



**VITOR PEREIRA DE SOUSA**

**SENSIBILIDADE DE DIFERENTES POPULAÇÕES  
BRASILEIRAS DE *Meloidogyne incognita* A NOVAS  
MOLÉCULAS NEMATICIDAS**

**LAVRAS-MG**

**2025**

**VITOR PEREIRA DE SOUSA**

**SENSIBILIDADE DE DIFERENTES POPULAÇÕES  
BRASILEIRAS DE *Meloidogyne incognita* A NOVAS  
MOLÉCULAS NEMATICIDAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitopatologia, área de concentração em Fitopatologia, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Willian César Terra

Orientador

**LAVRAS-MG**

**2025**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração  
de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados  
informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Sousa, Vitor Pereira.  
Sensibilidade de diferentes populações brasileiras de  
*Meloidogyne incognita* a novas moléculas nematicidas / Vitor Pereira de  
Sousa. - 2025.  
78 p. : il.

Orientador: Willian César Terra

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal de Lavras,  
2025. Bibliografia.

1. Nematicida. 2. Nematóide das galhas. 3. Controle químico. I. César Terra,  
Willian. II. Universidade Federal de Lavras. III. Título.

**VITOR PEREIRA DE SOUSA**

**SENSIBILIDADE DE DIFERENTES POPULAÇÕES BRASILEIRAS DE *Meloidogyne incognita* A NOVAS MOLÉCULAS NEMATICIDAS**

**SENSITIVITY OF DIFFERENT BRAZILIAN POPULATIONS OF *Meloidogyne incognita* TO NEW NEMATICIDE MOLECULES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitopatologia, área de concentração em Fitopatologia, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADO em 04 de julho de 2025.

Dr. Eduardo Alves, UFLA

Dr. Jorge Teodoro de Souza, UFLA

Dra. Bárbara Joana dos Reis Fatobene, EPAMIG

Prof. Dr. Willian César Terra

Orientador

**LAVRAS-MG  
2025**

## AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Jesus Cristo, que sempre esteve comigo em todos os momentos da minha vida, dando-me forças para continuar a caminhada, agradeço a Ele pelo dom da vida, pela saúde, e pela força de trilhar mesmo diante de dificuldades.

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Fitopatologia, pela oportunidade da minha formação.

Em especial, ao Professor Dr. Willian César Terra, pela orientação, dedicação e acompanhamento, pela disponibilidade e generosidade demonstradas ao longo destes anos de trabalho. Meus sinceros agradecimentos.

Sou extremamente grato a minha avó/mãe Elza Vieira de Sousa, pela dedicação, empenho e companheirismo, não medindo esforços para me auxiliar. Sempre esteve ao meu lado, me apoiando de inúmeras maneiras. Agradeço também ao meu avô (*in memoriam*) Joaquim Pereira de Sousa, pelos valores e ensinamentos que me proporcionou.

Aos colegas e técnicos do Laboratório de Nematologia, pela parceria, companheirismo e aprendizado, em especial, a Dra. Bárbara Fatobene.

Aos colegas do laboratório de Produtos naturais, em especial pelo Dr. Geraldo Hodela, pela parceria e companheirismo.

Aos amigos: Taison Souto, Héldjane Andrade, Kelly Celestino, Joan Franco, Daniel Brito e Jovana Oliveira, que mesmo distante sempre estiverem ao meu lado. Obrigado!

Aos irmãos em Cristo da Primeira Igreja Batista de Lavras, pelo acolhimento, apoio, comunhão e carinho.

Meus agradecimentos se estendem a todos os professores do DFP, por proporcionarem ambiente de trabalho de tranquilidade. Aprendi muito com vocês.

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

A todos que, embora não mencionados, de alguma forma contribuíram para o êxito deste trabalho.

MUITO OBRIGADO!

## RESUMO

Na literatura são encontrados relatos de sensibilidade diferenciada de populações de *Meloidogyne incognita* a nematicidas químicos. Diante disso, o objetivo desse trabalho foi avaliar a sensibilidade de diferentes populações brasileiras de *M. incognita* aos nematicidas ciclobutrifluram, fluazaindolizina, fluensulfona e fluopiram. Onze populações de *M. incognita* provenientes de diferentes regiões do Brasil foram utilizadas. Para determinar a concentração letal (CL<sub>50</sub>), cinco concentrações diferentes foram testadas para cada molécula e para o controle positivo, carbofurano. Nas cavidades de placa de polipropileno com 96 poços, foram adicionados 20 µL de uma suspensão aquosa contendo aproximadamente 20 J2 de *M. incognita* e 100 µL da solução das moléculas diluídas com solução aquosa de Tween® 80 (0,01%) + DMSO 1,8% (v/v) (1,5% (v/v)). Em seguida, as placas foram mantidas em incubadora a ±28 °C por 48 horas. Após o período de exposição, avaliou-se a imotilidade e da mortalidade dos J2. O ensaio foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições, sendo cada molécula avaliada de forma individual. Para o teste de eclosão, nas cavidades de placa de polipropileno com 96 poços, foram adicionados 20 µL de uma suspensão aquosa contendo aproximadamente 100 ovos de *M. incognita* e 100 µL da solução das moléculas diluídas de ciclobutrifluram, fluensulfona, fluopiram ou carbofurano. Água destilada foi utilizada como controle negativo. As placas foram mantidas em incubadora a ±28 °C por 72 h. Após este período de exposição, as moléculas foram removidas e foi adicionada água destilada. A eclosão dos ovos foi avaliada de forma acumulativa, durante um período de 14 dias. O ensaio foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições, sendo cada molécula avaliada de forma individual. A população UFLA01 obtida da Bahia foi a mais sensível à fluensulfona com CL<sub>50</sub> igual a 45,168 e 41,312 µg/ml. Por outro lado, a população UFLA09 obtida do Tocantins apresentou menor sensibilidade à fluensulfona com CL<sub>50</sub> igual 172,908 e 213,808 µg/ml. A população UFLA08 e UFLA06 foram as mais sensíveis e menos sensíveis ao fluopiram e ao ciclobutrifluram. Para o nematicida fluazaindolizina, UFLA01 foi a população mais sensível, enquanto UFLA08 foi a menos sensível. Fluensulfona e fluopiram atuaram como bons ovicidas, reduzindo a eclosão em todas as populações. Ciclobutrifluram teve ação ovicida eficaz na maior concentração. Diferentes populações de *M. incognita* apresentam diferentes graus de sensibilidade às novas moléculas nematicidas.

Palavras-chave: Nematicida. Nematóide das galhas. Controle químico.

## ABSTRACT

The literature contains reports of varying sensitivity of *Meloidogyne incognita* populations to chemical nematicides. Given this, the objective of this study was to evaluate the sensitivity of different Brazilian populations of *M. incognita* to the nematicides cyclobutrifluram, fluazaindolizine, fluensulfone, and fluopyram. Eleven populations of *M. incognita* from different regions of Brazil were used. To determine the lethal concentration (LC<sub>50</sub>), five different concentrations were tested for each molecule and for the positive control, carbofuran. In the wells of a 96-well polypropylene plate, 20 µL of an aqueous suspension containing approximately 20 J2 of *M. incognita* and 100 µL of the solution of the molecules diluted with an aqueous solution of Tween® 80 (0.01%) + DMSO 1.8% (v/v) (1.5% (v/v)) were added to the wells of a 96-well polypropylene plate. The plates were then kept in an incubator at ±28 °C for 48 hours. After the exposure period, the mobility and mortality of J2 were evaluated. The test was performed in a completely randomized design, with five replicates, each molecule being evaluated individually. For the hatching test, 20 µL of an aqueous suspension containing approximately 100 *M. incognita* eggs and 100 µL of the diluted solution of cyclobutrifluram, fluensulfone, fluopyram, or carbofuran molecules were added to the wells of a 96-well polypropylene plate. Distilled water was used as a negative control. The plates were kept in an incubator at ±28 °C for 72 h. After this exposure period, the molecules were removed and distilled water was added. Egg hatching was evaluated cumulatively over a period of 14 days. The test was performed in a completely randomized design, with five replicates, each molecule being evaluated individually. The UFLA01 population obtained from Bahia was the most sensitive to fluensulfone, with LC<sub>50</sub> values of 45.168 and 41.312 µg/ml. On the other hand, the UFLA09 population obtained from Tocantins showed lower sensitivity to fluensulfone, with LC<sub>50</sub> values of 172.908 and 213.808 µg/ml. The UFLA08 and UFLA06 populations were the most sensitive and least sensitive to fluopyram and cyclobutrifluram. For the nematicide fluazaindolizine, UFLA01 was the most sensitive population, while UFLA08 was the least sensitive. Fluensulfone and fluopyram acted as good ovicides, reducing hatching in all populations. Cyclobutrifluram had effective ovicidal action at the highest concentration. Different populations of *M. incognita* show different degrees of sensitivity to the new nematicide molecules.

Keywords: Nematicide. Root-knot nematode. Chemical control.

## INDICADORES DE IMPACTO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a sensibilidade de diferentes populações brasileiras de *Meloidogyne incognita* a nematicidas da terceira geração, visando subsidiar estratégias mais eficazes e sustentáveis de manejo de fitonematoides. Foram testadas onze populações provenientes de diversas regiões do Brasil, revelando variações significativas na sensibilidade às moléculas entre as populações avaliadas. Esses resultados possuem impactos tecnológicos concretos ao fornecer dados que orientam o uso racional de nematicidas, promovendo maior eficiência no controle de *M. incognita*, o que contribui diretamente para a preservação ambiental e saúde humana. Os impactos econômicos são potenciais, ao possibilitar aumento da produtividade agrícola e redução de perdas causadas por nematoides, especialmente em culturas de alto valor econômico. O caráter extensionista do trabalho é evidenciado pela aplicabilidade direta dos resultados para produtores rurais, técnicos agrícolas e empresas do setor agroquímico. Espera-se que os resultados possam beneficiar diretamente os produtores e técnicos, além de envolver docentes, estudantes e técnicos da UFLA na condução dos experimentos. O trabalho se insere nas áreas temáticas de tecnologia e produção, meio ambiente e saúde, conforme a Política Nacional de Extensão, e está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, especialmente os ODS 2 (fome zero e agricultura sustentável), 12 (consumo e produção responsáveis) e 15 (vida terrestre), contribuindo para o cumprimento da Agenda 2030 no Brasil. Ao identificar a variabilidade populacional na resposta aos nematicidas, o estudo reforça a importância da pesquisa científica aplicada como ferramenta de transformação social, econômica e ambiental, promovendo inovação e sustentabilidade no setor agrícola nacional.

## IMPACT INDICATORS

The objective of this study was to evaluate the sensitivity of different Brazilian populations of *Meloidogyne incognita* to third-generation nematicides, with a view to supporting more effective and sustainable strategies for phytonematode management. Eleven populations from different regions of Brazil were tested, revealing significant variations in sensitivity to the molecules among the populations evaluated. These results have concrete technological impacts by providing data that guide the rational use of nematicides, promoting greater efficiency in the control of *M. incognita*, which directly contributes to environmental preservation and human health. The economic impacts are potential, as they enable increased agricultural productivity and reduced losses caused by nematodes, especially in crops of high economic value. The extensionist nature of the work is evidenced by the direct applicability of the results to rural producers, agricultural technicians, and companies in the agrochemical sector. It is expected that the results will directly benefit producers and technicians, in addition to involving UFLA faculty, students, and technicians in conducting the experiments. The work falls within the thematic areas of technology and production, environment, and health, in accordance with the National Extension Policy, and is aligned with the UN Sustainable Development Goals, especially SDG 2 (zero hunger and sustainable agriculture), SDG 12 (responsible consumption and production), and SDG 15 (life on land), contributing to the fulfillment of the 2030 Agenda in Brazil. By identifying population variability in response to nematicides, the study reinforces the importance of applied scientific research as a tool for social, economic, and environmental transformation, promoting innovation and sustainability in the national agricultural sector.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação química do ciclobutrifluram. ....	21
Figura 2 - Representação química da fluazaindolizina. ....	23
Figura 3 - Representação química da fluensulfona. ....	24
Figura 4 - Representação da estrutura química do fluopiram. ....	26
Figura 5 - Descrição das concentrações das moléculas nematicidas de ciclobutrifluram, fluensulfona, fluopiram, fluazaindolizina e carbofurano. ....	33
Figura 6 - Padrão perineal das onze populações brasileiras de <i>Meloidogyne incognita</i> . ...	36
Figura 7 - Padrão de eletroforese de isoenzima das onze populações brasileiras de <i>Meloidogyne incognita</i> e <i>Meloidogyne javanica</i> . ....	37
Figura 8 - Amplificação do primer SCAR-coffee (Inc-K14-R e Inc-K14-F) com tamanho dos fragmentos de aproximadamente 399 pb para as onze populações brasileiras de <i>Meloidogyne incognita</i> . ....	38
Figura 9 - Porcentagem de mortalidade das populações UFLA01 e UFLA09 de <i>Meloidogyne incognita</i> quando expostas a cinco concentrações de fluensulfona por um período de 48h. Figura 9 A e 9 B, correspondem ao primeiro e segundo ensaio, respectivamente. ....	40
Figura 10 - Porcentagem de mortalidade das populações UFLA06 e UFLA08 de <i>Meloidogyne incognita</i> , quando expostas a cinco concentrações de fluopiram, por período de 48h. Figura 10 A e 10 B, correspondem ao primeiro e segundo ensaio, respectivamente. ....	42
Figura 11 - Porcentagem de mortalidade das populações UFLA06 e UFLA08 de <i>Meloidogyne incognita</i> quando expostas a cinco concentrações de ciclobutrifluram. Figura 11 A e 11 B, correspondem ao primeiro e segundo ensaio, respectivamente. ....	44
Figura 12 - Porcentagem de mortalidade das populações UFLA01 e UFLA08 de <i>Meloidogyne incognita</i> expostas, por 48 horas, a cinco concentrações de fluazaindolizina. Figura 12 A e 12 B, correspondem ao primeiro e segundo ensaio, respectivamente. ....	46
Figura 13 - Porcentagem de mortalidade das populações UFLA02 e UFLA07 de <i>Meloidogyne incognita</i> após exposição por 48 h a cinco concentrações do nematicida carbofurano. Figura 13 A e 13 B, correspondem ao primeiro e segundo ensaio, respectivamente. ....	48

Figura 14 - Imotilidade das onze populações de <i>Meloidogyne incognita</i> a molécula nematocida fluensulfona. ....	49
Figura 15 - Imotilidade das onze populações de <i>Meloidogyne incognita</i> a molécula nematocida fluopiram. ....	50
Figura 16 - Imotilidade das onze populações de <i>Meloidogyne incognita</i> a molécula nematocida ciclobutrifluram. ....	50
Figura 17 - Imotilidade das onze populações de <i>Meloidogyne incognita</i> a molécula nematocida fluazaindolizina. ....	51
Figura 18 - Imotilidade das onze populações de <i>Meloidogyne incognita</i> a molécula nematocida carbofurano. ....	52
Figura 19 - Número de juvenis de segundo estágio de <i>Meloidogyne incognita</i> eclodidos após exposição a molécula nematocida ciclobutrifluram. ....	53
Figura 20 - Número de juvenis de segundo estágio de <i>Meloidogyne incognita</i> eclodidos após exposição a molécula nematocida fluensulfona. ....	54
Figura 21 - Número de juvenis de segundo estágio de <i>Meloidogyne incognita</i> eclodidos após exposição a molécula nematocida fluopiram. ....	55
Figura 22 - Número de juvenis de segundo estágio de <i>Meloidogyne incognita</i> eclodidos após exposição a molécula nematocida carbofurano. ....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Local de origem e cultura hospedeira das diferentes populações brasileiras de <i>Meloidogyne incognita</i> . .....	30
Tabela 2 - Sequência dos primers SCAR-coffee (Inc-K14-R e Inc-K14-F) específicos para <i>Meloidogyne incognita</i> . .....	32
Tabela 3 - Condições de amplificação para o conjunto de primers SCAR-coffee (Inc-K14-R e Inc-K14-F) específicos para <i>Meloidogyne incognita</i> . .....	33
Tabela 4 - Concentração letal (CL <sub>50</sub> ) do nematicida fluensulfona que resultou na morte de 50% dos juvenis de segundo estágio das onze populações brasileiras de <i>Meloidogyne incognita</i> . .....	39
Tabela 5 - Concentração letal (CL <sub>50</sub> ) do nematicida fluopiram que resultou na morte de 50% dos juvenis de segundo estágio das onze populações brasileiras de <i>Meloidogyne incognita</i> . .....	41
Tabela 6 - Concentração letal (CL <sub>50</sub> ) do nematicida ciclobutrifluram que resultou na morte de 50% dos juvenis de segundo estágio das onze populações brasileiras de <i>Meloidogyne incognita</i> . .....	43
Tabela 7 - Concentração letal (CL <sub>50</sub> ) do nematicida fluazaindolizina que resultou na morte de 50% dos juvenis de segundo estágio das onze populações brasileiras de <i>Meloidogyne incognita</i> . .....	45
Tabela 8 - Concentração letal (CL <sub>50</sub> ) do nematicida carbofurano que resultou na morte de 50% dos juvenis de segundo estágio das onze populações brasileiras de <i>Meloidogyne incognita</i> . .....	47

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2 HIPÓTESE</b> .....	15
<b>3 OBJETIVO GERAL</b> .....	15
3.1 Objetivos específicos .....	15
<b>4 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	16
4.1 Nematoides das galhas ( <i>Meloidogyne</i> spp.).....	16
4.2 Manejo de fitonematoides .....	18
4.3 Controle químico .....	18
4.4 Ciclobutrifluram .....	20
4.5 Fluazaindolizina .....	22
4.6 Fluensulfona .....	24
4.7 Fluopiram .....	25
4.8 Sensibilidade de diferentes populações de <i>M. incognita</i> aos nematicidas .....	27
<b>5 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	29
5.1 Manutenção e multiplicação das onze populações brasileiras de <i>M. incognita</i> .....	29
5.2 Identificação de espécies pelo padrão perineal de fêmeas (HARTMAN; .....	
SASSER, 1985) .....	30
5.3 Caracterização de isoenzimas das 11 populações brasileiras de <i>Meloidogyne</i> .....	
<i>incognita</i> .....	31
5.4 Caracterização molecular .....	31
5.5 Preparo das moléculas .....	33
5.6 Determinação da concentração letal capaz de matar 50% (CL <sub>50</sub> ) da população ..	
de <i>Meloidogyne incognita</i> .....	33
5.7 Efeito <i>in vitro</i> sobre a eclosão de J2 das onze populações de <i>M. incognita</i> ....	34
5.8 Análise estatística .....	35
<b>6 RESULTADOS</b> .....	35
6.1 Identificação morfológica, enzimática e molecular de onze populações de .....	
<i>Meloidogyne</i> spp., mantidas em casa de vegetação. ....	35
6.2 Concentração letal capaz de matar 50% (CL <sub>50</sub> ) da população de <i>Meloidogyne</i> ..	
<i>incognita</i> .....	38
6.3 Imotilidade de juvenis do segundo estágio de <i>Meloidogyne incognita</i> das .....	
diferentes populações após exposição aos nematicidas .....	48

6.4 Eclosão de juvenis do segundo estágio de <i>M. incognita</i> das diferentes populações após exposição aos nematicidas .....	52
<b>7 DISCUSSÃO</b> .....	56
<b>8 CONCLUSÕES</b> .....	65
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	65

## 1 INTRODUÇÃO

Os danos causados pelo parasitismo dos fitonematoides representam um importante entrave a produção agrícola sustentável (SIKORA *et al.*, 2018). Estima-se que este grupo de fitopatógeno reduza em até 10% da produção agrícola mundial, causando perdas econômicas estimadas em mais de 125 bilhões de dólares por ano (SIKORA; MOLENDIJK; DESAEGER, 2022). Mais de 4.000 espécies de fitonematoides foram descritas. Contudo, apenas uma pequena porção delas tem importância relevante para a agricultura (DECRAEMER; HUNT, 2006).

Os nematoide das galhas, gênero *Meloidogyne* spp., são considerados o principal grupo de fitonematoides, sendo responsáveis pelas maiores perdas econômicas (LONG *et al.*, 2023). Este fato se deve a ampla distribuição geográfica destes patógenos radiculares, aliada a sua extensa gama de espécies vegetais hospedeiras (MOENS; PERRY; STARR, 2010). Dentre os nematoides das galhas, *Meloidogyne incognita* é a espécie de maior relevância econômica (JONES *et al.*, 2013).

O controle dos nematoides das galhas é uma tarefa desafiadora, dado que requer ações integradas de manejo, como a rotação de culturas, medidas de exclusão, controle físico, genético, biológico e químico (INOMOTO; SIQUEIRA; MACHADO, 2011; CORTE *et al.*, 2014; CORREIA *et al.*, 2017). Ao longo dos últimos cem anos, o emprego de nematicidas químicos tem se mostrado uma ferramenta eficiente no controle de fitonematoides (TAYLOR, 2003). Contudo, nos últimos vinte anos, gradativamente, os nematicidas químicos mais eficientes presentes no mercado, como brometo de metila, aldicarb, carbofurano foram retirados do comércio (MARTIN, 2003; ZASADA *et al.*, 2010; WRAM; ZASADA, 2019). Esta situação criou uma lacuna nas opções de manejo dos fitonematoides e incentivou as grandes multinacionais do setor de defensivos agrícolas a direcionarem esforços na busca por novas moléculas com ação nematicida.

A última década vai ficar marcada na Nematologia Agrícola pelo lançamento dos nematicidas chamados de terceira geração que tem como características serem não fumigantes, seletivos e de baixa toxicidade a organismos não alvo. Entre os novos nematicidas temos o ciclobutrifluram (Tymirium<sup>®</sup>), fluensulfona (Nimitz<sup>®</sup>), fluopiram (Verango<sup>®</sup>) e a fluazaindolizina (Salibro<sup>®</sup>) (WATSON; DESAEGER, 2019).

Com a disponibilidade desses novos nematicidas, os produtores passaram a ter uma nova ferramenta à disposição para o controle de fitonematoides. Entretanto, apesar de resultados promissores, estudos recentes têm evidenciado que diferentes populações de *M. incognita* tem

apresentado diferenças na sensibilidade a estas novas moléculas. Em Israel, por exemplo, populações de *M. incognita* apresentaram entre si diferença de até 10 vezes na sensibilidade ao nematicida fluensulfona (OKA; SORAYA, 2019). No Japão, duas populações de *M. incognita* apresentaram diferenças entre si de até 200 vezes na sensibilidade ao fluopiram (FUJIKAWA; PERRY; TOYOTA, 2024).

Essa variação na sensibilidade intraespecífica, pode em parte explicar resultados contraditórios obtidos no controle de *M. incognita* observados em experimentos a campo e em *in vitro* com estes novos nematicidas (DESAEGER; WRAM; ZASADA, 2020). Embora, esses resultados já sejam conhecidos em alguns países, no Brasil, ainda não foi realizado, até o momento, nenhum trabalho visando avaliar e esclarecer o comportamento das diferentes populações brasileiras de *M. incognita* expostas às substâncias nematicidas da terceira geração.

Levando em consideração a importância da produção agrícola no Brasil, a ocorrência endêmica de *M. incognita* nas diferentes áreas agrícolas do país e as elevadas perdas por ele causadas, faz-se necessário a avaliação da sensibilidade de diferentes populações brasileiras de *M. incognita* às substâncias nematicidas da terceira geração presentes no mercado mundial.

## **2 HIPÓTESE**

As populações brasileiras de *Meloidogyne incognita* diferem entre si em relação a sensibilidade às substâncias nematicidas Ciclobutrifluran, Fluazaindolizina, Fluensulfona, Fluopiram e Carbofurano.

## **3 OBJETIVO GERAL**

Avaliar a sensibilidade de diferentes populações brasileiras de *Meloidogyne incognita* aos nematicidas Ciclobutrifluran, Fluazaindolizina, Fluensulfona e Fluopiram e ao nematicida de segunda geração carbofurano.

### **3.1 Objetivos específicos**

I. Determinar a dose letal de ciclobutrifluran, fluensulfona, fluopiram fluazaindolizina e

carbofurano capaz de matar 50% da população de juvenis do segundo estágio (J2) de *Meloidogyne incognita* de cada uma das onze diferentes populações de *M. incognita* do Brasil;

II. Avaliar o efeito do ciclobutrifluram, fluensulfona, fluopiram e carbofurano na eclosão de juvenis de segundo estágio (J2) em cada uma das onze diferentes populações de *M. incognita* do Brasil;

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 Nematoides das galhas (*Meloidogyne* spp.)

Os nematoides são animais, em sua maioria são de tamanho microscópico, que apresentam corpo cilíndrico, filiforme, com sistema digestório completo, podendo ser encontrados em diferentes ambientes (FERRAZ; BROWN, 2016). Este grupo apresenta diferentes estilos de vida, algumas espécies são de vida-livre, alimentando-se de bactérias e fungos, enquanto outras se associam a um hospedeiro, passando a ser parasitas tanto de outros animais como das plantas, sendo estes últimos denominados de fitonematoides (FERRAZ; BROWN, 2016; GONZAGA; JESUS, 2019). Em torno de 4.100 espécies de nematoides foram caracterizadas como fitoparasitas (DECRAEMER; HUNT, 2006).

*Meloidogyne* spp. conhecido como nematoide das galhas é o principal gênero de fitonematoides de importância agrícola no mundo, responsável por ocasionar perdas significativas na agricultura (YANG *et al.*, 2022). Os nematoides deste gênero caracterizam-se por serem parasitas biotróficos, endoparasitas sedentários, com algumas espécies polípagas, parasitando uma ampla gama de espécies de diferentes famílias botânicas, com populações abundantes no campo que podem se desenvolver rapidamente sob condições apropriadas (CÁLDERON-URREA *et al.*, 2016). O principal sintoma de *Meloidogyne* nas plantas suscetíveis é a formação de galhas radiculares, que consistem no engrossamento das raízes (PALOMARES-RIUS *et al.*, 2017). Conforme Hunt e Handoo (2009), o gênero *Meloidogyne* é composto por mais de 100 espécies. De acordo com Carneiro *et al.* (2016), no Brasil, mais de 20 espécies já foram confirmadas.

Dentre as inúmeras espécies de nematoide das galhas, *M. incognita* é considerada a mais importante e prejudicial, devido a sua elevada disseminação, aliada a sua alta agressividade e ampla gama de hospedeiros (TRUDGILL; BLOK, 2001). Mais de 3.000 espécies vegetais

podem ser parasitadas por *M. incognita* (LOPES; FERRAZ, 2016). *M. incognita* apresenta um conjunto único de genes que reduzem a imunidade e os mecanismos de defesa das plantas, contribuindo para a sua sobrevivência no interior do hospedeiro (ABAD *et al.*, 2008). O ciclo de vida desse fitonematoide é constituído por seis estádios: ovo, juvenil de primeiro estágio (J1), juvenil de segundo estágio (J2), juvenil de terceiro estágio (J3), juvenil de quarto estágio (J4), e adultos (macho e fêmea) (CHOI *et al.*, 2017).

Na fase de ovo, inicia-se o desenvolvimento embrionário, formando o J1, este permanece no interior do ovo, e logo após um processo de ecdise (troca de cutícula) forma-se o J2. O J2 eclode do ovo, sendo este o único estágio de vida infectivo dos nematoides das galhas (FERRAZ; BROWN, 2016). Após a eclosão, os J2s são atraídos por estímulos químicos derivados dos exsudados liberados pelas pontas das raízes, para encontrar o hospedeiro (OOTA *et al.*, 2020). Ao encontrarem o hospedeiro, o J2 inicia o processo de penetração, sendo que este é realizado por meio do estilete canaliculado, por meio do qual secreta enzimas celulolíticas e pectolíticas produzidas nas glândulas esofagianas que degradam a parede celular vegetal (ABAD *et al.*, 2003; JONES *et al.*, 2013). A penetração ocorre na zona de crescimento do sistema radicular, onde o juvenil move-se via intercelular em direção a região do cilindro central (CAILLAUD *et al.*, 2008). Após alcançar o cilindro central, o J2 inicia a formação do sítio de alimentação, composto por quatro a seis células do parênquima denominadas células gigantes, originárias da rediferenciação celular (SUBEDI; THAPA; SHRESTHA, 2020). Essa mudança é o resultado da ativação de genes da planta e da reativação do ciclo celular, induzida por secreções do nematoide. Essas células sofrem sucessivas divisões nucleares sem ocorrência de citocinese, tornando-se poliplóides, podendo cada uma conter até 100 núcleos. Juntamente com a formação desse sítio de alimentação, as células do córtex, adjacentes as células gigantes, sofrem um processo de hiperplasia (ABAD *et al.*, 2003). O sítio de alimentação desvia o fluxo de nutrientes provenientes do floema e de água via xilema para alimentar o nematoide (NOE, 2007). O J2 após a indução do sítio de alimentação mostra-se gradualmente mais robusto com corpo salsichóide e fica imóvel tornando-se sedentário. O J2 com o corpo bem desenvolvido sofrerá a 2º ecdise passando a juvenil de terceiro estágio (J3) e logo em seguida sofrerá a 3º ecdise passando a J4. Após a 4º ecdise forma-se o adulto, as fêmeas permanecem sedentárias, enquanto os machos se tornam vermiformes e deixam a raiz da planta. As fêmeas sedentárias, continuam a se alimentar e produzem centenas de ovos, na superfície ou no interior da raiz em uma massa gelatinosa que os protege (PAPADOPOULOU; TRIANTAPHYLLOU, 1982).

O ciclo de vida de *M. incognita*, geralmente tem duração de 4 a 6 semanas (30 dias

aproximadamente), podendo variar dependendo das condições externas (KUMARI; KANWAR; KUMAR, 2018). A temperatura ideal para o desenvolvimento do ciclo de vida dessa espécie é em torno de 25 a 30 °C, com um acúmulo de graus-dias em torno de 400 a 500 (GINÉ; MONTFORT; SORRIBAS, 2021).

## **4.2 Manejo de fitonematoides**

Mesmo diante aos avanços tecnológicos empregados na agricultura, estima-se que de 5 a 10% da produção agrícola é perdida devido aos fitonematoides (MITIKU, 2018). Conforme Abad et al. (2008) as perdas econômicas ocasionadas por fitonematoides podem ultrapassar centenas de bilhões de dólares por ano. O manejo de fitonematoides é de modo geral difícil, especialmente do gênero *Meloidogyne* spp. (VANEGAS *et al.*, 2022). Ribeiro et al. (2019) ressaltam que as dificuldades no controle desses patógenos se devem ao fato do seu curto ciclo de vida, aliada à sua rápida e elevada multiplicação, tendo diversos ciclos reprodutivos em uma única safra. Diante disso, medidas de controle desses patógenos são fundamentais visando alta produtividade e com qualidade. O manejo de nematoides fitoparasitas é definido como uma prática através da qual a população desses é mantida a níveis que não causem perdas econômicas, ou seja, manter a população abaixo do nível de dano econômico (SINGH, 2019). Assim sendo, diferentes estratégias de manejo podem ser empregadas no controle dos nematoide das galhas. Dentre os principais métodos destacam-se: controle genético, controle cultural, controle físico, biológico e químico (TEJO; FERNANDES; BURATTO, 2020).

## **4.3 Controle químico**

A utilização de nematicidas químicos é indicada como um dos métodos de manejo mais eficazes no controle de fitonematoides (CHEN; LI; SONG, 2020). O objetivo da utilização de produtos químicos é reduzir os danos causados pelos fitonematoides e assim aumentar a produtividade. O emprego de moléculas químicas na agricultura visando o controle de fitonematoides, tem seu primeiro relato ainda no século XIX, com a utilização do dissulfureto de carbono (RICH; DUNN; NOLING, 2003 citado por EBONE; KOVALESKI; DEUNER, 2019).

Os nematicidas podem ser classificados em duas categorias distintas, de acordo com sua dispersão no solo: fumigantes e não fumigantes. Os nematicidas fumigantes caracterizam-se por serem comercializados em formulações líquidas que são vaporizadas após a aplicação, se

dispersando pelos poros do solo (MACHADO, 2016). Historicamente, a utilização em larga escala, dos primeiros produtos nematicidas fumigantes está relacionada a Primeira Guerra Mundial (1914-1919), dado que ao fim desta, existia inúmeros estoques de armamentos químicos, como a cloropicrina. Este excedente militar então começou a ser testados para o controle de fungos, nematoides e bactérias na Inglaterra (TAYLOR, 2003).

Posteriormente, na década de 1940, novos nematicidas fumigantes foram descobertos, como, o 1,3-dicloropropeno, 1,2-dicloropropano, dibrometo de etileno, 1,2-dibromo-3-cloropropano e o brometo de metila (TAYLOR, 2003). Este último começou a ser introduzido nas lavouras dos Estados Unidos para o controle de patógenos de solo, e foi considerado um dos principais fumigantes de solo no manejo dos fitonematoides (ZASADA *et al.*, 2010). As principais características do brometo de metila consistem no seu largo espectro de controle, incluindo plantas daninhas, melhor eficácia em comparação a outros fumigantes e volatilidade (ZASADA *et al.*, 2010). Apesar dessas vantagens, este composto foi retirado do comércio internacional a partir 2005, pois foi classificado como uma substância que impacta na camada de ozono, além de ser potencialmente tóxico ao ser humano (SCHNEIDER *et al.*, 2003; EBONE; KOVALESKI; DEUNER, 2019).

Na década de 1960 buscava-se um nematicida curativo, ou seja, que pudesse ser aplicado com a planta vegetando no campo, a busca por esse novos grupo de moléculas nematicidas levou ao desenvolvimento dos nematicidas não fumigantes, com destaque para compostos classificados como organofosforados e carbamatos. Estes nematicidas caracterizam-se por serem menos tóxicos e sem fase de vapor, podendo serem produzidos sob a forma de grânulos ou líquido. O primeiro ingrediente ativo desses nematicidas não fumigantes foi o O-2,4-diclorofenil,O-dietil fosforotioato (EBONE; KOVALESKI; DEUNER, 2019). Os nematicidas organofosforados e carbamatos são solúveis em água e percolam-se no solo na solução aquosa, sendo assim distribuídos em profundidade, apresentam menor espectro de ação aos organismos presentes no solo, sendo menos fitotóxicos e mais eficientes em dosagens menores quando comparados com nematicidas fumigantes (SPURR, 1985). Os organofosforados e os carbamatos apresentam mecanismo de ação distinto dos fumigantes, visto que atuam na inibição da enzima acetilcolinesterase, causando a cessão de impulsos nervosos, e conseqüentemente a paralisia do nematoide (NASR, 2013). Além disso, pode ocasionar outros efeitos, tais como redução ou inibição da eclosão de juvenis, redução da mobilidade e atraso no processo de ecdise (MACHADO, 2016).

Assim como os nematicidas fumigantes de primeira geração, os nematicidas do grupo dos organofosforados e carbamatos foram retirados do comércio internacional ao longo dos

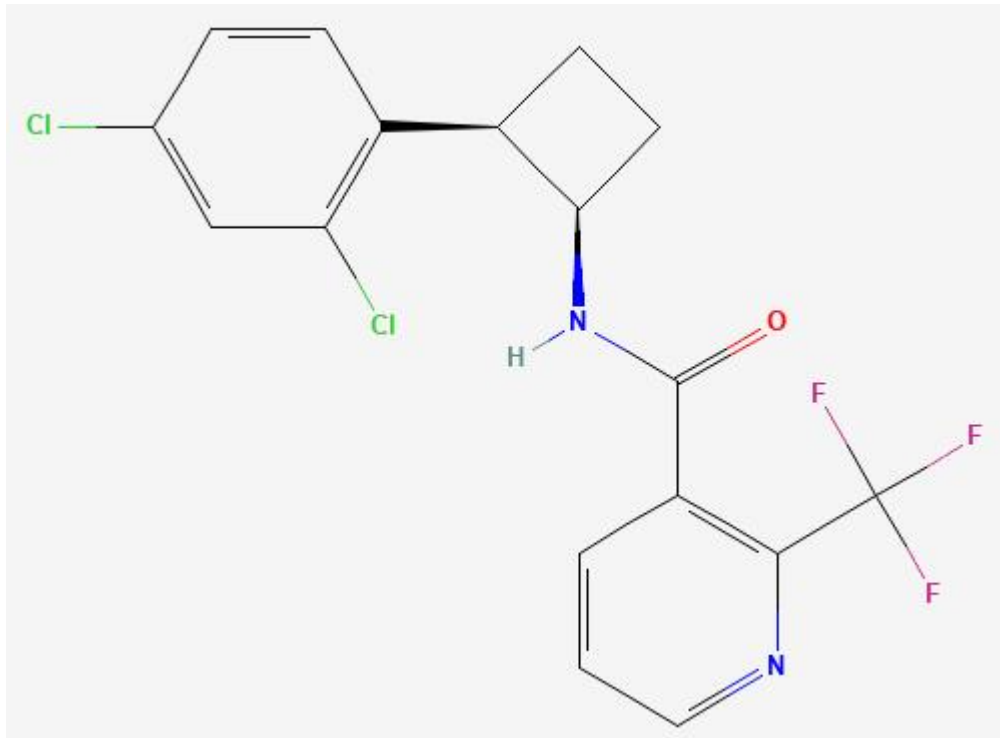
últimos 20 anos. A justificativa para este fato se deve aos vários casos de contaminação alimentar e do lençol freático relatados em áreas onde estes produtos foram aplicados (WANG *et al.*, 2023). Diante destas limitações e restrições na utilização de nematicidas, criou-se uma lacuna nas opções de controle químico de fitonematoides. Portanto, as companhias multinacionais foram motivadas a desenvolver novas moléculas para controlar os danos causados pelos nematoides na agricultura (CHITWOOD, 2002; DESAEGGER, 2020).

Do esforço da pesquisa desenvolvida pelas multinacionais em parceria com instituição públicas surgiu a terceira geração dos nematicidas químicos, que ficou marcada como o lançamento de um produto a base de fluensulfona em 2014 nos Estados Unidos. Desde então, três novos moléculas foram lançadas no mercado internacional sendo elas: ciclobutrifluram, fluazaindolizina, e o Fluopiram (DESAEGGER; WRAM; ZASADA, 2020; UMETSU; SHIRAI, 2020).

#### **4.4 Ciclobutrifluram**

O ciclobutrifluram [N-[(1R,2R)-2-(2,4-dichlorophenyl)cyclobutyl]-2-(trifluoromethyl)-3-pyridinecarboxamide] é o ingrediente ativo da nova tecnologia da Syngenta, TYMIRIUM® (Figura 1). Esta nova tecnologia pretende atuar no controle de fungos do solo e nematoides fitoparasitas em diferentes culturas agrícolas, por meio do tratamento de sementes ou aplicação no solo (BROWN; FASKE, 2024). O modo de ação dessa nova molécula é semelhante ao fluopiram, já que ambos interferem na cadeia de transporte de elétrons do sistema mitocondrial (complexo II) através da inibição da enzima succinato desidrogenase (SDHI) (HEYDARI *et al.* 2023; SUN *et al.*; 2024; LI *et al.*, 2024). Este produto teve seu primeiro registro para uso na Argentina em 2022 (Businesswire, 2022). No Brasil, ele encontra-se em processo de avaliação toxicológica e de registro a pedido da empresa multinacional Syngenta (CULTIVAR, 2022; 2024). A primeira patente reivindicada para o ciclobutrifluram foi publicada em 2013 (TSUKAMOTO *et al.*, 2021).

Figura 1 - Representação química do ciclobutrifluram.



Fonte: PubChem, (2025).

Na literatura ainda são poucos os trabalhos abordando o potencial nematicida do ciclobutrifluram nos nematoides de galhas. Wong e Quesada-Ocampo (2024) analisaram a sensibilidade de *M. incognita* raça 4, a quatro inibidores da succinato desidrogenase (SDHIs), entre eles o ciclobutrifluram. Os autores constataram que o ciclobutrifluram foi o SDHI mais eficaz na redução da eclosão e da imotilidade do juvenil de segundo estágio (J2) do fitonematoide. Conforme os autores, a concentração de 0,0018  $\mu\text{g/ml}$  foi suficiente para reduzir em 50% a eclosão dos J2, enquanto a concentração de 1,6  $\mu\text{g/ml}$  foi suficiente para imobilizar 50% dos juvenis.

Brown e Faske (2024) compararam a sensibilidade de *M. incognita* e *Rotylenchulus reniformis* ao ciclobutrifluram. De acordo com os autores, *M. incognita* foi mais sensível em comparação a *R. reniformis*, dado que a  $CL_{50}$  após 24 horas de exposição foi de 0,5  $\mu\text{g/ml}$  para *M. incognita* e 0,38  $\mu\text{g/ml}$  para *R. reniformis*. Além disso, os autores também ressaltam a atividade ovicida do ciclobutrifluram, já que concentrações de 1,00 e 10,00  $\mu\text{g/ml}$  foram suficientes para reduzir em mais de 50% a eclosão dos J2 de *M. incognita*.

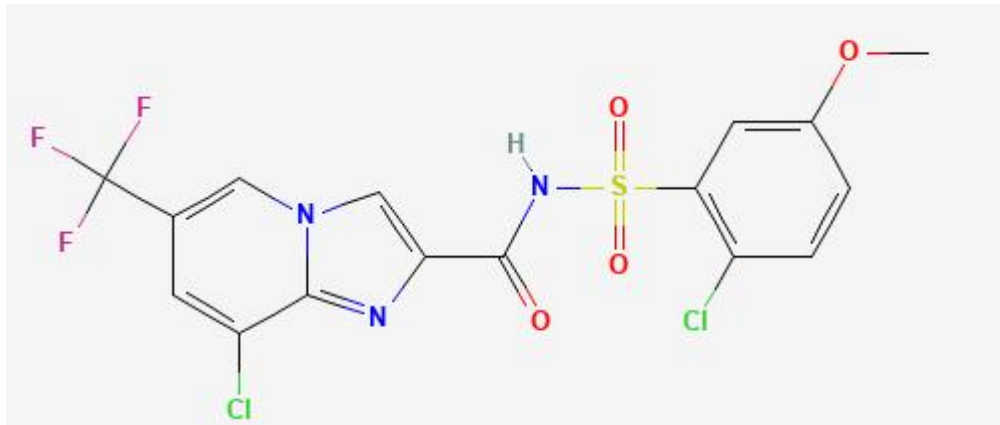
Heydari, Crespo e Wicky (2023) ressaltam que a  $CL_{50}$  do ciclobutrifluram foi de 0,026 mg/L, para *Caenorhabditis elegans*, sendo que é cerca de 10 vezes menor que a concentração letal ( $CL_{50}$ ) do fluopiram para essa espécie. Além disso, diferentes concentrações do produto

diminuíram a duração do ciclo de vida do nematoide. Ribeiro (2019) enfatiza que o tratamento de sementes de soja com ciclobutrifluram reduziu a população de *Pratylenchus brachyurus* e *Heterodera glycines* por grama de raiz, além de aumentar a produtividade. Tavares (2023) concluiu que o ciclobutrifluram afetou negativamente na reprodução de *M. javanica*, além de proporcionar menor penetração e reprodução de *Pratylenchus brachyurus* em soja.

#### 4.5 Fluazaindolizina

Salibro™ é um novo nematicida do grupo das sulfonamidas (8-cloro-N-(2-cloro-5-metoxibenzeno-1-sulfonil)-6-(trifluorometil)imidazo[1,2-a]piridina-2-carboxamida) que contém como princípio ativo a fluazaindolizina, produzida pela Corteva Agriscience™ (THODEN; PARDAVELLA; TZORTZAKAKIS, 2019) (Figura 2). Lahm et al. (2017) ao avaliarem mais de 40 compostos de imidazopiridina-2-carboxílica-N-(2-clorofenil) sulfonamidas, destacaram o grupo D25 (fluazaindolizina) entre os que apresentaram os melhores resultados. Os autores observaram que os J2 de *Meloidogyne incognita* tratados com fluazaindolizina nas concentrações de 5-50 mg/L apresentaram aumento da imobilidade e, morte entre 24-96 horas após a exposição. Por outro lado, adultos de *C. elegans* ao serem tratados com fluazaindolizina (300 mg/L) não apresentaram mortalidade ou efeito significativo na motilidade durante 120 horas. Outro ponto observado pelos autores foi que o ingrediente ao ser fornecido com a dieta para *Drosophila melanogaster* (mosca da fruta) não afetou o seu ciclo de vida (ovo até adulto). Essas características evidenciam a seletividade que a fluazaindolizina possui sobre outros organismos vivos e nematoides de vida livre (UMETSU; SHIRAI, 2020; LAHM et al., 2017).

Figura 2 - Representação química da fluazaindolizina.



Fonte: PubChem, (2025).

O seu modo de ação da fluazaindolizina sobre os nematoides das galhas até o momento é desconhecido. Contudo, alguns autores apontam como sendo um modo único entre os nematicidas, além de ter demonstrado considerável especificidade em relação aos nematoides parasitas de plantas (LAHM *et al.*, 2017; WU *et al.*, 2021). Quando o produto químico entra em contato com os nematoides, causa disfunção muscular, levando à paralisia e, eventualmente, à morte destes (Chen *et al.*, 2018). Esse novo nematicida começou a sua comercialização no Estados Unidos, México e Índia no final do ano de 2023, porém, no Canadá e na Austrália a sua comercialização já ocorre desde 2021, com previsão de expansão em relação ao registro do produto em outros países, como na União Europeia (CAPRIOTTI, 2023).

Nos trabalhos conduzidos por Wram e Zasada (2019), os autores observaram que a fluazaindolizina comportou-se como um verdadeiro nematicida contra *M. incognita*. Os autores verificaram que os J2 não conseguiram se recuperar após a exposição ao produto. No entanto, ainda conforme os autores, a fluazaindolizina exigiu a concentração mais elevada para ser eficaz, com uma CL<sub>50</sub> em 24 horas igual a 180,59 mg/L. Entretanto, a fluazaindolizina foi um ovicida fraco, com efeitos na eclosão dos ovos de *M. incognita* apenas em altas concentrações como 390 e 460 mg/L. Nestas duas concentrações, a eclosão dos ovos foi reduzida em 51 e 59%, respectivamente.

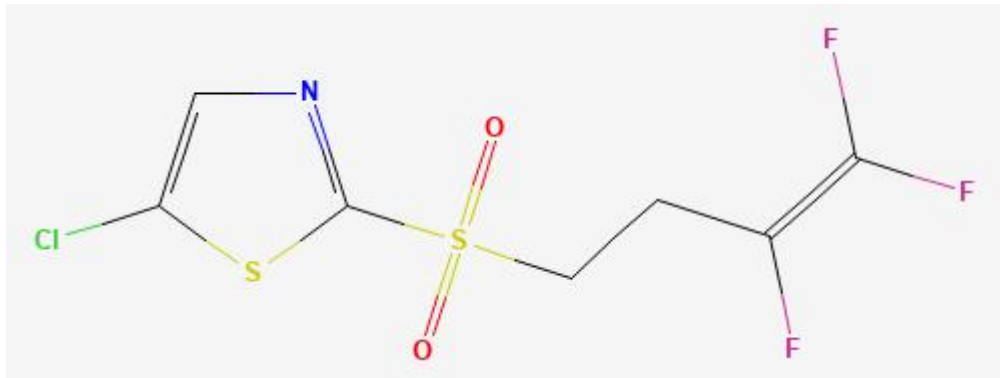
Wu et al. (2021) testaram *in vitro* respostas de várias espécies de nematoides a fluazaindolizina. Segundo este estudo após a exposição por 72 horas as CL<sub>50</sub> para J2 de *M. incognita*, *Tylenchulus semipenetrans*, *Pratylenchus brachyurus* e *Heterodera schachtii* foram de 177,14 mg/L; 355,2 mg/L; 1187,5 mg/L e 1019,3 mg/L, respectivamente. Os autores verificaram também que a exposição do J2 a concentrações de 5 e 10 mg/L de

fluazaindolizina foram suficientes para causar a redução de aproximadamente 25 a 50% no número de galhas nas raízes, em comparação com o controle de água.

#### 4.6 Fluensulfona

A Fluensulfona, ou MCW-2, (5-cloro-2-(3,4,4-trifluorobut-3-enilsulfonil)-1,3-tiazol) é um membro do grupo fluoroalquênil tioéter (Kearn *et al.*, 2014) (Figura 3). Apresenta atividade nematicida, além de ter baixa toxicidade para insetos e mamíferos não-alvo (KEARN *et al.*, 2014). Também possui baixo potencial de lixiviação no solo devido à sua baixa solubilidade em água e meia-vida relativamente curta no solo (OKA; SHUKER; TKACHI, 2009).

Figura 3 - Representação química da fluensulfona.



Fonte: PubChem, (2025).

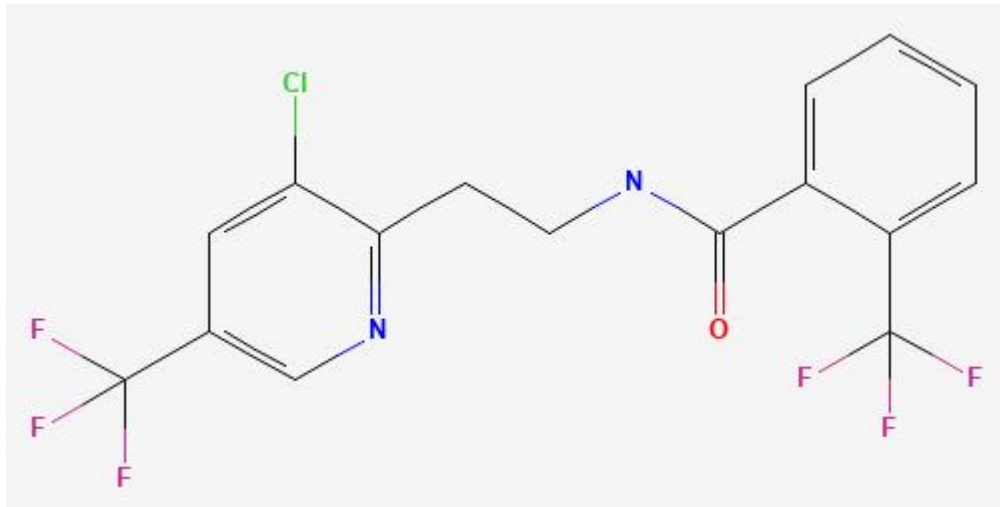
A fluensulfona foi desenvolvida pela empresa multinacional Bayer em 2001. O primeiro registro de um produto a base desta molécula ocorreu nos Estados Unidos em 2014, sendo Nimitz<sup>®</sup> (Adama) o nome do produto comercial (DESAEGER; WRAM; ZASADA, 2020). No Brasil, cinco produtos comerciais com o princípio ativo da fluensulfona são registrados para o controle de nematoides (Azir<sup>®</sup>, Legado<sup>®</sup>, Nimitiz CF<sup>®</sup>, Nimitiz EC<sup>®</sup> e Nimitiz TS<sup>®</sup>) todos tendo a Adama como a titular de registro. Todos possuem classificação toxicológica categoria 5, ou seja, produto improvável de causar dano agudo, e classificação do potencial de periculosidade ambiental categoria III (BRASIL, 2025; WALENDORFF, 2018). Azir<sup>®</sup>, Nimitiz CF<sup>®</sup> e Nimitiz TS<sup>®</sup> são empregados exclusivamente para o tratamento de sementes, enquanto os demais são utilizados no sulco de plantio, ou na superfície do solo (BRASIL, 2025). O uso do Nimitiz EC<sup>®</sup> foi autorizado no Brasil em 2018. A Fluensulfona é registrada no Brasil para diversas culturas, como alho, cana-de-açúcar, café, algodão, batata, cenoura, citros, goiaba, pimentão, tomate, soja, entre outras.

O modo de ação nematicida da fluensulfona até o momento é desconhecido (OKA; SHUKER; TKACHI, 2009). Oka (2022) observaram que a fluensulfona, à 50 e 100 mg/L reduziu a eclosão de J2 de *M. incognita* em mais de 50% após sete dias de exposição ao nematicida, em comparação com a testemunha. Em experimento conduzido por Watson T.T (2022), o autor verificou que *M. enterolobii* apresentou menor sensibilidade a fluensulfona em comparação a *M. incognita*. A fluensulfona mostrou alta inibição de penetração radicular em baixas concentrações (valores de CL<sub>50</sub> de 0,151 a 0,065 mg/L para *M. enterolobii* e *M. incognita*, respectivamente). Ploeg et al. (2019) ao avaliarem o efeito da fluensulfona em campo sobre *M. incognita* no rendimento e na qualidade da batata-doce, observaram que os tratamentos com fluensulfona mais do que duplicaram os rendimentos. Outro ponto destacado pelos autores foi a forte redução dos sintomas do nematoide nas raízes. A taxa de fluensulfona incorporada no solo pré-plantio de 1,96 kg/ha foi tão eficaz quanto a dose de 2,8 kg/ha.

#### 4.7 Fluopiram

O Fluopiram (N-[2-[3-cloro-5-(trifluorometil)piridin-2-il]etil]-2-(trifluorometil)benzamida) (Verango<sup>®</sup>, Velum<sup>®</sup>, Bayer CropScience; PubChem 2025) pertencente ao grupo químico piridinil-etil-benzamida (Figura 4), foi inicialmente patentado pela empresa multinacional Bayer como um fungicida em 2012. O primeiro registro como nematicida ocorreu em Honduras na cultura da banana, tendo o produto recebido o nome comercial de Verango<sup>®</sup>. Posteriormente o produto foi registrado também na África do sul. No Brasil, em 2019 o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) registrou o ingrediente ativo com autorização para diversas culturas, como soja, milho, batata, algodão, café, cana-de-açúcar, entre outras (TOOGE, 2019). Atualmente, no Brasil dois produtos comerciais possuem o fluopiram como princípio ativo, Verango<sup>®</sup> Prime da Bayer, e Ileva<sup>®</sup> da Basf. O primeiro é recomendado para 28 culturas, atuando em diferentes espécies de fitonematoides, enquanto que o segundo é mais específico, sendo recomendado apenas para a cultura do algodão, milho e soja, além de ser utilizado no tratamento de sementes. Verango<sup>®</sup> Prime possui classificação toxicológica categoria 5, ou seja, produto improvável de causar dano agudo, e classificação do potencial de periculosidade ambiental categoria III, por outro lado, Ileva<sup>®</sup> possui classificação toxicológica categoria 4, isto é, produto pouco tóxico, e classificação do potencial de periculosidade ambiental categoria II (BRASIL, 2025).

Figura 4 - Representação da estrutura química do fluopiram.



Fonte: PubChem, (2025).

O modo de ação do fluopiram é a inibição da enzima succinato desidrogenase (SCHLEKER *et al.*, 2022). Outra característica dessa nova molécula é a sua meia-vida consideravelmente longa no solo, com duração de até 746 dias (LUDLOW, 2015). O Fluopiram possui movimento limitado do xilema, fator esse que indica que o contato direto é crucial para a supressão do nematoide fitoparasita (FASKE; HURD 2015).

Diversos trabalhos evidenciam o elevado potencial nematicida do fluopiram. Faske e Hurd (2015) salientaram que J2 de *M. incognita* foi mais sensível ao fluopiram do que *Rotylenchulus reniformis*, dado que nos ensaios de motilidade, 78% dos J2 de *M. incognita* ficaram imóveis já nas primeiras 2 horas com uma exposição de 10,0 mg/ml. Outro ponto verificado pelos autores foram os valores de CL<sub>50</sub> de 24 horas que foram 1,18 mg/L para *M. incognita* e 1,97 mg/L para *R. reniformis*. Enquanto os valores CL<sub>90</sub> em 24 horas de exposição para *M. incognita* e *R. reniformis* foram iguais a 5,31 e 9,68 mg/L, respectivamente. Além disso, outro resultado promissor obtido pelos autores foi na redução da infecção pelos nematoides, o número de galhas radiculares foi reduzida de 31% a 84% em concentrações de 1,3 a 5,3 mg/ml de fluopiram, respectivamente .

Kim et al. (2016) ao avaliarem a atividade nematicida de alguns compostos nematicidas contra juvenis do nematoide de cisto da beterraba sacarina (*Heterodera schachtii*), identificaram que o fluopiram apresentou o maior efeito inibitório e toxicidade aguda nos juvenis, sendo que houve uma mortalidade de 100% dos juvenis. Além disso, segundo os autores a concentração letal (CL<sub>50</sub>) foi de 0,0543 mg/L.

Wram e Zasada (2019) enfatizam sobre o baixo efeito ovicida do fluopiram, já que não

afetou a eclosão dos ovos. Neste mesmo trabalho, os autores demonstraram que o fluopiram na dose sub-letal (1 mg/L) não afetou a reprodução do nematoide em tomateiro, com taxas de reprodução semelhantes à testemunha não tratada. Schleker et al. (2022) salientam que o tratamento com 2,5 mg/L de fluopiram foi suficiente para reduzir a formação de galhas em 48% e a exposição a 20 mg/L resultou em mais de 80% de redução de galhas em tomate. Isto evidencia que, o fluopiram é um bom nematicida para *M. incognita* em baixas concentrações do composto.

#### 4.8 Sensibilidade de diferentes populações de *M. incognita* aos nematicidas

Na literatura são encontrados relatos de sensibilidade diferenciada de populações de *M. incognita* a nematicidas químicos. Por exemplo, Li et al. (2018) ao avaliarem a toxicidade da abamectina aos J2 de *M. incognita* coletados em diferentes regiões da China verificaram diferenças em relação os valores de  $CL_{50}$  e  $CL_{90}$ . Segundo os dados dos pesquisadores, J2 coletada na cidade de Laiwu, região de Lujiazhuang foram os mais sensíveis a abamectina com um valor de  $CL_{50}/24$  h igual a 1,70mg/L resultado esse quase 3 vezes menor que a população da cidade de Tai'an, Dongdawu, que foi menos sensível que obteve  $CL_{50}$  de 4,76 mg/L.

Oka e Soroya (2019) concluíram que a sensibilidade dos nematoides a um nematicida pode apresentar variações entre espécies e entre populações de uma mesma espécie. Ao testarem a fluensulfona e o fluopiram em duas populações de *M. incognita* provenientes de Israel, os autores observaram diferenças na percentagem de imobilização das populações de *M. incognita* a fluensulfona em comparação ao fluopiram. A população de Kadash de *M. incognita* foi mais sensível à fluensulfona, com uma  $CL_{50}$   $0,22 \pm 0,09$ , valor esse dez vezes inferior à da população de Gilate ( $2,91 \pm 1,13$ ).

Thoden, Pardavella e Tzortzakakis (2019) também relataram essa diferença na sensibilidade de diferentes populações de *M. incognita* e de *M. javanica* da Grécia ao nematicida Salibro® (fluazaindolizina). De acordo com os autores, as cinco populações de *M. incognita* apresentaram diferentes respostas em relação a imobilidade, quando foram submetidas a duas doses de Salibro®. Algumas populações após 72 horas de exposição ao nematicida, na menor dose (5 µg/ml), apresentaram mais de 49% dos juvenis de segundo estágio imobilizados, enquanto outra população apresentou resultado 2 vezes inferior a população menos sensível.

Huang et al. (2016) avaliaram duas populações de *M. incognita*, ambas de Daxing,

Pequim (China). De acordo com os autores, a população menos sensível apresentou uma  $CL_{50}$  ao nematicida Fostiazato de 152,18  $\mu\text{g/ml}$ , valor esse quase três vezes maior que o encontrado para a população mais sensível, que foi de 55,54  $\mu\text{g/ml}$ . Segundo os autores, a população menos sensível ao fostiazato apresentou níveis mais baixos de atividade da enzima acetilcolinesterase (AChE) do que a população suscetível, sugerindo que uma AChE modificada pode ter contribuído para a afinidade reduzida ao nematicida.

Fujikawa, Perry e Toyota (2024) também relatam que duas populações de *M. incognita* provenientes de diferentes regiões do Japão apresentaram respostas distintas quando foram expostas aos nematicidas fluopiram e fostiazato. De acordo com os autores, a  $CL_{50}$  do fluopiram a população de Aichi foi de 0,011  $\mu\text{g/ml}$ , resultado esse 200 vezes maior que o observado para a população de Ibaraki, que foi de 2,3  $\mu\text{g/ml}$ . Para o fostiazato a variação foi ainda mais acentuada, sendo que a população de Aichi teve  $CL_{50}$  de 0,024  $\mu\text{g/ml}$ , enquanto a população de Ibaraki foi de 5,4  $\mu\text{g/ml}$ , 225 vezes maior.

Ensaio em campo com diferentes culturas agrícolas também tem evidenciado resultados contrastantes em relação a dose empregada no controle de *M. incognita* utilizando as novas moléculas nematicidas. Hajihassani, Davis e Timper (2019) observaram a eficácia de fluopiram, fluazaindolizina e fluensulfona na redução dos índices de galhas e na densidade populacional de *M. incognita* oriundas da Georgia (EUA) em pepinos (*Cucumis sativus* L.). De acordo com os autores, fluopiram a 0,50 litros de ingrediente ativo (ia)/ha, fluazaindolizina a 4,48 litros de ia/ha e fluensulfona a 5,84 litros de ia/ha resultaram na redução nas densidades populacionais finais de 79, 91 e 94%, respectivamente.

Silva et al. (2019) avaliaram duas doses de fluazaindolizina a 4,49 L/ha e 2,25 L/ha; fluensulfona a 5,85 L/ha e 8,18 L/ha; fluopiram a 0,95 L/ha e 0,48 L/ha no controle de *M. incognita* em tomateiro no Norte da Flórida (EUA). Segundo os autores, a produção das plantas, o número e peso dos frutos não foram afetados pelos nematicidas aplicados, em ambas as doses utilizadas. Por outro lado, as plantas submetidas ao tratamento com fluensulfona na dose mais baixa (5,85 L/ha) apresentaram o menor índice de galhas e redução de 75% no número de ovos, 68% na densidade populacional e 75% no fator de reprodução do nematoide quando comparado ao controle não tratado. No trabalho conduzido por Becker, Ploeg e Ninez (2019), verificou-se que fluensulfona, fluazaindolizina e fluopiram reduziram as escoriações em cenouras provocadas por *M. incognita* provenientes do vale de São Joaquim, Califórnia (EUA) em comparação com a testemunha. Conforme os autores, a fluazaindolizina a 2,24 kg/ha resultou no rendimento de cenoura comercializável mais consistente e mais elevado, seguida pela fluensulfona a 2,95 kg/ha. O fluopiram (256 g/ha)

por outro lado, resultou em menos escoriações, entretanto não protegeu suficientemente a parte inferior da raiz principal.

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 Manutenção e multiplicação das onze populações brasileiras de *M. incognita*

Onze populações de *Meloidogyne incognita* (Tabela 1) foram multiplicadas e mantidas em casa de vegetação do Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, MG. Para tanto, plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L. cv. Santa Clara) com três semanas após sementeira foram transplantadas em vasos de 5 L contendo substrato comercial (Tropstrato HA hortaliças® e Carolina Soil®) na proporção 1:1. A extração para obtenção de ovos de cada inóculo (população), seguiu a metodologia descrita por Hussey e Barker (1973) adaptado por Boneti e Ferraz (1981). A infestação das plantas de tomate foi realizada com uma suspensão de ovos contendo em torno de 5.000 ovos de *M. incognita*, utilizando uma pipeta de 10 ml, aplicada em três orifícios na altura do colo das mudas de tomate, de 2-3 cm de profundidade.

As populações de *M. incognita* UFLA06 e UFLA02 foram mantidas em mudas de tomate (cv. Santa Clara) para multiplicação dos nematoides desde maio de 2024. As populações UFLA04, UFLA10, UFLA11 e UFLA08, foram mantidas em mudas de tomate (cv. Santa Clara) para multiplicação dos nematoides desde setembro de 2024, enquanto que as amostras UFLA05, UFLA07 e UFLA09 foram mantidas em mudas de tomate (cv. Santa Clara) para multiplicação dos nematoides a partir de outubro de 2024. A amostra UFLA01 foi mantida em mudas de tomate (cv. Santa Clara) para multiplicação desde novembro de 2024. A população identificada como UFLA03, foi a única dentre as 11 populações que não foi mantida e multiplicada em casa de vegetação, sendo que o inóculo foi obtido diretamente no campo (município de Ijaci, MG). Ao longo dos meses subsequentes, o inóculo de cada população foi sendo renovado, ou seja transferido para novas mudas de tomate (cv. Santa Clara), jiló (*Solanum aethiopicum* 'Gilo Group', var. Comprido Verde Claro) e em plantas de quiabo (*Abelmoschus esculentus*, var. Santa Cruz).

Tabela 1 - Local de origem e cultura hospedeira das diferentes populações brasileiras de *Meloidogyne incognita*.

<b>Espécie</b>	<b>Local de origem</b>	<b>Código</b>	<b>Cultura hospedeira</b>
<i>Meloidogyne incognita</i>	Barreiras - BA	UFLA01	Soja
<i>Meloidogyne incognita</i>	Linhares - ES	UFLA02	Café
<i>Meloidogyne incognita</i>	Ijaci - MG	UFLA03	Alface
<i>Meloidogyne incognita</i>	Viçosa - MG	UFLA04	Algodão
<i>Meloidogyne incognita</i>	Pelotas - RS	UFLA05	Tabaco
<i>Meloidogyne incognita</i>	Tavares - RS	UFLA06	Cebola
<i>Meloidogyne incognita</i>	Urussanga - SC	UFLA07	Maracujá
<i>Meloidogyne incognita</i>	Garça - SP	UFLA08	Café
<i>Meloidogyne incognita</i>	Palmas - TO	UFLA09	Tomate
<i>Meloidogyne incognita</i>	UNB - DF	UFLA10	Algodão
<i>Meloidogyne incognita</i>	UBN- DF	UFLA11	Algodão

Fonte: Do autor, (2025).

## 5.2 Identificação de espécies pelo padrão perineal de fêmeas (HARTMAN; SASSER, 1985)

Oito fêmeas adultas de cor branca leitosa no início da oviposição foram coletadas de raízes de tomate, com o uso de uma agulha hipodérmica e de um estereomicroscópio binocular. Feito a remoção das fêmeas, essas foram adicionadas em uma solução contendo ácido láctico 45%. Em seguida, fez-se um corte na região anterior das fêmeas, utilizando um bisturi, os cortes obtidos foram imersos na gota de ácido láctico por 30 minutos, para que o mesmo pudesse fazer limpeza dos corte. Posteriormente, realizou-se cortes ao redor da região perineal das fêmeas, visando eliminar o excesso de cutícula. Em seguida, os cortes perineais foram transferidos para uma gota de glicerina depositada no centro de uma lâmina de microscopia. Na sequência, uma lamínula foi depositada sob a gota de glicerina, e foi feita a vedação da lâmina utilizando permalte. A visualização dos padrões perineais foi realizada com o microscópio de objetiva invertida, as fotografias registradas foram realizadas utilizando os software OptView. Fêmeas de *Meloidogyne javanica* também foram empregadas para a realização dos padrões perineais, seguindo a metodologia descrita anteriormente.

### 5.3 Caracterização de isoenzimas das 11 populações brasileiras de *Meloidogyne incognita*

Cinco fêmeas adultas de cor branca leitosa no início da oviposição foram coletadas de raízes de tomate. As fêmeas foram transferidas para tubos de microcentrífuga de 0,2 ml contendo 12 µL de tampão de extração de proteína, e foram posteriormente esmagadas com um bastão de vidro de ponta arredondada em contato com superfície de baixa temperatura (almofada de gelo artificial) para evitar degradação da proteína contida nas fêmeas. Após a maceração de todas as amostras, adicionou 3 µl da solução corante de azul de bromofenol 1%. O extrato de proteína de *M. javanica* foi colocado no primeiro e último poço de cada gel como padrão para comparação com os fenótipos encontrados.

A eletroforese vertical em gel de poliacrilamida vertical foi usada com uma concentração de bis-acrilamida de 6% para o gel de empilhamento. Em seguida, aplicou todo o conteúdo das amostras nos poços do gel vagarosamente, para evitar transbordamento, utilizou pipeta de 20 µl ajustada para 15 µl. A eletroforese foi realizada em um refrigerador a aproximadamente 4 °C, com uma voltagem de 80 V aplicado no gel de empilhamento por 15 minutos e 150 V no gel de corrida por 45 minutos. A migração foi monitorada por meio do deslocamento da linha de frente do azul de bromofenol. A eletroforese foi interrompida quando essa linha estava a 1 cm da parte inferior do gel. Depois de interromper a corrida eletroforética, o gel foi removido da placa. O gel foi então imerso em uma solução de revelação preparada imediatamente antes do uso. Para isso, dissolveu 0,05 g de Fast Blue RR em 50 ml de tampão fosfato em Erlenmeyer coberto por papel alumínio. A solução foi agitada por aproximadamente 30 minutos. Em seguida, 0,03 g de  $\alpha$ -naftil-acetato foi dissolvido em 500 µl de acetona, e foi acrescentado ao corante em agitação. As bandas de proteína foram comparadas com as posições apresentadas pela migração do padrão de esterase do *M. javanica*, conforme relatado na literatura (ESBENSHADE; TRIANTAPHYLLOU, 1990; CARNEIRO *et al*, 2008).

### 5.4 Caracterização molecular

#### 5.4.1 Extração do DNA

Fêmeas adultas de cor branca leitosa no início da oviposição foram coletadas de raízes de tomate, com auxílio de estereomicroscópio e o uso de agulha hipodérmica. Uma fêmea de

cada população foi extraída. As fêmeas de cada população foram transferidas para tubos de microcentrífuga de 0,2 ml contendo 180 µL de Buffer ATL e 20 µL de Proteínase K, seguindo as recomendações do KIT (DNeasy® Blood & Tissue Kit) conforme as recomendações do fabricante. As amostras foram homogeneizadas utilizando um vórtex (15s) e incubadas a 56 °C por 8 horas. Finalizado o período de incubação, as amostras foram homogeneizadas (vórtex 15 s), e em seguida, foram adicionados 200 µL de etanol (96%) e 200 µL de Buffer AL. As amostras foram novamente homogeneizada e centrifugada 8000 rpm por 1 minuto. Na sequência, adicionaram-se 500 µL Buffer AW1, e novamente as amostras foram centrifugadas (8.000 rpm por 1 minuto). Então, adicionaram-se 500 µL Buffer AW2, seguido de centrifugação (14.000 rpm por 3 minutos). Por fim, adicionaram-se 100 µL de Buffer AE, a solução foi incubada em temperatura ambiente por 2 minutos, em seguida, foi centrifugada 8000 rpm por 1 minuto. O DNA obtido foi mantido em freezer (-20 °C) até a utilização para PCR.

#### 5.4.2 PCR

As reações de amplificação usando os marcadores SCAR-coffee (Inc-K14-R e Inc-K14-F) específicos para *M. incognita* (RANDIG *et al.*, 2002) (Tabela 2), foram realizadas em microtubos de 200 µL, com volume final de 25 µL: 4 µL de DNA, 1 µL de cada primer (10 µM), 12,5 µL de GoTaq Colorless PCR Master Mix (Promega, Madison, EUA), e 7,5 µL de água livre de nuclease. As reações de PCR foram realizadas usando um termociclador My Cycler TM (BIORAD). As condições de amplificação para o conjunto de primers estão descritas na Tabela 3. Os produtos de PCR foram submetidos a eletroforese em gel de agarose a 1,2% e corados com GelRed (Biotium®) para visualização das bandas. O comprimento de cada fragmento amplificado foi comparado com a escada de DNA de 1 kb do Biorad. Ez load.

Tabela 2 - Sequência dos primers SCAR-coffee (Inc-K14-R e Inc-K14-F) específicos para *Meloidogyne incognita*.

Primer	Sequência (5' - 3')	Tamanho do primer (pb)	Referência
Inc-K14-F	GGGATGTGTAAATGCTCCTG	399	RANDIG <i>et al.</i> (2002)
Inc-K14-R	CCCGCTACACCCTCAACTTC		

Fonte: Do autor, (2025).

Tabela 3 - Condições de amplificação para o conjunto de primers SCAR-coffee (Inc-K14-R e Inc-K14-F) específicos para *Meloidogyne incognita*.

Primer		Tempo e temperaturas			
Inc-K14-F/Inc-K14-R	5 min/94°C	35 ciclos			
		30 s/94°C	45 s/60°C	1 min/70°C	8 min/70°C 4°C/∞

Fonte: Do autor, (2025).

## 5.5 Preparo das moléculas

As moléculas (ciclobutrilfluram, fluensulfona, fluopiram, fluazaindolizina e carbofurano) foram dissolvidos em dimetilsulfóxido (DMSO), e as soluções obtidas foram diluídas com solução aquosa de Tween® 80 a 0,01 g/ml, até as concentrações de trabalho (concentração inicial), que se encontram descritas na Figura 5.

Figura 5 - Descrição das concentrações das moléculas nematicidas de ciclobutrilfluram, fluensulfona, fluopiram, fluazaindolizina e carbofurano.

Ciclobutrilfluram		Fluensulfona		Fluopiram		Fluazaindolizina		Carbofurano	
Concentração inicial (µg/ml)	Concentração final (µg/ml)	Concentração inicial (µg/ml)	Concentração final (µg/ml)	Concentração inicial (µg/ml)	Concentração final (µg/ml)	Concentração inicial (µg/ml)	Concentração final (µg/ml)	Concentração inicial (µg/ml)	Concentração final (µg/ml)
0,012	0,01	30	25	0,6	0,5	30	25	120	100
0,12	0,1	60	50	1,2	1,0	60	50	150	125
1,2	1,0	90	75	2,4	2,0	120	100	180	150
6,0	5,0	120	100	3,6	3,0	180	150	210	175
12	10	180	150	4,8	4,0	300	250	240	200

Fonte: Adaptado (WONG; QUESADA-OCAMPO, 2024; WARM; ZASADA, 2019 e PACULE *et al.*, 2022).

## 5.6 Determinação da concentração letal capaz de matar 50% (CL<sub>50</sub>) da população de *Meloidogyne incognita*

Foi conduzido um ensaio *in vitro* para determinação da concentração letal (CL<sub>50</sub>) das moléculas nematicidas ciclobutrilfluram, fluensulfona, fluopiram, fluazaindolizina e carbofurano sobre as onze populações de *M. incognita*. O ensaio foi realizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), sendo cada combinação população x molécula nematicida foi testada de forma individual, com cinco repetições. Para tanto, nas cavidades de placa de polipropileno com 96 poços e 300 µL foram adicionados 20 µL de uma suspensão aquosa contendo aproximadamente 20 J2 de *M. incognita* e 100 µL da solução da molécula diluída com solução aquosa de Tween® 80 (0,01%) + DMSO 1,8% (v/v) (1,5% (v/v; concentração final na cavidade). Na sequência, as placas foram fechadas, seladas com filme plástico e mantidas em

incubadora a  $\pm 28$  °C por 48 horas. Tween<sup>®</sup> 80 (0,01%) + DMSO 1,8% (v/v) (1,5% (v/v; concentração final na cavidade) foi empregado como o controle negativo (concentração zero).

Após o período de exposição, com o uso de um microscópio de objetiva invertida, os J2 que não apresentaram movimentação foram considerados como imóveis. Em seguida, foi adicionado ao conteúdo de cada cavidade 5  $\mu$ L de solução de NaOH 1,0 mol/L, recém preparada. Com o uso do microscópio de objetiva invertida, os J2 foram observados durante período de até 1 minutos. Aqueles que não reagiram à solução de NaOH, permanecendo estendidos, foram considerados mortos, de acordo com o método descrito por Chen e Dickson (CHEN; DICKSON, 2000), que foi adaptado por Amaral et al. (2003). O ensaio foi conduzido mais uma vez.

### 5.7 Efeito *in vitro* sobre a eclosão de J2 das onze populações de *M. incognita*

Plantas de tomate cv. Santa Clara das onze populações de *M. incognita* foram submetidas ao processo de extração para obtenção de ovos, de acordo com a metodologia descrita por Hussey e Barker (1973) adaptado por Boneti e Ferraz (1981).

Em placa de polipropileno com 96 cavidades de aproximadamente 300  $\mu$ L, com fundos chatos, uma suspensão de 20  $\mu$ L contendo aproximadamente 100 ovos foi pipetada nas cavidades, em sequência foram pipetados 100  $\mu$ L da solução das moléculas diluídas com solução aquosa de Tween<sup>®</sup> 80 (0,01%) + DMSO 1,8% (v/v) (1,5% (v/v; concentração final na cavidade). Neste ensaio, foram empregadas apenas as moléculas nematicidas ciclobutrifluram, fluensulfona, fluopiram, e carbofurano. As concentrações empregadas foram: 25, 75 e 150  $\mu$ g/ml para a fluensulfona; 0,5; 2 e 4  $\mu$ g/ml para o fluopiram; 0,1; 1 e 10  $\mu$ g/ml para o ciclobutrifluram e 100, 150 e 200  $\mu$ g/ml para o carbofurano. Água destilada foi usada como o controle negativo (concentração zero).

As placas foram fechadas, seladas com filme plástico e mantidas em incubadora a  $\pm 28$  °C por 72 horas. Após o período de exposição, fazendo uso de um microscópio de objetiva invertida fez-se a contagem do número de J2 que eclodiram. Posteriormente, a suspensão das moléculas foi removida de cada cavidade, utilizando uma pipeta, adicionando em seguida água destilada. As placas foram novamente incubadas. A partir de então, a eclosão dos J2 foi avaliada a cada dois dias, durante um período de 14 dias. O ensaio foi realizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), sendo cada população testada para cada molécula de forma individual com cinco repetições, e cada repetição constituída por uma cavidade de 300  $\mu$ L da placa de polipropileno.

## 5.8 Análise estatística

Os dados de imobilidade foram inicialmente convertidos em percentagens. Os dados de imotilidade e de eclosão de cada população foram comparados com os resultados da testemunha (controle negativo), por meio do teste t Student. Os cálculos foram feitos utilizando o programa estatístico R<sup>®</sup> 3.6.1 (Team, 2013) com interface gráfica RStudio i386 3.6.1 (Team, 2015). Para determinar a CL<sub>50</sub>, foi feita análise Logit (Mcfadden, 1973), utilizando-se o pacote drc (Analyses of Dose Response Curve; (Ritz; Streibig, 2005) do programa R<sup>®</sup> 3.6.1 (Team, 2013).

## 6 RESULTADOS

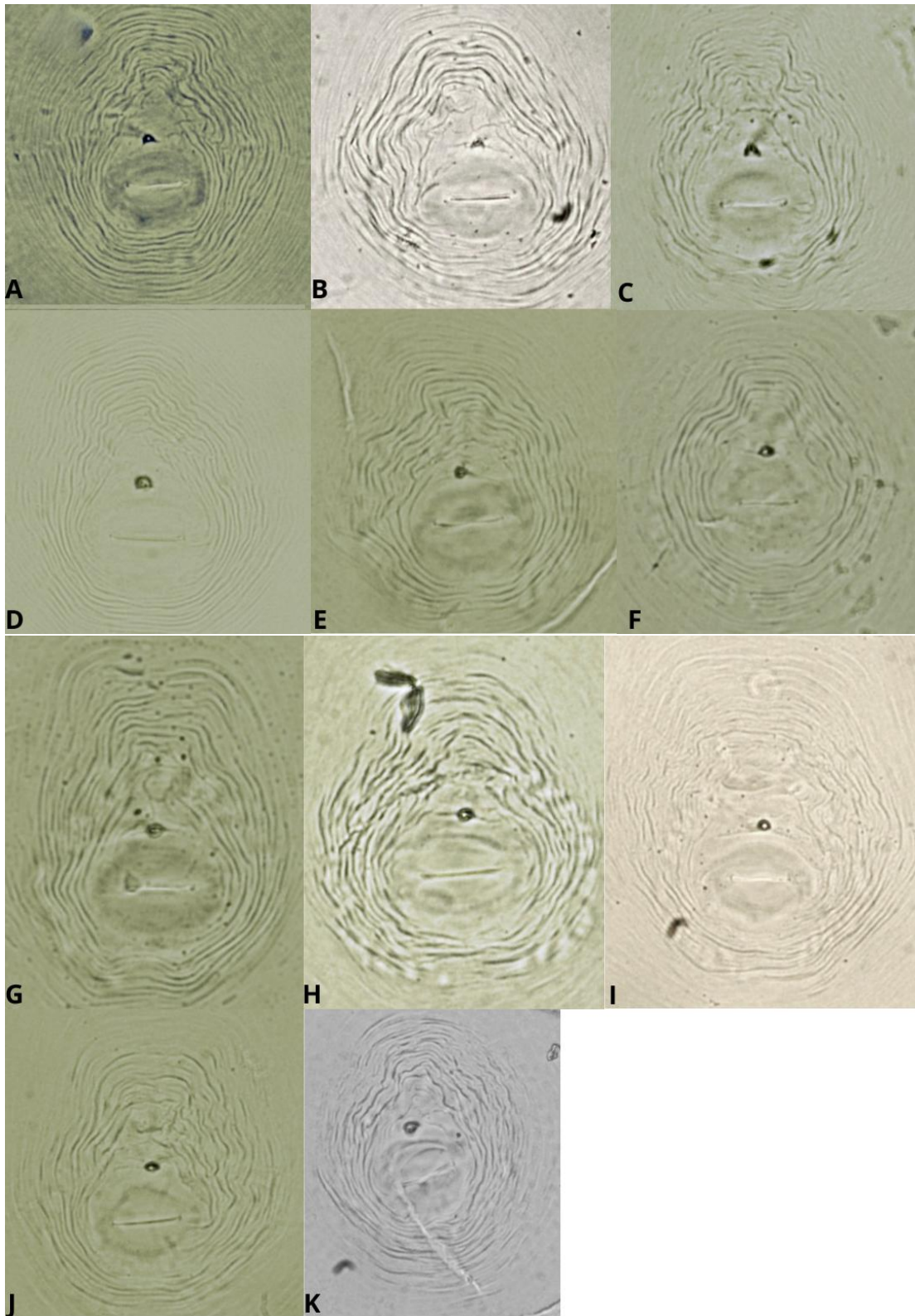
### 6.1 Identificação morfológica, enzimática e molecular de onze populações de *Meloidogyne* spp., mantidas em casa de vegetação.

As onze populações de *Meloidogyne* spp. obtidas de diferentes localidades do Brasil e mantidas em casa de vegetação apresentaram padrão perineal característico de *M. incognita* (Figura 6). Analisando as imagens obtidas é possível verificar o arco dorsal alto anguloso e quadrado, relativamente achatado na parte superior, marcado por quebras e bifurcações nas estrias; presença de estrias grosseiras, lisas e onduladas e ausência de campo lateral, (EISENBACK, 1985; CARNEIRO *et al.*, 1996). Algumas variações foram observadas na população UFLA05 que apresentou arco dorsal achatado a alto, quadrado, características essas também observadas na população UFLA09.

A identificação isoenzimática das populações indicou a presença do fenótipo I1 em 90,9 % das amostras (Figura 7). As populações UFLA10 apresentou fenótipo do tipo I2. Esses resultados confirmam que todas as populações empregadas nos ensaios são da espécie *Meloidogyne incognita*.

Os produtos de amplificação da PCR utilizando o conjunto de primer SCAR-coffee (Inc-K14-R e Inc-K14-F) específicos para *M. incognita* foram de aproximadamente 399 pb (Figura 8) (RANDIG ET AL. 2002; MENG *et al.* 2004; KIEWNICK *et al.*, 2013).

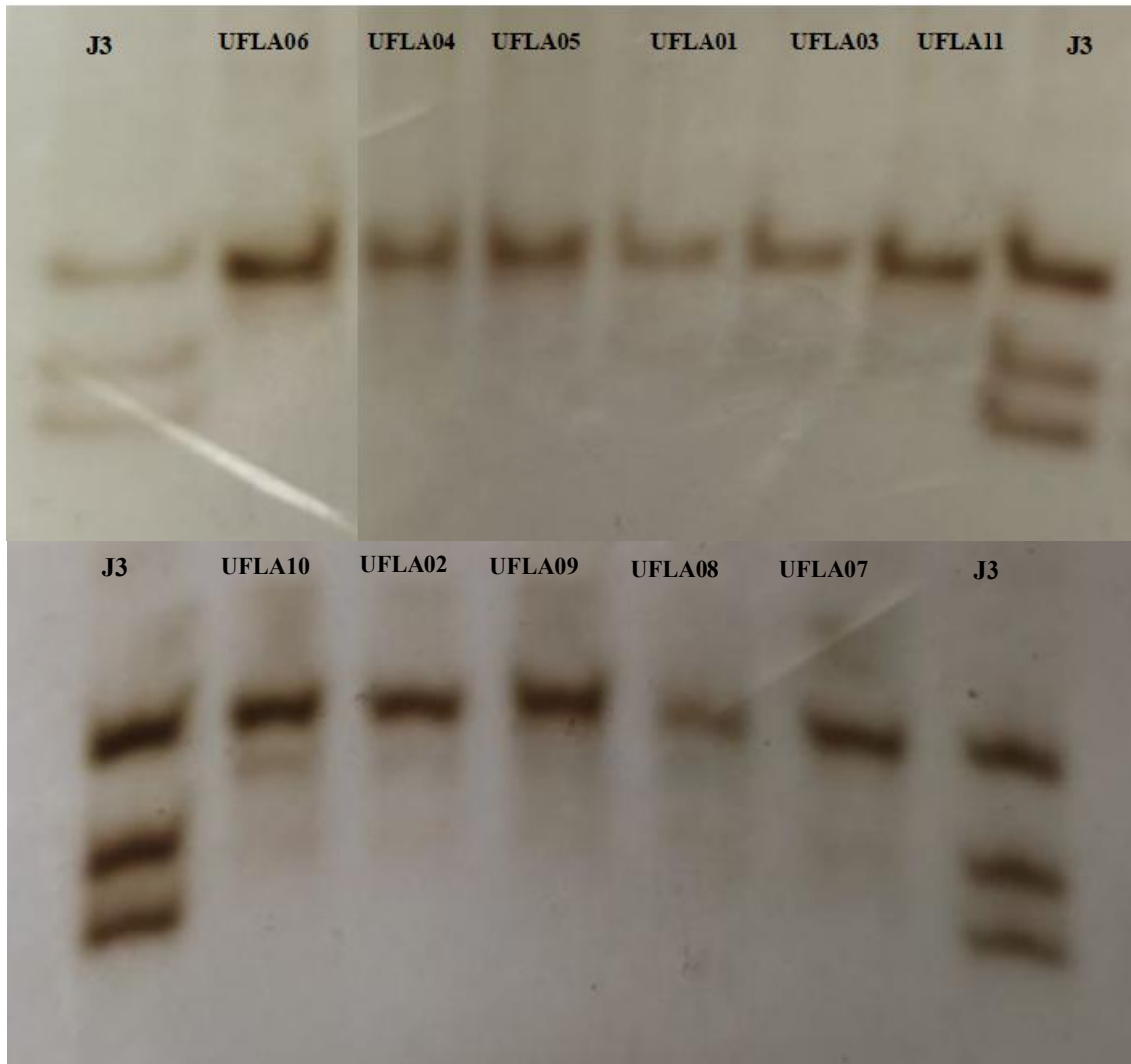
Figura 6 - Padrão perineal das onze populações brasileiras de *Meloidogyne incognita*.



Legenda: Letras maiúsculas indicam o padrão perineal de cada população. A: UFLA01; B: UFLA02; C: UFLA03; D: UFLA04; E: UFLA05; F: UFLA06; G: UFLA07; H: UFLA08; I: UFLA09; J: UFLA10; K: UFLA11.

Fonte: Autoria própria, 2025.

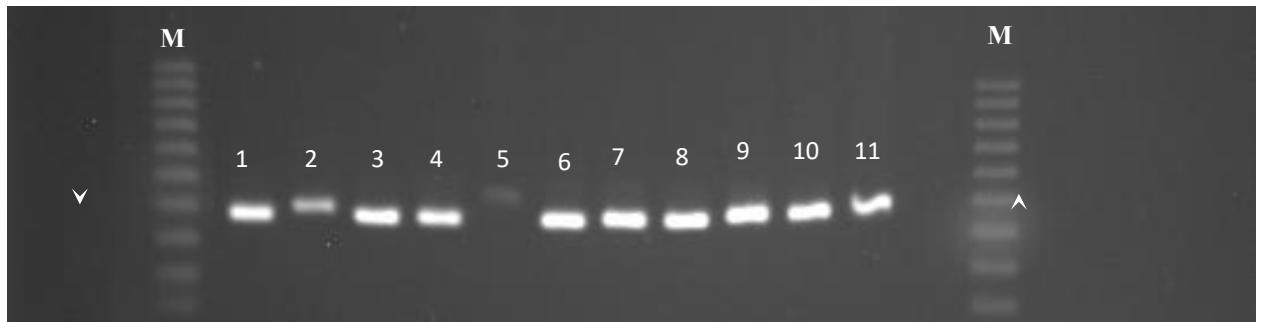
Figura 7 - Padrão de eletroforese de isoenzima das onze populações brasileiras de *Meloidogyne incognita* e *Meloidogyne javanica*.



J3: Padrão da esterase de *Meloidogyne javanica*.

Fonte: Do autor, (2025).

Figura 8 - Amplificação do primer SCAR-coffee (Inc-K14-R e Inc-K14-F) com tamanho dos fragmentos de aproximadamente 399 pb para as onze populações brasileiras de *Meloidogyne incognita*.



1: UFLA01; 2: UFLA02; 3: UFLA03; 4: UFLA04; 5: UFLA05; 6: UFLA06; 7: UFLA07; 8: UFLA08; 9: UFLA09; 10: UFLA10; 11: UFLA11. M: Marcador (1000 pb).

Fonte: Do autor, (2025).

## 6.2 Concentração letal capaz de matar 50% (CL<sub>50</sub>) da população de *Meloidogyne incognita*

### 6.2.1. Fluensulfona

Nos ensaios com a fluensulfona foram observados valores de CL<sub>50</sub> variando de 41 a 213 µg/ml, evidenciando as diferentes respostas das populações de *M. incognita* a essa molécula nematicida (Tabela 4). A população UFLA09, proveniente do estado do Tocantins, parasitando raízes de tomateiro foi a menos sensível em ambos ensaios. Em contraste, a população UFLA01, obtida de raízes de soja proveniente do município de Barreiras, Bahia, foi a mais sensível. Ambas populações apresentaram aumento no número de mortos com o aumento no valor das concentrações (Figura 9).

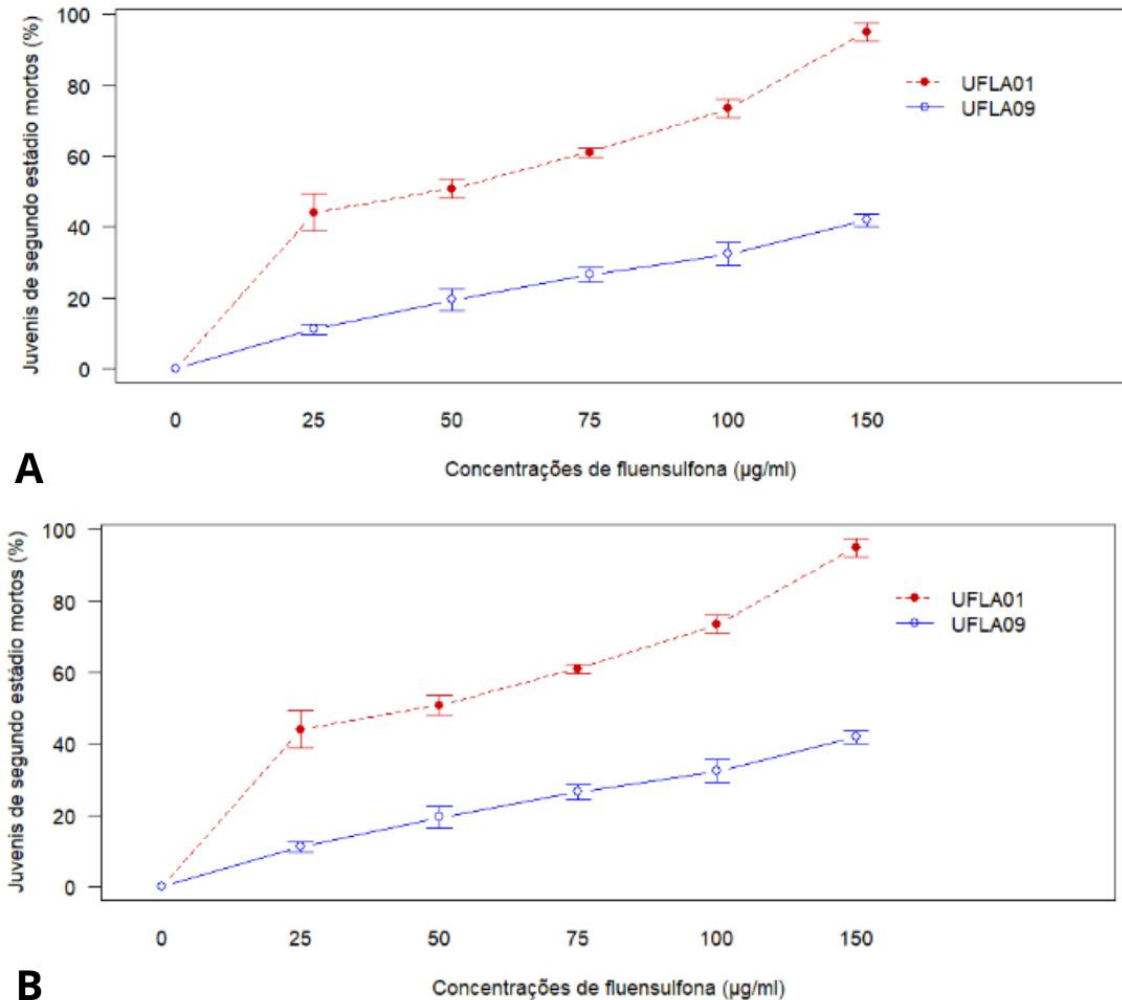
Tabela 4 - Concentração letal (CL<sub>50</sub>) do nematicida fluensulfona que resultou na morte de 50% dos juvenis de segundo estágio das onze populações brasileiras de *Meloidogyne incognita*.

População		CL <sub>50</sub> (µg/ml)	95% IC	Erro
UFLA01	1	45,168	(35,89 - 54,44)	4,483
	2	41,312	(33,49 - 49,13)	3,78
UFLA02	1	46,868	(37,64 - 56,10)	4,463
	2	42,97	(37,46 - 48,47)	2,663
UFLA03	1	53,656	(45,68 - 61,63)	3,854
	2	69,128	(66,37 - 71,88)	1,332
UFLA04	1	99,426	(85,51 - 113,33)	6,725
	2	96,002	(87,35 - 104,65)	4,183
UFLA05	1	45,673	(37,77 - 53,57)	3,817
	2	73,012	(62,367 - 83,66)	5,145
UFLA06	1	53,094	(42,011 - 64,17)	5,357
	2	51,784	(43,01 - 60,55)	4,238
UFLA07	1	92,657	(72,66 - 112,65)	9,667
	2	122,440	(101,38- 143,49)	10,177
UFLA08	1	69,526	(60,87 - 78,18)	4,183
	2	73,766	(65,66 - 81,87)	3,916
UFLA09	1	172,908	(112,73- 233,09)	29,092
	2	213,808	(161,24- 266,38)	25,412
UFLA10	1	83,529	(72,92 - 94,14)	5,128
	2	86,157	(75,69 - 96,63)	5,061
UFLA11	1	110,149	(88,82 - 131,47)	10,309
	2	84,986	(69,21 - 100,77)	7,628

IC: Intervalo de confiança. 1: Primeiro ensaio. 2: Segundo ensaio.

Fonte: Do autor, (2025).

Figura 9 - Porcentagem de mortalidade das populações UFLA01 e UFLA09 de *Meloidogyne incognita* quando expostas a cinco concentrações de fluensulfona por um período de 48h. Figura 9 A e 9 B, correspondem ao primeiro e segundo ensaio, respectivamente.



Fonte: Do autor, (2025)

### 6.2.2. Fluopiram

Nos ensaios com o nematicida fluopiram foram observados valores de  $CL_{50}$  variando de 0,80 a 4,99 µg/ml, evidenciando as diferentes respostas das populações de *M. incognita* a essa molécula nematicida (Tabela 5). Duas populações foram menos sensíveis ao fluopiram, sendo a população UFLA06, proveniente do município de Tavares no estado do Rio Grande do Sul, infestando raízes de cebola, seguida pela população UFLA02, originária de raízes de café, coletadas no estado do Espírito Santo. A população UFLA08, proveniente do município de Garça no estado de São Paulo foi mais sensível a exposição ao fluopiram. Nos dois ensaios

observou-se uma relação positiva entre o aumento da concentração do fluopiram com aumento na taxa de mortalidade dos J2 (Figura 10).

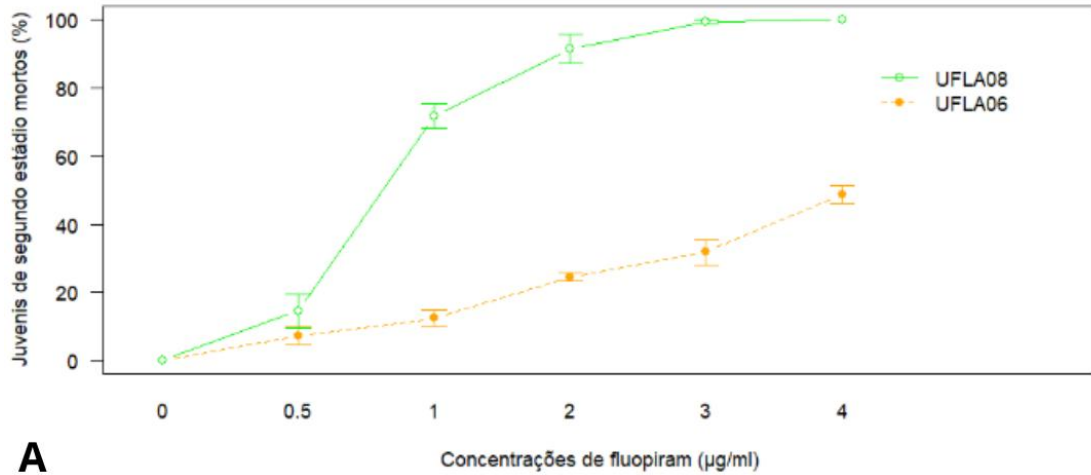
Tabela 5 - Concentração letal (CL<sub>50</sub>) do nematicida fluopiram que resultou na morte de 50% dos juvenis de segundo estágio das onze populações brasileiras de *Meloidogyne incognita*.

População		CL <sub>50</sub> (µg/ml)	95% IC	Erro
UFLA01	1	1,697	(1,58 - 1,81)	0,05
	2	1,768	(1,63 - 1,90)	0,06
UFLA02	1	4,177	(3,73 - 4,62)	0,212
	2	4,831	(4,31 - 5,35)	0,251
UFLA03	1	2,119	(1,92 - 2,31)	0,093
	2	3,377	(2,99 - 3,75)	0,183
UFLA04	1	1,984	(1,86 - 2,15)	0,081
	2	3,323	(3,12 - 3,53)	0,098
UFLA05	1	2,013	(1,78 - 2,24)	0,111
	2	3,070	(2,84 - 3,29)	0,109
UFLA06	1	4,485	(3,76 - 5,20)	0,374
	2	4,994	(4,29 - 5,69)	0,338
UFLA07	1	2,682	(2,51 - 2,85)	0,080
	2	3,422	(3,08 - 3,75)	0,160
UFLA08	1	0,804	(0,74 - 0,87)	0,031
	2	0,970	(0,92 - 1,02)	0,023
UFLA09	1	2,738	(2,48 - 2,98)	0,120
	2	3,422	(3,09 - 3,75)	0,160
UFLA10	1	1,860	(1,63 - 2,09)	0,112
	2	2,177	(1,99 - 2,36)	0,089
UFLA11	1	2,537	(2,40 - 2,66)	0,061
	2	2,876	(2,69 - 3,06)	0,087

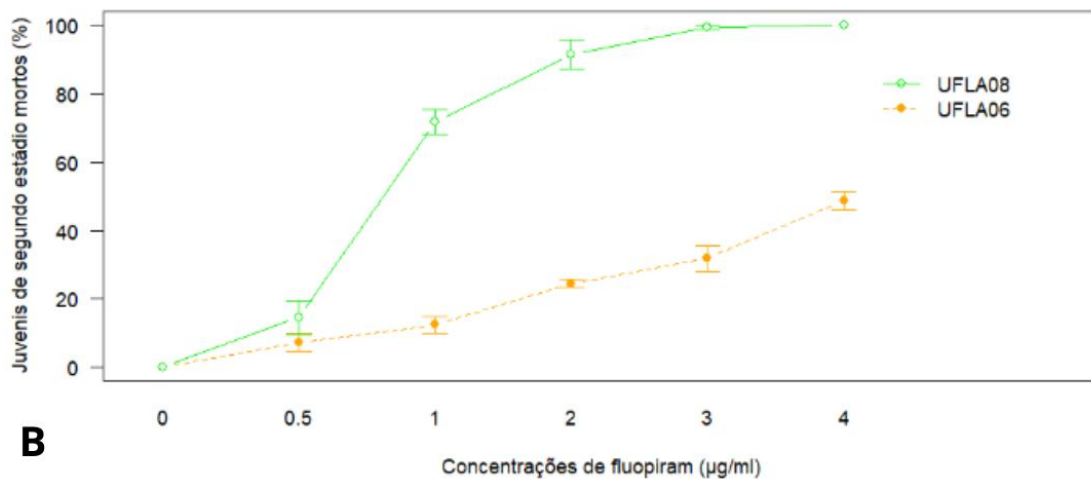
IC: Intervalo de confiança. 1: Primeiro ensaio. 2: Segundo ensaio.

Fonte: Do autor, (2025).

Figura 10 - Porcentagem de mortalidade das populações UFLA06 e UFLA08 de *Meloidogyne incognita*, quando expostas a cinco concentrações de fluopiram, por período de 48h. Figura 10 A e 10 B, correspondem ao primeiro e segundo ensaio, respectivamente.



**A**



**B**

Fonte: Do autor, (2025).

### 6.2.3. Ciclobutrifluram

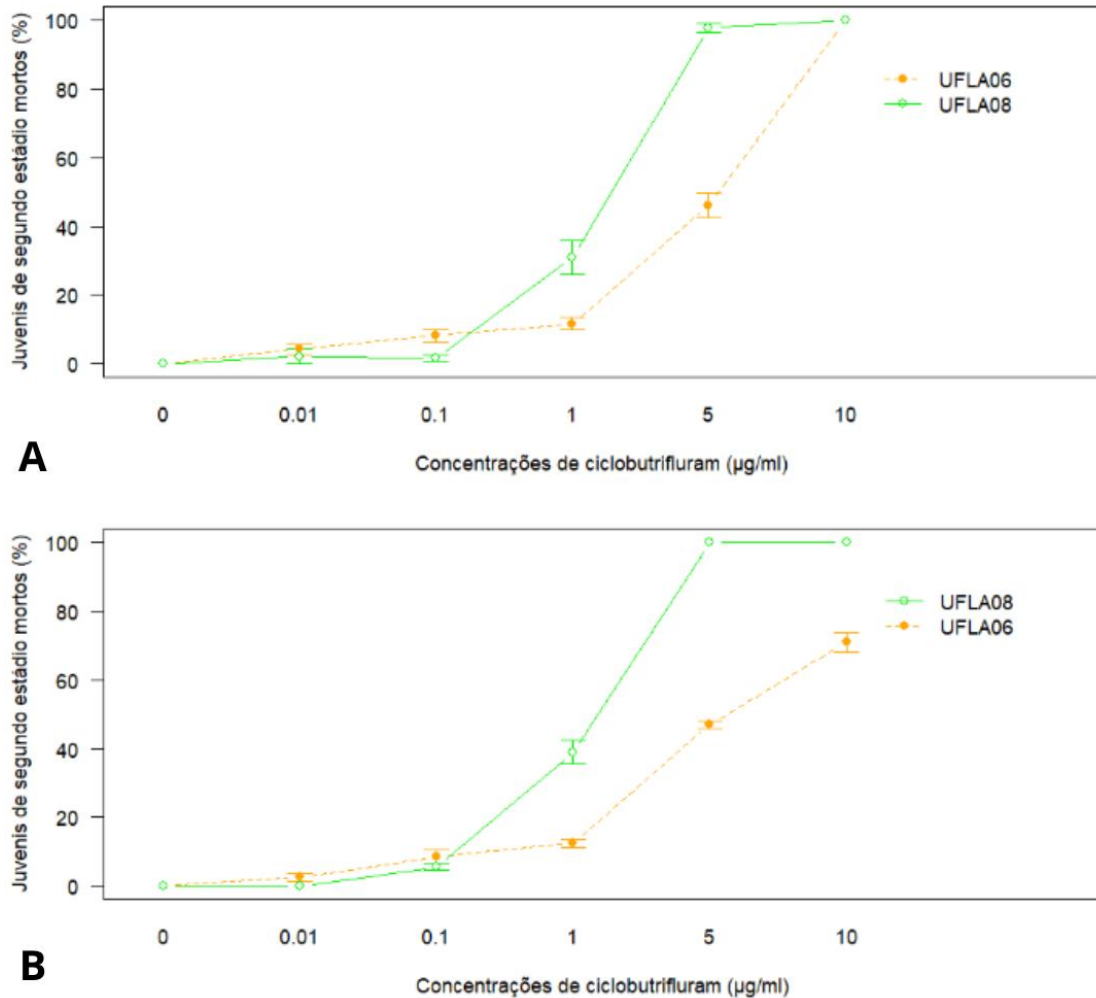
O nematicida ciclobutrifluram foi letal aos J2 de *M. incognita* em uma amplitude de concentrações próxima ao fluopiram, e drasticamente inferior a fluensulfona (Tabela 6). A população UFLA06 foi a menos sensível ao ciclobutrifluram, apresentando um valor de CL<sub>50</sub> próximo a 5 µg/ml. Por outro lado, UFLA 08 foi a população mais sensível, com CL<sub>50</sub> 5 vezes menor. Ambas as populações (UFLA 06 e UFLA 08) apresentaram resposta discreta ao ciclobutrifluram nas concentrações mais baixas (0,01 e 0,1 µg/ml). Contudo, a partir da concentração de 1 µg/ml a taxa de mortalidade das populações teve aumento exponencial.

Tabela 6 - Concentração letal (CL<sub>50</sub>) do nematicida ciclobutrifluram que resultou na morte de 50% dos juvenis de segundo estágio das onze populações brasileiras de *Meloidogyne incognita*.

População		CL <sub>50</sub> (µg/ml)	95% IC	Erro
UFLA01	1	1,632	(1,33 - 1,93)	0,143
	2	1,938	(1,68 - 2,19)	0,121
UFLA02	1	3,341	(2,88 - 3,80)	0,222
	2	4,50	(3,77 - 5,23)	0,351
UFLA03	1	1,885	(1,52 - 2,25)	0,176
	2	3,007	(2,45 - 3,56)	0,270
UFLA04	1	1,662	(1,07 - 2,25)	0,285
	2	1,191	(1,07 - 2,25)	0,285
UFLA05	1	1,760	(1,46 - 2,05)	0,141
	2	1,425	(0,95 - 1,89)	0,229
UFLA06	1	5,081	(3,23 - 6,93)	0,892
	2	5,114	(4,46 - 5,73)	0,314
UFLA07	1	2,383	(2,12 - 2,64)	0,125
	2	2,850	(2,63 - 3,07)	0,100
UFLA08	1	1,259	(1,09 - 1,42)	0,079
	2	1,045	(0,90 - 2,99)	0,941
UFLA09	1	2,998	(2,48 - 3,52)	0,251
	2	2,456	(2,24 - 2,68)	0,106
UFLA10	1	1,829	(1,55 - 2,10)	0,132
	2	1,937	(1,65 - 2,21)	0,137
UFLA11	1	1,364	(2,54 - 5,27)	1,888
	2	2,162	(1,79 - 2,52)	0,175

IC: Intervalo de confiança. 1: Primeiro ensaio. 2: Segundo ensaio.  
 Fonte: Do autor, (2025).

Figura 11 - Porcentagem de mortalidade das populações UFLA06 e UFLA08 de *Meloidogyne incognita* quando expostas a cinco concentrações de ciclobutrifluram. Figura 11 A e 11 B, correspondem ao primeiro e segundo ensaio, respectivamente.



Fonte: Do autor, (2025)

#### 6.2.4. Fluazaindolizina

A fluazaindolizina foi o nematicida com maior diferença na sensibilidade entre as populações, sendo a população, UFLA 01, proveniente de raízes de soja coletada no estado da Bahia, 7,8 vezes mais sensível que ao nematicida que a população UFLA 08, obtida de raízes de café (Tabela 7). A população UFLA 01 apresentou taxa de mortalidade superior aos 40% já na menor concentração (25 µg/ml), enquanto que a população de UFLA 08 apresentou uma tendência crescente de mortalidade com o aumento das concentrações (Figura 12).

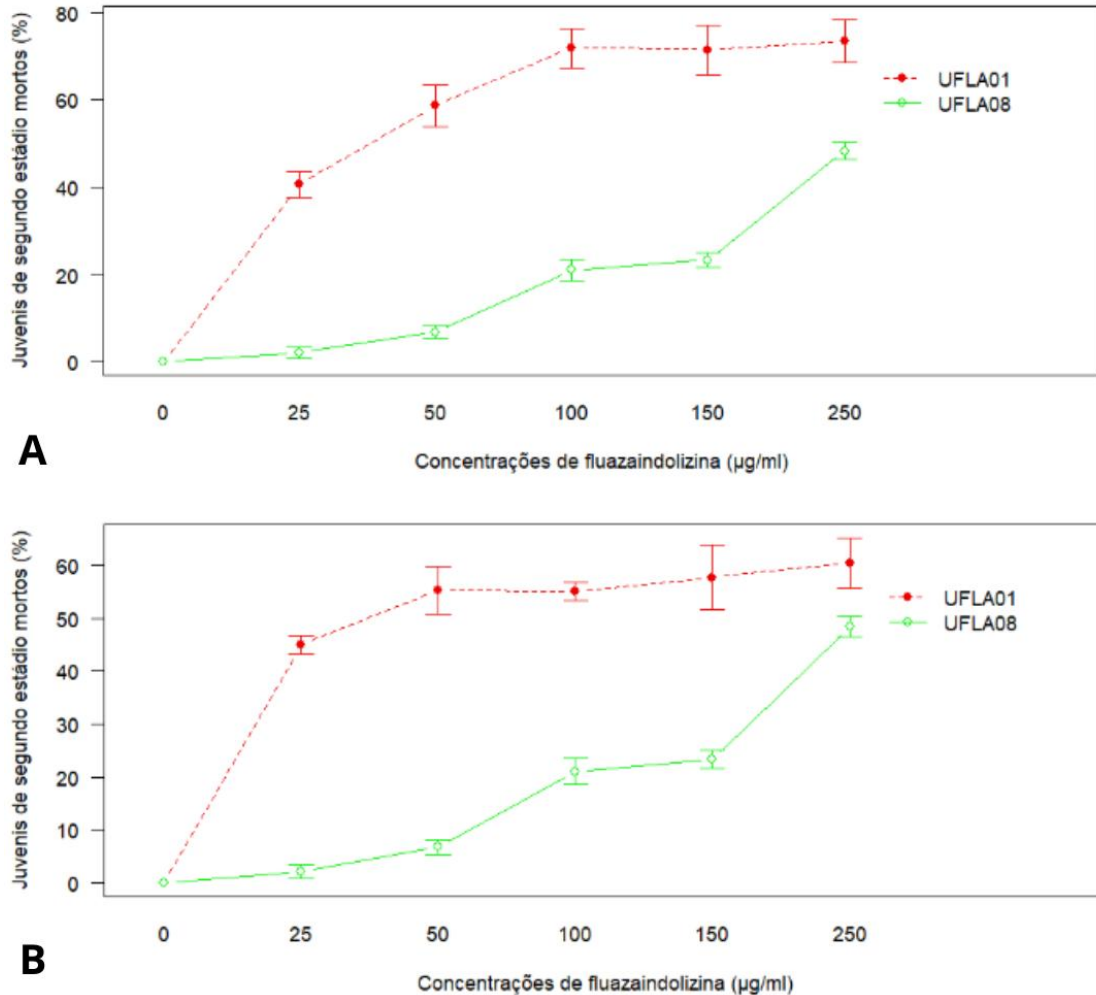
Tabela 7 - Concentração letal ( $CL_{50}$ ) do nematicida fluazaindolizina que resultou na morte de 50% dos juvenis de segundo estágio das onze populações brasileiras de *Meloidogyne incognita*.

População		$CL_{50}$ ( $\mu\text{g/ml}$ )	95% IC	Erro
UFLA01	1	37,304	(26,78 - 47,82)	5,085
	2	40,279	(14,37 - 66,18)	12,33
UFLA02	1	225,711	(207,02-244,39)	9,031
	2	NC		NC
UFLA03	1	267,158	(221,99 - 312,32)	21,834
	2	NC		NC
UFLA04	1	229,16	(215,45 - 242,87)	6,629
	2	238,525	(225,12 - 251,93)	6,405
UFLA05	1	200,507	(184,19 - 216,82)	7,887
	2	194,937	(170,51 - 219,36)	11,669
UFLA06	1	221,488	(197,78 - 245,19)	11,457
	2	201,758	(190,64 - 212,88)	5,313
UFLA07	1	211,233	(201,81 - 220,65)	4,555
	2	NC		NC
UFLA08	1	290,698	(180,96 - 400,44)	53,048
	2	NC		NC
UFLA09	1	205,132	(192,21 218,05)	6,245
	2	NC		NC
UFLA10	1	107,553	(74,50 - 140,60)	15,976
	2	NC		NC
UFLA11	1	231,732	(219,66 - 243,79)	5,833
	2	NC		NC

IC: Intervalo de confiança. 1: Primeiro ensaio. 2: Segundo ensaio. NC: Não calculado.

Fonte: Do autor, (2025).

Figura 12 - Porcentagem de mortalidade das populações UFLA01 e UFLA08 de *Meloidogyne incognita* expostas, por 48 horas, a cinco concentrações de fluazaindolizina. Figura 12 A e 12 B, correspondem ao primeiro e segundo ensaio, respectivamente.



Fonte: Do autor, (2025).

### 6.2.5. Carbofurano

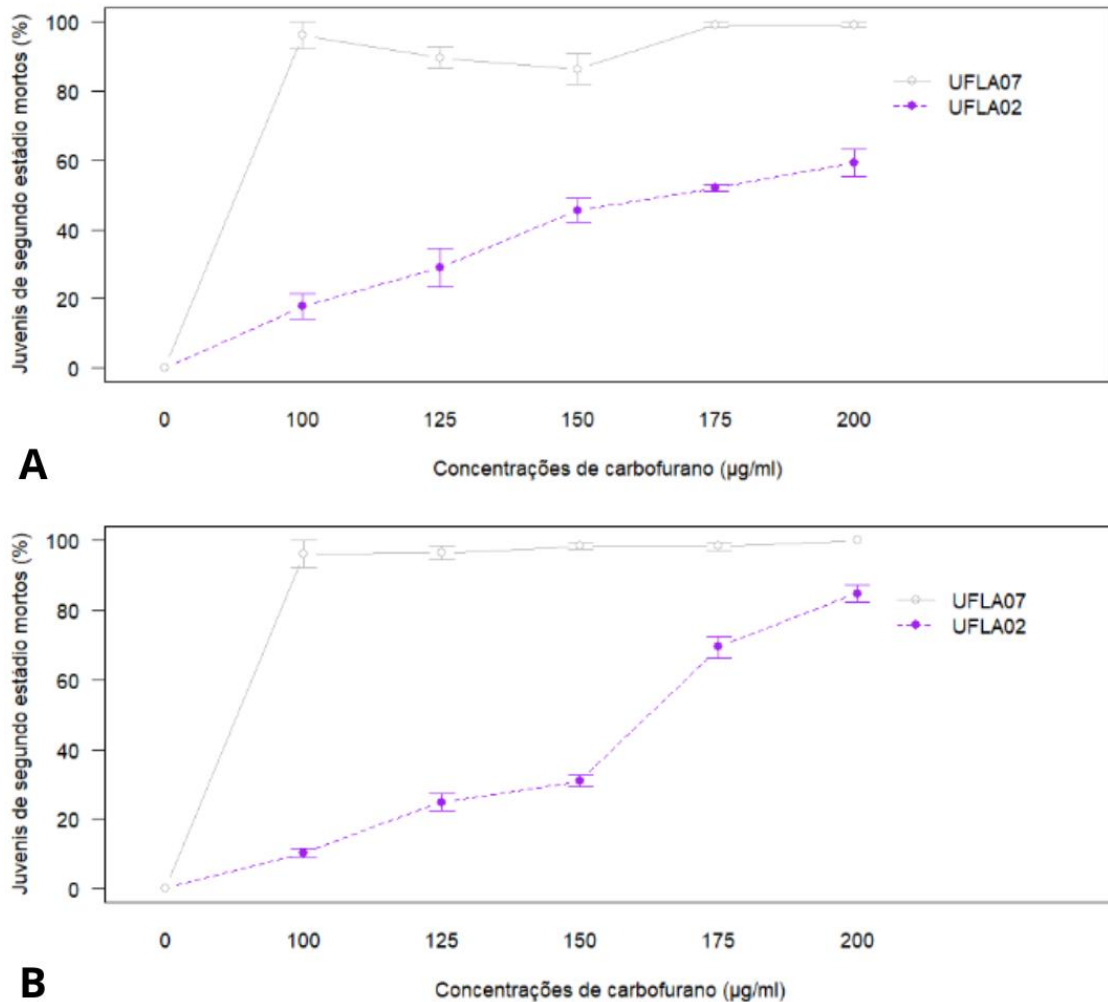
Foram observadas diferenças consideráveis nas respostas das populações de *M. incognita* ao nematicida carbofurano (Tabela 9). Com destaque para a população UFLA02, proveniente de raízes de café coletadas no estado do Espírito Santo, que em um dos ensaios foi quase 6 vezes menos sensível ao carbofurano que a população UFLA07, coletada em raízes de maracujá no estado de Santa Catarina. Para a população UFLA07, a menor concentração testada de carbofurano (100 µg/ml) foi capaz de matar em praticamente 100 % dos J2.

Tabela 8 - Concentração letal (CL<sub>50</sub>) do nematicida carbofurano que resultou na morte de 50% dos juvenis de segundo estágio das onze populações brasileiras de *Meloidogyne incognita*.

População		CL <sub>50</sub> (µg/ml)	95% IC	Erro
UFLA01	1	86,678	(69,36 - 103,70)	8,229
	2	72,657	(60,03 - 85,29)	6,105
UFLA02	1	171,052	(159,13 - 182,97)	5,761
	2	157,328	(152,48 - 162,19)	2,345
UFLA03	1	133,114	(128,84 - 137,39)	2,065
	2	129,227	(124,78 - 133,67)	2,146
UFLA04	1	133,794	(127,73 - 139,85)	2,928
	2	131,027	(127,80 - 134,85)	1,560
UFLA05	1	112,586	(106,29 - 118,88)	3,041
	2	113,296	(110,23 - 116,36)	1,479
UFLA06	1	108,746	(106,28 - 111,21)	1,191
	2	115,58	(110,58 - 120,21)	1,201
UFLA07	1	30,331	(10,37 - 71,03)	19,674
	2	34,074	(20,12 - 88,26)	26,196
UFLA08	1	136,977	(133,82 - 140,13)	1,524
	2	131,139	(126,14 - 136,13)	2,415
UFLA09	1	86,407	(76,27 - 96,54)	4,897
	2	82,590	(74,75 - 90,43)	3,790
UFLA10	1	71,503	(61,07 - 81,93)	5,041
	2	65,805	(48,51 - 83,10)	8,362
UFLA11	1	83,368	(75,96 - 90,78)	3,581
	2	77,524	(63,51 - 91,54)	6,774

IC: Intervalo de confiança. 1: Primeiro ensaio. 2: Segundo ensaio.  
 Fonte: Do autor, (2025).

Figura 13 - Porcentagem de mortalidade das populações UFLA02 e UFLA07 de *Meloidogyne incognita* após exposição por 48 h a cinco concentrações do nematicida carbofurano. Figura 13 A e 13 B, correspondem ao primeiro e segundo ensaio, respectivamente.



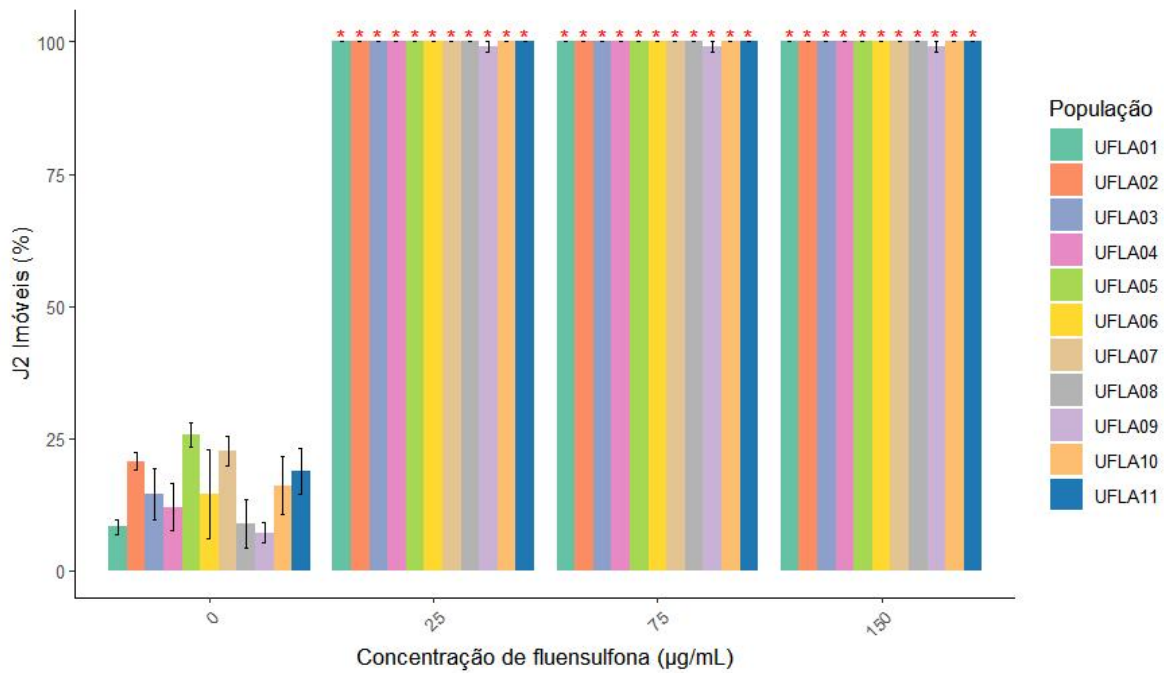
Fonte: Do autor, (2025).

### 6.3 Imotilidade de juvenis do segundo estágio de *Meloidogyne incognita* das diferentes populações após exposição aos nematicidas

Para a variável imobilidade observou comportamentos distintos entre as populações. Fluensulfona e fluopiram nas concentrações avaliadas apresentaram 100% dos juvenis de *M. incognita* paralisados em todas as populações (Figura 14 e 15). Por outro lado, essa mesma porcentagem foi alcançada para o ciclobutirfluram somente a partir da concentração de 1 µg/ml para todas as populações avaliadas (Figura 14). Contudo, a dose de 0,01 µg/ml já foi

suficiente para ocasionar mais de 50% de paralisa nos juvenis em algumas populações, como UFLA11, que foi a população que apresentou maior percentual de J2 imóveis quando exposta a menor concentração de ciclobutrifluram.

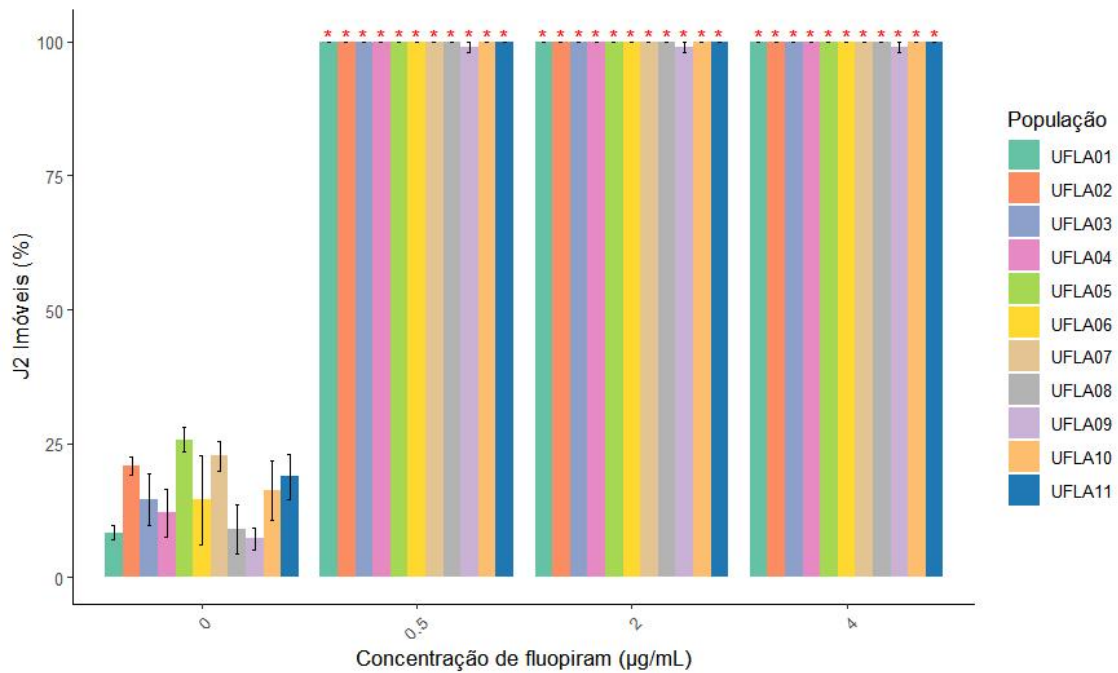
Figura 14 - Imotilidade das onze populações de *Meloidogyne incognita* a molécula nematicida fluensulfona.



\*diferença significativa em relação ao controle ( $p < 0,05$ ) pelo teste t Student .

Fonte: Do autor, (2025).

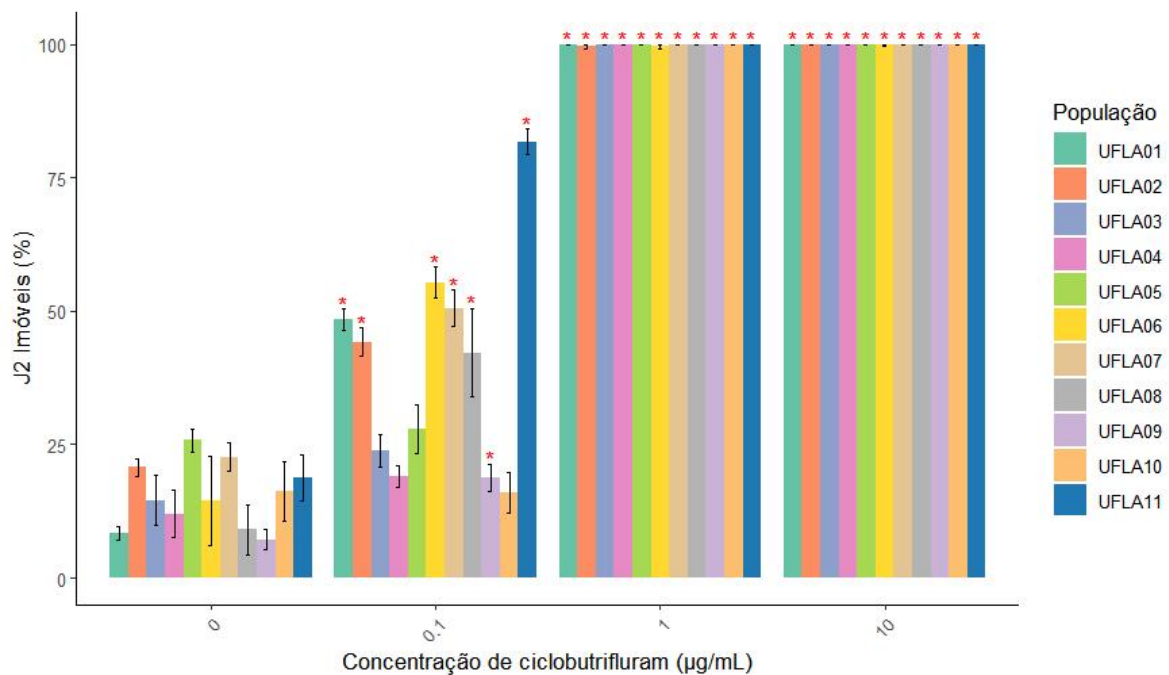
Figura 15 - Imotilidade das onze populações de *Meloidogyne incognita* a molécula nematicida fluopiram



\*diferença significativa em relação ao controle ( $p < 0,05$ ) pelo teste t Student.

Fonte: Do autor, (2025).

Figura 16 - Imotilidade das onze populações de *Meloidogyne incognita* a molécula nematicida ciclobutrifluram.

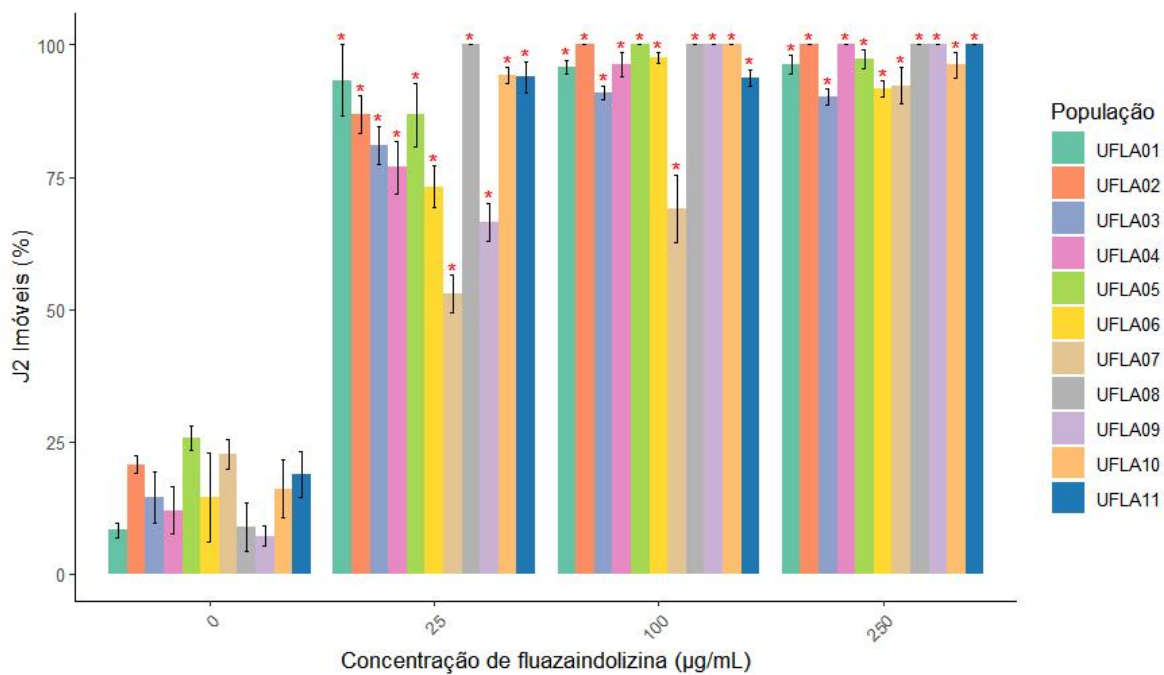


\*diferença significativa em relação ao controle ( $p < 0,05$ ) pelo teste t Student.

Fonte: Do autor, (2025).

A fluazaindolizina também apresentou atividade sobre a mobilidade dos juvenis de segundo estágio de *M. incognita*. Todas as populações apresentaram J2 imóveis acima de 50% na menor dose. Ao aumentar as concentrações, o percentual de juvenis paralisados foi aumentando, sendo que na maior concentração, apenas UFLA03 e UFLA06 não obtiveram 100% de J2 imóveis. Ressalta-se a população UFLA08 que apresentou altos valores de imobilidade em todas as concentrações avaliadas, mesmo sendo a população menos sensível a fluazaindolizina. Semelhante ao que foi observado para os nematicidas fluopiram e fluensulfona, todas as concentrações de fluazaindolizina foram suficientes para ocasionar imobilização superior a 80% aos J2, valor esse encontrando já na menor concentração (Figura 17).

Figura 17 - Imotilidade das onze populações de *Meloidogyne incognita* a molécula nematicida fluazaindolizina.

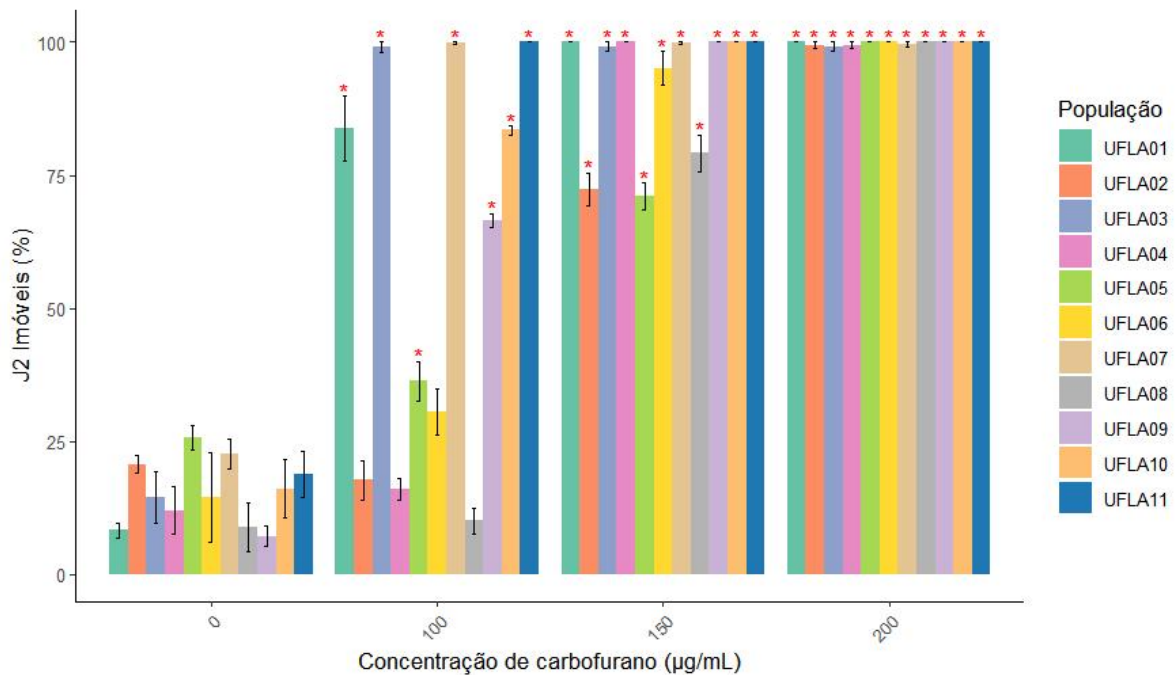


\*diferença significativa em relação ao controle ( $p < 0,05$ ) pelo teste t Student.

Fonte: Do autor, (2025).

Em relação ao carbofurano, seis populações apresentaram imobilidade acima de 50% na menor concentração. Na concentração de 150 µg/ml 72% das populações avaliadas apresentaram imobilidade próximo ou iguais a 100%, resultado esse que foi quase unânime para todas as populações na maior concentração (Figura 18).

Figura 18 - Imotilidade das onze populações de *Meloidogyne incognita* a molécula nematicida carbofurano.

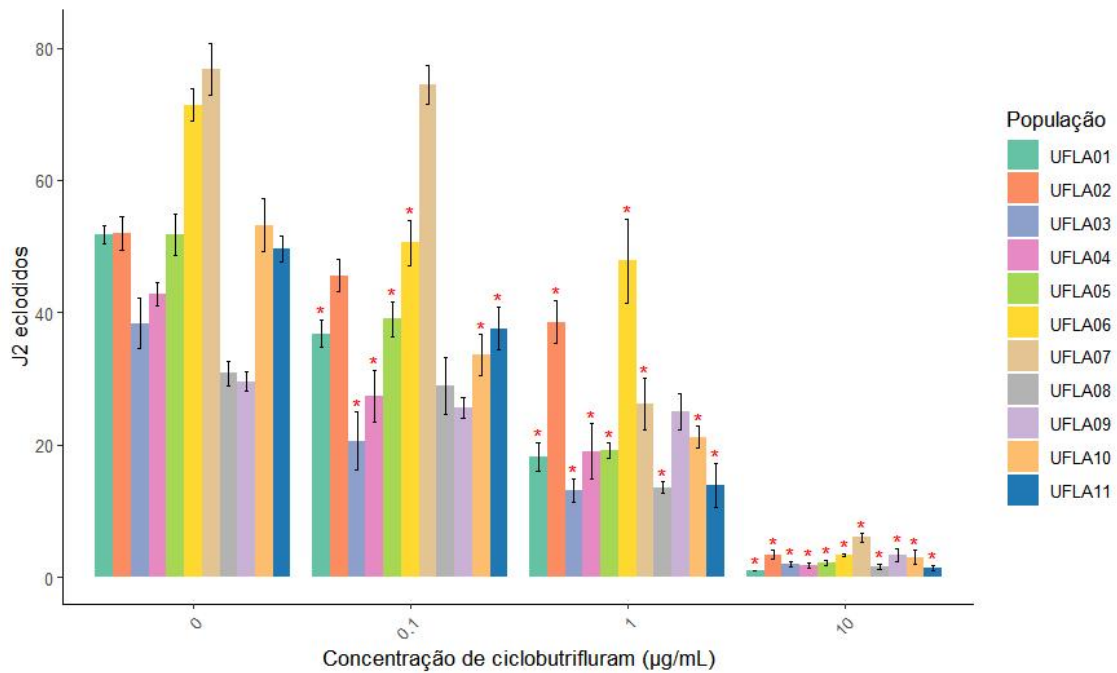


\*diferença significativa em relação ao controle ( $p < 0,05$ ) pelo teste t Student.  
Fonte: Do autor, (2025).

#### 6.4 Eclosão de juvenis do segundo estágio de *M. incognita* das diferentes populações após exposição aos nematicidas

Diferenças na taxa de eclosão foram observadas entre as populações de *M. incognita*. As maiores taxas de eclosão foram observadas nas populações UFLA 06 e UFLA 07, com porcentagem de eclosão acima de 70%. Por outro lado, nas populações UFLA 08 e UFLA 09, a eclosão dos J2 ficou abaixo de 30%. Para todas as populações de *M. incognita*, a exposição dos ovos ao ciclobutrifluram, resultou em redução na taxa de eclosão (Figura 19). A exposição das populações UFLA 01, UFLA 03, UFLA 04, UFLA 05, UFLA 07, UFLA 10 e UFLA 11, a concentração de 1 µg/ml, resultou em mais de 50 % de redução no número de J2 eclodidos em relação ao controle água (Figura 19). Entretanto, as populações UFLA 08 e UFLA 09 foram menos sensíveis, com redução da eclosão abaixo de 15% quando comparado ao controle. A exposição dos ovos, de todas as populações, a maior concentração do ciclobutrifluram, 10 µg/ml, resultou em um drástica (+ 90 %) redução no número de J2 eclodidos.

Figura 19 - Número de juvenis de segundo estágio de *Meloidogyne incognita* eclodidos após exposição a molécula nematicida ciclobutrifluram.

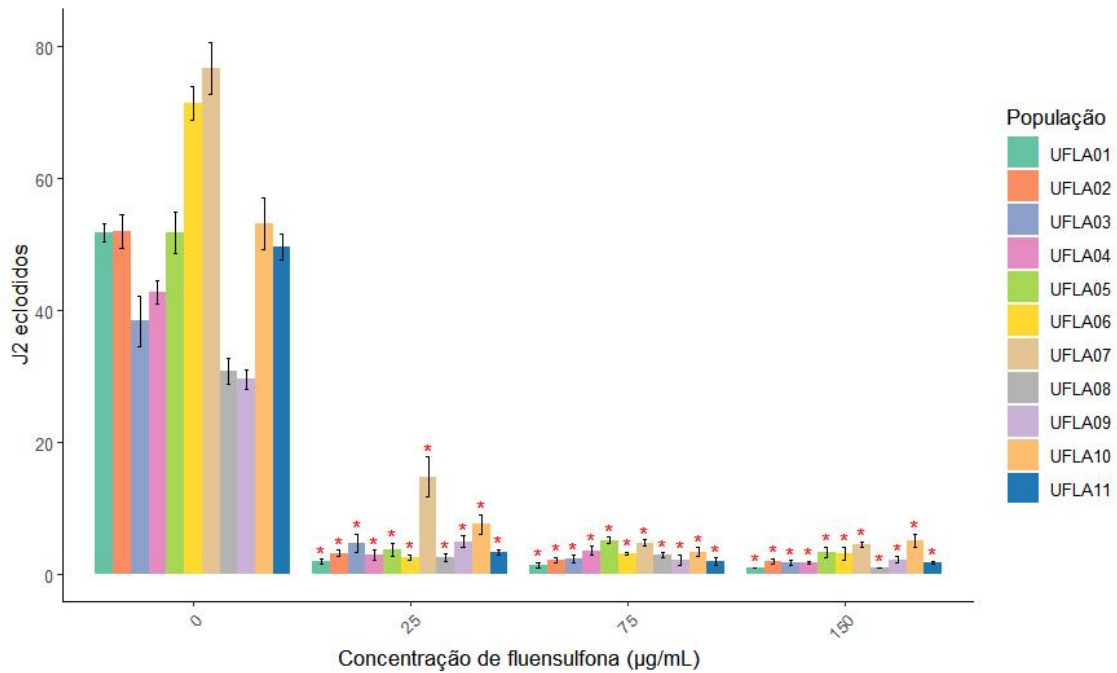


\*diferença significativa em relação ao controle ( $p < 0,05$ ) pelo teste t Student.

Fonte: Do autor, (2025).

A exposição dos ovos de todas as onze populações de *M. incognita* ao nematicida fluensulfona resultou redução acima de 80% no número de J2 eclodidos, mesmo na menor concentração testada 25 µg/ml (Figura 20).

Figura 20 - Número de juvenis de segundo estágio de *Meloidogyne incognita* eclodidos após exposição a molécula nematicida fluensulfona.

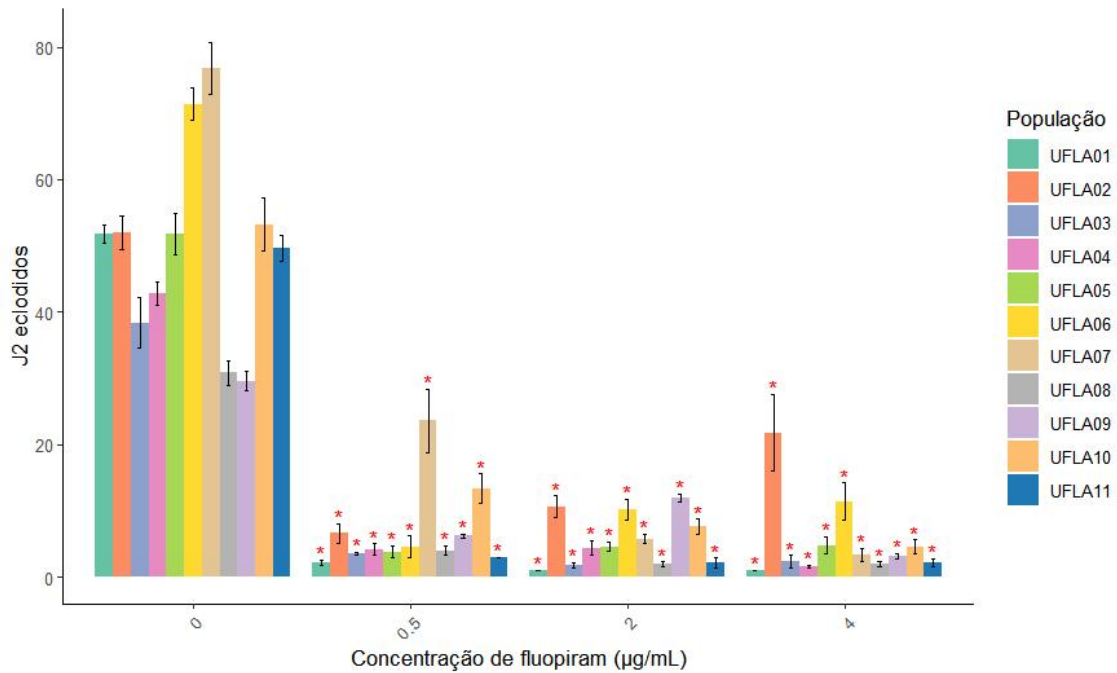


\*diferença significativa em relação ao controle ( $p < 0,05$ ) pelo teste t Student.

Fonte: Do autor, (2025).

A eclosão dos juvenis de segundo estágio foi afetada negativamente quando expostas ao fluopiram (Figura 21). UFLA07 demonstrou diferença em comparação a UFLA01 e UFLA11 apenas na menor concentração. Na concentração de 2 µg/ml, UFLA02, UFLA06 e UFLA09 diferiram apenas de UFLA01. Contudo, diferente do que foi observado nos ensaios com fluensulfona e ciclobutrifluram, a maior concentração de fluopiram não reduziu a eclosão da população UFLA02 e UFLA06, tendo crescimento em comparação a concentração de 0,5 e 2 µg/ml.

Figura 21 - Número de juvenis de segundo estágio de *Meloidogyne incognita* eclodidos após exposição a molécula nematicida fluopiram.

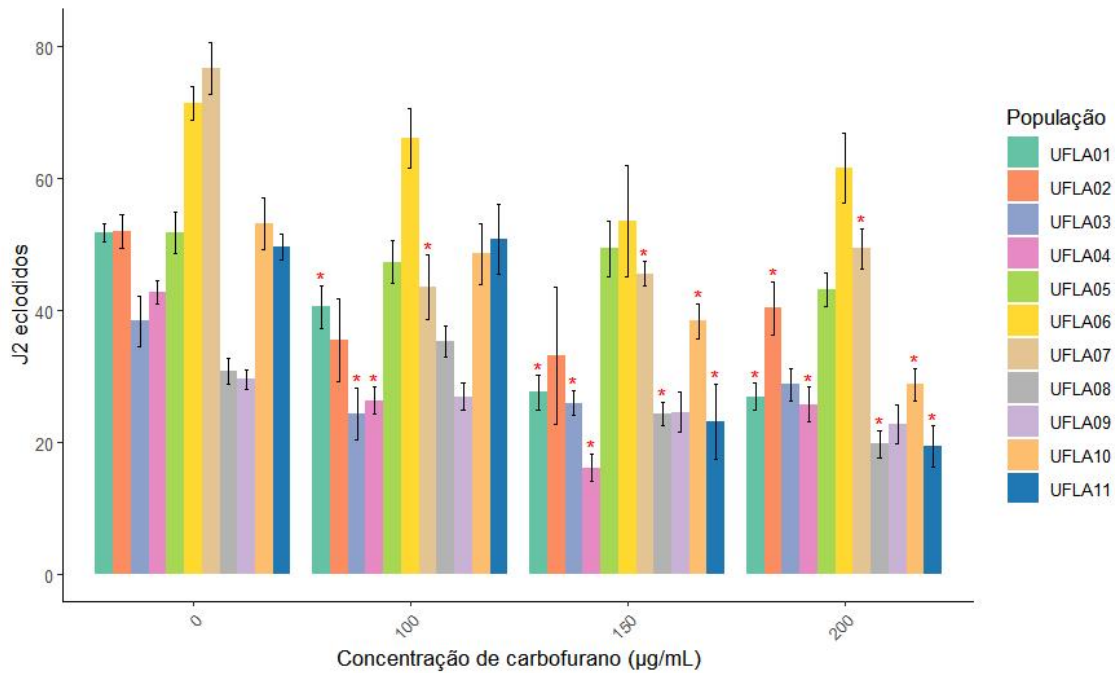


\*diferença significativa em relação ao controle ( $p < 0,05$ ) pelo teste t Student.

Fonte: Do autor, (2025).

O nematicida carbofurano afetou negativamente a taxa de eclosão dos J2, entretanto em uma intensidade muito menor que os outros nematicidas avaliados (Figura 18). Mesmo na maior concentração, 200 µg/ml, a redução no número de J2 eclodidos não alcançou 17% para as populações UFLA 05 e UFLA 06 em relação ao controle negativo água (Figura 22). Para as outras populações a redução na eclosão variou de 35% a 62,5%.

Figura 22 - Número de juvenis de segundo estágio de *Meloidogyne incognita* eclodidos após exposição a molécula nematicida carbofurano.



\*diferença significativa em relação ao controle ( $p < 0,05$ ) pelo teste t Student.

Fonte: Do autor, (2025).

## 7 DISCUSSÃO

As onze populações estudadas no presente trabalho apresentaram padrões perineais característicos de *Meloidogyne incognita*. Contudo, foram observadas variações entre as populações. Santos et al. (2012) também observaram variações significativas em oito isolados brasileiros de *Meloidogyne incognita*. De acordo com Cliff e Hirschmann (1985), de modo geral, grande variabilidade nos padrões perineais ocorre intraespecificamente no gênero *Meloidogyne*. Além da variabilidade intraespecífica relatada na literatura, os padrões perineais de algumas espécies de *Meloidogyne* são semelhantes, como *M. incognita* e *M. paranaensis*, o que faz desse método de identificação muitas vezes inconsistente e subjetivo (CARNEIRO et al., 2004; BARROS et al., 2018). Neste trabalho, a utilização do padrão perineal foi apenas um dos métodos de identificação empregados. Dois fenótipos de esterase I1 e I2 foram identificados nas onze populações de *Meloidogyne* estudadas no presente trabalho. Estes fenótipos foram descritos na literatura como típicos de *M. incognita* (CARNEIRO et al., 2000; 2004; COFCEWICZ et al., 2004, 2005). De acordo com Esbenshade e Triantaphyllou (1985) e Oliveira et al. (2011), o fenótipo I1 é o mais comum

entre as populações de *Meloidogyne incognita*. No presente trabalho, dez populações apresentaram fenótipo I1. Silva et al. (2014) verificaram dois fenótipos de esterase (I1 e I2) entre cinco populações de *Meloidogyne incognita* provenientes de algodão. Barros et al. (2018) observaram em 20 populações brasileiras de *M. incognita* que o fenótipo I1 foi o mais frequente, tendo ocorrido em 66% das amostras positivas para essa espécie. Por outro lado, Lopes et al. (2019) relataram apenas a ocorrência do fenótipo I2 em dez populações de *M. incognita* do oeste da Bahia.

Os marcadores SCAR desenvolvidos para *M. incognita* permitiram a amplificação de fragmentos específicos para as onze populações avaliadas. Os marcadores SCAR espécie-específicos foram estabelecidos por Randig et al. (2002) para identificar as três principais espécies de nematoide das galhas do café que ocorrem no Brasil. Neste trabalho, duas populações de *M. incognita* coletadas de raízes de café, UFLA02 do município de Linhares-ES e UFLA08 do município de Garça-SP, foram identificadas com sucesso, fazendo uso dos marcadores SCAR. Assim como foram identificadas populações de *M. incognita* neste trabalho provenientes de raízes de café. Almeida et al. (2022) conseguiram identificar sete populações de *M. incognita* em cafezais no triângulo mineiro, fazendo o uso do primer SCAR-coffee (Inc-K14-R e Inc-K14-F). Contudo, esses marcadores não são empregados exclusivamente para espécies de nematoides das galhas associadas ao café, mas podem ser utilizados para a espécie de *M. incognita* associada a outras culturas, como soja, tomate, alface, cebola e algodão, como foi verificado neste trabalho. Ye et al. (2019) fizeram a identificação de *M. incognita* usando o primer SCAR-coffee (Inc-K14-R e Inc-K14-F) em mais de 230 amostras de diferentes espécies agrícolas no Arkansas (EUA), dentre as quais continham soja, milho e algodão. *M. incognita* coletada de plantas de tomate em Bangladesh foi identificada por meio do primer SCAR-coffee (Inc-K14-R e Inc-K14-F) (ELAHI et al. 2024). No trabalho de Barros et al. (2018), os autores pontuam que o uso deste conjunto de primers foi suficiente para a identificação de 19 populações de *M. incognita* coletadas de diferentes culturas agrícolas de diferentes regiões do Brasil.

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam uma ampla variabilidade na sensibilidade de diferentes populações de *Meloidogyne incognita* à fluensulfona. A concentração letal média capaz de matar 50% dos J2 ( $CL_{50}$ ), após 48 horas de exposição, variou consideravelmente entre as onze populações testadas, oscilando entre 41  $\mu\text{g/ml}$  a 213  $\mu\text{g/ml}$ .

A comparação dos resultados obtidos no presente estudo com dados da literatura revela uma expressiva disparidade nos valores de  $CL_{50}$  para a fluensulfona. Na literatura, os valores da  $CL_{50}$  para a fluensulfona estão em torno de 42,2 a 131  $\mu\text{g/ml}$  (ZASADA et al., 2019;

PACULE et al., 2022). Por outro lado, resultados bem abaixo dos obtidos neste trabalho são relatados, como, por exemplo, Biswas et al. (2025) relataram valores de  $CL_{50}$  igual a 22,09  $\mu\text{g/ml}$  para uma população de *M. incognita* da Índia. Trabalho conduzido em Israel por Oka e Soraya (2018) identificou valores de  $CL_{50}$  mais de 100 vezes inferiores aos obtidos no presente estudo. Assim como Watson (2022), que observou  $CL_{50}$  de apenas 0,642  $\mu\text{g/ml}$  para uma população de *M. incognita* da Luisiana (EUA).

Apesar da variação nos valores de  $CL_{50}$ , observou-se que, a partir da concentração de 25  $\mu\text{g/ml}$ , 100% dos J2 de todas as populações avaliadas se encontravam imóveis, demonstrando a existência de um limiar de eficácia comum da fluensulfona, independentemente da origem geográfica ou de uma possível variabilidade genética entre as populações.

Além disso, a exposição dos ovos de *M. incognita* por 72 horas a fluensulfona na concentração de 25  $\mu\text{g/ml}$  resultou em redução superior a 80% na eclosão dos J2 em comparação à testemunha. As maiores concentrações avaliadas também reduziram a eclosão dos J2, reforçando o potencial da fluensulfona como nematicida verdadeiro e ovicida. Esses resultados se aproximam de outros trabalhos descritos na literatura, como o de Watson (2022) e Zasada et al. (2019), que relatam a redução da eclosão de J2 após serem expostos a diferentes concentrações de fluensulfona.

Assim como foi observado para a fluensulfona, os resultados obtidos neste estudo evidenciam uma ampla variabilidade na sensibilidade de diferentes populações de *M. incognita* ao fluopiram. A concentração letal média capaz de matar 50% dos J2 ( $CL_{50}$ ), após 48 horas de exposição, apresentou variações entre as onze populações testadas, com valores entre 0,80  $\mu\text{g/ml}$  a 4,9  $\mu\text{g/ml}$ . Os resultados encontrados neste trabalho se aproximam de outros trabalhos descritos na literatura científica (FASKE; HURD, 2015; ZHANG et al. 2022; SCHLEKER et al., 2022). Por outro lado, valores de  $CL_{50}$  distantes dos observados no presente trabalho são relatados. Por exemplo: Wong et al. (2024) relatam valores de  $CL_{50}$  até doze vezes maiores aos encontrados neste trabalho. Fujikawa, Perry e Toyota (2024) observaram valores de  $CL_{50}$  igual a 0,011 mg/L para uma população de *M. incognita* de Aichi (Japão), resultado este 72 vezes menor do que o observado neste trabalho. Tal como se verificou para a fluensulfona, as variações entre a  $CL_{50}$  das onze populações não encontraram correspondência com a taxa de imobilidade. Uma vez que, a partir da menor concentração de 0,5  $\mu\text{g/ml}$ , 100% dos J2 de todas as populações avaliadas se encontravam imóveis.

O fluopiram apresentou ação ovicida sobre a eclosão das onze populações de *M. incognita*. Na menor concentração (0,5  $\mu\text{g/ml}$ ), houve redução superior a 65% na eclosão dos J2 em

comparação à testemunha. Oka (2022) observou a atividade ovicida do fluopiram após 3 dias de exposição.

Fluopiram tem como alvo o complexo II da cadeia de transporte de elétrons nos nematoides e inibe a geração de ATP. Os fungicidas e nematicidas SDHi atuam inibindo a atividade da succinato desidrogenase (SDH, o complexo II do MRC), um complexo enzimático composto por 4 subunidades (SDHA, SDHB, SDHC e SDHD). O complexo SDH está, de fato, na encruzilhada de duas vias metabólicas mitocondriais: o ciclo de Krebs, no qual catalisa a oxidação do succinato a fumarato, e o MRC, no qual catalisa a redução da ubiquinona (coenzima Q) (SCHLEKER et al. 2022). Ambas as funções estão ligadas por meio de transferências de elétrons de uma reação para a outra e desempenham um papel importante na homeostase metabólica e na produção de ATP. Desse modo, a inibição do complexo SDH provavelmente interromperá a função de transferência de elétrons e a produção de ATP, além de bloquear o ciclo de Krebs, levando a um possível aumento no nível de succinato (SCHLEKER et al. 2022). Além disso, o fluopiram inibe seletivamente a função SDH em nematoides, mas não em organismos não-alvo, como ratos, moscas e a espécie de minhoca *Eisenia fetida* subsp. Andrei (SCHLEKER et al. 2022). A exposição de nematoides ao fluopiram causa paralisia reversível ou irreversível de maneira dependente da concentração (SCHLEKER et al. 2022).

No que se refere ao ciclobutrifluram, assim como foi observado para a fluensulfona e fluopiram, houve diferenças consideráveis em relação à  $CL_{50}$  das populações avaliadas, com variações entre 1,04 a 5,11  $\mu\text{g/ml}$ . Os resultados encontrados neste trabalho se assemelham aos obtidos por Wong et al. (2024), que relataram  $CL_{50}$  de 1,16  $\mu\text{g/ml}$  do ciclobutrifluram para uma população de *M. incognita* da Carolina do Norte (EUA) após 24 horas de exposição. Em contrapartida, os valores calculados para a  $CL_{50}$  deste experimento contrastam com os resultados encontrados por Brown e Faske (2024), pois os autores obtiveram uma  $CL_{50}$  de 0,15  $\mu\text{g/ml}$  para uma população de *M. incognita* dos Estados Unidos após 24 horas de exposição ao nematicida, resultado esse 8 vezes inferior aos obtidos no presente estudo. Duas concentrações do ciclobutrifluram ocasionaram 100% de imobilidade dos J2 em todas as populações avaliadas. Isso evidencia a existência de um limiar de eficácia comum do ciclobutrifluram, independentemente da origem geográfica das populações, assim como foi observado para a fluensulfona e o fluopiram. Brown e Faske (2024) observaram imobilidade superior a 55% dos J2 de *M. incognita* quando foram expostas a 0,5  $\mu\text{g/ml}$  por 24 horas.

O ciclobutrifluram, na menor concentração, não foi um ovicida eficiente, apesar de ter sido observada uma pequena redução na eclosão em comparação ao controle. Algumas populações,

no entanto, como UFLA02, UFLA07, UFLA08 e UFLA09, não apresentaram diferenças em relação à testemunha. A maior concentração, por outro lado, apresentou uma redução de mais de 90% na eclosão do J2 em todas as populações, evidenciando sua atividade nematicida. Brown e Faske (2024) também obtiveram resultados semelhantes aos observados neste trabalho, visto que as maiores concentrações empregadas pelos autores (1 e 10 µg/ml) foram as mais eficientes, diferindo do controle. Assim como Chen et al. (2024) observaram, o ciclobutrifluram, na maior concentração (2,5 mg/L), foi suficiente para reduzir 90% da taxa de eclosão de J2 de *M. enterolobii*.

O ciclobutrifluram reflete o modo de ação do fluopiram, outro fungicida e nematicida SDHI com propriedades nematicidas, pois ambos interferem na cadeia de transporte de elétrons do sistema mitocondrial (complexo II) por meio da inibição da enzima succinato desidrogenase (HEYDARI et al., 2023; FLEMMING et al., 2024).

Também foram observadas variações na concentração letal média (CL<sub>50</sub>) do nematicida fluazaindolizina, após 48 horas de exposição, com valores variando entre 37,304 e 290,69 µg/ml. A comparação dos resultados obtidos no presente estudo com dados da literatura revela uma expressiva discrepância nos valores de CL<sub>50</sub> para a fluazaindolizina, que se encontram entre 180,59 e 101 µg/ml (WRAM; ZASADA, 2019; ZASADA, 2020; WU et al., 2021). Em contrapartida, estudos relatam valores de CL<sub>50</sub> muito inferiores aos observados no presente trabalho. Watson (2022) obteve resultado bem inferior em comparação com os demais trabalhos. Segundo o autor, a CL<sub>50</sub> após 72 horas de exposição foi de 30,4 µg/ml, resultado este bem semelhante ao verificado para a população UFLA01. Biswas et al. (2025) para uma população de *M. incognita* da Índia obtiveram uma CL<sub>50</sub> de 19,67 µg/ml, resultado inferior aos obtidos neste trabalho.

Mesmo diante da variação nos valores de CL<sub>50</sub>, observou-se que, a partir da concentração de 25 µg/ml, 50% dos J2 encontravam-se imóveis, em todas as populações avaliadas. Thoden, Pardavella e Tzortzakakis (2019) avaliaram a resposta da imobilidade de 5 populações de *Meloidogyne incognita* da Grécia a duas concentrações de Salibro® (produto comercial cujo princípio ativo é a fluazaindolizina): 5 e 50 µg/ml. Algumas populações, após 72 horas de exposição ao nematicida, na menor dose, já apresentavam mais de 49% do J2 imobilizado.

Diferente do fluopiram e do ciclobutrifluram, o modo de ação da fluensulfona e da fluazaindolizina são desconhecidos até o momento. Contudo, alguns trabalhos trazem possíveis sítios de ação desses nematicidas. Conforme Wram, Hesse e Zasada (2022), a fluensulfona e a fluazaindolizina tiveram os maiores impactos na expressão gênica de enzimas em β-oxidação de ácidos graxos. Ambos os nematicidas alteraram a expressão de cada etapa

da  $\beta$ -oxidação de ácidos graxos. Ainda, conforme os autores, a síntese de todas as enzimas que quebram ácidos graxos foi significativamente reduzida pelo tratamento com fluensulfona em *M. incognita*, o que reduziria a capacidade do nematoide de metabolizar ácidos graxos. Esse fato corrobora com o acúmulo de lipídios observado em *Globodera pallida*, já que, conforme Kern et al. (2017), após tratar J2s de *G. pallida* com 10  $\mu$ M de fluensulfona por 10 dias, houve 50% mais conteúdo lipídico em comparação com J2s de *G. pallida* que não foram tratados. Os autores ainda enfatizam que foi observado que o acúmulo de lipídios em J2s de *G. pallida* tratado com fluensulfona superou o esperado de nematoides paralisados, o que sugeriu que o metabolismo lipídico estava sendo inibido pela fluensulfona, o que reduziria a capacidade do nematoide de metabolizar ácidos graxos.

Wram, Hesse e Zasada (2022) salientam que, após o tratamento de *M. incognita* com fluensulfona, foi observada regulação negativa de quase todas as enzimas do ciclo do ácido cítrico (TCA). O ciclo do ácido cítrico é uma das vias bioquímicas mais críticas na célula, produzindo dois importantes equivalentes redutores, NADH e FADH<sub>2</sub>, que são usados para transferir elétrons para a cadeia de transporte de elétrons e gerar ATP por meio da fosforilação oxidativa (MARTÍNEZ-PAZ, et al., 2012). Semelhante à fluensulfona, a fluazaindolizina causou a regulação negativa de muitas enzimas presentes no ciclo do ácido cítrico (WRAM; HESSE; ZASADA, 2022). Os genes que codificam proteínas de ligação a ácidos graxos e retinoides (FAR) foram regulados negativamente pela fluazaindolizina após a aplicação desta em J2 de *M. incognita* (WRAM; HESSE; ZASADA, 2022). As proteínas FAR demonstraram desempenhar um papel crucial no parasitismo e no desenvolvimento de nematoides, e sua regulação negativa é uma maneira adicional pela qual a fluensulfona e a fluazaindolizina podem reduzir a reprodução de nematoides (VIEIRA; KAMO; EISENBACK, 2017).

O carbofurano, apesar de não ser mais empregado na agricultura, foi utilizado como molécula modelo para observar a mortalidade. Para essa molécula, foram observadas diferenças nas respostas das populações, com valores de CL<sub>50</sub> que variaram de 30,3 a 171,0  $\mu$ g/ml. Alguns trabalhos apresentam resultados que se assemelham aos encontrados neste trabalho, com valores de CL<sub>50</sub> em torno de 49,25 a 170  $\mu$ g/ml (VANEGAS et al., 2022; PACULE et al., 2022; BISWAS et al.; 2025). Por outro lado, os resultados obtidos são inferiores ao descrito por Oliveira et al. (2014), uma vez que a CL<sub>50</sub> do carbofurano em seu trabalho foi de 260  $\mu$ g/ml.

Apesar da sua atividade nematicida, nem todas as populações foram afetadas negativamente pelo carbofurano na menor concentração em relação à imotilidade. Populações

como UFLA02, UFLA04, UFLA06 e UFLA08 apresentaram índices de J2 imóveis inferiores a 25%.

Carbofurano não foi um ovicida eficiente, apresentando uma pequena redução na eclosão de algumas populações. Populações como UFLA02, UFLA05 e UFLA06 não sofreram interferência do carbofurano na eclosão dos J2 em comparação à testemunha. Essa informação está de acordo com os resultados observados por Pacule et al. (2022), sendo que, conforme os autores, o carbofurano não reduziu a eclosão de J2 de *M. incognita*, não apresentando diferença com a testemunha.

Apesar de observar redução da eclosão aos nematicidas, algumas populações sobressaíram em relação a outras. A população UFLA01 teve uma das menores taxas de eclosão aos nematicidas fluensulfona e fluopiram em todas as concentrações, e ao ciclobutrifluram na maior concentração, comparando com o controle (concentração zero). Nesse caso, percebe-se uma relação, dado que essa população foi a mais sensível a fluensulfona e uma das mais sensíveis ao fluopiram. Por outro lado, as populações UFLA07 e UFLA06 foram as que apresentaram os maiores índices de eclosão para os quatro nematicidas avaliados, sendo UFLA06 a menos sensível ao ciclobutrifluram e ao fluopiram. Outro ponto observado foi a taxa de eclosão da testemunha, que também apresentou diferenças entre populações. Populações como UFLA02, UFLA06 e UFLA07 tiveram uma maior taxa de eclosão em comparação com UFLA08 e UFLA09, sob as mesmas condições, sendo estas últimas com valores duas vezes inferiores às com maior número de J2 eclodidos. Isso pode ser um indicativo de populações mais virulentas do que outras.

Essas discrepâncias em relação aos resultados da  $CL_{50}$  podem ser atribuídas, em grande parte, às diferentes metodologias adotadas pelos pesquisadores na avaliação dos ensaios. Fatores como o tempo de exposição ao nematicida, que pode variar de 17 a 72 horas, influenciam diretamente os resultados. Além disso, o critério utilizado para determinar a mortalidade dos J2 também interfere nas estimativas de  $CL_{50}$ . Enquanto alguns estudos empregam hidróxido de sódio (NaOH) para confirmar a morte dos nematoides, outros optam por remover os J2 do meio com nematicida e transferi-los para água, observando posteriormente sua motilidade. Tais variações metodológicas dificultam a comparação direta entre os trabalhos e reforçam a necessidade de padronização dos protocolos de bioensaios com nematicidas.

Os diferentes resultados entre as populações de *M. incognita* oriundas de diferentes regiões do Brasil evidenciam a diversidade genética de *M. incognita*. Apesar de ser uma espécie cuja reprodução é por partenogênese mitótica, sendo que, nesse modo de reprodução, sem

recombinação sexual, espera-se uma descendência clonal, o que sugere baixa variabilidade genética (CASTAGNONE-SERENO, 2006; SHIGUEOKA et al., 2022), percebe-se que existe uma ampla diversidade genética entre as populações, o que pode contribuir para que algumas sejam mais ou menos sensíveis aos nematicidas, como foi observado neste trabalho. Essa ocorrência da diversidade genética pode ser observada não apenas entre as populações avaliadas em nosso trabalho, mas também quando comparamos com as demais populações em outros trabalhos descritos na literatura, o que pode responder às diferenças de resultados existentes entre trabalhos. Outro ponto observado: temos populações de diferentes regiões do país, oriundas de diferentes ambientes, climas, temperaturas e hospedeiros, fatores esses que também podem contribuir para os diferentes comportamentos das populações.

Essa diversidade genética presente no gênero *Meloidogyne* spp. e na espécie *M. incognita* é relatada na literatura, especialmente em situações em que populações de *M. incognita* são mais virulentas do que outras, quando parasitam um hospedeiro resistente. Ploeg et al. (2023) e Hajihassani et al. (2022) encontraram populações de *M. incognita* que foram capazes de “quebrar a resistência” em tomate resistente portador do gene Mi. Segundo os autores, essa “quebra da resistência” se deve à diversidade genética entre as diferentes populações de nematoides testadas.

Uma das hipóteses que pode explicar a diferença da sensibilidade das populações de *M. incognita* avaliadas neste trabalho, especialmente ao carbofurano, fluensulfona e ao fluopiram, consiste no fato de que essas populações já tiveram contato com alguns desses nematicidas em um determinado período. Essa hipótese se baseia no fato de que, nos trabalhos de Fujikawa, Perry e Toyota (2024) e Hung et al. (2016), as populações que foram menos sensíveis aos nematicidas avaliados em ambos os trabalhos foram populações coletadas de áreas que tinham um histórico de uso de nematicidas por vários anos, ou seja, eram populações que já tiveram contato com algum nematicida. Por outro lado, as populações que foram mais sensíveis eram populações de áreas que nunca tiveram histórico de uso de nematicida.

Fluensulfona e fluopiram são nematicidas já registrados no Brasil e são utilizados em diferentes culturas agrícolas (WALENDORFF, 2018; TOOGE, 2019). Por sua vez, o carbofurano já foi empregado no país por vários anos, porém, foi removido do mercado nos últimos anos (WANG et al., 2023). Pelo fato de estes nematicidas serem utilizados no campo (ou foram, no caso do carbofurano), existe uma possibilidade de que algumas dessas populações já tenham tido contato com algumas dessas moléculas, o que explicaria o fato de que algumas populações, como, por exemplo, UFLA02, serem menos sensíveis ao

carbofurano do que outras populações, como UFLA07. As populações UFLA02 e UFLA07, ambas coletadas de plantas de café, são populações que apresentaram os maiores valores de CL<sub>50</sub> para o carbofurano, sendo que este nematicida, quando em uso, poderia ser empregado na cultura do café. Acredita-se que os cafezais onde essas populações foram coletadas tiveram algum histórico do uso do carbofurano. Esse raciocínio também é válido para os outros nematicidas (fluopiram e fluensulfona). No entanto, essa hipótese não pode ser confirmada, dado que não conhecemos o histórico das aéreas onde as populações foram coletadas.

Populações como UFLA06 e UFLA08 foram menos e mais sensíveis tanto ao fluopiram como ao ciclobutrifluram, ambos nematicidas inibidores da succinato desidrogenase. Além dessas populações, UFLA02, UFLA06 e UFLA07 também se comportaram de forma semelhante a UFLA06 e UFLA08 para os respectivos nematicidas. Esses casos citados, em que uma ou mais populações apresentam menor sensibilidade a um ou mais nematicidas, podem ser o indício de resistência cruzada presente nas populações que foram menos sensíveis ou “mais resistentes” a ambos os nematicidas. A resistência cruzada refere-se aos casos em que um único mecanismo de resistência presente no patógeno ou praga confere resistência a dois ou mais compostos químicos, produtos estes geralmente relacionados, com o mesmo modo de ação ou também podem ocorrer com produtos com modos de ação distintos (FRAGOSO, 2014; YANG et al., 2019).

A ocorrência da resistência cruzada é amplamente estudada e conhecida, principalmente para fungos e fungicidas (YANG et al., 2019; OMRANE et al., 2015; MALANDRAKIS et al., 2015; AVENOT et al., 2016). No entanto, para fitonematoides e nematicidas, ainda são raros ou inexistentes os trabalhos que abordem essa relação. Apesar dos raros ou inexistentes trabalhos que abordem resistência cruzada sobre fitonematoides, esse fenômeno já vem sendo abordado e discutido para algumas espécies de nematoides zooparasitas resistência à ivermectina e à moxidectina (ALMEIDA et al. 2013; PANKAVICH et al., 1992). Ménez et al. (2016), no entanto, identificaram resistência cruzada de isolados de *Caenorhabditis elegans* selvagens à ivermectina e moxidectina.

Não se sabe qual é o motivo que pode estar relacionado à diferença entre a sensibilidade das populações quando expostas ao mesmo nematicida. Entretanto, alguns trabalhos já observaram essas diferenças entre populações de *M. incognita* quando foram expostas a alguns nematicidas e propuseram algumas possíveis justificativas que possam indicar os motivos pelos quais algumas populações são mais ou menos sensíveis que outras. Hung et al. (2016) observaram mutações na enzima acetilcolinesterase (AChE), sendo que essas mutações estiveram envolvidas no mecanismo de resistência de uma população de *M. incognita* na

China, que foi menos sensível ao fostiazato em comparação a outra, que foi quase três vezes mais sensível. Fujikawa, Perry e Toyota (2024) analisaram duas enzimas, AChE e Glutathione S-transferases (GSTs), que podem estar relacionadas com a baixa sensibilidade ao fluopiram e ao fostiazato. Segundo os autores, a GSTs é uma enzima básica da via de desintoxicação e está associada a uma baixa sensibilidade a diferentes tipos de nematicidas. Ainda conforme os autores, uma das populações provenientes do Japão de *M. incognita*, que foi menos sensível ao fluopiram e ao fostiazato, apresentou mutações em torno dos sítios ativos da interface e no nível de expressão gênica da enzima GSTs, sendo que essas mutações foram maiores na população menos sensível do que na população mais sensível. Dessa forma, os autores concluíram que essas mutações observadas na população menos sensível indicaram um aumento na atividade de GSTs, o que pode estar atrelado à baixa sensibilidade ao fluopiram e ao fostiazato. Essas informações salientadas por Fujikawa, Perry e Toyota (2024) podem ser uma possível resposta que indique as diferenças observadas neste trabalho para os nematicidas fluopiram, fluensulfona, fluazaindolizina e ciclobutrifluram.

## 8 CONCLUSÕES

Foi observada diferença entre a sensibilidade das onze populações brasileiras de *M. incognita* as novas moléculas nematicidas e ao carbofurano. A população UFLA06 foi a menos sensível ao fluopiram, enquanto a população UFLA08 foi mais sensíveis ao nematicida ciclobutrifluram. A população UFLA01 foi a mais sensível tanto a fluensulfona como a fluazaindolizina. As populações UFLA08 e UFLA09 foram menos sensíveis a fluazaindolizina e a fluensulfona, respectivamente. Fluensulfona e fluopiram foram eficientes ovicidas, reduzindo em mais de 80 e 60 % da eclosão, respectivamente, na menor concentração em todas as populações, enquanto que a maior concentração de ciclobutrifluram reduziu em mais de 90% da eclosão dos J2 em todas as populações.

## REFERÊNCIAS

- ABAD, P. et al. Genome sequence of the metazoan plant-parasitic nematode *Meloidogyne incognita*. **Nature Biotechnology**, v. 26, n. 8, p.909-9015, aug. 2008.
- ABAD, P.; FAVERY, B.; ROSSO, M. N.; SERENO, P. C. Root-knot nematode parasitism and host response: molecular basis of a sophisticated interaction. **Molecular Plant Pathology**, v. 4, n. 4, p. 217-224, 2003.
- ABAD, P.; GOUZY, J.; AURY, J. M.; CASTAGNONE-SERENO, P.; DANCHIN, E. G.;

DELEURY, E.; PERFUS-BARBEOCH, L.; ANTHOURD, V.; ARTIGUEVE, F.; BLOK, V. C. Genome sequence of the metazoan plant parasitic nematode *Agropecuário*, Belo Horizonte, MG. v.40, n.306, p.1-108, 2019.

ALMEIDA, G.D.; FELIZ, D. C.; HECKLER, R. P.; BORGES, D. G.; ONIZUKA, M. K.; TAVARES, L. E.; PAIVA, F.; BORGES, F. A. Ivermectin and moxidectin resistance characterization by larval migration inhibition test in field isolates of *Cooperia* spp. in beef cattle, Mato Grosso do Sul, Brazil. *Vet Parasitol*, 191:59–65, 2013.

ALMEIDA, S. F.; *et al.* **Levantamento do nematoide-das-galhas (*Meloidogyne* spp.) em cafeeiros no Triângulo Mineiro-MG, Brasil: ocorrência restrita de *M. izalcoensis*.** Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2022. 23 p. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 378).

AMARAL, D. R.; OLIVEIRA, F. E. R.; OLIVEIRA, D. F. Purification of two substances from bulbs of onion (*Allium cepa* L.) with nematicidal activity against *Meloidogyne exigua*. *Goeldi Nematology*, vol. 5, p. 859-864, 2003.

Anvisa aprova ato de avaliação toxicológica de Tymirium técnico. *Revista Cultivar*, janeiro de 2024. Disponível em: <<https://revistacultivar.com.br/noticias/anvisa-aprova-ato-de-avaliacao-toxicologica-de-tymirium-tecnico>> Aceso em 08 de fev. de 2024.

AVENOT, H.; MORGAN, D. P.; MICHAILIDES, T. J. Resistance to pyraclostrobin, boscalid and multiple resistance to pristine (R) (pyraclostrobin plus boscalid) fungicide in *Alternaria alternata* causing *Alternaria* late blight of pistachios in California. *Plant Pathol.* 57:135–40, 2008.

BARROS, A. F.; CAMPOS, V. P.; SOUZA, L. N.; COSTA, S. S.; TERRA, W. C.; LESSA, J. H. L. Morphological, enzymatic and molecular characterization of root-knot nematodes parasitizing vegetable crops. *Horticultura Brasileira*, 36: 473-479, 2018.

BARTLETT, M. S. Properties of sufficiency and statistical tests. Proceedings of the Royal Society of London. *Series A-Mathematical and Physical Sciences*, v. 160, n. 901, p. 268-282, 1937.

BECKER, J.O.; PLOEG, A.; NINEZ, J. J. Multi-Year Field Evaluation of Fluorinated Nematicides Against *Meloidogyne incognita* in Carrots. *Plant disease*, vol.103, 2019.  
BONETI, J. I. S.; FERRAZ, S. Modificação do método de Hussey & Barker para extração de ovos de *Meloidogyne exigua* de raízes de cafeeiro. *Fitopatologia Brasileira*, 6: 553, 1981.

BROWN, K.; FASKE, T. R.; Sensitivity of *Meloidogyne incognita* and *Rotylenchulus reniformis* to Cyclobutrifluram. *Plant Disease*, 108:3400-3405, 2024.

CAILLAUD M. C.; DUBREUIL, G.; QUENTIN, M.; PERFUS-BARBEOCH, L.; LECOMTE, P.; ALMEIDA ENGLER, J.; ABAD, P.; ROSSO, M. N.; FAVERY, B. Root-knot nematodes manipulate plant cell functions during a compatible interaction. *Journal of Plant Physiology*, vol. 165, n. 1, 2008.

CÁLDERON-URREA, A.; VANHOLME, B.; VANGESTEL, S.; KANE, S. M.; BAHAJI, A.; PHA, K.; GARCÍA, M.; SNIDER, A.; GHEYSEN, G. Early development of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *BMC Developmental Biology*, v. 16, n. 10, 2016.

CAPRIOTTI, L. Corteva anuncia nematicida Reklemel nos EUA. **Revista Cultivar**, setembro de 2023. Disponível em<:https://revistacultivar.com.br/noticias/corteva-anuncia-nematicida-reklemel-nos-eua> Acesso em 30 de jan. de 2024.

CARNEIRO, R. M. D. G. COFCEWICZ, E. T. The taxonomy of *Meloidogyne* spp. From coffee. In: SOUSA, R. M. (Ed.). **Plant paraitic nematodes of coffe**. New York: APS Press & Springer, p.87-122, 2008.

CARNEIRO, R. M. D. G. *et al.* Gênero *Meloidogyne*: diagnose através de eletroforese de isoenzimas e marcadores SCAR. In: OLIVEIRA, C. M. G.; SANTOS, M. A.; CASTROS, L. H. S. **Diagnose de fitonematoides**. Campinas: Millennium Editora, 2016. Cap. 3, p.47-64.

CARNEIRO, R. M. D. G.; ALMEIDA, M. R. A.; QUÉNÉHERVÉ, P. Enzyme phenotypes of *Meloidogyne* spp. populations. **Nematology**, vol. 2, 645–654, 2000

CARNEIRO, R. M. D. G.; CARNEIRO, R. G.; ABRANTES, I. M. O.; SANTOS, M. S. N. A.; ALMEIDA, M. R. A. *Meloidogyne paranaensis* n. sp. (Nemata: Meloidogynidae), a root-knot nematode parasitizing coffee in Brazil. **Journal of Nematology**, 28, 177–189. 1996.

CARNEIRO, R. M. D. G.; COFCEWICZ, E. T. Taxonomy of coffee-parasitic root-knot nematodes, *Meloidogyne* spp. In R. M. Souza (Ed.), **Plant parasitic nematodes of coffee** (pp. 87–122). New York: Springer., 2008.

CARNEIRO, R. M. D. G.; MONTEIRO, T. S. A.; ECKSTEIN, B.; FREITAS, L. G. Controle de nematoides fitoparasitas. In: FONTES, E. M. G.; VALADARES-INGLIS, M. C. **Controle biológico de pragas da agricultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2020.

CARNEIRO, R. M. D. G.; RANDIG, O.; ALMEIDA, M. R. A.; GONÇALVES, W. Identificação e caracterização de espécies de *Meloidogyne* em cafeeiros nos Estados de São Paulo e Minas Gerais através de fenótipos de esterase e SCAR-Multiplex-PCR. **Nematologia brasileira**, Vol. 29, p.233-242, 2005.

CARNEIRO, R. M. D. G.; TIGANO, M. S.; RANDIG, O.; ALMEIDA, M. R. A.; SARAH, J. L. Identification and genetic diversity of *Meloidogyne* spp. (Tylenchida: Meloidogynidae) on coffee from Brazil, Central America and Hawaii. **Nematology**, 2004, 6, 37–47, 2004.

CARNEIRO, RMDG; TIGANO, MS; RANDIG, O; ALMEIDA, MRA; SARAH, JL. Identification and genetic diversity of *Meloidogyne* spp. on coffee from Brazil, CASTAGNONE-SERENO, P. Gentic variability and adaptive evolution in parthenogenetic root-knot nematodes. **Heredity**, 96:282-289, 2006. Central America and Hawaii. **Nematology** 6: 287-298, 2004.

CHEN, J.; LI, Q. X.; SONG, B. Chemical Nematicides: Recent Research Progress and Outlook. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 68, n. 44, p.12175-12188, 2020.

CHEN, S. Y.; DICKSON, D.W. A technique for determining live second-stage juveniles of *Heterodera glycines*. **Journal of Nematology**., vol. 32. p. 117-121, 2000.

CHEN, X.; LI, X.; PANG, K.; FAN, X.; MA, Y.; HU, J. Dissipation behavior and residue

- distribution of fluazaindolizine and its seven metabolites in tomato ecosystem based on SAX SPE procedure using HPLC-QqQ-MS/MS technique. **Journal of Hazard Mater.**, v.342, p.698-704, 2018.
- CHITWOOD, D. J. **Encyclopedia of Agrochemicals. Nematicides.** v. 3, p.1104-1115, 2002.
- CHN, J.; MA, J.; GAO, F.; TANG, W.; YANG, D.; ZHANG, C.; LIANG, Z.; XIE, Y.; SUN, H. Evaluation of nematicides for *Meloidogyne enterolobii* management in sweetpotato. **Journal of Nematology**, vol.56, 1, 2024.
- CHOI, I.; SUBRAMANIANO, P.; SHIM, D.; OH, B. J.; SOO, G. B. RNA-Seq of Plant-Parasitic Nematode *Meloidogyne incognita* at Various Stages of Its Development. **Frontiers in Genetics**, v. 8, p.190, 2017.
- COFCEWICZ, E. T.; CARNEIRO, R. M. D. G.; CASTAGNONE-SERENO, P.; QUÉNÉHERVÉ, P. Enzyme phenotypes and genetic diversity of root-knot nematodes parasitising Musa in Brazil. **Nematology**, 6, 85–95, 2004.
- COFCEWICZ, E. T.; CARNEIRO, R. M. D. G.; CASTAGNONE-SERENO, P.; QUÉNÉHERVÉ, P. Enzyme phenotypes and genetic diversity of root-knot nematodes parasitising Musa in Brazil. **Nematology**, 6, 85–95, 2004.
- COFCEWICZ, E. T.; CARNEIRO, R. M. D. G.; RANDIG, O.; CHABRIER, C.; QUÉNÉHERVÉ, P. Diversity of *Meloidogyne* spp. on Musa in Martinique, Guadeloupe and French Guiana. **Journal of Nematology**, 37, 313–322, 2005.
- COLLANGE, B.; NAVARRETE, M.; PEYRE, G.; MATEILLE, T.; TCHAMITCHIAN, M. Root-knot nematode (*Meloidogyne*) management in vegetable crop production: The challenge of an agronomic system analysis. **Crop Protection**, v. 30, n.10, p.1251-1262, 2011.
- CORREIA, E. C. S. S.; NEVES, M. I. R. S.; SILVA, L. S.; SANTOS, D. S.; DOMINGUES NETO, F. J. Estratégias e desafios no manejo de nematoides formadores de galhas (*Meloidogyne* spp.) em cultivos de olerícolas: uma revisão. **REVISTA MIRANTE**, Anápolis (GO), v. 10, n. 5, dez. 2017.
- CORTE, G. D.; PINTO, F. F.; STEFANELLO, M. T.; GULART, C.; RAMOS, J. P.; BALARDIM, R. S. Tecnologia de aplicação de agrotóxicos no controle de fitonematoides em soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.9, p.1534-1540, set, 2014.
- DECRAEMER, W.; HUNT, D. J. Structure and classification. In: PERRY, R. N.; MOENS, M. (ed.). **Plant Nematology**. Wallingford: CABI, cap.1, p.3-32, 2006.
- DESAEGER, J.; WRAM, C.; ZASADA, I. New reduced-risk agricultural nematicides-rationale and review. **Journal of Nematology**, v 52, 2020.
- DUNN, O. J.; CLARK, V. A. **Applied statistics: analysis of variance and regression**. Wiley New York, 1987.
- EBONE, L. A.; KOVALESKI, M.; DEUNER, C. C. Nematicides: history, mode, and mechanism action. **Plant Science Today**, v.6, n.2, p. 91-97, 2019.

- EISENBACK, J. Detailed morphology and anatomy of second-stage juveniles, males and females of the genus *Meloidogyne* (root-knot nematodes). In BARKER, K. R.; CARTER, C. C.; SASSER, J. N. **An Advance Treatise on Meloidogyne**, Vol. 2, 1985.
- ELAHI, F. E.; ISLAM, M. M.; FARUK, M. I. L.; RAHMAN, M. M. Molecular identification of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) of tomato at gazipur district in Bangladesh. **Bangladesh J. Agri.** 49(1): 136-140, 2024.
- ESBENSHADE, P. R.; TRIANTAPHYLLOU, A. C. Use of enzyme phenotypes for identification of *Meloidogyne* species (Nematoda: Tylenchida). **Journal of Nematology**, 17, 6–20, 1985.
- ESBENSHADE, P.R.; TRIANTAPHYLLOU, A.C. Isozyme phenotypes for the identification of *Meloidogyne* species. **Journal of Nematology**, 22: 10-15, 1990.
- FASKE, T. R.; HURD, K. Sensitivity of *Meloidogyne incognita* and *Rotylenchulus reniformis* to fluopyram. **Journal of Nematology** v.47, p.316–321, 2015.
- FAVORETO, L.; MEYER, M. C.; DIAS-ARIEIRA, C. R.; MACHADO, A. C. Z.; SANTIAGO, D. C.; RIBEIRO, N. R. Diagnóstico e manejo de fitonematoides na cultura da soja. In: JESUS, A. M.; DIAS, M. S. C. Nematoides fitoparasitas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, MG. v.40, n.306, p.1-108, 2019.
- FERRAZ, L. C. C. B. Nematoides. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. **Manual de fitopatologia**, volume 2, princípios e conceitos. Ouro Fino, MG: Agronômica Ceres, 5 ed. p.528, 2018.
- FERRAZ, L. C. C. B.; BROWN, D. J. F. **Nematologia de plantas: Fundamentos e importância**. Campos dos Goytacazes: Sociedade Brasileira de Nematologia, 2016, p.250.
- FLEMMING, A. *et al.* The discovery of Cyclobutirfluram, a new molecule with powerful activity against nematodes and diseases. **Pest Manag Sci**, 81: 2480–2490, 2025.
- FRAGOSO, D. B. Duro de matar: os superinsetos resistentes a inseticidas da agricultura! **Fronteira Agrícola**. Informativo técnico: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2014.
- FUJIKAWA, A.; PERRY, R. N.; TOYOTA, K. Occurrence of a population of the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*, with low sensitivity to two major nematicides, fosthiazate and fluopyram, in Japan. **Pest Management Science**, 2024.
- GINÉ, A.; MONTFORT, P.; SORRIBAS, F. J. Creation and Validation of a Temperature-Based Phenology Model for *Meloidogyne incognita* on Common Bean. **Plants**, v. 10, n. 2, 2021.
- GONZAGA, V.; JESUS, A. M. JESUS, A. M.; DIAS, M. S. C. Nematoides HAJIHASSANI, A.; DAVIS, R. F.; TIMPER, P. Evaluation of Selected Nonfumigant Nematicides on Increasing Inoculation Densities of *Meloidogyne incognita* on Cucumber. **Plant disease**, 103, p.3161-3165, 2019.

- HAIJHASSANI, A.; MARQUEZ, J.; WOLDEMESKEL, M.; HAMIDI, N. Identification of four populations of *Meloidogyne incognita* in Georgia, United States, capable of parasitizing tomato-bearing Mi-1.2 gene. **Plant Disease**. 106(1):137–143, 2022.
- HARTMAN, K.M.; SASSER, J.N. Identification of *Meloidogyne* species on the basis of differential host and perineal pattern morphology. In: BARKER, K.R.; CARTER, C.C.; SASSER, J.N. **An advanced treatise on Meloidogyne**. Volume II Methodology. Raleigh: North Carolina State University Graphics, 1985, v.2, p. 115-123.
- HEYDARI, F.; CRESPO, D. R.; WICKY, C. The New Nematicide Cyclobutrifluram Targets the Mitochondrial Succinate Dehydrogenase Complex in *Caenorhabditis elegans*. **Journal of Developmental Biology**, v. 11, n.4, p. 39, 2023.
- HEYDARI, F.; RODRIGUEZ-CRESPO, D.; WICKY, C. The new nematicide cyclobutrifluram targets the mitochondrial succinate dehydrogenase complex in *Caenorhabditis elegans*. **J. Dev. Biol.** 11:239-251, 2023.
- HUANG, W.K.; WU, Q. S.; PENG, H.; KONG, L. A.; LIU, S.M.; YIN, H.Q.; et al., Mutations in acetylcholinesterase2 (*ace2*) increase the insensitivity of acetylcholinesterase to fosthiazate in the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. **Scientific Reports**, vol. 6:38102, 2016.
- HUNT D.J.; HANDOO, Z.A. Taxonomy, identification and principal species. In PERRY, R.N.; MOENS, M.; STARR, J.L. **Root-knot nematodes**, Wallingford, UK: CAB International. p.55-88, 2009.
- HUSSEY, R. S.; BARKER, K. B. A comparison of methods of collecting inocula for *Meloidogyne* spp., including a new technique. **Plant Disease**. v.57, p.1025-1028, 1973.
- INOMOTO, M. M.; SIQUEIRA, K. M. S.; MACHADO, A. C. Z. Sucessão de cultura sob pivô central para controle de fitonematoides: variação populacional, patogenicidade e estimativa de perdas. **Tropical Plant Pathology**, v. 36, n 3, 2011.
- JONES, J. T.; HAEGEMAN, A.; DANCHIN, E. G.; GAUR, H. S.; HELDER, J.; JONES, M. G.; KIKUCHI, T.; MANZANILLA-LÓPEZ, J. E.; PALOMARES-RIUS, J. E.; WESEMAEL, W. M.; PERRY, R. N. Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. **Molecular Plant Pathology**, v. 14, p.946-961, 2013.
- KEARN, J.; LILLEY, C.; URWIN, P.; O'CONNOR, V.; HOLDEN-DYE, L. Progressive metabolic impairment underlies the novel nematicidal action of fluensulfone on the potato cyst nematode *Globodera pallida*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, vol.142, p.83-90, 2017.
- KEARN, J.; LUDLOW, E.; DILLON, J.; O'CONNOR, V.; HOLDEN-DYE, L. 2014. Fluensulfone is a nematicide with a mode of action distinct from anticholinesterases and macrocyclic lactones. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.109, p.44-57, 2014.
- KHAN, R.; NAZ, I.; HUSSAIN, S.; KHAN, R.A.A.; ULLAH, S.; RASHID, M.U.; SIDDIQUE, I. Phytochemical management of root knot nematode (*Meloidogyne incognita*) kofoid and white chitwood by *Artemisia* spp.in tomato (*Lycopersicon esculentum* L.).

**Brazilian Journal of Biology**, vol. 80, no. 4, p. 829-838, 2020.

KIEWNICK, S.; WOLF, S.; WILLARETH, M.; FREY, J. E. Identification of the tropical root-knot nematode species *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* and *M. arenaria* using a multiplex PCR assay. **Nematology**, vol.15, 891-894, 2013.

KIM, J.; MWAMULA, A. O.; KABIR, F.; SHIN, J. H.; CHOI, Y. H.; LEE, J.-K.; LEE, D. The Korean Journal of Pesticide Science. **The Korean Society of Pesticide Science**. v. 20, n. 4, p. 293-299, 2016.

KUMARI, B.; KANWAR, R.S.; KUMAR, V. Effect of different temperature on the life cycle of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* on okra. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v.6, n.6, p.1160-1162, 2018.

LAHM, G. P.; DESAEGER, J.; SMITH, B. K.; PAHUTSKI, T. F.; RIVERA, M. A.; MELORO, T.; KUCHARCZYK, R.; LETT, R. M.; DALY, A.; SMITH, B. T.; CORDOVA, D.; TODEN, T.; WILES, J. A. The discovery of fluazaindolizine: A new product for the control of plant parasitic nematodes. **Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters**, v 27, p.1572–1575, 2017.

LI, B.; REN, Y.; ZHANG, D.; XU, S.; MU, W.; LIU, F. Modifying the formulations of Abamectin to promote its efficacy on Southern Root-Knot nematode (*Meloidogyne incognita*) under Blending-of-soil and root-irrigation conditions. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 66, p.799-805, 2018.

LI, T. DAI, T.; TANG, Y. D.; WANG, Y.; WANG, X. X.; HUANG, Z.; LI, F.; LU, L. Inhibitory activity to *Fusarium* spp. and control potential for wheat *Fusarium* crown rot of a novel succinate dehydrogenase inhibitor cyclobutrifluram. **Pest Management Science**, 2024.

LONG, H.; SUN, Y.; CHEN, Y.; PEI, Y.; FENG, T.; CHE, H. Occurrence of Root-Knot Nematode (*Meloidogyne* spp.) on Peppers in Hainan, China, and *M. enterolobii* and *M. incognita* Resistance of Common Cultivars. **Plant Disease**, v.107, n. 10, 2023.

LOPES, C. M. L.; PERINA, F. J.; NASCIMENTO, G. F.; MENDONÇA, J. S. F.; MOITA, A. W.; CASTAGNONE-SERENO, P.; CARNEIRO, R. M. D. G. Diversity of *Meloidogyne incognita* populations from cotton and aggressiveness to *Gossypium* spp. Accessions. **Plant Pathology**, 68, 816–824, 2019.

LOPES, E. A.; FERRAZ, S. Importância dos fitonematoides na agricultura. In: OLIVEIRA, C. M. G.; SANTOS, M. A.; CASTRO, L. H. S. **Diagnose de fitonematoides**. Campinas: Millenium editora. 2016, cap.1, p.1-13.

LUDLOW, K. Public releae summary on the evaluation of the new active fluopyram in product Luna Privilege fungicide. **Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority**, Kingston, 2015.

MACHADO, A. C. Z. Controle químico. In: GALBIERI, R.; BELOT, J. L. **Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros: biologia e medidas de controle**. Instituto Mato-grossense do Algodão - IMAmt Cuiabá (MT), p.344, 2016.

- MALANDRAKIS, A. A.; APOSTOLIDOU, Z. A.; MARKOGLOU, A.; FLOURI, F. Fitness and cross-resistance of *Alternaria alternata* field isolates with specific or multiple resistance to single site inhibitors and mancozeb. **Eur J Plant Pathol.**;142:489–99, 2015.
- MARTIN, F. N. Development of alternative strategies for management of soilborne pathogens currently controlled with methyl bromide. **Annual Review of Phytopathology**v. 41, p.325-350, 2003.
- MARTÍNEZ-PAZ, P.; MORALES, M.; MARTÍNEZ-GUITARTE, J. L.; MORCILLO, G. Characterization of a cytochrome P450 gene (CYP4G) and modulation under different exposures to xenobiotics (tributyltin, nonylphenol, bisphenol A) in *Chironomus riparius* aquatic larvae. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Pharmacologymacol.** 155:333–343, 2012.
- MCFADDEN, D. **Conditional logit analysis of qualitative choice behavior.** 1973.
- MÉNEZ, C.; ALBERICH, M.; KANSOH, D.; BLANCHARD, A.; LESPINE, A. Acquired Tolerance to Ivermectin and Moxidectin after Drug Selection Pressure in the Nematode *Caenorhabditis elegans*. **Antimicrob Agents Chemother.** 2016 Jul 22;60(8):4809-19, 2016.
- MENG, Q.P.; LONG, H.; XU, J.H. PCR assays for rapid and sensitive identification of three major root-knot nematodes, *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* and *M. arenaria*. **Acta Phytopathologica Sinica**, vol. 34, 204-210, 2004.
- MITIKU, M. Plant-Parasitic Nematodes and their Management: A Review. **Journal of Biology, Agriculture and Healthcare**, v. 16, n. 2, 2018.
- MOENS, M.; PERRY, R. N.; STARR, J. L. Meloidogyne species - a Diverse group of novel and important plant parasites. In: PERRY, R. N.; MOENS, M.; STARR, J. L. **Root-knot nematodes.** 2010.
- NASR, H. M.; Toxicity and biochemical effect of organophosphates and biopesticides against root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*. **Journal of Plant Protection and Pathology**, v. 4, n. 6, p. 509 - 524, 2013.
- NOE, J. P. Crop and nematode management systems. In: BARKER, K. R.; PEDERSON, G. A.; WINDHAM, G. L. (Ed.) **Plant and nematode interactions.** American Society of Agronomy, Madison, p. 159-185, 1998.
- NOE, J. P. Plant-Parasitic Nematodes. In: TRIGIANO, R. N.; WINDHAM, M. T.; WINDHAM, A. S. **Plant Patthology. Concepts and laboratory exercises.** 2 ed. CRC Press, p.576, 2007.
- OKA, Y.; SAROYA, Y. Effect of fluensulfone and fluopyram on the mobility and infection of second-stage juveniles of *Meloidogyne incognita* and *M. javanica*. **Pest Management Science**,v. 75, p. 2095-2106, 2019.
- OKA, Y.; SHUKER, S.; TKACHI, N. Nematicidal efficacy of MCW-2, a new nematicide of the fluoroalkenyl group, against the root-knot nematode *Meloidogyne javanica*. **Pest Management Science**, v. 65, p. 1082-1089, 2009.

OLIVEIRA, D. S.; OLIVEIRA, R. D. L.; SILVA, D. G.; SILVA, R. V. Characterization of *Meloidogyne incognita* populations from São Paulo and Minas Gerais state and their pathogenicity on coffee plants. **Tropical Plant Pathology**, 36 (3) May - June, 2011.

OLIVEIRA, D.F.; SANTOS, J.H.M.; NUNES, A.S.; CAMPOS, V.P.; PINHO, R.S.C.; GAJO, G.C. Purification and identification of metabolites produced by *Bacillus cereus* and *B.subtilis* active against *Meloidogyne exigua*, and their in silico interaction with a putative phosphoribosyltransferase from *M. incognita*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 86(2), 525-538, 2014.

OMRANE S, S. H.; AUDÉON, C.; LANEN, C.; DUPLAIX, C.; WALKER, A. S. *et al.* Fungicide efflux and the MgMFS1 transporter contribute to the multidrug resistance phenotype in *Zymoseptoria tritici* field isolates. **Environ Microbiol.** 17:2805–23, 2015.

OOTA, M.; TSAI, A. Y. L.; AOKI, D.; FAVERY, B.; ISHIKAWA, H.; SAWA, S. Identification of Naturally Occurring Polyamines as Root-Knot Nematode Attractants. **Molecular Plant**, v. 13, p. 658–665, abr. 2020.

PACULE, H. B.; VANEGAS, J. A. G.; TERRA, W. C.; CAMPOS, V. P.; OLIVEIRA, D. F. (R)-Carvone is a potential soil fumigant against *Meloidogyne incognita* whose likely enzymatic target in the nematode is acetylcholinesterase. **Experimental Parasitology**, vol. 241, 2022.

PALOMARES-RIUS, J. E.; ESCOBAR, C.; CABRERA, J.; VOVLAS, A.; CASTILLO, P. Anatomical Alterations in Plant Tissues Induced by Plant-Parasitic Nematodes. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. 16, 2017.

PANKAVICH, J. A.; BERGER, H.; SIMKINS, K. L. Efficacy of moxidectin, nemadectin and ivermectin against an ivermectin-resistant strain of *Haemonchus contortus* in sheep. **Vet Rec** 130:241–243, 1992.

PAPADOPOULOU, J.; TRAIANTAPHYLLOU, A. C. Sex differentiation in *Meloidogyne incognita* and anatomical evidence of sex reversal. **Journal of Nematology**, v.14, n. 4, p. 549. 1982.

Pesquisa inédita revela mapa de crescimento e danos econômicos causados por nematoides e doenças iniciais nas principais culturas no Brasil. **Syngenta**, agosto de 2022. Disponível em:<<https://www.syngenta.com.br/press-release/institucional/pesquisa-inedita-revela-mapa-de-crescimento-e-danos-economicos-causados>> Acesso em 04 de jun. de 2024.

PINHEIRO, J. B.; PEREIRA, R. B. **Nematoide-das-galhas: importante patógeno**  
PLOEG, A.; STODDARD, S. E.; BECKER, J.O. Control of *Meloidogyne incognita* in sweetpotato with fluensulfone. **Journal of Nematology**. v. 51, 2019.

PLOEG, A.T.; STODDARD, C. S.; TURINI, T.A.; NUNEZ, J.J.; MIYAO, E. M.; SUBBOTIN, S. A. Tomato Mi-gene Resistance-Breaking Populations of *Meloidogyne* Show Variable Reproduction on Susceptible and Resistant Crop Cultivars. **J Nematol.** 16-55, 2023.

RANDIG, O.; BONGIOVANNI, M.; CARNEIRO, R. M. D. G.; CASTAGNONE-SERENO, P. Genetic diversity of rootknot nematodes from Brazil and development of SCAR markers specific for the coffee-damaging species. **Genome**, 45, 862–870, 2002.

- RIBEIRO, D. R. **Efficacy of a novel nematicid seed treatment against *Pratylenchus brachyurus* and *Heterodera glycines* in soybean.** 2019. Dissertação (Mestre em Ciências. Área de Fitopatologia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP.
- RICH, J. R.; DUNN, R. A.; NOLING, J. W. **Nematology: advances and perspectives.** Tsinghua University Press, Xue Yan Building, Tsinghua University, Beijing, 100084, PR China, 2003.
- RITZ, C.; STREIBIG, J. C. Bioassay analysis using R. **Journal of Statistical Software.** Vol. 12, 5, p.1-22, 2005.
- ROESE, A. D.; OLIVEIRA, R. L.; OLIVEIRA, D. S. Variabilidade fisiológica em populações de *Meloidogyne paranaensis*. **Fitopatologia brasileira.** v.32, n. 1, fev. 2007.
- SANTOS, M.F.A.; FURLANETTO, C.; ALMEIDA, M.R.A; *et al.* Biometrical, biological, biochemical and molecular characteristics of *Meloidogyne incognita* isolates and related species. **European Journal of Plant Pathology.** 134, 671–684 2012.
- SCHLEKER, A. S. S.; RIST, M.; MATERA, C. et al. Mode of action of fluopyram in plant-parasitic nematodes. **Scientific Reports,** v. 12, p. 11954, 2022.
- SCHNEIDER, S. M.; ROSSKOPF, E. N.; LEESCH, J. G.; CHELLEMI, D.O.; BULL, C. T. et al. United States Department of Agriculture—Agricultural Research Service research on alternatives to methyl bromide: pre-plant and post-harvest. **Pest Management Science,** v. 59, p. 814–26, 2003.
- SHIGUEOKA, L. H.; FONSECA, I. C. B.; SERA, G. H.; SERA, T.; SILCA, S. A.; DORIGO, O. F.; MACHADO, A. C. Z. Virulence and Reproductive Fitness of *Meloidogyne paranaensis* Field Populations in *Coffee* Genotypes. **Plant disease,** 106, p.2618-2624, 2022.
- SIKANDAR, A.; ZHANG, M. Y.; WANG, Y. Y.; ZHU, X. F.; LIU, X. Y.; FAN, H. Y.; XUAN, Y. H.; CHEN, L. J.; DUAN, Y. X. Review article: *Meloidogyne incognita* (Root-Knot Nematode) a risk to agriculture. **Applied Ecology and Environmental Research,** ALÖKI Kft., Budapest, Hungary, p. 1679-1690, 2020.
- SIKORA, R. A.; MOLENDIJK, L. P. G.; DESAEGER, J. Integrated nematode management and crop health: future challenges and opportunities. In: SIKORA, R. A.; DESAEGER, J.; MOLENDIJK, L. P. G. **Integrated Nematode Management: State-of-the-art and visions for the future.** CAB International, Wallingford, 3-10. 2022.
- SIKORA, R.; COYNE, D.; HALLMANN, J.; TIMPER, P. Reflections and challenges: nematology in subtropical and tropical agriculture, in: **Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture** (3rd. ed) Ed. by Sikora, R.; Coyne, D.; Hallmann, J.; Timper, P. CABI, 2018.
- SILVA, E. H.; MATTOS, V. S.; FURLANETO, C.; GIBAND, M.; BARROSO, P. A. V.; MOITA, A. W. et al. Genetic variability and virulence of *Meloidogyne incognita* populations from Brazil to resistant cotton genotypes. **European Journal of Plant Pathology,** v.139,

p.195–204, 2014.

SILVA, E. H.; MATTOS, V. S.; FURLANETTO, C. *et al.* Genetic variability and virulence of *Meloidogyne incognita* populations from Brazil to resistant cotton genotypes. **European Journal of Plant Pathology**, vol. 139, 195–204, 2014.

SILVA, J. C. P.; FIGUEIREDO, Y. F. Avanços na biotecnologia aplicada ao controle de fitonematoides. Simpósio de Manejo de Doenças de Plantas, 2018: Lavras, MG. **Anais do [...]** XVIII Simpósio de Manejo de Doenças de Plantas: Biotecnologia aplicada à fitopatologia/organizado pelo Núcleo de Estudos em Fitopatologia, Universidade Federal de Lavras. Lavras: Ed. UFLA, 2018, 201p.

SILVA, J. O.; LOFFREDO, A.; ROCHA, M. R.; BECKER, J. O. Efficacy of new nematicides for managing *Meloidogyne incognita* in tomato crop. **Journal of Phytopathology**, vol.167, 5 ed., p.295-298, 2019.

SINGH, A. U. Management of Phytonematodes in Agri-horticultural crops for Doubling farmer's income. **Anais eletrônico [...]** International Conference on Global Research Initiatives for Sustainable Agriculture & Allied Sciences (GRISAAS-2019) during 20-22 October 2019 at ICAR-National Academy of Agricultural Research Management, Hyderabad, Telangana (India).

SPURR, H. W. Mode of action of nematicides. In: Sasser, J.N. & Carter, C. (Eds). An advanced treatise on *Meloidogyne*, v.1, **Biology and Control**, p. 269-276, 1985.

SUBEDI, S.; THAPA, B.; SHRESTHA, J. Root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) and its management: a review. **Journal of Agriculture and Natural Resources**, 3(2): p.21-31, 2020.

SUN, H.; CAIA, S.; DENG, Y.; CAO, S.; YANG, X.; LU, Y.; LI, W.; CHEN, H. Efficacy of cyclobutrifluram in controlling Fusarium crown rot of wheat and resistance risk of three Fusarium species to cyclobutrifluram. **Pesticide Biochemistry and Physiology**. V.198, jan. 2024.

Syngenta lança Tymirium na Argentina. **Revista Cultivar**, agosto de 2022. Disponível em:<<https://revistacultivar.com.br/noticias/syngenta-lanca-tymirium-na-argentina>> Aceso em 08 de fev. de 2024.

TAVARES, M. C. **Influência de novas moléculas químicas na penetração, desenvolvimento e reprodução de *Pratylenchus brachyurus* e *Meloidogyne javanica* na cultura da soja**. 2023. Dissertação (Proteção de Plantas ). Instituto Federal Goiano- Campus Urutaí. Urutaí-GO, 33p.

TAYLOR, A. L.; Nematocides and Nematicides - a History. **Nematropica** Vol. 33, No. 2, 2003.

TEAM, R. C. R: A language and environment for statistical computing. 2013.

TEAM, R. **R Studio**: integrated development for R. RStudio, Inc., Boston, MA, v. 42, p. 14, 2015.

Tecnologia TYMIRIUM® da Syngenta lançada globalmente enquanto Argentina aprova registro. **Businesswire**, 2022. disponível em: <<https://www.businesswire.com/news/home/20220825005293/en/>> Acesso em 27 de abril de 2024.

TEJO, D. P.; FERNANDES, C.H. S.; BURATTO, J. S. Fitonematoides e estratégias no seu controle. **Ensaio**, v. 24, n. 2, p. 126-130, 2020.

THAKUR, N.S.; DEVI, G. Management of *Meloidogyne incognita* attacking okra by nematophagous fungi, *Arthrobotrys oligospora* and *Paecilomyces lilacinus*. **Agricultural Science Digest**. v. 27, p. 50-52, 2007.

THODEN, T.; PARDAVELLA, I. V.; TZORTZAKAKIS, E. A. In vitro sensitivity of different populations of *Meloidogyne javanica* and *M. incognita* to the nematicides Salibro™ and Vydate. **Nematology**, v. 21, p. 889-893, 2019.

TOOGE, R. Governo autoriza mais 63 agrotóxicos, sendo 7 novos; total de registros em 2019 chega a 325. **G1**, setembro de 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2019/09/17/governo-autoriza-mais-63-agrotoxicos-sendo-7-novos-total-de-registros-em-2019-chega-a-325.ghtml>> Acesso em 31 de jan. de 2024.

TRUDGILL, D. L.; BLOK, V. C. Apomictic, polyphagous root-knot nematodes: exceptionally successful and damaging biotrophic root pathogens. **Annual Review of Phytopathology** v. 39, p. 53–77, 2001.

TSUKAMOTO, M.; NAKAMURA, T.; KIMURA, H.; NAKAYAMA, H. Synthesis and application of trifluoromethylpyridines as a key structural motif in active agrochemical and pharmaceutical ingredients. **Journal Pesticide Science**, vol. 20, n. 46, p. 125-142, 2021.

UMETSU, N.; SHIRAI, H. Development of novel pesticides in the 21st century. **Journal of Pesticide Science**. v. 45, n. 2, p. 54–74, 2020.

VANEGAS, J. G.; PACULE, H. B.; CAPITÃO, R. M.; CORREIA, C. R. D.; TERRA, W. C.; CAMPOS, V. P.; OLIVEIRA, D. F. Methyl Esters of (E)-Cinnamic Acid: Activity against the Plant-Parasitic Nematode *Meloidogyne incognita* and In Silico Interaction with Histone Deacetylase. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.70 (22),p. 6624-6633, 2022.

VIEIRA, P.; KAMO, K.; EISENBACK, J. D. Characterization and silencing of the fatty acid- and retinol-binding Pp-far-1 gene in *Pratylenchus penetrans*. **Plant Pathology**. 2017;66:1214–1224. doi: 10.1111/ppa.12664.

WALENDORFF, R. Novo agrotóxico demorou 5 anos para ser aprovado. **Canal Rural**, agosto de 2018. Disponível em: <<https://blogs.canalrural.com.br/ultimasdebrasil/2018/08/03/novo-agrotoxico-demorou-5-anos-para-ser-aprovado/>> Acesso em 31 de jan.de 2024.

WANG, Y.; LUO, X.; CHEN, Y.; PENG, J.; YI, C.; CHEN, J. Recent research progress of heterocyclic nematocidal active compounds. **Journal of Heterocyclic Chemistry**. v.60, p. 1287-1300, 2023.

WATSON, T. T. Sensitivity of *Meloidogyne enterolobii* and *M. incognita* to fluorinated nematicides. **Pest Management Science**, v. 78: p.1398–1406, 2022.

WATSON, T. T.; DESAEGER, J. A. Evaluation of non-fumigant chemical and biological nematicides for strawberry production in Florida. **Crop Protection** v. 117, p.100-107, mar. 2019.

WHITEHEAD, A. G.; HEMING, J. R. A comparison of some quantitative methods of extracting small vermiform nematodes from soil. **Annals of Applied Biology**, vol. 55, p. 25-38, 1965.

WILLIAMSON, V.M.; GLEASON, C.A. Plant-nematode interactions. **Current Opinion in Plant Biology**, vol. 6, no. 4, p. 327-333, 2003.

WONG, T. W. S.; QUESADA-OCAMPO, L. M. Sensitivity of *Meloidogyne incognita*, *Fusarium oxysporum f.sp. niveum*, and *Stagonosporopsis citrulli* to succinate dehydrogenase inhibitors used for control of watermelon diseases. **Plant Disease**, 2024.

WRAM, C. L.; HESSE, C. N.; ZASADA, I. A. Transcriptional response of *Meloidogyne incognita* to non-fumigant nematicides. **Scientific Reports**, jun 13;12(1):9814, 2022.

WRAM, C. L.; ZASADA, I. Differential Response of *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Globodera*, and *Xiphinema* Species to the Nematicide Fluazaindolizine. **Phytopathology**, 2020, 110: 2003-2009.

WRAM, C.; ZASADA, I. A. Short-term effects of sub-lethal doses of nematicides on *Meloidogyne incognita*. **Phytopathology**, v. 109, p. 1605-1613, 2019.

WRAM, C.L.; HESSE,C.N.; ZASADA,I.A. Transcriptional changes of biochemical pathways in *Meloidogyne incognita* in response to non-fumigant nematicides. **Scientific Reports**, jun 14;12(1), 2022.

WU, H. Y.; SILVA, J. O.; BECKER, J. S.; BECKER, J. O. Fluazaindolizine mitigates plant-parasitic nematode activity. **Journal of Pest Science**, v. 94, p. 573-583, 2021.

YANG, L.; HE, M. H.; OUYANG, H.; ZHU, W.; PAN, Z.; SUI, Q.; SHANG, L.; ZHAN, J. Cross-resistance of the pathogenic fungus *Alternaria alternata* to fungicides with different modes of action. **BMC Microbiol** 19, 205 (2019).

YANG, T.; XIN, Y.; LIU, T.; LI, Z.; LIU, X.; WU, Y.; WANG, M.; XIANG, M. Bacterial Volatile-Mediated Suppression of Root-Knot Nematode (*Meloidogyne incognita*). **Plant Disease** Vol. 106, 5, May, p.1358-1365, 2022.

YE, W.; ROBBINS, R. T.; KIRKPATRICK, T. Molecular characterization of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) from Arkansas, USA. **Scientific Reports**, 9, 15680, 2019.

YUE, X.; LI, F.; WANG, B. Activity of four nematicides against *Meloidogyne incognita* race 2 on tomato plants. **Journal of Phytopathology**. p.1–6, 2020.

ZASADA, I. A.; HALBRENDT, J. M.; KOKALIS-BURELLE, N.; LAMONDIA, J.; MCKENRY, M. V.; NOLING, J. W. Managing Nematodes Without Methyl Bromide. **Annual Review of Phytopathology**. v. 48, p. 311-328, 2010.

ZHANG, P.; XIE, B.; HUANG, W.; PENG, H.; JIANG, R.; GAO, B. PENG, D. Evaluation of commonly used nematicides with combined in in vitro and in planta bioassays. **Nematology**, 0, 1-13, 2022.