasil, bem como a capacidade de resistência às espécies de nematoides. As variedades Brasmax são resistentes principalmente aos nematoides de cisto 3, 6, 10 e 14 e em alguns casos para as raças 9 e 14+. Além disso, apresentam moderada resistência para os nematoides de galha *Meloydogine javanica*. A Monsoy (Bayer), assim como a Brasmax possui variedades resistentes ao nematoide de cisto das raças 1 e 3. No entanto, para as raças 6,10 e para os nematoides de galha *Meloydogine javanica* a resistência é apenas moderada. A Dom Mário apresenta oito tipos de cultivares, sendo a maioria resistente ao nematoide de cisto 3, 6, 9 e 14 e moderadamente resistente aos tipos 10, 14 e 14+. Nenhum cultivar é resistente aos nematoides de galha. Os genótipos da Dow Agrosience são moderadamente suscetíveis ao *Pratylenchus bachyurus*, enquanto a Tropical Melhoramento e Genética apresenta moderada resistência ao mesmo nematoide.

A Embrapa, em parceria com a Fundação Cerrados e a Fundação Bahia, desenvolveu duas cultivares de soja com resistência a nematoides de galha (BRS 7481) e ao nematoide do cisto (BRS 7581RR). As cultivares são adaptadas à regiões produtoras do Brasil Central e possuem ciclo precoce. A soja BRS 7481 é uma cultivar convencional que apresenta resistência aos nematoides formadores de galhas, *Meloidogyne incognita* e *Meloidogyne javanica*. A cultivar BRS 7581RR, assim como a BRS7481, apresenta elevado potencial produtivo e alta estabilidade de produção

nas regiões produtoras de soja no Cerrado, com ciclo adaptado às condições agroclimáticas do Centro Oeste Brasileiro. Apresenta resistência ao nematoide de cisto das raças 1, 3, 5 e 14 e tolerância ao herbicida glifosato (EMBRAPA, 2020).

Em virtude do elevado potencial produtivo das duas cultivares lançadas pela Embrapa, as características de resistência aos nematoides de galhas, aos nematoides de cisto e ao ciclo precoce, permitem a utilização no sistema produtivo com sucessão de culturas em regiões cujos solos apresentam histórico de problemas com esses nematoides, contribuindo para aumentar a sustentabilidade do sistema produtivo agrícola (EMBRAPA, 2019).

Tabela 3. Cultivares resistentes a nematoides mais utilizadas no Brasil.

Obtentor	Cultivar	Resistência
Brasmax	EXTRA IPRO	MR: Galha <i>Meloydogine javanica</i> R: Cisto 3,6,10,14 MR: Cisto 9
Brasmax	UNICA IPRO	R: Cisto 3,6,14 MR: Cisto 9,10,14+
Brasmax	VORAZ IPRO	R: Cisto 3 MR: Cisto 9,10,14,14+
Brasmax	FOCO IPRO	MR: Galha <i>Meloydogine javanica</i> R: cisto 3, 14 MR: Cisto 6,9,10,14+
Brasmax	CICLONE CE	R: Cisto 3,9,14 MR: Cisto 6,10,14+
Brasmax	TORMENTA CE	R: Cisto 3 MR: Cisto 6,9,10,14,14+
Brasmax	RESULTA E	Cisto 3,14 MR: Cisto 6,9,10,14+
Brasmax	TANQUE 12X	R: Cisto 3 MR: Cisto 6,9,10,14,14+
Brasmax	ORIGEM IPRO	R: Cisto 3,10 MR: Cisto 6,9,14,14+
Brasmax	POTENCIA RR	S: Galha <i>Meloydogine incognita</i> <i>Meloydogine javanica</i> S: Cisto 3,14
Monsoy	5892IPRO	MR: Galha <i>Meloydogine javanica</i>
Monsoy	7110IPRO	MR: Galha <i>Meloydogine javanica</i>
Monsoy	7198IPRO	R: Cisto 1,3
Monsoy	7739IPRO	R: Cisto 1,3 MR: Cisto 10
Monsoy	8372IPRO	R: Cisto 1,3 MR: Cisto 6,10
Monsoy	5730 IPRO	S: Galha <i>Meloydogine incognita</i> <i>Meloydogine javanica</i> R: Cisto 1,3
Monsoy	5892 IPRO	S: Galha <i>Meloydogine incognita</i>

		MR: Galha <i>Meloydogine javanica</i> S: Cisto 3,14
Monsoy	M 5410 IPRO	S: Galha <i>Meloydogine incognita</i> <i>Meloydogine javanica</i> S: Cisto 3,14
Monsoy	M 5705 IPRO	S: Galha <i>Meloydogine incognita</i> <i>Meloydogine javanica</i> S: Cisto 3,14
Dom Mário	75I76IPRO	R: Cisto 3,9,10,14,14+ MR: Cisto 6
Dom Mário	81I84IPRO	R: Cisto 3,9,10,14,14+ MR: Cisto 6
Dom Mário	75I74IPRO	R: Cisto 3 MR: Cisto 6,9,10,14,14+
Dom Mário	73I75IPRO	R: Cisto 3 MR: 6,9,10,14,14+
Dom Mário	82K84 CE	MR: Cisto 3,9,10,14,14+
Dom Mário	89IX83 12X	R: Cisto 3,6,9,14 MR: Cisto 10,14
Dom Mário	61i59 RSF IPRO	MS: Galha <i>Meloidogyne incognita</i> S: Galha <i>Meloydogine javanica</i>
DOW	5D555	S: Galha <i>Meloidogyne incognita</i> MS: Galha <i>Meloydogine javanica</i> S: Cisto 3,14 MS: <i>Pratylenchus brachyurus</i>
DOW	5D634	S: Galha <i>Meloydogine javanica</i> e <i>Meloydogine incognita</i> S: Cisto 3,14 S: <i>Pratylenchus brachyurus</i>
Embrapa	7481	R: Galha <i>Meloydogine javanica</i> e <i>Meloidogyne incognita</i>
Embrapa	7581 RR	R: Cisto 1,3,5, 14
Embrapa	5601 RR	S: Galha <i>Meloydogine incognita</i> <i>Meloydogine javanica</i> S: Cisto 3,14
Syngenta	13671 IPRO	R: Galha <i>Meloydogine javanica</i> S: Cisto 3,14 S: <i>Pratylenchus brachyurus</i>
Syngenta	1263 RR	S: Galha <i>Meloydogine javanica</i> S: Cisto 3 S: <i>Pratylenchus brachyurus</i>
Tropical Melhoramento e genética (TMG)	1067 RR	MR: Galha <i>Meloydogine incognita</i> S: Galha <i>Meloydogine javanica</i> S: Cisto 3,14

TMG	7161 RR	MR: <i>Pratylenchus brachyurus</i> MR: Galha <i>Meloydogine javanica</i> S: Galha <i>Meloydogine incógnita</i> S: Cisto 3,14 R: Cisto 3
TMG	7363 RR	S: Galha <i>Meloydogine javanica</i> <i>Meloydogine incógnita</i>

Nota: R – resistente

MR – moderadamente resistente

S – Suscetível

MS – Moderadamente suscetível

3.11 Técnica de solarização

A solarização consiste no método de desinfestação do solo por meio da radiação solar. É realizada revolvendo o solo e o expondo à radiação solar direta ou pela cobertura com plástico transparente, no caso de plantações menores, a fim de elevar sua temperatura e causar a morte de parasitas e microrganismos. No caso dos nematoides, a eclosão e a sobrevivência são prejudicadas pelo aumento da temperatura. O nematoide morre pelo dessecamento. A solarização deve ser feita antes do plantio, e em caso do uso do plástico, deve ser colocado em solo úmido. As bordas precisam estar vedadas para impedir a perda de calor e a eficiência é aumentada quando há o revolvimento do solo e quando não há nebulosidade no focal, impedindo a radiação que eleva a temperatura no solo. Além disso, o solo não deve ser encharcado (RITZINGER, 2015).

A temperatura ideal para multiplicação dos nematoides está entre 28 a 32 °C, acima disso, qualquer temperatura dificulta sua multiplicação e sobrevivência. É comum utilizar-se da técnica de solarização para auxiliar no controle das populações no campo, pois o revolvimento do solo aliado a exposição ao sol, traz os ovos e juvenis, que geralmente se encontram entre 20 a 40 cm de profundidade, para as camadas mais superficiais. É necessário um planejamento para que o solo seja revolvido, pelo menos, 2 a 3 vezes, durante o processo. Temperaturas acima de 36°C costumam ser suficientes para reduzir consideravelmente as populações (RITZINGER, 2015).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O controle dos nematoides representa um desafio para a agricultura. O produtor precisa conviver com o patógeno por meio do controle dos níveis populacionais no solo e para isso, é necessária a correta identificação do mesmo. As estratégias de análises moleculares, programas de melhoramento genéticos e os métodos morfológicos utilizados tradicionalmente podem ser usados simultaneamente para obter resultados precisos que embasem a tomada de decisão referente ao manejo desses parasitas.

Historicamente o controle de fitonematoides tem sido realizados com produtos altamente prejudiciais. Embora muitos argumentos sejam contrários ao uso desses produtos nematicidas, ligados principalmente aos aspectos de contaminação do solo com seus resíduos tóxicos, o emprego da técnica continua sendo um recurso que o agricultor utiliza. Isso porque, se aplicados de forma correta e em situações para as quais a sua recomendação encontra boa justificativa, os nematicidas, ainda que não erradiquem os fitonematoides da área tratada, causam reduções populacionais por período de tempo suficiente para que as culturas tenham bom crescimento inicial e possam, posteriormente, se mostrar bem produtivas. Portanto, o ideal não é que o emprego desse tipo de controle seja simplesmente abolido, mas que se restrinja com o passar do tempo, à medida que outros eficientes instrumentos alternativos sejam disponibilizados à agricultura e que se possa de fato elaborar um programa de manejo integrado ecologicamente sustentável e economicamente viável.

Considerando as perspectivas futuras para o manejo de nematoides, acredita-se que o controle biológico continuará evoluindo, especialmente pela necessidade de produtos mais seguros ao meio ambiente. A pesquisa por agentes que demonstrem não apenas ação nematicida, mas que favoreçam o crescimento das plantas, ou ainda a estimulação das cultivares para uma resposta sistêmica, devem constituir o foco dos estudos nos próximos anos. É importante também, que continuem os investimentos no desenvolvimento de novas moléculas para o controle químico. Espera-se que a criação de produtos apresentem maior seletividade agindo especificamente contra nematoides fitoparasitas, de modo que o equilíbrio do solo seja preservado.

A resistência de cultivares ao ataque de nematoides é um campo ainda pouco explorado e que necessita receber mais atenção. A disseminação dos nematoides e a escassez de cultivares de soja resistente disponíveis são fatos que justificam a

importância de investir em pesquisas na área. Ainda assim, a utilização de cultivares resistentes já é uma das estratégias que apresentam resultados promissores de controle. O método não aumenta o custo de produção, pois a própria semente é a ferramenta de manejo e não é necessário realizar adaptações de maquinário agrícola dentro da lavoura. Há uma grande demanda por pesquisas nesta área objetivando a constante busca por genes de resistência e investimento no melhoramento genético para incorporação destes genes. Com a evolução das tecnologias, o desenvolvimento e uso de cultivares resistentes possui perspectivas essenciais que conseguirão limitar cada vez mais as perdas de rendimento de soja causadas por nematoides.

Para o cenário econômico, as tecnologias utilizadas no controle de doenças da cultura da soja de forma correta, contribuem de forma decisiva para o sucesso da cultura de soja. Desse modo, é importante priorizar especialmente o manejo integrado de modo a reduzir a contaminação ambiental. No que se refere aos marcadores moleculares, o investimento de pesquisas ligadas à procura de genes de resistência em soja, permitirão maior rapidez no processo de obtenção de cultivares mais adaptadas e produtivas.

Em áreas onde o nematoide já foi identificado, o produtor deve conviver e investir no controle desta praga, uma vez que a chance erradicação é praticamente inexistente. Para tanto, é reconhecido que nesse tipo de infestação existe a necessidade de combinar diferentes técnicas com o objetivo alcançar um controle bem sucedido, sendo mais evidente e eficiente. Um manejo econômico e racional dos patógenos deve permitir a aplicação das técnicas em momento oportuno, a fim de se atingir as plantações e também a superfície do solo, onde ficam as estruturas de reprodução dos patógenos.

Concluindo-se, a tomada de decisão com relação a estratégia a ser usada depende principalmente de uma comunicação efetiva com o produtor, considerando e esclarecendo todos os aspectos que possam influenciar o controle dos nematoides, isso porque, a técnica de maior evidência positiva, que é o manejo integrado, não tem sido realizada em momentos por falta de instrução dos produtores, ou por falta de conhecimento dos técnicos que estão em campo. Outro fator que é essencial na tomada de decisão em relação ao manejo implantado, é a rentabilidade do sistema e o giro de capital empregado nas ferramentas de manejo dos nematoides, em vários momentos os produtores deixam de tomar as atitudes necessárias ao manejo de

pragas devido a necessidade de rentabilizar o sistema produtivo a curto prazo desconsiderando o prejuízo que será gerado a longo prazo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAD, P. et al. Root-knot nematode parasitism and host response: molecular basis of a sophisticated interaction. **Molecular Plant Pathology**, v.4, p.217-224, 2003.

ADAPAR. Agência de Defesa Agropecuária do Paraná. Agrotóxicos no Paraná: faça sua pesquisa. **ADAPAR**. 2018. Disponível em: <http://www.adapar.pr.gov.br/Pagina/Pesquisa-Agrotoxicos>. Acesso em: 05 Abr. 2021.

AGARWALL, M. et al. Advances in molecular marker techniques and their applications in plant science. **Plant Cell Reports**, v.27, p.617-631, 2008.

AGRIOS, J.N. **Plant pathology**. New York: Academic Press, 1988. 803p.

AGRIOS, G.N. **Plant pathology**. 5.ed. Gainesville: Academic Press. 2005. 952 p.

ALLEN, T.W. et al. Soybean yield loss estimates due to diseases in the United States and Ontario, Canada, from 2010 to 2014. **Plant Health Progress**, n.18, p.19-27, 2017.

ALMEIDA, A.M.R. et al. Doenças da soja. In: KIMATI, H. et al. **Manual de fitopatologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. p.569-588.

ALVARENGA, P.M. **Marcadores moleculares tipo snp's candidatos ligados a resistência a nematoide de cisto da soja raça 14 em cultivares de soja brasileiras**. 2019. 62 f. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas). Programa de pós-graduação em proteção de plantas, Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, 2019.

APROSOJA. A história da soja. Campo Grande: Aprosoja. 2019. Disponível em: <http://www.aprosoja.com.br/soja-e-milho/a-historia-da-soja>. Acesso em: 07 Fev. 2021.

ARAUJO, F.G. Tratamento de sementes para combater o nematoide na cultura da soja. **Revista cultivar**, Goiás, 2020. Disponível em: <https://www.grupocultivar.com.br/artigos/tratamento-de-sementes-para-combater-o-nematoide-na-cultura-da-soja>. Acesso em: 7 Abr. 2021.

ASMUS, G. L. Evolução da ocorrência de *Rotylenchulus reniformis* em Mato Grosso do Sul, durante o quinquênio 2001/2005. In: Reunião de Pesquisa de Soja da Região Central do Brasil, 27, 2005, Cornélio Procópio. **Resumos** [...] Londrina: Embrapa Soja, 2005. p.221-222. (Embrapa Soja. Documentos, 257).

ASMUS, G.L.; SCHIRMANN, M.R. Reação de cultivares de soja recomendadas no Mato Grosso ao nematoide *R. reniforme*. **Nematologia Brasileira**, v.28, p.239-240, 2004.

AZEVEDO, C.V.G. **Estudo genético e validação de marcadores moleculares associados ao nematoide de cisto em populações de soja**. 2018. 65 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de ciências agrárias e veterinárias, Jaboticabal, 2018.

- BAILEY, D.J. et al. Pathozone dynamics of *Meloidogyne incognita* in the rhizosphere of tomato plants in the presence and absence of the nematophagous fungus, *Pochonia chlamydosporia*. **Plant Pathology**, v.57, n.2, p.354-362, 2008.
- BALDACCI-CRESP, F. et al. Maturation of nematode-induced galls in *Medicago truncatula* is related to water status and primary metabolism modifications. **Plant Science**, v.232, p.77–85, 2015.
- BAO, Y. et al. Potential of association mapping and genomic selection to explore pi88788 derived soybean cyst nematode resistance. **The Plant Genome**, v.7, n.3, 2014.
- BRIDA, A.L.; CORREIA, E.C.S.S.; WILCKEN, S.R.S. Suscetibilidade de cultivares de soja ao nematoide das lesões radiculares. **Summa Phytopathologica**, v.43, n.3, p.248-249, 2017.
- BRIDA, A.L. et al. Variabilidade espacial de *Meloidogyne javanica* em soja. **Summa Phytopathologica**. v.42, p.175–179, 2016.
- CAILLAUD, M.C. et al. Root-knot nematodes manipulate plant cell functions during a compatible interaction. **Journal of Plant Physiology**, v.165 p.104–113, 2008.
- CAIXETA, L.B. et al. Gênero Heterodera. In: OLIVEIRA C.M.G.; SANTOS M.A.; CASTRO, L.H.S. **Diagnose de fitonematoídes**. Campinas: Millennium Editora, 2016. p.149–162.
- CARDOSO, P.C. et al. Inheritance of soybean resistance to *Rotylenchulus reniformis*. **Tropical Plant Pathology**, v.39, p.251-258, 2014.
- CONAB. Boletim da safra de grãos. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Safra 2018/19 – Décimo segundo levantamento. **Companhia Nacional de Abastecimento**. v.12, Brasília, p.1-104, agosto, 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 15 Fev. 2021.
- CONAB. **Boletim da safra de grãos**: acompanhamento da safra brasileira de grãos, Safra 2020/2021 – Sexto levantamento. **Companhia Nacional de Abastecimento**. v.6, Brasília, p.1-106, março, 2021. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 05 Abr. 2021.
- DALLEMOLE-GIARETTA, R. et al. *Pochonia chlamydosporia* promotes the growth of tomato and lettuce plants. **Acta Scientiarum**, v.37, p.417-423, 2015.
- DEBACH, P. **Control biológico de las plagas de insectos y malas hierbas**. México: Editora Continental, 1968. p.927.
- DEBIASI, H. et al. Práticas culturais na entressafra da soja para o controle de *Pratylenchus brachyurus*. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.51, n.10, p.1720-1728, out. 2016.

DEMIRCI, E.; DANE, E.; EKEN, C. In vitro antagonistic activity of fungi isolated from sclerotia on potato tubers against *Rhizoctonia solani*. **Turkish Journal of Biology**, v.35, p.457-462, 2011.

DIAS, W.P. et al. Nematoides de importância para a soja no Brasil. **Boletim de Pesquisa de Soja**, Rondonópolis, p.173–184, 2007.

DIAS, W.P. et al. Nematóide de cisto da soja: biologia e manejo pelo uso da resistência genética. **Nematologia Brasileira**, v.33, p.16, 2009.

DIAS, W.P. et al. Nematoides em soja: identificação e controle. Londrina: Embrapa Soja. ISSN 2176-2864. 2010. (Circular técnica, 76).

DIAS-ARIEIRA, C.R. et al. Effect of *Azospirillum brasiliense*, Stimulate® and potassium phosphite to control *Pratylenchus brachyurus* in soybean and maize. **Nematropica**, v.42, n.1, p.170-175, 2012.

EMBRAPA. Boletim de pesquisa e desenvolvimento Identificação molecular de nematoides. **Empraba**, 1 ed. 20 p. 2008. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2010/30262/1/bolpd-219.pdf>> Acesso em: 01 Abr. 2021.

EMBRAPA. Soja. Tecnologias de produção de soja - região Central do Brasil 2012 e 2013. **Sistemas de Produção**, Londrina, v.15, p. 261, 2011.

EMBRAPA. **Soja**. Brasília: Embrapa de Informação Tecnológica. 2020. Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vmz02wx5eo0sawqe3vtldl7vi.html>>. Acesso em: 18 Fev. 2021.

EMBRAPA. **Soja em números** (Safrá 2019/2020). Londrina: Embrapa soja, 2020. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em: 12 Fev. 2021.

FERRAZ, L. C. C. B.; BROWN, D. J. F. **Nematologia de plantas: fundamentos e importância**. Manaus: Norma Editora, 2016. 251p. ISBN: 978-85-99031-26-1.

FERRAZ, L. **Nematologia de plantas: fundamentos e importância**. Manaus: Norma Editora, 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Figura-716-Sincicio-induzido-por-Heterodera-glycines-em-raiz-de-soja-A-visao-geral-do_fig20_303825570>. Acesso em: 02 Mar. 2021.

FERRAZ, S. et al. **Manejo sustentável de fitonematoides**. Viçosa: UFV, 2010. 306p.

FERREIRA, M.F. et al. QTLs for resistance to soybean cyst nematode, races 3, 9, and 14 in cultivar Hartwing. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n.5, p.1-22, 2011.

FIGUEIREDO, A. **Caracterização de tipo e raça de populações do nematóide de cisto da soja detectadas no município de Jataí-GO e proximidades por**

hospedeiros diferenciadores. 2008. 56 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia). Programa de pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

FLEMING, T.R. et al. Prevalence and diversity of plant parasitic nematodes in Northern Ireland grassland and cereals, and the influence of soils and rainfall. **Plant Pathology**, v. 65, n. 9, p.1539–1550, 2016.

FONTANA, L.F. et al. Interference of *Meloidogyne javanica* in the reproduction of *Pratylenchus brachyurus* in soybean cultivar BRS/MT pintado. **Summa Phytopathologica**, v.44, p.143–147, 2018.

FUGANTI, R. et al. Identificação de marcadores moleculares de microssatélites para a seleção de genótipos de soja resistente *Meloidogyne javanica*. **Nematologia Brasileira**, v.28, p.125-130, 2004.

FRANCHINI, J.C. et al. Perda de produtividade da soja em área infestada por nematoide das lesões radiculares na região médio norte do Mato Grosso. In: BERNARDI, A.C.C. et al. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa, 2014. p. 274-278.

GAO, H. et al. Bacillus cereus strain S2 shows high nematicidal activity against *Meloidogyne incognita* by producing sphingosine. **Scientific Reports**, v.6, p. 1-11, 2016.

GIPSON, I.; KIM, K.S.; RIGGS, R.D. An ultrastructural study of syncytium development in soybean roots infected with *Heterodera glycines*. **Phytopathology**, v.61, p.253-346, 1971.

GOULART, A.M.C. **Aspectos gerais sobre nematoides das lesões radiculares (gênero *Pratylenchus*)**. Planaltina: Embrapa, 2008.

HAHN, M.H. Controle alternativo sobre *Meloidogyne incognita* em soja. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.14, n. suplemento, p.281-285, 2015.

HEALD, C.M.; THAMES, W.H. The reniform nematode, *Rotylenchulus reniformis*. In: RIGGS, R.D. **Nematology in the Southern Region of the United States**. Fayetteville: Arkansas Experiment Station, 1982. p.139-143.

HUSSAIN, M. A.; MUKHTAR, T.; KAYANI, M. Z. Reproduction of *Meloidogyne incognita* on resistant and susceptible okra cultivars. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v. 53, n. 2, p. 371-375, jun. 2016.

INAGAKI, H.; TSUTSUMI, M. Survival of the Soybean Cyst Nematode, *Heterodera glycines* ICHINOHE (Tylenchida: Heteroderidae) under Certain String Conditions. **Applied Entomology and Zoology**, v.6, p.156–162, 1971.

INOMOTO, A.; ASMUS, G.L. Controle de nematoides une resistência, rotação e nematicidas. **Visão Agrícola**, v.6, p.47-50, 2006.

INOMOTO, A. Manejo cultural de fitonematoides. In: GALBIERI R.; BELOT L.J. **Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros: biologia e medidas de controle**. Cuiabá: Instituto Mato-grossense do Algodão, 2016, p.257-287.

JATALA, P. Biological control of plant-parasitic nematodes. **Annual Review Phytopathology**, v.24, n.1, p.453-489, sep. 1986.

JENKINS, W.R.; TAYLOR, D.P. **Plant nematology**. New York and London: Reinhold Publishing Corporation, 1967. 270 p.

JONES, M.G.K.; DROPKIN, V.H. Scanning electron microscopy of syncytial transfer cells induced in roots by cyst-nematodes. **Physiological Plant Pathology**, v.7, p.259-263, 1975.

JUHÁSZ, A.C.P. et al. Desafios fitossanitários para a produção de soja. **Informe Agropecuário**, v.34, n.276, p.66-75, 2013.

JUNG, C.; WYSS, U. New approaches to control plant parasitic nematodes. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v.51, p.439-446, 1999.

KAYANI, M. Z.; MUKHTAR, T.; HUSSAIN, M. A. Effects of southern root knot nematode population densities and plant age on growth and yield parameters of cucumber. **Crop Protection**, v. 92, p. 207-212. 2017.

KIM, M.; DIERS, B. W. Fine mapping of the SCN resistance QTL cqSCN-006 and cqSCN-007 from Glycine soja PI 468916. **Crop Science**, v. 53, n. 3, p. 775–785, 2013.

KIRSCH, V.G. Reação de cultivares de soja a diferentes espécies de *Meloidogyne* spp. **Nematropica**, v.49, n.2, 2020.

KLINK, V.P. et al. A correlation between host-mediated expression of parasite genes as tandem inverted repeats and abrogation of development of female *Heterodera glycines* cyst formation during infection of *Glycine max*. **Planta**, v.230, n.1, p.53-71, 2009.

KUBO, R.K.; MACHADO, A.C.Z.; OLIVEIRA, C.M.G. Efeito do tratamento de sementes no controle de *Rotylenchulus reniformis* em duas cultivares de algodão. **Arq. Inst. Biol**, v.79, n.2, 2012.

LIRA et al. *Rotylenchulus reniformis* (nematoda: tylenchida): biologia, identificação, patogenicidade e manejo). **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v.15, n.2, p.93-104, 2018.

LINFORD, M. B.; OLIVEIRA, J. M. *Rotylenchulus reniformis* n. gen., n. sp., a nematode parasite of roots. **Proceedings of the Helminthological Society of Washington**, Washington, v. 7, n. 1, p. 35-42, 1940.

LOBO, K. S., R. et al. Reaction of soybean genotypes in soil naturally infested with *Rotylenchulus reniformis*. **Nematropica**, v.47, p.18-25, 2017.

LORDELLO, L.G.E. **Nematoides das plantas cultivadas**. 8.ed. São Paulo: Nobel, 1984. 314 p.

MACHADO, A.C.Z. et al. Phenotypic variability and response of Brazilian oat genotypes to different species of rootknot and root-lesion nematodes. **European Journal of Plant Pathology**, v. 141, p.111-117, 2015.

MACHADO, A.C.Z. Por que não temos cultivares resistentes a *Pratylenchus brachyurus*? In: XXXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA. Caldas Novas. **Resumos** [...], 2019. Disponível em: <<http://www.infobibos.com/anais/cbn/36/Palestras/Andressa%20Machado.pdf>>. Acesso em: 01 Fev. 2021.

MAINARDI, J. T.; ASMUS, G.L. Danos e potencial reprodutivo de *Pratylenchus brachyurus* em cinco espécies vegetais. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.2, n.4, p.38-47, 2015.

MASCARIN, G.M.; BONFIM, J.M.F.; ARAUJO, F.J.V. Trichoderma harzianum reduces population of *Meloidogyne incognita*, in cucumber plants under greenhouse conditions. **Journal Entomology and Nematology**, v. 4, n. 6, p. 54-57, dec. 2012.

MESSA, V.R. **Controle biológico de fitonematoides mediante aplicação de fungos nematófago e micorrízicos na cultura da soja**. 2020, 99 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Paraná, 2020.

MUELLER, D.S. A Farmer's Guide to Soybean Diseases. **American Phytopathological Society**, v.18, p.19-27, 2016.

MUKHTAR, T.; HUSSAIN, M. A.; KAYANI, M. Z. Management of Root-Knot Nematode, *Meloidogyne incognita*, in Tomato with Two Trichoderma Species. **Pakistan Journal of Zoology**, v. 50, n. 4, jul. 2017.

NASCIMENTO, D.D. **Promoção de crescimento e controle de nematoides da soja por isolados de Bacillus spp**. 2019, 85f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2019.

NOVARETTI, W.R.T.; MIRANDA, M.A.C.; ALCÂNTARA, V.S.B. Tratamento químico visando o controle de nematoides em soja. **Nematologia brasileira**, v.5, n.2, p.247-255, 1982.

NOVARETTI, W.R.T.; MONTEIRO, A.R.; FERRAZ, L.C.C.B. Controle químico de *Meloidogyne incognita* e *Pratylenchus zeae* em cana-de-açúcar com Carbofuran e Tebufos. **Nematologia brasileira**, v.22, n.1, p.60-74, 1998.

OLIVEIRA, C.M.G. et al. Técnicas moleculares e taxonomia clássica na diagnose de nematoides parasitos de plantas. **Rapp**, v.19, 2011.

OLIVEIRA, L.A. **Resistência da soja à *Meloidogyne incognita*: herança e marcador molecular**. 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Programa de Ciências Agrárias – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

OLIVEIRA, K. C. L. et al. Manejo biológico de *Pratylenchus brachyurus* na cultura da soja. **Revista Caatinga**, v. 32, p. 41-51, 2019.

PINHEIRO, J. B.; CARVAL, A. D. F. de; VIEIRA, J. V. **Manejo do nematoide-das-galhas (*Meloidogyne* spp.) em cultivos de cenoura na região de Irecê-BA**. Comunicado Técnico 77 – Embrapa, v.1, p.7, 2010.

PINHEIRO, J. B.; PEREIRA, R. B.; SUINAGA, F.A. **Manejo de nematoides na cultura do tomate**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2014. ISSN 1415-3033.

POGETTO, D.; BERNARDI, O. O uso de proteínas inseticidas de *Bacillus thuringiensis* (Bt) no controle de insetos-praga. In: BALDIN, E.L.L.; KRONKA, A.Z.; SILVA, I.F. **Inovações em manejo fitossanitário**. Botucatu: Editora Fefap, 2017. p. 62.

RIBEIRO, M. L. et al. Efeito do tratamento de sementes de algodão na dinâmica populacional de *Pratylenchus brachyurus* em condições de estresse hídrico. **Nematropica**, v.42, n.1, 2012.

RITZINGER, C.H.S.P. Nematoides. **Embrapa**, p.134-140, 2015. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/985228/1/10.Nematoides0001.pdf>>. Acesso em: 20 Mar. 2021.

RIVAS, L. Nematoides causam prejuízos ao agronegócio. **Agrolink**. 22 out. 2015, 00:00. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/noticias/por-ano--nematoides-causam-prejuizos-de-r--35-bilhoes-ao-agronegocio-nacional_343212.html>. Acesso em: 15 Mar. 2021.

ROBBINS, R.T.; RAKES, L. Resistance to the reniform nematode in selected soybean cultivars and germplasm lines. **Journal of Nematology**. v.28, n.4, p.612-615, 1996.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A.D. Nematoides. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**, 2021. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_54_711200516718.html>. Acesso em: 02 Fev. 2021.

SANTANA, H. **Identificação de raças do nematoide de cisto da soja [*Heterodera glycines* (Ichinohe)] a partir de populações de campo isolados monocísticos e resistência de cultivares comerciais a raça 3**. 2007. 42 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Paraná, 2007.

SANTOS, J.M.; SOARES, P.L.M.; BARBOSA, F.F. **Curso de atualização em nematologia**, [S. l.]:ed, p. 143, 2013. (CD-ROM).

SANTOS, P.S. **Aplicação em sulco de nematicidas em soja**. 2015, 52 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Santa Maria, 2015.

SANTOS, T.F.S. et al. Reprodução de *Pratylenchus brachyurus* em diferentes níveis de inoculo e tempo de avaliação em três cultivares de soja. **Nematropica**, v. 45, n. 1, p.43-50, 2015.

SBN. Sociedade Brasileira de nematologia. **Danos na produção de soja causados pelos nematoides**, 2017. Disponível em: < <https://nematologia.com.br/index.php>>. Acesso em: 12 Mar. 2021.

SHAH, M.M.; MAHAMOOD, M. **Nematology: concepts, diagnosis and control**. London: Editora Intech, 2017. 194 p.

SIDDIQUI, Y.; ALI, A.; NAIDU, Y. Histopathological changes induced by *Meloidogyne incognita* in some ornamental plants. **Crop Protection**, v.65, p.216-220, 2014.

SILVA, J.F.V. et al. Relações parasito-hospedeiro nas meloidoginoses da soja. **Sociedade Brasileira de Nematologia**, p.15-115, 2001.

SILVA, J.G.P. et al. Occurrence of *Meloidogyne* spp. in Cerrado Vegetations and Reaction of Native Plants to *Meloidogyne javanica*. **Journal of Phytopathology**, v.162, n.7-8, p.449-455, 2014.

SILVA, M.S.L. **Principais doenças da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. 2019. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, 2019.

SILVA, R.G. Reação de genótipos de soja ao nematoide das lesões radiculares. **Enciclopédia biosfera**, v.11 n.22, p.2491-2497, 2015.

SOARES, P.L.M. **Estudo do controle biológico de nematoides com fungos nematófagos**. 2006. 252 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, FUNEP, Jaboticabal, 2006.

SOARES, A.F. **Produtos biológicos no manejo de *Heterodera glycines* na cultura da soja**, 2019, 48 f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia e Grãos). Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, Rio Verde, 2019.

SOUZA, R. A. et al. Avaliação qualitativa e quantitativa da microbiota do solo e da fixação biológica do nitrogênio pela soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.1, p.71-82, 2008.

SOUZA, T.L.P.O. Uso de marcadores moleculares no melhoramento de plantas para resistência a nematoides. In: XXXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA. Caldas Novas. **Resumos** [...], 2019. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/198195/1/CNPAF-2019-cbnts.pdf>>. Acesso em: 12 Fev, 2021.

STANGARLIN, J.R. et al. A defesa vegetal contra fitopatógenos. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.10, n.1, p.18-46, 2011.

STARR, J.K. et al. The future of nematode management in cotton. **Journal of nematology**, v.39, n.4, p.283-294, 2007.

TIHOHOD, D. **Nematologia agrícola aplicada**. 2 ed. Jaboticabal: FUNEP, 2001. 473 p.

VAZ, M. V. et al. Controle biológico de *Meloidogyne javanica* e *Meloidogyne incognita* com *Bacillus subtilis*. **Perquirere**, v.8, p.203-212, 2011.

XIANG, N. et al. Biological control of *Heterodera glycines* by spore-forming plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on soybean. **Plos One**, v.12, n.7, p.181-201, 2017.

ZHAO, J. et al. Biocontrol potential of *Microbacterium maritopicum* Sneb159 against *Heterodera glycines*. **Pest Manag Science**, v.75, n.12, p.3381-3391, 2019.