



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE DO PARANÁ
CAMPUS LUIZ MENEGHEL
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

STÉPHANY DE CAMPOS VENÂNCIO

**ATIVIDADE NEMATICIDA DE EXTRATOS DE *Brugmansia suaveolens* SOBRE
*Meloidogyne incognita***

BANDEIRANTES, PR, BRASIL

2026

STÉPHANY DE CAMPOS VENÂNCIO

**ATIVIDADE NEMATICIDA DE EXTRATOS DE *Brugmansia suaveolens* SOBRE
*Meloidogyne incognita***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPAGRO), da Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel.

Orientador(a): Profa. Dra. Viviane Sandra Alves

BANDEIRANTES, PR, BRASIL

2026

Ficha catalográfica elaborada na Biblioteca do Campus "Luiz Meneghel", vinculada ao Sistema de Bibliotecas
Universitárias da Universidade Estadual do Norte do Paraná (SBU-UENP)

Catálogo-na-Publicação (CIP)

- V462a Venâncio, Stéphanly de Campos.
Atividade nematocida de extratos de *Brugmansia suaveolens* sobre *Meloidogyne incognita*. – 2026.
1 arquivo digital.
- Orientadora: Profa. Dra. Viviane Sandra Alves.
Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Norte do Paraná, Campus Luiz Meneghel, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-graduação em Agronomia, 2026.
Inclui bibliografia.
1. Nematóide das galhas - Dissertação. 2. Extrato vegetal - Dissertação. 3. Controle biológico - Dissertação. 4. Nematocida vegetal - Dissertação. 5. Cromatografia gasosa - Dissertação. 6. Espectrometria de massa - Dissertação. I. Alves, Viviane Sandra. II. Universidade Estadual do Norte do Paraná. Campus Luiz Meneghel. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-graduação em Agronomia. III. Título.

CDD: 632 (22.ed)

STÉPHANY DE CAMPOS VENÂNCIO

**ATIVIDADE NEMATICIDA DE EXTRATOS DE *Brugmansia suaveolens* SOBRE
*Meloidogyne incognita***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPAGRO), da Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel.

Aprovada em: 09/03/2026

COMISSÃO EXAMINADORA

Profa. Dra. Viviane Sandra Alves

Universidade Estadual do Norte do Paraná

Prof. Dr. Rodrigo de Souza Poletto

Universidade Estadual do Norte do Paraná

Prof. Dr. Santino Aleandro da Silva

Agronema



Profa. Dra. Viviane Sandra Alves
Orientadora
Universidade Estadual do Norte do Paraná,
Campus Luiz Meneghel

DEDICATÓRIA,

Ao meu avô **Álvaro Venâncio - Pardal** (*in memoriam*), que foi presença constante na minha infância, entre conversas, risadas, aprendizados e cuidados que marcaram minha história! Hoje reconheço em mim traços que herdados da sua essência: a comunicação fácil, o jeito falante, a coragem de seguir em frente sem medo e a vontade de viver com intensidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois, como em Isaías 41:20, que diz: “*para que todos vejam, e saibam, e considerem, e juntamente entendam que a mão do Senhor fez isso*”. Reconheço que cada etapa deste trabalho foi conduzida pelos caminhos que o Senhor colocou diante de mim, permitindo-me crescer não apenas academicamente, mas também como ser humano. Foi na fé que encontrei forças nos dias difíceis e serenidade nos momentos de decisão.

Agradeço a todas as pessoas que, de diferentes formas, contribuíram para que esta dissertação se tornasse possível.

Aos meus pais, **Angélica Aparecida de C. Venâncio** e **Emerson Monteiro Venâncio**, agradeço por terem proporcionado base, estrutura e incentivo à minha formação. Se hoje concluo essa etapa, é porque houve, desde o início, suporte para os sonhos e seguir em frente.

Ao meu irmão, **Gabriel Augusto de C. Venâncio**, meu suporte emocional ao longo desse processo. Foi com ele que compartilhei dúvidas, angústias, lágrimas e conquistas, sendo presença fundamental para que eu tivesse forças para continuar.

À minha família materna, **família Campos**, por sempre acreditar em mim, me apoiar e incentivar de forma constante. À família **Venâncio**, que, mesmo de maneira distinta, foi parte do contexto que me impulsionou a não desistir e em especial meu **Tio Marcos** que me incentivou filosoficamente a seguir firme na construção do meu caminho.

À minha prima e amiga **Julia**, pelo carinho genuíno, pelo orgulho demonstrado em cada etapa e por sempre me lembrar do valor da minha trajetória e da minha pesquisa na vida acadêmica.

Ao meu amigo de longa data que sempre demonstrou admiração pela minha dedicação e que agradece inclusive pelos “puxões de orelha” que escutava. Foi por meio dessa amizade que surgiu mais um apoio já no fim do mestrado, pela primeira conversa sobre nematocida químico (Verango) e, desde então, ciência, incentivo e parceria passaram a caminhar juntos. A presença, o encorajamento e a seriedade trazidos nesse período foram fundamentais para que eu atravessasse essa fase com mais confiança.

Ao trio de amigos que chegou trazendo reflexões, parceria e leveza ao mesmo

tempo. Entre músicas do Fred&Fabrício que tornaram trilha sonora dos dias e as reflexões dos livros, inclusive de Dostoiévski, e as brincadeiras que me arrancavam da seriedade excessiva, encontrei incentivo para pensar positivo, ampliar horizontes e lembrar que a vida precisa de profundidade, mas também de riso. Vocês foram equilíbrio entre reflexão e descontração.

Ao grupo de amigos que caminhou comigo entre risadas, conversas e momentos de descontração que renovavam minhas energias. Cada encontro, cada conversa, cada vídeo que assistíamos juntos e cada momento compartilhado foram essenciais para manter alegria viva em meio às exigências do mestrado.

Ao meu amigo, que dividiu um lar comigo no último ano dessa jornada. Entre os prazos apertados e dias emocionalmente desafiadores, havia sempre a frase que virou símbolo de cuidado “vamos nos permitir hoje, comprar um lanche”. Na simplicidade desses momentos encontrei acolhimento, parceria e felicidade genuína. A convivência tornou os dias mais leves e a caminhada mais humana.

À equipe **Agronema**, que me ensinaram e dedicaram momentos para o meu desenvolvimento como pesquisadora.

À equipe do **Labinp**, em especial à minha orientadora **Prof^a. Dr^a. Viviane Sandra Alves**, que confiou no meu potencial, permitiu minha autonomia científica e me incentivou a correr atrás dos meus sonhos, contribuindo de forma decisiva para meu amadurecimento acadêmico e profissional. A todas as meninas do laboratório que sempre demonstraram apoio mútuo e respeito.

Aos professores e amigos **Dhiego, Carol, Luis (Gazal), Victor** e, em especial, **Augusto Zanatta** e sua esposa, que foram minha base científica, oferecendo apoio, orientação e segurança em momentos importantes de decisão ao longo dessa caminhada.

De forma geral, deixo minha gratidão a todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte desta jornada e contribuíram para que este trabalho se concretizasse. Cada palavra de incentivo, cada gesto de cuidado, cada desafio enfrentado e cada conquista compartilhada foram essenciais. Esta dissertação não representa apenas um título acadêmico, mas a soma de relações, aprendizados amadurecimento e fé que levarei comigo para os próximos capítulos da minha vida. Gratidão.

*“Não busques que os acontecimentos ocorram como
desejas, mas deseja que ocorram como ocorrem, e
tua vida transcorrerá serenamente.”*

- Epicteto.

VENÂNCIO, Stéphanly de Campos. **Atividade nematicida de extratos de *Brugmansia suaveolens* sobre *Meloidogyne incognita***. 2026. Dissertação de Mestrado em Agronomia (PPAGRO) - Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel, Bandeirantes, 2026.

RESUMO – *Meloidogyne incognita* destaca-se como uma das espécies mais agressivas e amplamente distribuídas em regiões tropicais, causando danos severos ao sistema radicular das plantas. A necessidade de alternativas aos nematicidas sintéticos impulsiona a pesquisa por compostos de origem vegetal com potencial biológico e menor impacto ambiental. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a atividade nematicida dos extratos aquoso e hidroalcolólico de folhas e flores de *Brugmansia suaveolens* (Solanaceae) sobre juvenis de segundo estágio (J2) de *M. incognita*. Os experimentos foram conduzidos em condições laboratoriais controladas, utilizando J2 obtidos a partir de raízes de tomate infectadas, processadas com solução de hipoclorito de sódio e filtradas em peneiras de 250 e 500 mesh. As suspensões contendo J2 foram expostas a dois tipos de extratos (aquosos e hidroalcolólicos) em diferentes concentrações e foi feito um controle negativo com água destilada. A mortalidade dos juvenis foi avaliada após 24 horas de exposição, e os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey ($p < 0,05$). Os extratos aquosos causaram maior mortalidade dos J2 de *M. incognita*, sendo que o extrato da flor causou até 98% de mortalidade em todas as concentrações avaliadas e não apresentou diferença significativa. Já o extrato aquoso de folhas apresentou mortalidade dose-dependente, com valores que variaram em função da dose testada. Para os extratos hidroalcolólicos, observou-se mortalidade nos extratos obtidos a partir de flores e folhas com valores que variaram entre 46 a 59% de mortalidade. A análise por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (CG-MS) para detecção e identificação dos constituintes químicos voláteis presentes nos extratos de *B. suaveolens* confirmaram diferenças significativas entre os extratos, tanto quanto a forma de extração quanto a parte da planta utilizada.

Palavras-chave: Saia-branca. Metabólitos secundários. Controle alternativo. Fitossanidade. Nematóide das galhas.

VENÂNCIO, Stéphanly de Campos. **Nematicide activity of extracts from *Brugmansia suaveolens* on *Meloidogyne incognita***. 2026. Dissertação de Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPAGRO) – Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes, 2026.

ABSTRACT - *Meloidogyne incognita* stands out as one of the most aggressive and widely distributed species in tropical regions, causing severe damage to plant root systems. The need for alternatives to synthetic nematicides drives research into plant-based compounds with biological potential and lower environmental impact. In this context, the present study aimed to evaluate the nematicidal activity of aqueous and hydroalcoholic extracts from leaves and flowers of *Brugmansia suaveolens* (Solanaceae) on second-stage juveniles (J2) of *M. incognita*. The experiments were conducted under controlled laboratory conditions, using J2 obtained from infected tomato roots, processed with sodium hypochlorite solution and filtered through 250 and 500 mesh sieves. The suspensions containing J2 were exposed to two types of extracts (aqueous and hydroalcoholic) at different concentrations, and a negative control was performed with distilled water. The mortality of the juveniles was evaluated after 24 hours of exposure, and the data obtained were submitted to analysis of variance and Tukey's test ($p < 0.05$). The aqueous extracts caused higher mortality of *M. incognita* J2, with the flower extract causing up to 98% mortality in all concentrations evaluated and showing no significant difference. The aqueous leaf extract, on the other hand, showed dose-dependent mortality, with values varying according to the dose tested. For the hydroalcoholic extracts, mortality was observed in the extracts obtained from flowers and leaves, with values ranging from 46 to 59% mortality. Analysis by gas chromatography coupled with mass spectrometry (GC-MS) for the detection and identification of volatile chemical constituents present in *B. suaveolens* extracts confirmed significant differences between the extracts, both in terms of the extraction method and the part of the plant used.

Keywords: White skirt. Secondary metabolites. Alternative control. Plant health. Nematology.

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Delineamento experimental e preparo de diluições dos extratos aquosos e hidroalcoólicos de <i>Brugmansia suaveolens</i> utilizados nos bioensaios com <i>Meloidogyne incognita</i>	30
--	-----------

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Juvenis de segundo estágio de <i>Meloidogyne incognita</i> (Kofoid & White, 1919) (Rhabditida: Meloidogynidae) sob microscópio óptico com aumento total de 100x (ocular 10x e objetiva 10x)	4
Figura 1.2 Galhas de nematoide <i>Meloidogyne incognita</i> em raízes de Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>).	9
Figura 1.3 - Fêmea adulta de <i>Meloidogyne incognita</i> sobre raízes de Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>).	11
Figura 1.4 - Fêmeas de <i>Meloidogyne incognita</i> sobre raízes de tomateiro com massa de ovos gelatinosa.	12
Figura 1.5 - Flores da espécie <i>Brugmansia suaveolens</i> coletadas na área rural do município de Bandeirantes-PR, 2025.	15
Figura 1.6 - Planta da espécie <i>Brugmansia suaveolens</i> , exemplar utilizado nos experimentos.	16

Sumário

1. REVISÃO DE LITERATURA	1
1.1. AGRICULTURA E DESAFIOS FITOSSANITÁRIOS	1
1.2. FILO NEMATODA	2
1.3. FITONEMATOIDES E IMPORTÂNCIA AGRÍCOLA	3
1.4. <i>MELOIDOGYNE spp.</i>	8
1.4.1. <i>Meloidogyne incognita</i>	9
1.5. EFEITOS TÓXICOS DE PLANTAS DA FAMÍLIA SOLANACEAE SOBRE NEMATOIDES FITOPATOGÊNICOS	13
1.6. <i>Brugmansia suaveolens</i>	15
1.7 REFERÊNCIAS	19
ATIVIDADE NEMATICIDA DE EXTRATOS DE <i>BRUGMANSIA SUAVEOLENS</i> SOBRE <i>MELOIDOGYNE INCOGNITA</i>	24
2. ARTIGO: ATIVIDADE NEMATICIDA DE EXTRATOS DE <i>BRUGMANSIA SUAVEOLENS</i> SOBRE <i>MELOIDOGYNE INCOGNITA</i>	25
2.1 INTRODUÇÃO	27
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	28
2.2.1 <i>Coleta e Preparo de Materiais Vegetais</i>	28
2.2.2 <i>Preparo de Extratos Aquosos de Brugmansia suaveolens</i>	28
2.2.3 <i>Preparo de Extratos Hidroalcóolicos de Brugmansia suaveolens</i>	29
2.2.4 <i>Obtenção do Nematóide</i>	29
2.2.5 <i>Avaliação da Atividade Nematicida de Extratos Aquosos e Hidroalcóolicos de Brugmansia suaveolens sobre Meloidogyne incognita</i>	30

<i>2.2.6 Identificação dos Compostos Extraídos de Brugmansia suaveolens por meio de análise de cromatografia gasosa com espectrometria de massas por headspace (HS-GC-MS)</i>	32
2.3 RESULTADOS	33
2.4 DISCUSSÃO.....	40
2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
2.6 AGRADECIMENTOS	43
2.7 REFERÊNCIAS.....	44

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1. AGRICULTURA E DESAFIOS FITOSSANITÁRIOS

A agricultura pode ser definida como o conjunto de técnicas utilizadas para cultivar plantas com objetivo de obter alimentos, fibras, energia, matéria-prima, medicamentos, ferramentas e afins. Esta atividade constitui uma das maiores bases de importância do desenvolvimento econômico e social, desempenha papel essencial na segurança alimentar, na geração de empregos e na sustentabilidade das cadeias produtivas globais (LIMA, 2020).

Historicamente a agricultura passou por processos de profundas transformações. No decorrer do século XX, cujo período é conhecido como “Revolução Verde”, as intensas mudanças tecnológicas no campo permitiram aumentos na produtividade. Dentre as inovações deste período, destacam-se a introdução de fertilizantes sintéticos, defensivos agrícolas, mecanização e melhoramento genético de plantas (LIMA, 2020).

No Brasil, os efeitos da Revolução Verde foram amplamente sentidos a partir da década de 1970, impulsionados pelo fortalecimento das políticas agrícolas e pela criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). A adoção de tecnologias de correção da acidez e fertilidade dos solos permitiram a expansão das fronteiras agrícolas e consolidou o país como um dos maiores produtores e exportadores de *commodities* agrícolas do mundo (MATOS, 2010; LIMA, 2020; CATTELAN; DALL’AGNOL, 2023).

A agricultura brasileira apresenta destacada relevância socioeconômica, por ser responsável por parcela significativa do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, pela geração de empregos e pelo fortalecimento da balança comercial. Entre as principais culturas que impulsionam o agronegócio, destacam-se, soja (*Glycine max*), milho (*Zea mays*), algodão (*Gossypium hirsutum* L.), café (*Coffea arabica*) e diversas hortaliças, que juntos sustentam o agronegócio nacional e posicionam o Brasil entre os maiores produtores e exportadores globais (CONAB, 2025; MAPA, 2024). A expressiva expansão do agronegócio brasileiro é, portanto, reflexo do avanço científico e tecnológico aplicado no campo, aliado à competitividade e à inovação contínua que caracterizam o setor (ARIAS *et al.*, 2017).

O desenvolvimento científico e tecnológico aplicado à agricultura tem sido determinante para o aumento da produtividade e eficiência do sistema agrícola. O aprimoramento das práticas de manejo, uso de cultivares geneticamente modificadas, a modernização dos sistemas de irrigação e fertilização resultam em avanços significativos para a produção de alimentos em menor área cultivada (ARIAS *et al.*, 2017). Entretanto, a intensificação dos sistemas produtivos e

o uso contínuo de monoculturas têm contribuído para o surgimento e a disseminação de diversos problemas fitossanitários, especialmente aqueles associados ao solo (QUINCOZES *et al.*, 2023).

A manutenção da fitossanidade, isto é, o equilíbrio entre os organismos do solo e a sanidade das plantas torna-se um componente estratégico para agricultura moderna. A compreensão das interações entre plantas, microrganismos e fatores ambientais é essencial para o desenvolvimento de sistemas produtivos mais equilibrados e com resistências a pragas e patógenos (FERRAZ; BROWN, 2016; MACHADO, 2019). Nesse contexto, o manejo fitossanitário assume papel central, exigindo soluções que conciliem a alta produtividade, mas mantenham a preservação ambiental, especialmente diante do aumento de pragas de solo como fungos, bactérias e fitonematoides, cuja complexidade e persistência representam um dos maiores desafios atuais da agricultura (JUHÁSZ *et al.*, 2013).

Diante desses desafios, os fitonematoides, parasitas de plantas possuem seu hábito de vida no solo e que afetam diretamente o sistema radicular das culturas agrícolas, gerando grandes preocupações ao setor agrícola. Diante dessas preocupações, o estudo desse grupo de organismos é fundamental para compreender seus mecanismos de sobrevivência, interação com as plantas hospedeiras e os impactos decorrentes de sua atividade parasitária. Essa compreensão favorece o setor agrícola com subsídios para o desenvolvimento de estratégias de manejo mais eficazes e ambientalmente sustentáveis (ABD-ELGAWAD; ASKARY, 2015).

1.2. FILO NEMATODA

O Filo Nematoda compreende um grupo numeroso e diversificado de organismos pertencentes ao Reino Animalia (BRUSCA; BRUSCA, 2018). Os nematoides são considerados um dos grupos de organismos menos conhecidos do ponto de vista biológico. São definidos como vermes não segmentados, transparentes, bilateralmente simétricos, pseudocelomados e multicelulares, sendo o grupo mais representativo dentro da meiofauna e mesofauna dos ecossistemas (SHAH; MAHAMOOD, 2017).

Esses vermes não filamentosos apresentam grande capacidade de adaptação, ampla distribuição e vasta versatilidade adaptativa. São capazes de colonizar uma diversidade de nichos ecológicos que apresentem umidade, encontrados tanto em ambientes terrestres quanto aquáticos. Entre as estratégias tróficas, podem alimentar-se de bactérias, fungos, algas, ou atuar como predadores ou parasitas de plantas ou animais, o que lhes confere expressiva importância econômica e sanitária nas áreas de medicina, veterinária e agricultura (BRUSCA; BRUSCA, 2018; SHAH; MOHAMOOD, 2017).

Algumas espécies de nematoides têm como hábito alimentar-se diretamente das raízes das plantas, podendo ou não acarretar doenças (ROSSETTO; SANTIAGO, 2022). Estima-se que cerca de 15% das espécies conhecidas sejam parasitas vegetais, caracterizando-se como fitonematoides ou PPNs (*plant-parasitic nematodes*) (FERRAZ; BROWN, 2016). Esses organismos habitam o solo ou o interno dos tecidos vegetais, apresentando mobilidade restrita e grande capacidade de adaptação as condições ambientais e ao hospedeiro (ABD-ELGAWAD; ASKARY, 2015).

1.3. FITONEMATOIDES E IMPORTÂNCIA AGRÍCOLA

Os primeiros registros de nematoides datam do século de XVIII, mais precisamente em 1743, quando o padre católico Turbevil Needham descreveu pequenos organismos obtidos da dissecação de grãos anormais de trigo. Contudo, foi apenas a partir do século XIX que a Nematologia passou a se consolidar como ciência, com publicações que evidenciaram a importância econômica dos nematoides para a agricultura (FERRAZ; BROWN, 2016).

Ao longo do século XX, o estudo da Nematologia ganhou destaque nos Estados Unidos, tendo como marco o trabalho pioneiro de Nathan Augustus Cobb, frequentemente conhecido como o “Pai da Nematologia Americana”. No Brasil, o desenvolvimento da especialidade ocorreu a partir da década de 1950, impulsionado por pesquisas, até a criação da Sociedade Brasileira de Nematologia (SBN) fundada pelo pesquisador Luiz Gonzaga Engelberg Lordello (ESALQ-USP/ SP) com sua atuação destaque ficou amplamente conhecido como o “Pai da Nematologia de Plantas no Brasil” (FERRAZ; BROWN, 2016).

Os fitonematoides são considerados para alguns especialistas como “inimigos naturais invisíveis das plantas”, pois a maioria das espécies apresentam tamanho microscópico, variando de 0,2 a 3,0mm de comprimento, tornando-se imperceptíveis a olho nu pelos agricultores e agrônomos sob condições de campo (PERRY; MOENS, 2006). São organismos alongados, cilíndricos (Figura 1), não segmentados e revestidos por uma cutícula flexível e resistente, que protege contra variações de umidade e agentes químicos presentes no solo (FERRAZ; BROWN, 2016).

Figura 1.1 Juvenis de segundo estágio de *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) (Rhabditida: Meloidogynidae) sob microscópio óptico com aumento total de 100x (ocular 10x e objetiva 10x).



Fonte: Venâncio, 2025.

Esses organismos apresentam características morfológicas e fisiológicas altamente especializadas que lhes permitem parasitar tecidos vegetais e completar seu ciclo de vida no interior ou na superfície das raízes, afetando o sistema radicular das plantas, e algumas vezes, estruturas aéreas, como caule, folhas e frutos (FERRAZ; BROWN, 2016).

O corpo dos nematoides é constituído por uma cavidade pseudocelomática preenchida por líquido, responsável pela sustentação e pela distribuição de nutrientes. O

sistema digestório é completo e linear. Nos fitonematoides a boca é dotada de um estilete rígido em forma de agulha utilizada para perfurar as células vegetais e se alimentarem de seu conteúdo citoplasmático (PERRY; MOENS, 2006). Essa estrutura é uma das principais adaptações que conferem aos fitonematoides a capacidade de parasitar plantas e está presente em todos os estágios infectantes.

O ciclo de vida desses organismos compreende seis fase, sendo a primeira de ovo, quatro estágios juvenis (J1 a J4) e o adulto. Uma das fases de maior destaque é o segundo estágio juvenil (J2) responsável pela penetração e infecção inicial das raízes (FERRAZ; BROWN, 2016). Após a penetração no tecido radicular, o juvenil estabelece uma relação íntima com as células hospedeiras, modificando sua estrutura e metabolismo, o que resulta na formação de células gigantes ou sítios de alimentação especializados (PERRY; MOENS; STARR, 2009). Essas alterações comprometem o fluxo normal de nutrientes e água, refletindo em sintomas visíveis na parte aérea da planta, como murcha, clorose e redução do crescimento.

De acordo com o tipo de interação com o hospedeiro, os fitonematoides são classificados em três tipos, sendo representados por gêneros conhecidos, esses são ectoparasitas, que vivem livremente no solo ao redor das raízes e se alimentando apenas introduzindo o estilete no tecido vegetal; os endoparasitas, que penetram completamente e vivem e completam pelo menos uma parcela significativa do seu ciclo de vida no interior dos tecidos vegetais radiculares e os semiendoparasitas, que são indivíduos intermediários, ou seja, nematoides que penetram parcialmente no tecido vegetal (FERRAZ; BROWN, 2016).

Damos destaque aos endoparasitas, por possuírem uma variação dentro de sua interação, sendo possível termos espécies migratórias que consistem em nematoides que se movimentam livremente dentro do tecido vegetal, assim abrindo caminhos através da células e se alimentando de diversas áreas; por outro lado, temos os sedentárias, que consistem em nematoides que estabelecem um sítio de alimentação permanente e tornam-se fixos em uma área específica da raiz, muitas vezes induzindo a formação de células gigantes ou galhas, sendo conhecidos pelos gêneros *Meloidogyne* spp. e *Heterodera* spp. (FERRAZ; BROWN, 2016).

As suas muitas espécies encontram-se distribuídas nas várias zonas geográficas e com diferenciações de interações o que se torna fundamental o entendimento da biologia para o manejo das espécies, uma vez que o tipo de parasitismo e hábito de vida influencia diretamente o tipo de dano e as estratégias de controle empregadas (FERRAZ; BROWN, 2016).

Apesar de sua ampla distribuição nos ecossistemas agrícolas, os fitonematoides ainda são poucos conhecidos pelos produtores rurais, pois os sintomas apresentados nas

culturas podem ser confundidos com deficiência nutricional e ignorando o fato de que há ocorrência de fitonematoides nas culturas. Entretanto, é de extrema importância a análise realizada por pesquisas, para caracterização dos problemas (HUSSEY; GRUNDLER, 1998).

Diante disso, os nematoides parasitas de plantas podem ocasionar danos variados aos hospedeiros, resultando em ação espoliadora, mecânica ou tóxica, variando com a forma de parasitismo. Essas interações, intrinsecamente relacionadas ao tipo de parasitismo, fazem com que os nematoides atuem como drenos metabólicos, comprometendo o desenvolvimento vegetal e reduzindo o acúmulo de biomassa (HUSSEY; GRUNDLER, 1998).

As infecções por fitonematoides resulta em alterações fisiológicas e anatômicas nas plantas hospedeiras, manifestando-se por sintomas como redução de crescimento, murcha e menor desenvolvimento radicular. Contudo, tais sintomas não são patognomônicos, uma vez que podem ser semelhantes aos observados em sintomas de deficiência nutricional ou outros estresses abióticos, dificultando o diagnóstico baseado apenas na sintomatologia visual. Ainda assim, os fitonematoides são responsáveis por significativas perdas na produtividade agrícola, sendo considerados pragas de relevância econômica mundial (FERRAZ; BROWN, 2016).

Além da ausência de sintomas patognomônicos, a ocorrência de fitonematoides no campo é frequentemente associada à formação de reboleiras, caracterizadas por áreas irregulares de plantas com desenvolvimento reduzido e desuniforme. Esse padrão especial está relacionado à distribuição agregada dos nematoides no solo e à sua disseminação gradual ao longo do ciclo da cultura. Embora os sintomas observados nessas áreas possam ser semelhantes aos causados por deficiência nutricionais ou estresses abióticos, a presença de reboleiras constitui um importante indicativo de problemas fitossanitários de origem biótica, especialmente aqueles associados a fitonematoides, reforçando a necessidade de análises laboratoriais para confirmação do diagnóstico (FERRAZ; BROWN, 2016).

Estão presentes em praticamente todas as culturas agrícolas e, como consequência, reduzem a produtividade e a qualidade dos produtos colhidos, resultando em expressivos impactos econômicos (FERRAZ, 2001). Segundo a Sociedade Brasileira de Nematologia (SBN, 2023), a presença deste grupo de patógenos no campo gera uma atribuição de cerca de R\$ 35 bilhões em prejuízos anuais no Brasil.

Este cenário é agravado pelas condições tropicais e subtropicais encontradas no Brasil, que oferecem ambientes propícios ao desenvolvimento desses organismos, uma vez que as temperaturas médias elevadas e a umidade constante favorecem a reprodução contínua e o encurtamento do ciclo de vida (ABD-ELGAWAD; ASKARY, 2015).

No contexto nacional, diversos gêneros de fitonematoides apresentam relevância econômica nas principais culturas agrícolas, variando conforme as condições edafoclimáticas e susceptibilidade das espécies vegetais. Entre os mais importantes, destacam-se os gêneros *Pratylenchus*, *Heterodera*, *Rotylenchulus*, *Helicotylenchus* e *Meloidogyne*, que se diferenciam quanto ao modo de parasitismo, morfologia e tipo de sintoma causado (FERRAZ; BROWN, 2016).

O gênero *Pratylenchus*, conhecido como nematoides de lesões radiculares, é composto por espécies migradoras endoparasitas, capazes de penetrar e movimentar-se dentro dos tecidos radiculares, causando necrose e desorganização celular (FERRAZ; BROWN, 2016). As lesões formadas funcionam como porta de entrada para fungos e bactérias, intensificando os danos às plantas. Espécies desse gênero são frequentes em culturas como milho, trigo e feijão, especialmente em solos de textura média e alta umidade (MACHADO, 2019).

Outro grupo destaque são os nematoides de cisto, pertencentes ao gênero *Heterodera*. Esses organismos formam cistos, estruturas de resistência derivadas do corpo da fêmea que abrigam centenas de ovos e garantem a sobrevivência da espécie por longos períodos na ausência do hospedeiro (JONES *et al.*, 2013). No Brasil, *Heterodera glycines* tem causado sérios prejuízos em lavouras de soja, com registros em praticamente todas as regiões produtoras (FAVORETO; DIAS-ARIEIRA; MACHADO, 2019).

O gênero *Rotylenchulus* compreende espécies semiendoparasitas, como *R. reniformis*, amplamente distribuída nas regiões tropicais. Esses nematoides penetram parcialmente nas raízes, mantendo parte do corpo no solo, e provocam sintomas de amarelamento, nanismo e redução da produtividade em culturas como algodão, soja e feijão (FERRAZ; BROWN, 2016).

O gênero *Helicotylenchus*, conhecido como nematoide espiralado, é composto por espécies ectoparasitas que se alimentam das células superficiais das raízes. Embora causem danos menos severos, podem atuar sinergicamente como outros patógenos, intensificando o estresse das plantas e reduzindo a produtividade (PERRY; MOENS, 2006).

Por fim, o gênero *Meloidogyne* (nematoide das galhas) é considerado o grupo de maior impacto, com ampla distribuição geográfica e elevado número de hospedeiros, sendo responsável por expressivas perdas produtivas em culturas como soja, hortaliças, algodão e café (FERRAZ; BROWN; 2016). As espécies desse gênero provocam a formação de galhas nas raízes, estruturas tumorais resultantes da hipertrofia e hiperplasia celular, que comprometem a absorção de água e nutrientes e reduzem o crescimento das plantas.

1.4. *MELOIDOGYNE* spp.

O gênero *Meloidogyne* foi descrito inicialmente por Emílio Göldi em 1887, a partir de uma observação nos indivíduos dos nematoides formadores de galhas em raízes de café no Brasil. No entanto, sua resposta não teve reconhecimento taxonômico formal até que em 1949 Chitwood ao realizar uma revisão profunda nos grupos pertencentes à família Heteroderidae, reconheceu o gênero baseando-se em características morfológicas e biológicas distintas (CHITWOOD, 1949).

Diversas espécies anteriormente agrupadas no gênero *Heterodera* foram transferidas para o novo gênero *Meloidogyne*, estabelecido por Göldi em 1887 como um dos grupos mais importantes de nematoides fitopatogênicos, esses nematoides conhecidos mundialmente como nematoide das galhas (*root-knot nematodes*) devido à formação de galhas visíveis nas raízes (Figura 2) das plantas hospedeiras (CHITWOOD, 1949).

Figura 1.2 Galhas de nematoide *Meloidogyne incognita* em raízes de Tomate (*Solanum lycopersicum*).



Fonte: Venâncio, 2025.

As espécies descritas dentro do gênero *Meloidogyne* spp. destacam-se entre as principais espécies de nematoides parasitas de plantas listados pela sociedade científica, tanto do ponto de vista econômico quanto científico, e somam aproximadamente 100 espécies com ampla gama de estudos relacionados a perda de produtividade e formas de controle (SIKANDAR *et al.*, 2020).

1.4.1. *Meloidogyne incognita*

Dentre as espécies pertencentes ao gênero *Meloidogyne*, a espécie *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) (Rhabditida: Meloidogynidae) destaca-se por sua ampla

distribuição em regiões tropicais e subtropicais. É considerada uma das espécies mais agressivas, adaptáveis e economicamente importantes devido à sua capacidade de parasitar muitas espécies vegetais e persistir no solo por longos períodos mesmo na ausência de hospedeiros (FERRAZ; BROWN, 2016; TAPIA-VAZQUEZ *et al.*, 2022).

A capacidade de grande plasticidade fisiológica e genética apresentada por *M. incognita* é o que lhe confere notável habilidade de se adaptar a diferentes condições edafoclimáticas e superar mecanismos de resistência vegetal (AZLAY *et al.*, 2023). Além disso, *M. incognita* é frequentemente relatada como a espécie predominantemente em áreas agrícolas brasileiras, especialmente nas regiões produtoras de soja, algodão, tomate e hortaliças, responsável por expressivas perdas de produtividade (FERRAZ; BROWN, 2016; AZLAY *et al.*, 2023).

Devido à sua ampla ocorrência e à importância econômica global, *M. incognita* tem sido uma das espécies mais estudadas em programa de manejo de fitonematoides, servindo como modelo experimental para pesquisas sobre biologia, ecologia e controle de nematoides parasitas de plantas. Um dos alvos do saber mais importante dentro do estudo é o ciclo de vida, composto por seis estágios distintos: ovo, quatro estágios juvenis (J1-J4) e adultos (TAPIA-VAZQUEZ *et al.*, 2022).

A fêmeas de *M. incognita* apresentam um formato característico (Figura 3), depositam uma massa gelatinosa com centenas de ovos, aderidas à superfície da raiz, às vezes, parcialmente inseridas no tecido radicular. Dentro do ovo, o embrião se desenvolve até o primeiro estágio de juvenil (J1) onde o embrião sofre a primeira muda (troca da cutícula), originando o segundo estágio (J2). A fase infectante, chamada de J2, é característica por ser a fase em que ocorre a eclosão do ovo. Nessa fase o nematoide já possui estilete completo e funcional, glândulas esofagianas desenvolvidas, responsáveis pela secreção de enzimas e proteínas que permitem a penetração e modificação das células vegetais. Além disso, os J2 se movimentam no solo com facilidade o que resulta na busca e encontro das raízes jovens, que são penetradas geralmente na zona de alongamento, e em seguida os J2 migram até o cilindro central e iniciam a formação das células gigantes, que atuam como fonte contínua de nutrientes (FERRAZ; BROWN, 2016).

Após a entrada nos tecidos vegetais ocorre a fixação e iniciação da alimentação, e em seguida o J2 torna-se sedentário e, então, sofre a sua segunda ecdise, passando para o seu terceiro estágio (J3). A partir desse estágio ficam confinados dentro das galhas formadas na raiz e iniciam o processo de crescimento e diferenciação sexual, e as glândulas secretoras se desenvolvem ainda mais causando distensão no corpo, mas mantendo a forma alongada e

sofrendo a terceira ecdise, originando o quarto estágio (J4). Na fase juvenil de quarto estágio, os juvenis sedentários alimentam-se das células gigantes e modificam-se morfológicamente para a definição do sexo. As fêmeas (desenvolvem um corpo volumoso e globoso), mantendo seu hábito sésil, enquanto os machos mantem a forma mais alongada e perdem o hábito sedentário. Em seguida ocorre a quarta ecdise e originam os adultos (FERRAZ; BROWN, 2016).

Figura 1.3 - Fêmea adulta de *Meloidogyne incognita* sobre raízes de Tomate (*Solanum lycopersicum*).



Fonte: Venâncio, 2025.

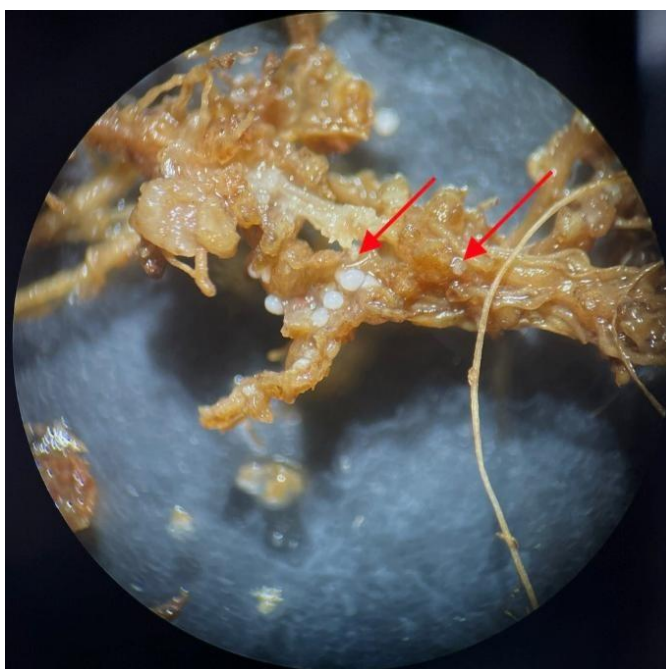
O dimorfismo sexual é bastante característico em indivíduos adultos de *Meloidogyne*, sendo as fêmeas adultas facilmente reconhecidas pela sua forma globosa, branca e sedentária permanecendo continuamente se alimentando das células gigantes, reproduzindo-se por partenogênese mitótica (sem fecundação) produzindo grandes quantidades de ovos envoltos em matriz gelatinosa (Figura 4). O macho por sua vez, possui corpo alongado e aparelho bucal atrofiado além de voltarem ao seu hábito de vida móvel e livre no solo, abandonando as raízes (FERRAZ; BROWN, 2016).

Esse modo de parasitismo é o resultado de complexas interações químicas e enzimáticas entre nematoides e a planta, que resulta na alteração do metabolismo vegetal e promovem a chamada hipertrofia celular e a capacidade da fêmea em gerar centenas de ovos,

assegurando o rápido aumento populacional e a persistência da espécie em áreas agrícolas (FERRAZ; BROWN, 2016).

Persistência essa que é garantida devido a ampla tolerância ambiental, ocorrendo em solos de textura variada, com umidade entre 20 e 30% e temperaturas médias de 25 a 30°C (AZLAY *et al.*, 2023). A presença em praticamente todas as regiões produtoras do Brasil é explicada devido a ampla adaptabilidade ecológica, especialmente quando falamos de áreas de agricultura intensiva, onde o cultivo contínuo e a baixa rotação de cultura favorecem o aumento das populações no solo (FERRAZ; BROWN, 2016).

Figura 1.4 - Fêmeas de *Meloidogyne incognita* sobre raízes de tomateiro com massa de ovos gelatinosa.



Fonte: Venâncio, 2025.

O controle de *M. incognita* exige uma abordagem integrada e sustentável, baseada na combinação de práticas culturais, biológicas e químicas e representa um dos maiores desafios da fitossanidade agrícola, especialmente em regiões onde as condições de temperatura e umidade favorecem seu desenvolvimento contínuo. As principais estratégias de controle são baseadas na integração de métodos culturais, químicos e biológicos, buscando reduzir as populações no solo e minimizar os danos econômicos (FERRAZ; BROWN, 2016).

Entre as estratégias culturais, destacam-se a rotação de culturas com espécies não hospedeiras (como milheto, crotalária e gramíneas forrageiras), a eliminação de plantas daninhas hospedeiras e a solarização do solo, técnica que utiliza o aquecimento controlado na superfície por meio de cobertura plástica transparente para reduzir a viabilidade dos ovos e

juvenis (AZLAY *et al.*, 2023). O uso de cultivares resistentes também constitui um método eficiente e economicamente viável. No entanto, a grande variabilidade genética de *M. incognita* frequentemente leva à queda de resistência, exigindo constante monitoramento e desenvolvimento de novas linhagens (TAPIA-VÁZQUEZ *et al.*, 2022).

O controle químico por meio do uso de nematicidas sintéticos tem demonstrado eficácia na redução imediata das populações de fitonematoides. Entretanto, o uso intensivo e indiscriminado desse produto pode acarretar sérios impactos ambientais e toxicológicos, além de favorecer adaptações e o desenvolvimento de resistência nas populações do patógeno, bem como provocar desequilíbrio na microbiota edáfica, contando com o elevado custo limitando sua utilização em larga escala (MACHADO, 2022).

Diante dessas limitações, alternativas sustentáveis como o controle biológico, utilizando microrganismos antagonistas como fungos e bactérias capazes de parasitar ovos, juvenis ou interferir nos processos fisiológicos do nematoide vem sendo desenvolvidos. Espécies como *Paecilomyces lilacinus*, *Trichoderma harzianum* e *Bacillus subtilis* têm demonstrado resultados promissores na redução das infestações em diferentes culturas (FERRAZ; BROWN, 2016; AZLAY *et al.*, 2023;). Esses agentes atuam tanto pela ação parasitária direta, quanto pela indução de resistência sistêmica nas plantas, representando uma alternativa viável aos produtos químicos convencionais (STIRLING, 2014).

Também se tem intensificado a busca por métodos alternativos de controle baseados na aplicação de compostos naturais de origem vegetal. Extratos e óleos essenciais obtidos de plantas medicinais e aromáticas têm se mostrado eficaz contra diferentes espécies de nematoides, atuando por mecanismos variados como inibição da eclosão de ovos, paralisia dos juvenis, alterações enzimáticas ou destruição da cutícula (KAYANI; MUKHTAR; HUSSAIN, 2012).

1.5. EFEITOS TÓXICOS DE PLANTAS DA FAMÍLIA SOLANACEAE SOBRE NEMATOIDES FITOPATOGÊNICOS

Desde os primórdios da agricultura, os seres humanos utilizam plantas como fonte de substâncias capazes de suprir necessidades alimentares, medicinais e de proteção contra pragas. Inicialmente, esse uso estava fortemente associado à observação empírica do comportamento de animais e à experimentação humana, muitas vezes acidental, que resultava na descoberta de efeitos terapêuticos ou tóxicos (NTALLI; CABONI, 2012).

Com o avanço das ciências químicas e biológicas, os compostos vegetais passaram a ser reconhecidos como importantes recursos naturais para o desenvolvimento de produtos de interesses farmacológicos e agrícolas. Diversos metabólitos secundários têm demonstrado atividades antibacteriana, hipoglicemiantes, inseticida, fungicida e nematicida, constituindo alternativas de origem natural para o manejo fitossanitário (DAYAN; CANTRELL; DUKE, 2009; NANDAKUMAR *et al.*, 2017b).

A prospecção de compostos naturais bioativos tem se intensificado nas últimas décadas, impulsionada pela demanda por sistemas agrícolas mais sustentáveis. Estudos fitoquímicos e toxicológicos permitem compreender os mecanismos de ação, a seletividade e a segurança desses compostos, tornando-os candidatos promissores ao desenvolvimento de bioinsumos (DUKE *et al.*, 2010; SALAZAR-ANTÓN; GUZMÁN-HERNÁNDEZ, 2014). A produção de compostos bioativos na formulação de produtos apresenta modo de ação complexos e múltiplos alvos celulares, o que pode dificultar o desenvolvimento de resistência pelos organismos-alvo, além de oferecer vantagens ecológicas quando comparados aos defensivos agrícolas sintéticos (DAYAN; CANTRELL; DUKE, 2009).

Entre as famílias botânicas mais conhecidas pela produção de compostos bioativos de alta reatividade fisiológica destaca-se a Solanaceae. Essa família compreende aproximadamente 2.300 espécies distribuídas em regiões temperadas e tropicais (MARTINS; BARKMAN, 2005), incluindo cerca de 180 espécies utilizadas na alimentação humana, como o tomate (*Solanum lycopersicum*) e a batata (*S. tuberosum* L.), cujas produções mundiais de 18,23 e 368,17 milhões de toneladas, respectivamente (PETRICEVICH *et al.*, 2020; GUZZO *et al.*, 2023).

A Solanaceae também se destaca pelo alto potencial nematicida e inseticida, associado à presença de alcaloides tropânicos, glicosídeos e flavonoides, compostos reconhecidamente tóxicos a diversas pragas e patógenos (NTALLI; CABONI, 2012). Dentro desse grupo, espécies como *Datura stramonium*, *Nicotiana tabacum* e *Brugmansia suaveolens* têm despertado crescente interesse na fitonematologia por apresentarem efeitos letais e/ou inibitórios sobre *Meloidogyne* spp., configurando-se como alternativas promissoras ao uso de produtos químicos convencionais (PUNDIR *et al.*, 2022).

Desta forma, observa-se uma tendência crescente na agricultura moderna na busca de soluções sustentáveis que conciliem a eficiência produtiva e sustentabilidade ambiental. O uso de extratos vegetais com atividade nematicida, especialmente oriundos da família Solanaceae, representa um avanço relevante no desenvolvimento de práticas agrícolas ecológicas, contribuindo para a redução da dependência de insumos químicos. Além de

promoverem a mortalidade e a inibição da eclosão de *M. incognita*, esses compostos podem contribuir para a manutenção do equilíbrio biológico do solo, reforçando o potencial do manejo integrado de nematoides como estratégia sustentável (DAYAN, CANTRELLI; DUKE, 2009; STIRLING, 2014).

1.6. *Brugmansia suaveolens*

A espécie *Brugmansia suaveolens* (Humb. & Bonpl. ex. Willd.), é uma das 8 espécies pertencentes ao gênero *Brugmansia* agrupados na família Solanaceae (SALAZAR-ANTÓN; GUZMÁN-HERNÁNDEZ, 2014), a mesma que é integrada por culturas agrícolas importantes como tomate (*Solanum lycopersicum*), batata (*Solanum tuberosum*) e pimentão (*Capsicum* spp.). É uma angiosperma florida denominadas como pequenas árvores de folhas ovais com 1,8 a 4,6 metros de altura, até 25cm de comprimento e 15,2 cm de largura, podendo atingir tamanhos maiores quando cultivadas na sombra (Figura 5 e 6) (DE SOUZA-MARTINS et al., 2021).

Essa espécie é comumente referida “Saia branca”, “Trombeteira”, “Trombeta-de-anjo”, “Zabumba”, relacionadas pela característica das flores de aproximadamente 30 cm de comprimento e em formato de trompete, podendo apresentar colorações como amarela, laranja, creme ou rosa, mas usualmente são brancas e possuem um cheiro adocicado e intenso que se acentua a noite, sua floração ocorre em janeiro e vai de abril à novembro (DE SOUZA-MARTINS et al., 2021; REGASSA; SHARMA; UPADHYAY; KUMAR, 2024).

A *Brugmansia suaveolens* é amplamente cultivada na América Central, Europa, Ásia, Austrália, Nova Zelândia e América do Sul, desde a Colômbia até norte do Chile e incluindo partes do Brasil, sendo amplamente utilizada como uma planta ornamental, mas pode nascer e crescer naturalmente em florestas, margens de rios e zonas urbanas (DE SOUZA-MARTINS et al., 2021).

Figura 1.5 - Flores da espécie *Brugmansia suaveolens* coletadas na área rural do município de Bandeirantes-PR, 2025.



Fonte: Venâncio, 2025.

Além do uso ornamental, *B. suaveolens* apresenta a produção de diversos de metabólitos secundários com potencial antioxidante, antimicrobiano e propriedades anti-inflamatórias (REGASSA; SHARMA; UPADHYAY; KUMAR, 2024). Estudos etnobotânicos e farmacológicos relatam amplo uso tradicional para diferentes finalidades medicinais (DE FEO, 2004; PARKER *et al.*, 2007; SCHMIDT *et al.*, 2009; MUCCILLO-BAISCH *et al.*, 2010), incluindo atividades antimicrobianas descritas na literatura (JACOBO-SALCEDO *et al.*, 2011).

No entanto, estudos demonstram que a composição e a concentração dos metabólitos secundários de *B. suaveolens* podem variar significativamente em função do órgão vegetal utilizado e do solvente empregado no processo de extração, influenciando diretamente o perfil fitoquímico e a atividade biológica dos extratos. Apesar da caracterização química da espécie já ter sido amplamente relatada, investigações voltadas à aplicação desses metabólitos em contextos agropecuários ainda são relativamente escassas (REGASSA; SHARMA; UPADHYAY; KUMAR, 2024).

Figura 1.6 - Planta da espécie *Brugmansia suaveolens*, exemplar utilizado nos experimentos.



Fonte: Venâncio, 2025.

Diante dos relatos acerca do perfil fitoquímico de *Brugmansia suaveolens*, destaca-se presença de diversos metabólitos secundários biologicamente ativos, entre os quais se incluem alcaloides tropânicos, como escopolamina, atropina e hiosciamina, além de compostos fenólicos, glicosídeos de antraquinona, triterpenos e constituintes voláteis oriundos dos óleos essenciais. Esses compostos têm sido identificados principalmente a partir de extratos obtidos de folhas e flores da espécie, evidenciando a complexidade química e o potencial biológico associado a diferentes órgãos vegetais (PUNDIR *et al.*, 2022).

Os alcaloides tropânicos presentes em *B. suaveolens* são amplamente reconhecidos por sua relevância farmacológica, especialmente devido à sua ação anticolinérgica no sistema nervoso central e periférico. Compostos como escopolamina, atropina e hiosciamina atuam como antagonistas dos receptores muscarínicos da acetilcolina, sendo historicamente utilizados no tratamento de distúrbios gastrointestinais, espasmos musculares, doenças respiratórias, náuseas e como agentes pré-anestésicos (DE FEO, 2004; PETRICEVCH *et al.*, 2013; PUNDIR *et al.*, 2022).

Além dos alcaloides, compostos fenólicos e triterpenos identificados em *B. suaveolens* apresentam atividade antioxidante, anti-inflamatórias e antimicrobianas, contribuindo para o interesse farmacológico da espécie. Estudos experimentais demonstram que extratos obtidos de diferentes partes da planta exibem atividade contra bactérias e fungos patogênicos, reforçando o potencial terapêutico associado à sua composição fitoquímica (SAN LUIS *et al.*, 2014; REGASSA; SHARMA; UPADHYAY; KUMAR, 2024).

Apesar de suas aplicações terapêuticas, a presença de elevados teores de alcaloides tropânicos confere à *B. suaveolens* um reconhecido potencial tóxico, especialmente quando utilizada de forma indiscriminada. Intoxicações em humanos e animais têm sido associada à ingestão acidental ou uso inadequado da planta, com sintomas que incluem alucinações, midríase, taquicardia e alterações neurológicas severas (PARKER *et al.*, 2007; SCHMIDT *et al.*, 2009). Esses efeitos ressaltam a necessidade de rigor científico na avaliação da dose, do método de extração e da forma de aplicação dos compostos bioativos.

A elevada bioatividade dos metabólitos secundários de *B. suaveolens*, especialmente dos alcaloides tropânicos, também tem despertado interesse no contexto agrícola. Estudos indicam que compostos com ação neurotóxica e antimicrobiana podem interferir em processos fisiológicos essenciais de organismos fitopatogênicos, incluindo insetos e nematoides parasitas de plantas. Nesse contexto, extratos vegetais derivados de espécies da família Solanaceae têm sido investigados como alternativas sustentáveis ao manejo convencional de pragas agrícolas, apresentando potencial inseticida e nematicida (NTALLI; CABONI, 2012; NANDAKUMAR *et al.*, 2017a; PUNDIR *et al.*, 2022).

No que se refere ao uso de compostos naturais no controle de patógenos agrícolas, diversos estudos apontam efeitos nematicidas correlacionados à presença de alcaloides do grupo tropânicos, como escopolamina, os quais apresentam comprovação de ação sobre nematoides parasitas de plantas (SALAZAR-ANTÓN *et al.*, 2014).

Quanto aos efeitos nematostáticos, a literatura ainda não é conclusiva quanto à caracterização específica dos compostos responsáveis por essa atividade (MIORANZA *et al.*, 2016; DE SOUZA *et al.*, 2019). No entanto, diversos estudos demonstram que metabólitos presentes em diversas plantas podem influenciar na taxa de eclosão de juvenis de *Meloidogyne* spp., como evidenciado por Costa *et al.* (2003), Neves *et al.* (2005), Franzener *et al.* (2007), Ribeiro *et al.* (2012) e Ntalli *et al.* (2013).

Diante desses efeitos, os estudos que avaliam a atividade nematicida oriundo de extratos vegetais têm sido amplamente desenvolvidos, com registro de eficácia sobre diferentes espécies de nematoides dentro do gênero *Meloidogyne*. A presença de compostos com ação nematicida foi identificada em diferentes partes das plantas, sendo realizadas as extrações com solução aquoso nas partes foliares e florais de *B. suaveolens* (SALAZAR-ANTÓN; GUZMÁN-HERNÁNDEZ, 2014; MIORANZA *et al.*, 2016; NANDAKUMAR *et al.*, 2017).

Assim, a combinação entre diversidade fitoquímica, comprovada atividade biológica e a crescente demanda por estratégias de manejo ambiental mais seguras posiciona

Brugmansia suaveolens como uma espécie promissora para estudos voltados ao controle alternativo de fitonematoides, especialmente do gênero *Meloidogyne*.

1.7 REFERÊNCIAS

ABD-ELGAWAD, M. M. M.; ASKARY, T. H. Impact of phytonematodes on agricultural productivity and their management through biological means. *Biocontrol Science and Technology*, v. 25, n. 4, p. 485-510, 2015.

ARIAS, D.; Vieira, P. A.; CONTINI, E.; FARINELLI, B.; MORRIS, M. Agriculture Productivity Growth in Brazil: Recent Trends and Future Prospects. Washington, DC: World Bank, 2017.

AZLAY, L.; EL BOUKHARI, M.; MAYAD, E. H.; BARAKATE, M. Manejo biológico de nematoides das galhas (*Meloidogyne* spp.): uma revisão. *Organic Agriculture*, v. 13, p. 99–117 (2023). <https://doi.org/10.1007/s13165-022-00417-y>

BRUSCA, R. C.; BRUSCA, G. J. *Invertebrados*. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2018.

CATTELAN, A. J.; DALL'AGNOL, A. Tecnologia de Produção de soja – Região Central do Brasil 2023/2024. Londrina: EMBRAPA SOJA, 2023.

CHITWOOD, B. G. Root-knot nematodes – Part I. A revision of the genus *Meloidogyne* Goeldi, 1887. *Proceedings of the Helminthological Society of Washington*, v. 16, p. 90-104, 1949.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: Safra 2024/25, 1º Levantamento. Brasília: CONAB, 2025.

COSTA, S. S. DA R.; SANTOS, M. S. N. DE A.; RYAN, M. F. Effect of *Artemisia vulgaris* rhizome extracts on hatching, mortality and plant infectivity of *Meloidogyne megadora*. *Journal of Nematology*, Hanover, v. 35, n. 1, p. 437-442, 2003.

DAYAN, F. E.; CANTRELL, C. L.; DUKE, S. O. Natural products in crop protection. *Bioorganic & medicinal chemistry*, v. 17, n. 12, p. 4022-4034, 2009.

DE FEO, V. The ritual use of *Brugmansia* species in traditional Andean medicine in Northern Peru. *Economic Botany*, v. 58, v. 1, p. S221-S229, 2004.

DE SOUZA, G. L. S.; PORTELA, C. R.; MARQUES, D. D. O uso da espécie *Brugmansia suaveolens* (Solanaceae) como ornamental e na medicina popular. *Scientia Naturalis*, v. 1, n. 1, p. 171-180, 2019.

DE SOUZA-MARTINS, E. S.; ONO, B. H. V. S.; MONTEIRO, B. M. M.; NETO, J. B. M.; SOUZA, J. C. Consumo de *Brugmansia suaveolens* (Trombeta de Anjo) e perturbação psíquica. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 1, 2021.

DUKE, S. O.; CANTRELL, C. L.; MEEPAGALA, K. M.; WEDGE, D. E.; TABANCA, N.; SCHRADER, K. K. Natural toxins for use in pest management. *Toxins*, v. 2, n. 8, p. 1943-1962, 2010.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Integrated Pest Management and Plant Health in Sustainable Agriculture*. Rome: FAO, 2023.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. *The State of Food and Agriculture 2024: Building Resilient Agrifood Systems*. Rome: FAO, 2024.

FAVORETO, L. F.; DIAS-ARIEIRA, C. R.; MACHADO, A. C. Z. Diagnose e manejo de fitonematoides na cultura da soja. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 40, n. 308, p. 58-66, 2019.

FERRAZ, L. C. C. B.; BROWN, D. J. F. *Nematologia de plantas: fundamentos e importância*. 2.ed. Piracicaba: Editora da Universidade de São Paulo, 2016.

FERRAZ, L. C. C. B.; SILVA, J. F. V. As meloidogynoses da soja: passado, presente e futuro. - (Org.) *Relações parasito-hospedeiro nas meloidogynoses da soja*. Londrina: Embrapa Soja/Sociedade Brasileira de Nematologia, p-15-38. 2001.

FERRAZ, L. C. C. B. *Nematologia de Plantas Cultivadas*. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001.

FRANZENER, G.; FRANZENER, A. S. M.; STANGARLIN, J. R.; FURLANETTO, C.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. F. Proteção de tomateiro a *Meloidogyne incognita* pelo extrato de *Tagetes patula*. *Nematologia Brasileira*, Piracicaba, v. 31, n. 1, p. 27-36, 2007.

GUZZO, É. C.; GONÇALVES, G. L. P.; VENDRAMIM, J. D. Resistência de plantas a insetos: perspectiva de associações com inseticidas botânicos. *Inseticidas botânicos no Brasil: aplicações, potencialidades e perspectivas*. Piracicaba: Fealq, 2023.

HUSSEY, R. S.; GRUNDLER, F. M. W. Nematode parasitism of plants. In: PERRY, R. N.; WRIGHT, D. J. (eds) *The Physiology and Biochemistry of Free-Living and Plant-Parasitic Nematodes*. CAB International, Wallingford, UK, p. 213-243, 1998.

JACOBO-SALCEDO, M. R.; GONZÁLEZ-ESQUINCA, A. R.; ALONSO-CASTRO, A. J.; ZAPATA-MORALES, J. R.; DOMÍNGUEZ-OLIVARES, M. A.; RAMÍREZ-MORALES, M. A.; SERRANO-MARTÍNEZ, M. E.; SÁNCHEZ-REYES, M. A.; GARCÍA-MARTÍNEZ, L. M.; SAN LUIS, M. R. Antimicrobial and cytotoxic effects of Mexican medicinal plants. *Natural Product Communications*, v. 6, n. 12, p. 1925-1928, 2011.

JONES, J. T.; HAEGEMAN, A.; DANCHIN, E. G.; GAUR, H. S.; HELDER, J.; JONES M. G.; KIKUCHI, T.; MANZANILLA-LÓPEZ, R.; PALOMARES-RIUS, J. E.; WESEMAEL, W. M.; PERRY, R. N. Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathol*, v. 14, n. 9, p. 946-961, 2013. doi: 10.1111/mpp.12057.

JUHÁSZ, A. C. P.; PÁDUA, G. P.; WRUCK, D. S. M.; FAVORETO, L.; RIBEIRO, N. R. Desafios fitossanitários para a produção de soja. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 34, n. 276, p. 66-75, 2013.

- KAYANI, M. Z.; MUKHTAR, T.; HUSSAIN, M. A. Evaluation of nematicidal effects of *Cannabis sativa* L. and *Zanthoxylum alatum* Roxb. against root-knot nematodes, *Meloidogyne incognita*. *Crop Protection*, v. 39, p. 52–56, 2012.
- LIMA, R. A. A agricultura brasileira e global: desafios e perspectivas. São Paulo: Atlas, 2020.
- MACHADO, A. C. Z. Diagnose e manejo de fitonematoides na cultura da soja. *Informe Agropecuário*, v. 40, n. 308, p. 58-66, 2019.
- MACHADO, A. C. Z. Bionematicides in Brazil: na emerging and challenging market. *Revisão Annual de Patologia de Plantas*, v. 28, n. 1, p. 35-49, 2022.
- MAPA – Ministério da Agricultura e Pecuária. Agrostat: Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro. Brasília: MAPA, 2024.
- MARTINS, T. R.; BARKMAN, T. J. Reconstruction of Solanaceae phylogeny using the nuclear gene SAMT. *Systematic Botany*, v. 30, n. 2, p. 435-447, 2005.
- MATOS, A. K. V. Revolução Verde, Biotecnologia e Tecnologias Alternativas. *Cadernos da FUCAMP*, v. 9, n. 2, p. 101-120, 2010.
- MIORANZA, T. M.; MÜLLER, M. A.; INAGAKI, A. M.; FUCHS, F.; COLTRO-RONCATO, S.; STANGARLIN, J. R.; KUHN, O. J.. Potencial nematicida e nematostático do extrato de *Curcuma longa* sobre *Meloidogyne incognita*. *Revista de Ciências Agroambientais, Alta Floresta*, v. 14, n. 1, 2016.
- MUCCILLO-BAISCH, A. L.; PARKER, A. G.; CARDOSO, G. P.; CEZAR-VAZ, M. R.; SOARES, M. C. F. Evaluation of the analgesic effect of aqueous extract of *Brugmansia suaveolens* flower in mice: Possible mechanism involved. *Biological Research for Nursing*, v. 11, n. 4, p. 345-350, 2010.
- NANDAKUMAR, A.; VAGANAN, M. M.; SUNDARARAJU, P.; UDAYAKUMAR, R. Nematicidal Activity of Aqueous Leaf Extracts of *Datura metel*, *Datura innoxia* and *Brugmansia suaveolens* – Science Publishing Group – SciencePG, v. 1, n. 2, p. 39-45, 2017a.
- NANDAKUMAR, A.; VAGANAN, M.M.; SUNDARARAJU, P.; UDAYAKUMAR, R. 2017. Phytochemical analysis and nematicidal activity of ethanolic leaf extracts of *Datura metel*, *Datura innoxia*, *Brugmansia suaveolens* against *Meloidogyne incognita*. *Asian Journal of Biology*, v. 2, n. 4, p. 1-11, 2017b.
- NEVES, W. S.; DALLEMOLE-GIARETTA, R.; FABRY, C. F. S.; COUTINHO, M. M.; DHINGRA, O. D.; FERRAZ, S.; DEMUNER, A. J. Atividade de extratos de alho (*Allium sativum*), mostarda (*Brassica campestris*) e pimenta malagueta (*Capsicum frutescens*) sobre eclosão de juvenis de *Meloidogyne javanica*. *Nematologia Brasileira*, Piracicaba, v. 29, n. 2, p. 273-278, 2005.
- NTALLI, N. G.; CABONI, P. Nematicidas botânicos: uma revisão. *Journal of agricultural and food chemistry*, v. 60, n. 40, p. 9929-9940, 2012.
- NTALLI, N. G.; NASIOU, E.; MENKISSOGLU-SPIROUDI, U. Evaluation of essential oils from rosemary, orange, Lavandula and false yellowhead on hatching and motility of root-knot

nematode. Journal of agricultural science and technology, New York, v. 3, n. 8, p. 603-616, 2013.

PARKER, A. G.; PEREZA, G. G.; SENA, J.; SILVA, E. S.; SOARES, M. C. F.; VAZ, M. R. C.; FURLONG, E. B.; MUCILLO-BAISCH, A. L. Antinociceptive effects of the aqueous extract of *Brugmansia suaveolens* flowers in Mice. Biological Research For Nursing, v. 8, n. 3, p. 234-239, 2007.

PERRY, R. N.; MOENS, M. Plant Nematology. 2. ed. Wallingford: CABI Publishing, 2006.

PERRY, R. N.; MOENS, M.; STARR, J. L. Root-knot Nematodes. Wallingford: CABI Publishing, 2009.

PETRICEVICH V. L.; SALINAS-SÁNCHEZ, D. O.; AVILÉS-MONTES, D.; SOTELO-LEYVA, C.; ABARCA-VARGAS, R. Compostos químicos, atividade farmacológica e toxicológica de *Brugmansia suaveolens*: uma revisão. Plantas (Basileia), 2020.

PUNDIR, S.; SHUKLA, M. K.; SINGH, A.; CHAUHAN, R.; LAL, U. R.; ALI, A.; KUMAR, D. A comprehensive review on angel's trumpet (*Brugmansia suaveolens*). South African Journal of Botany. v. 151, p. 266-274, 2022.

QUINCOZES, E. R. F.; LIMA, R. A.; MATTIOLI, M. T. *et al.*, Relatório anual, EMBRAPA Solos/Rio de Janeiro, 2023.

REGASSA, H.; SHARMA, R.; UPADHYAY, N. K.; KUMAR, D. Evaluating the influence of extraction method on phytochemical profile, in vitro biological activity, and in silico validation of *Brugmansia suaveolens*. Journal of the Indian Chemical Society, v. 101, n. 11, 101454, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jics.2024.101454>.

REIS, R. B.; BRAGAGNOLO, F. S.; GIANETI, T. M. R.; RODRIGUES, S. A.; FUNARI, C. S.; GONÇALVES, G. G.; MING, L. C. *Brugmansia suaveolens* Leaf Productivity and Alkaloid Contents Under Different Doses of Organic Fertilizer. Journal of Agricultura Science, v. 11, n. 3, p. 341, 2019.

RIBEIRO, H. B.; XAVIER, A. A.; CAMPOS, V. P.; MIZOBUTSI, E. H. Resíduos de frutos de pequi no controle do nematoide das galhas em tomateiro. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 30, n. 3, p. 453-458, 2012.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D. Nematoides parasitas de plantas: importância agrícola e medidas de manejo. Revista Brasileira de Agricultura Sustentável, v. 12, n. 2, p.65-78, Embrapa-cana. 2022.

SALAZAR-ANTÓN, W.; GUZMÁN-HERNÁNDEZ, T. J. Efecto nematicida de extractos de *Quassia amara* y *Brugmansia suaveolens* sobre *Meloidogyne* sp. asociado al Tomate em Nicaragua. Agronomía Mesoamericana, v. 25, n. 1, p. 111-119, 2014.

SCHMIDT, B. M.; RÍOS, M. Y.; TORRES, N. W.; ESTRADA-REYES, R.; ARIAS, M. A.; HERNÁNDEZ, L.; AGUIRRE, J.; GARCÍA, M. D. Wound healing properties of the aqueous extract of *Brugmansia suaveolens* in mice. Journal of Ethnopharmacology, v. 126, n. 3, p. 497-501, 2009. DOI: 10.1016/j.jep.2009.09.015.

SHAH, M. M.; MAHAMOOD, M. Introductory chapter: Nematodes – a lesser known group of organisms. *Nematology – concepts, diagnosis and control*. London: IntechOpen, v. 1, p. 192, 2017. DOI: 10.5772/66851.

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. V.18, n.1, 2020. Doi: 10.15666/aeer/1801_16791690

SOCIEDADE BRASILEIRA DE NEMATOLOGIA (SBN). Nematoides causam prejuízos de R\$ 35 bilhões ao agronegócio nacional. [S.l.]: SBN, 2023. Disponível em: <https://www.sbnematologia.com.br>

STIRLING, G. R. Biological control of plant-parasitic nematodes: soil ecosystem management in sustainable agriculture. Cabi, 2014.

TAPIA-VÁZQUEZ, I.; MONTOYA-MARTÍNEZ, A. C.; SANTOS-VILLALOBOS, S. D. L.; EK-RAMOS, M. J.; MONTESINOS-MATÍAS, R.; MARTÍNEZ-ANAYA, C. Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) a threat to agriculture in Mexico: biology, current control strategies, and perspectives. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, v. 38, n. 2, p. 26, 2022.

Capítulo 2

ATIVIDADE NEMATICIDA DE EXTRATOS DE *BRUGMANSIA* *SUAVEOLENS* SOBRE *MELOIDOGYNE INCOGNITA*

Artigo a ser submetido à Revista Semina: Ciências Agrárias
(<https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias>)

2. ARTIGO: ATIVIDADE NEMATICIDA DE EXTRATOS DE *BRUGMANSIA SUAVEOLENS* SOBRE *MELOIDOGYNE INCOGNITA*

Stéphany de Campos Venâncio^{1*}

Santino Aleandro da Silva²

Andressa Machado³

Isabely Alves do Couto⁴

Diego Rezende Rodrigues⁵

Viviane Sandra Alves⁶

¹ Universidade Estadual do Norte do Paraná. Centro de Ciências Agrárias, Bandeirantes, PR, Brasil. [0009-0006-8295-0449](mailto:stephanycamposvenancio@gmail.com). stephanycamposvenancio@gmail.com*

² AGRONEMA. [0000-0002-1019-1926](tel:0000-0002-1019-1926).

³ Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - IDR, Londrina, PR, Brasil. [0000-0003-4383-2221](tel:0000-0003-4383-2221).

⁴ Universidade Estadual do Norte do Paraná. Centro de Ciências Agrárias, Bandeirantes, PR, Brasil. [0000-0002-7034-7865](tel:0000-0002-7034-7865).

⁵ Universidade Estadual do Norte do Paraná. Centro de Ciências Agrárias, Bandeirantes, PR, Brasil. [0000-0002-9495-8943](mailto:diegopardal@uenp.edu.br). diegopardal@uenp.edu.br

⁶ Universidade Estadual do Norte do Paraná. Centro de Ciências Agrárias, Bandeirantes, PR, Brasil. [0000-0003-2381-8115](tel:0000-0003-2381-8115). vivialves@uenp.edu.br

RESUMO – *Meloidogyne incognita* destaca-se como uma das espécies mais agressivas e amplamente distribuídas em regiões tropicais, causando danos severos ao sistema radicular das plantas. A necessidade de alternativas aos nematicidas sintéticos impulsiona a pesquisa por compostos de origem vegetal com potencial biológico e menor impacto ambiental. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a atividade nematicida dos extratos aquoso e hidroalcolico de folhas e flores de *Brugmansia suaveolens* (Solanaceae) sobre juvenis de segundo estágio (J2) de *M. incognita*. Os experimentos foram conduzidos em condições laboratoriais controladas, utilizando J2 obtidos a partir de raízes de tomate infectadas, processadas com solução de hipoclorito de sódio e filtradas em peneiras de 250 e 500 mesh. As suspensões contendo J2 foram expostas a dois tipos de extratos (aquosos e hidroalcolicos) em diferentes concentrações e foi feito um controle negativo com água destilada. A mortalidade dos juvenis foi avaliada após 24 horas de exposição, e os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey ($p < 0,05$). Os extratos aquosos causaram maior mortalidade dos J2 de *M. incognita*, sendo que o extrato da flor causou até 98% de mortalidade em todas as concentrações avaliadas e não apresentou diferença significativa. Já o extrato aquoso de folhas apresentou mortalidade dose-dependente, com valores que variaram em função da dose testada. Para os extratos hidroalcolicos, observou-se mortalidade nos extratos obtidos a partir de flores e folhas com valores que variaram entre 46 a 59% de mortalidade. A análise por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (CG-MS) para detecção e identificação dos constituintes químicos voláteis presentes nos extratos de *B. suaveolens* confirmaram diferenças significativas entre os extratos, tanto quanto a forma de extração quanto a parte da planta utilizada.

Palavras-chave: Saia-branca. Metabólitos secundários. Controle alternativo. Fitossanidade. Nematóide das galhas.

2.1 INTRODUÇÃO

Entre os fitopatógenos que comprometem a sanidade das culturas, destacam-se os nematoides parasitas de plantas, conhecidos como fitonematoides. Esses organismos microscópicos habitam solo e o interior dos tecidos vegetais, interferem no desenvolvimento das raízes e, conseqüentemente, na absorção e distribuição de água e nutrientes (FERRAZ; BROWN, 2016). Seu parasitismo pode resultar em sintomas como nanismo, clorose, murcha e redução da produtividade agrícola, segundo a Sociedade Brasileira de Nematologia (SBN) as perdas anuais no Brasil ultrapassam R\$ 35 bilhões (SBN, 2023), enquanto que no cenário mundial os prejuízos são superiores a 100 bilhões de dólares/ano (ABD-ELGAWAD; ASKARY, 2015).

Entre os gêneros mais relevantes economicamente, *Meloidogyne* spp. destaca-se pela ampla distribuição geográfica, alta capacidade reprodutiva, variedade de hospedeiros e por sua capacidade de indução a formação de galhas que dificultam a absorção de nutrientes e comprometem o vigor das plantas (TAPIA-VÁZQUEZ *et al.*, 2022; AZLAY *et al.*, 2023). *Meloidogyne incognita* (Rhabditida: Meloidogynidae) é considerada uma das espécies mais agressivas e prevalentes em regiões tropicais, responsável por danos severos em culturas como soja (*Glycine max*), tomate (*Solanum lycopersicum*) e cenoura (*Daucus carota*) (FERRAZ; BROWN, 2016).

O uso de fitossanitários químicos ainda é o método mais empregado no manejo de fitonematoides, mas há um crescente interesse na utilização de alternativas sustentáveis por meio do uso de produtos naturais como os extratos vegetais. Esta opção se destaca no controle de fitopatógenos, pois muitas plantas produzem compostos bioativos com potencial de interferir em processos fisiológicos e neurológicos dos fitonematoides, sem causar danos a organismos não alvo (DAYAN *et al.*, 2009; NTALLI; CABONI, 2012).

A família Solanaceae, amplamente distribuída no Brasil, reúne espécies conhecidas pela produção de alcaloides e outros metabólitos secundários com reconhecida atividade biológica. Compostos como escopolamina, atropina e hiosciamina, presentes em espécies como *Datura stramonium* (Carl Linnaeus (Lineu) 1753) e *Brugmansia suaveolens* (Willd.) Bercht. & J. Presl, são exemplos de alcaloides tropânicos com efeitos neurotóxicos já descrito em diferentes organismos (PETRICEVICH *et al.*, 2020; PUNDIR *et al.*, 2022). Esses compostos têm demonstrado ação inseticida, bactericida e nematicida (NANDAKUMAR *et al.*, 2017), o que os torna possíveis candidatos para o desenvolvimento de bioinsumos aplicáveis ao manejo fitossanitário.

Nesse contexto, *Brugmansia suaveolens* espécie ornamental da família Solanaceae, tem despertado interesse científico em razão da diversidade de seus metabólitos secundários, especialmente alcaloides tropânicos, flavonoides e terpenos (DE SOUZA *et al.*, 2019). Estudos prévios apontaram extratos com atividade biológica significativa sobre diversos organismos, incluindo nematoides do gênero *Meloidogyne* (NANDAKUMAR *et al.*, 2017; PETRICEVICH *et al.*,

2020). No entanto, ainda há escassez de estudos que avaliem a toxicidade dos extratos aquosos e hidroalcolócos de *B. suaveolens* sobre *M. incognita*.

Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a atividade nematocida de extratos aquosos e hidroalcolócos de folhas e flores de *B. suaveolens* sobre juvenis de segundo estágio (J2) de *M. incognita*, bem como fazer a identificação de compostos orgânicos voláteis (COVs) dos extratos aquosos e hidroalcolócos da planta por meio de análise de Cromatografia Gasosa com Espectrometria de Massas por Headspace (HS-GC-MS).

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Coleta e Preparo de Materiais Vegetais

Para o preparo dos extratos vegetais foram utilizadas folhas e flores de *B. suaveolens*, ambas coletadas manualmente de uma única planta cultivada apenas com fim de paisagismo no sítio localizado no município de Bandeirantes, estado do Paraná, Brasil, sob as coordenadas geográficas 23,12039°S e 50,39905°O (Figura 2.1). Para confirmação da identificação do material vegetal, foi elaborada exsicata (30/10/2025) e encaminhado ao Herbário da Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP), campus Bandeirantes, PR, encontrando-se em processo de incorporação e tombamento institucional.

A coleta de folhas e flores foi realizada da mesma planta e na mesma época e período com o auxílio de tesoura de poda para que não houvesse danos nas partes coletadas. Em seguida o material vegetal foi acondicionado em sacos plásticos e transportado para o laboratório, onde foi lavado com água corrente e deixado para secar naturalmente. Posteriormente, o material vegetal coletado foi colocado em estufa de esterilização e secagem sobre papel *Craft* na temperatura de 45°C por 72 horas. Após esse período, as partes foram trituradas separadamente em liquidificador, e o pó resultante foi armazenado em sacos plásticos com fecho *zip lock*, identificado e deixado em geladeira até a produção dos extratos utilizados nos ensaios.

2.2.2 Preparo de Extratos Aquosos de *Brugmansia suaveolens*

O extrato aquoso de folha foi preparado na proporção de 1:10 (1 parte do material vegetal e 10 de água destilada) utilizando-se 25g de folhas e 250mL de água destilada. O extrato aquoso a partir de flores foi preparado na proporção de 1:12 (1 parte do material vegetal e 12 de água destilada) utilizando-se 25g de flores e 300mL de água destilada. Em seguida as misturas foram submetidas à agitação em *Shaker* orbital à 210RPM a 9°C por 24 horas. Após a agitação, as soluções foram filtradas e coadas em tecido *voil* com gramatura de 0,12mm, sobreposto com duas partes totalizando uma gramatura de 0,24mm para obter somente líquido e esse foi considerado extrato bruto. Em seguida, o extrato bruto foi congelado em ultra *freezer* -80°C por 4 horas. Após este

período, o extrato bruto foi seco em Liofilizador (L101 – LIOBRAS) até a obtenção de um pó novamente ou uma massa levemente pegajosa (óleos vegetais).

A partir do material liofilizado, foram preparadas as diluições para reconstrução do extrato. Para as diluições, utilizou-se 10g de extratos liofilizados e acrescidos de 50 mL de água destilada. Após o preparo das diluições, estas foram armazenadas à 4°C até a sua utilização.

2.2.3 Preparo de Extratos Hidroalcoólicos de *Brugmansia suaveolens*

O extrato hidroalcoólico obtido a partir de folhas foi preparado na proporção de 1:10 (1 parte do material vegetal e 9 de solução hidroalcoólica – Etanol 90%). O extrato hidroalcoólico a partir de flores foi preparado na proporção de 1:10 (1 parte do material vegetal e 9 de solução hidroalcoólica – Etanol 90%). As soluções foram submetidas à agitação em *Shaker* orbital à 210 RPM a 9°C por 24 horas. Posteriormente, os extratos foram filtrados em tecido *voil* com gramatura de 0,12mm, sobreposto com duas partes totalizando uma gramatura de 0,24mm para a obtenção do líquido sem partes vegetais que foi considerado extrato bruto. Os extratos foram submetidos a evaporador rotativo (TE-210 – TECNAL) a 60°C sob vácuo para retirada do Etanol, por 2 horas. As diluições em diferentes concentrações foram preparadas de formas iguais ao preparo dos extratos aquosos e armazenadas à 4°C até serem utilizados na realização dos testes de efeito nematocida utilizando as diferentes concentrações de extrato.

2.2.4 Obtenção do Nematóide

Os fitonematóides usados nos ensaios foram fornecidos pela empresa Agronema Análise, Consultoria e Experimentação Nematológicas LTDA, localizada na cidade de Londrina, Paraná, Brasil. Os indivíduos pertencentes à espécie *M. incognita* foram disponibilizados após a identificação morfológica feita pela empresa. O nematóide foi mantido e em plantas de tomateiro (*Solanum lycopersicum*) previamente preparadas. As plantas foram plantadas em casa-de-vegetação em vasos de 4 L de capacidade contendo solo esterilizado e cultivadas por 30 dias até a inoculação do nematóide.

Após o período de colonização, as raízes de tomate foram cuidadosamente lavadas em água corrente para remoção do solo aderido e, cortadas em fragmentos de aproximadamente 1 cm de comprimento. Posteriormente, as raízes foram trituradas em liquidificador contendo solução de hipoclorito de sódio a 0,5% por aproximadamente 20 segundos, de acordo com o método descrito por Boneti e Ferraz (1981) e adaptado por Machado, Silva e Ferraz (2022).

A suspensão resultante foi vertida sobre peneira de 250 Mesh acoplada sobre uma peneira de 500 Mesh, sendo o material lavado abundantemente com água corrente. Os ovos retidos na peneira de 500 Mesh foram coletados com o auxílio de pisseta contendo água destilada e transferidos para recipientes plásticos limpos.

Os ovos obtidos foram utilizados para obtenção dos juvenis de segundo estágio (J2) por meio do método de câmara de eclosão, conforme Cliff e Hirschmann (1985), com adaptação. Para isso, os ovos foram distribuídos sobre camadas de papel-toalha dobrado em uma forma de funil, apoiadas em peneiras de 500 Mesh posicionadas sobre funil de vidro acoplada com mangueiras e um tubo de fundo chato no final, contendo lâmina de solução CaCl_2 à 0,0025m, suficiente para manter o papel constantemente umedecido.

As câmaras foram mantidas em fotoperíodo natural por não haver uma influência significativa da luz e sim da temperatura, assim mantidas em temperatura ambiente ($25 \pm 2^\circ \text{C}$), sendo o nível de solução de CaCl_2 à 0,0025m ajustado diariamente para evitar o ressecamento dos ovos. A eclosão dos juvenis iniciou-se após aproximadamente 48 horas, e os J2 recém-eclodidos foram coletados diariamente com o auxílio de uma pisseta contendo água destilada. As suspensões contendo os juvenis foram armazenadas sob refrigeração a 10°C , e utilizadas nos bioensaios em um período de setes dias após a eclosão, a fim de garantir a viabilidade e uniformidade dos indivíduos.

2.2.5 Avaliação da Atividade Nematicida de Extratos Aquosos e Hidroalcóolicos de Brugmansia suaveolens sobre Meloidogyne incognita

Para uso nos ensaios, os juvenis de segundo estágio (J2) em suspensão aquosa foram previamente quantificadas em Câmaras de Peters e contados os indivíduos para as concentrações padronizadas de 100 juvenis/mL para uso nos bioensaios, que foram realizados dois experimentos, em quatro lotes de divisão conforme apresentado na Tabela 1 para melhor rendimento da avaliação e precisão dos resultados.

Tabela 2.1 - Delineamento experimental e preparo de diluições dos extratos aquosos e hidroalcóolicos de *Brugmansia suaveolens* utilizados nos bioensaios com *Meloidogyne incognita*.

Experimento 01 – Extratos Aquosos Flor			
Tratamento	Concentração	Descrição da diluição	Diluição final
T1	0 (controle)	Água destilada	
T2	16 %	10 g pó + 50 mL água destilada (extrato mãe)	4 mL extrato+1 mL suspensão
T3	14 %	90% de extrato mãe + 10% de água destilada	4 mL extrato+1 mL suspensão
T4	12%	80% de extrato mãe + 20% de água destilada	4 mL extrato+1 mL suspensão
T5	10%	70% de extrato mãe + 30% de água destilada	4 mL extrato+1 mL suspensão
T6	8%	60% de extrato mãe + 40% de água destilada	4 mL extrato+1 mL suspensão
Experimento 01 – Extratos Aquosos Folha			

T7	0 (controle)	Água destilada	4 mL extrato+1 mL suspensão
T8	16 %	10 g pó + 50 mL água destilada (extrato mãe)	4 mL extrato+1 mL suspensão
T9	14 %	90% de extrato mãe + 10% de água destilada	4 mL extrato+1 mL suspensão
T10	12%	80% de extrato mãe + 20% de água destilada	4 mL extrato+1 mL suspensão
T11	10%	70% de extrato mãe + 30% de água destilada	4 mL extrato+1 mL suspensão
T12	8%	60% de extrato mãe + 40% de água destilada	4 mL extrato+1 mL suspensão
Experimento 02 – Extratos Hidroalcoólico Flor			
Tratamento	Concentração	Descrição da diluição	Diluição final
T13	0 (controle)	Água destilada	4 mL extrato+1 mL suspensão
T14	16 %	10 g pó + 50 mL água destilada (extrato mãe)	4 mL extrato+1 mL suspensão
T15	14 %	90% de extrato mãe + 10% de água destilada	4 mL extrato+1 mL suspensão
T16	12%	80% de extrato mãe + 20% de água destilada	4 mL extrato+1 mL suspensão
T17	10%	70% de extrato mãe + 30% de água destilada	4 mL extrato+1 mL suspensão
T18	8%	60% de extrato mãe + 40% de água destilada	4 mL extrato+1 mL suspensão
Experimento 02 – Extratos Hidroalcoólico Folha			
T19	0 (controle)	Apenas água destilada	4 mL extrato+1 mL suspensão
T20	16 %	10 g pó + 50 mL água destilada (extrato mãe)	4 mL extrato+1 mL suspensão
T21	14 %	90% de extrato mãe + 10% de água destilada	4 mL extrato+1 mL suspensão
T22	12%	80% de extrato mãe + 20% de água destilada	4 mL extrato+1 mL suspensão
T23	10%	70% de extrato mãe + 30% de água destilada	4 mL extrato+1 mL suspensão
T24	8%	60% de extrato mãe + 40% de água destilada	4 mL extrato+1 mL suspensão

*Extrato mãe = extrato liofilizado

Em cada bioensaio, a atividade nematicida foi avaliada em tubos de fundo chato com capacidade total de 50mL, contendo quatro mL do extrato de *B. suaveolens* e um mL de suspensão contendo juvenis de segundo estágio (J2) de *M. incognita* por tubo. No tratamento controle foram utilizados quatro mL de água destilada ao qual a suspensão contendo os juvenis foi adicionada, de maneira que as concentrações finais dos extratos foram 16, 14, 12, 10 e 8%. Os experimentos foram incubados em câmara de germinação a 25° C sem fotoperíodo. As avaliações foram feitas após 24 horas de exposição. A mortalidade dos juvenis foi confirmada pela observação em microscópio óptico. Foram avaliadas as atividades dos nematoides com base na sua mobilidade. Os nematoides

foram classificados de acordo com as orientações da Sociedade Brasileira de Nematologia (SBN) sendo nematoides mortos (sem movimento e com o corpo reto), vivos (com movimentos) e afetados (sem movimento, mas com forma irregular/curvado). Para indivíduos mortos foram considerados os nematoides eretos, para indivíduos afetados considerou-se aqueles que com movimentos reduzidos e cauda envergada e para indivíduos vivos, foram considerados os que se movimentavam normalmente.

O experimento foi desenvolvido em delineamento fatorial com 2x2x6 (2 partes de material vegetal da planta - folha e flor) x 2 tipos de extratos (aquoso e hidroalcolólico) x 6 concentrações (0=controle, 8, 10, 12, 14 e 16% após a mistura com 1mL da suspensão do nematoide). Para cada tratamento foram utilizadas quatro repetições, totalizando 24 tratamentos e 96 parcelas, foram utilizadas testemunhas separadas para cada tratamento no quadrante de um extrato por vez, para melhor rendimento da avaliação. Ao final do experimento os dados foram submetidos por teste de Tukey com $P \geq 0,05$ pelo programa estatístico RStudio.

2.2.6 Identificação dos Compostos Extraídos de *Brugmansia suaveolens* por meio de análise de cromatografia gasosa com espectrometria de massas por headspace (HS-GC-MS).

A identificação dos compostos presentes nos extratos aquoso e hidroalcolólicos de folhas e flores de *B. suaveolens* foi realizada com objetivo de evidenciar o perfil químico dos extratos obtidos, bem como auxiliar na compreensão dos possíveis metabólitos secundários envolvidos na atividade nematicida observada nos ensaios biológicos.

Para tal, as amostras representativas de cada extrato foram submetidas à análise por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (HS-CG-MS), visando à separação, detecção e identificação dos constituintes químicos voláteis presentes nos extratos, bem como à estimativa da abundância relativa dos compostos identificados, expressa em porcentagem de área.

Os extratos liofilizados foram inicialmente padronizados por meio da preparação de uma solução-mãe, obtida pela diluição de 10g de extrato seco em 50 mL de solvente, resultando em 200mg/mL⁻¹. Os extratos aquosos foram solubilizados em água destilada, enquanto os extratos hidroalcolólicos foram solubilizados no solvente correspondente. Todas as soluções foram filtradas em membranas de 0,22 µm para remoção de impurezas e partículas insolúveis.

A caracterização dos compostos voláteis e semivoláteis foi realizada por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (GC-MS), utilizando coluna capilar de fase apolar e hélio como gás de arraste. Os espectros de massa obtidos foram comparados com bibliotecas internacionais (NIST/EPA/NIH), permitindo a identificação dos metabólitos com base nos índices de similaridade e nos tempos de retenção, bem como a determinação da abundância relativa dos compostos presentes em cada extrato.

Paralelamente, compostos não voláteis e termovoláteis foram analisados por cromatografia líquida de alta eficiência acoplada à espectrometria de massa (LC-MS), utilizando coluna C18 e gradiente de água acidificada e acetonitrila. As análises foram realizadas nos modos de ionização positiva e negativa, com aquisição de espectros completos (*full scan*) e fragmentação (MS/MS) para maior precisão estrutural.

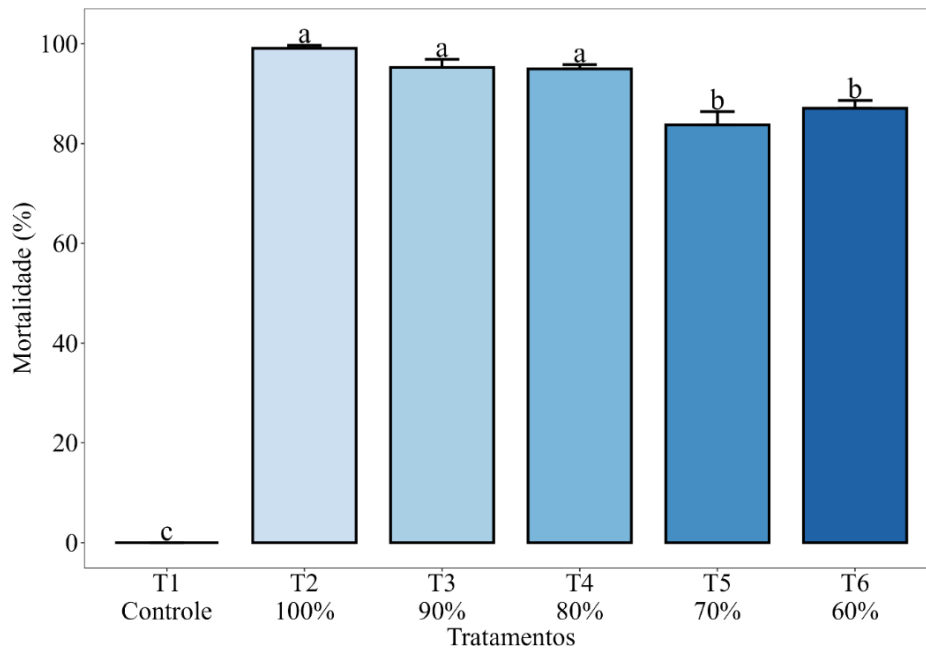
2.3 RESULTADOS

2.3.1 Efeito de extratos aquosos sobre J2 de *Meloidogyne incognita*

Os extratos aquosos de folhas e flores de *B. suaveolens* causaram mortalidade de juvenis de segundo estágio (J2) de *M. incognita*. No que se refere ao ensaio com extratos aquosos de folhas de *B. suaveolens* o tratamento controle não promoveu mortalidade, enquanto os demais tratamentos apresentaram elevados percentuais de mortalidade, variando de 83,7 a 99,1% (Figura 2.1), comprovando que a mortalidade de juvenis de segundo estágio foi significativamente influenciada pelos tratamentos ($F_{5,18} = 659,91$; $p < 0,001$).

As maiores concentrações do extrato (80, 90 e 100%) não diferiram estatisticamente entre si, formando o grupo de maior eficiência segundo o teste de Tukey ($p \leq 0,05$), enquanto as concentrações de 60% e 70% apresentaram mortalidade intermediária, porém ainda significativamente superior ao controle. Esses resultados indicam que o extrato aquoso de folhas apresenta forte atividade nematocida, com o aumento da mortalidade associado à elevação da concentração, seguido de um platô de eficiência nas maiores doses avaliadas.

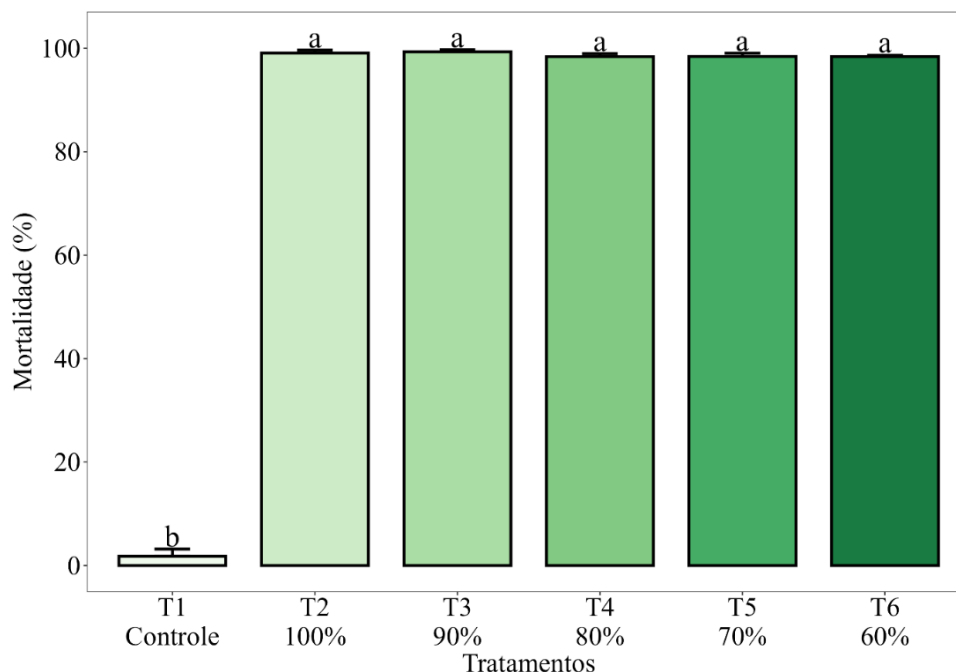
Figura 2.1 - Porcentagem de mortalidade de juvenis de segundo estágio (J2) de *Meloidogyne incognita* expostos a diferentes concentrações de extrato aquoso de folhas de *Brugmansia suaveolens* durante 24 horas em condições de laboratório.



Por sua vez, para o extrato aquoso de flores de *B. suaveolens*, foi observada diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos ($F_{5,18} = 2866,3$; $p < 0,001$). O controle apresentou baixa mortalidade média (1,8%), enquanto todos os tratamentos contendo extratos promoveram mortalidade superior a 98%, não havendo diferença significativa entre as concentrações avaliadas (8 a 16%) as quais formaram um único grupo segundo o teste de Tukey ($p \leq 0,05$), diferindo significativamente do controle (Figura 2.2).

O baixo coeficiente de variação ($CV = 1,79\%$) evidência precisão experimental, e os resultados indicam que o extrato aquoso de flores apresenta elevada toxicidade aos juvenis de *M. incognita*, sendo eficaz mesmo na menor concentração testada, o que sugere a ocorrência de um platô biológico de toxicidade.

Figura 2.2 - Porcentagem de mortalidade de juvenis de segundo estágio (J2) de *Meloidogyne incognita* expostos a diferentes concentrações de extrato aquoso de flor de *Brugmansia suaveolens* durante 24 horas em condições de laboratório



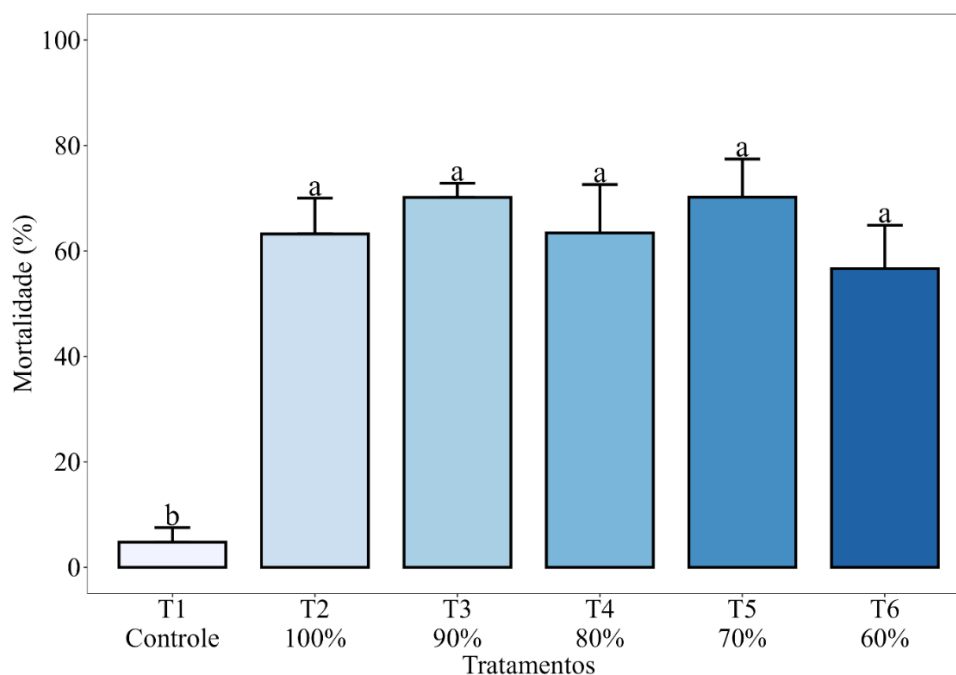
De forma geral, os extratos aquosos de folhas e flores de *B. suaveolens* apresentaram expressiva atividade nematocida sobre J2 de *M. incognita*. Enquanto o extrato de folhas apresentou efeito dependente da concentração, com maior eficiência a partir de 80%, o extrato de flor demonstrou elevada eficácia já na menor concentração avaliada, indicando maior potência biológica desse material vegetal.

De maneira semelhante, os extratos hidroalcoólicos de folhas e flores de *Brugmansia suaveolens* também apresentaram efeito significativo de mortalidade de juvenis de segundo estágio (J2) de *M. incognita*, evidenciando o potencial nematocida desse material vegetal quando extraídos em solvente alcóolico.

Para o extrato hidroalcoólico de folhas de *B. suaveolens*, a análise de variância indicou diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos ($F_{5,18} = 14,10$; $p < 0,001$). O tratamento controle apresentou baixa taxa de mortalidade média, diferindo estatisticamente de todos os tratamentos que continham extrato. Em contraste, as concentrações de 8, 10, 12, 14 e 16% promoveram taxas de mortalidade que variaram de 56,67 a 70,18% e não diferiram entre si, resultando em um agrupamento em um único grupo homogêneo, indicando que o efeito nematocida do extrato hidroalcoólico de folhas ocorreu independentemente da concentração dentro da faixa testada (Figura 2.3). O coeficiente de variação experimental foi de 24,33% considerado aceitável

para bioensaios com nematoides, e os resíduos atenderam ao pressuposto de normalidade, conferindo confiabilidade à análise estatística.

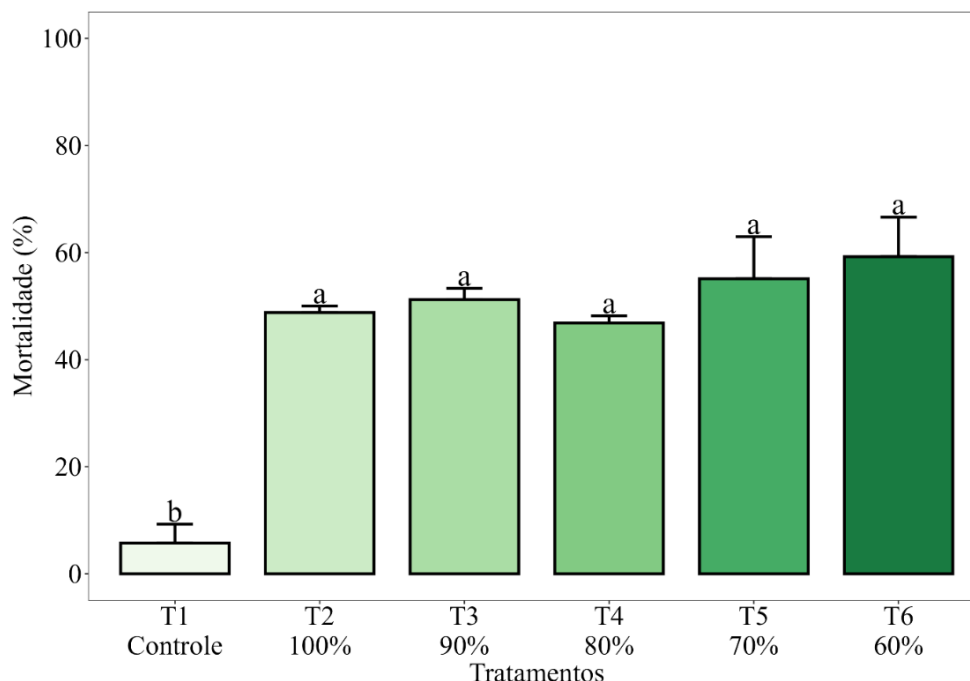
Figura 2.3 - Porcentagem de mortalidade de juvenis de segundo estágio (J2) de *Meloidogyne incognita* expostos a diferentes concentrações de extrato hidroalcoólico de folha de *Brugmansia suaveolens* durante 24 horas em condições de laboratório.



Posteriormente, para o extrato hidroalcoólico de flores de *B. suaveolens*, também foi observada diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos ($F_{5,18} = 16,76$; $p < 0,001$). O tratamento controle diferiu estatisticamente de todos os tratamentos contendo extrato, enquanto as concentrações de 8, 10, 12, 14 e 16% promoveram mortalidade dos juvenis de segundo estágio, com valores variando de 46,86 a 59,23% (Gráfico 04).

De maneira semelhante ao observado para o extrato hidroalcoólico de folhas, não houve diferença estatística entre as concentrações avaliadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), formando um único grupo homogêneo. Esses resultados indicam que o extrato hidroalcoólico de flores apresentou efeito nematicida significativo sobre J2 de *M. incognita*, sem resposta dose-dependente clara dentro do intervalo de concentrações testado. O coeficiente de variação experimental foi de 21,41% e os resíduos apresentaram distribuição normal, validando os pressupostos da análise de variância.

Figura 2.4 - Porcentagem de mortalidade de juvenis de segundo estágio (J2) de *Meloidogyne incognita* expostos a diferentes concentrações de extrato hidroalcolólico de flor de *Brugmansia suaveolens* durante 24 horas em condições de laboratório.



De modo integrado, os resultados evidenciam que a atividade nematicida de *B. suaveolens* sobre juvenis de *M. incognita* não depende apenas de presença de compostos bioativos na espécie, mas também é fortemente influenciada pelo solvente de extração e pela parte vegetal utilizada. As diferenças observadas entre extratos aquosos e hidroalcolólicos, bem como entre folhas e flores, indicam que o processo de extração exerce papel determinante na composição dos extratos e, conseqüentemente, na eficácia biológica observada.

Embora *B. suaveolens* já seja reconhecida por seu potencial fitoquímico, os resultados obtidos demonstram que a interação entre solvente e órgão vegetal resulta em padrões distintos de resposta biológica, sugerindo seletivamente na extração de metabólitos com ação nematicida. Nesse contexto, a caracterização química dos extratos torna-se essencial para a compreensão dos mecanismos envolvidos, permitindo relacionar os perfis metabólicos obtidos com os efeitos observados nos ensaios de mortalidade.

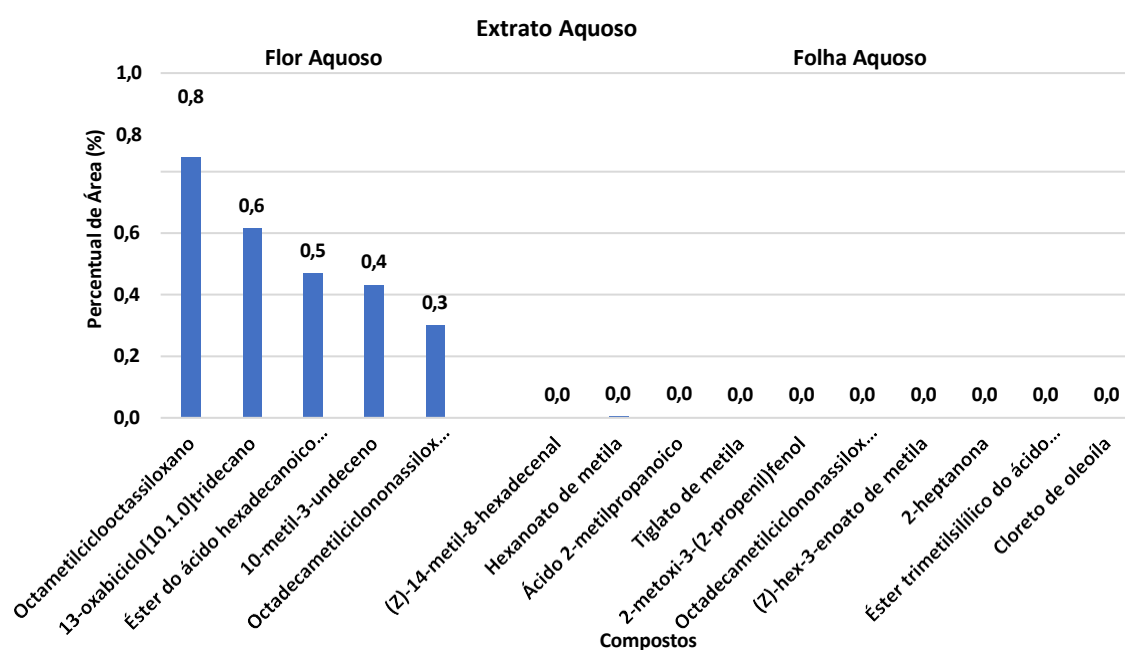
2.3.3. Identificação dos Compostos Extraídos de Brugmansia suaveolens com ação sobre Meloidogyne incognita

Considerando as diferenças observadas na atividade nematicida em função do solvente de extração e da parte vegetal utilizada, procedeu-se à caracterização química dos extratos aquosos

e hidroalcoólicos de folhas e flores de *B. suaveolens*. A análise por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (GC-MS) foi realizada com o objetivo de identificar os principais compostos voláteis presentes nos extratos e subsidiar a interpretação dos efeitos biológicos observados nos ensaios com juvenis de segundo estágio (J2) de *M. incognita*.

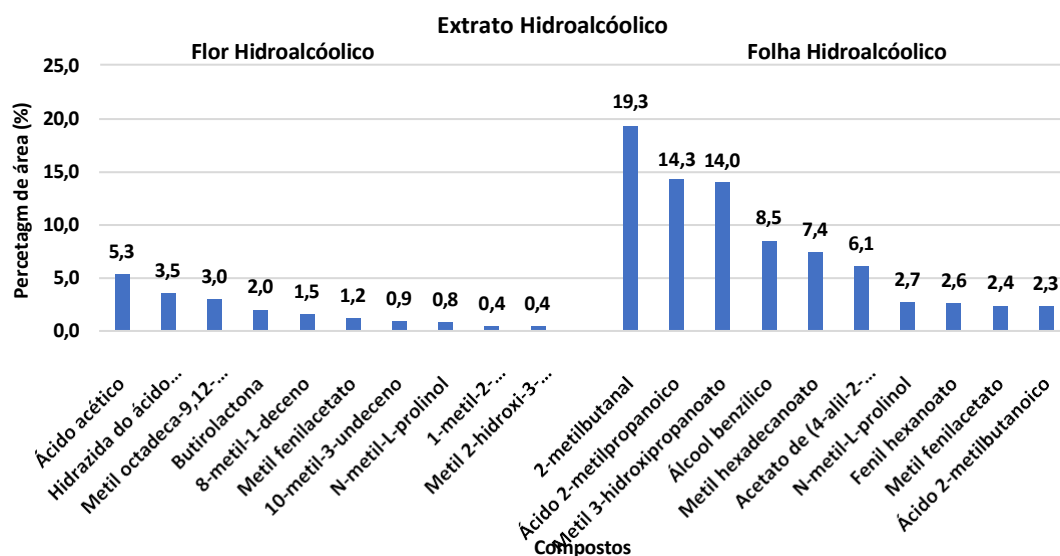
Os resultados evidenciaram diferenças qualitativas e quantitativas no perfil químico dos extratos, tanto em função do solvente de extração, quanto na parte vegetal utilizada (Figura 2.5 e 2.6).

Figura 2.5 - Identificação de compostos orgânicos voláteis (COVs) de extratos aquosos de *Brugmansia suaveolens* por meio do HS-GC-MS.



Fonte: Watanabe, 2026.

Figura 2.6 - Identificação de compostos orgânicos voláteis (COVs) de extratos hidroalcolóicos de *Brugmansia suaveolens* por meio do HS-GC-MS.



Fonte: Watanabe, 2026.

Nos extratos aquosos, foi observada menor diversidade química quando comparados aos extratos hidroalcolóicos. O extrato aquoso de flores apresentou predominância de poucos compostos majoritários, destacando-se aqueles com maior percentual de área cromatográfica, enquanto os demais compostos ocorreram em baixa proporção ou não foram detectados.

De forma semelhante, o extrato aquoso de folhas apresentou perfil químico mais restrito, com predominância de compostos polares e de baixa volatilidade, refletindo a menor eficiência do solvente aquoso na extração de metabólitos voláteis de maior complexidade estrutural.

Em contraste, os extratos hidroalcolóicos apresentaram maior diversidade e abundância de compostos voláteis. Tanto nas folhas quanto nas flores, o uso do solvente hidroalcolóico possibilitou a extração de um número mais elevado de metabólitos, com maiores percentuais de área cromatográfica.

O extrato hidroalcolóico de folhas apresentou os maiores valores de abundância relativa para compostos específicos, evidenciando o perfil químico mais complexo e concentrado quando comparado aos demais tratamentos. Já o extrato hidroalcolóico de flores apresentou composição intermediária, com presença de diversos compostos, porém em menores proporções relativas.

A comparação entre os extratos evidencia que o tipo de solvente exerceu influência significativa sobre o perfil químico obtido, sendo o solvente hidroalcolóico mais eficiente na extração de compostos voláteis e semivoláteis de *B. suaveolens*. Além disso, diferenças também foram observadas entre folhas e flores, indicando variação na distribuição dos metabólitos secundários entre os órgãos vegetais analisados.

Essas diferenças no perfil químico refletem a seletividade do processo de extração e a diversidade metabólica intrínseca da espécie, resultando em extratos com composições químicas distintas.

Os compostos identificados nos diferentes extratos, bem como a suas abundâncias relativas, fornecem subsídios importantes para a interpretação dos efeitos biológicos observados nos ensaios nematicidas. A avaliação dos efeitos químicos em função do solvente e da parte da planta reforça a necessidade de considerar esses fatores na avaliação da atividade biológica dos extratos.

2.4 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nos bioensaios evidenciaram que extratos aquosos e hidroalcolóicos de flores e folhas de *B. suaveolens* exerceram efeito nematicida significativo sobre juvenis de segundo estágio de *M. incognita*, confirmando o potencial biológico da espécie como fonte de compostos com atividade nematicida. Entretanto, a magnitude desse efeito variou de forma consistente em função do solvente de extração e da parte vegetal utilizada, evidenciando que esses fatores são determinantes para a eficácia biológica dos extratos.

De modo geral, os extratos aquosos apresentaram os maiores percentuais de mortalidade, especialmente os derivados de flores, os quais promoveram mortalidade superior a 98% em todas as concentrações avaliadas, sem diferença estatística entre as doses. Esse comportamento sugere a presença de compostos altamente hidrossolúveis com elevada toxicidade aos nematoides, capazes de atuar de forma eficiente mesmo em concentrações reduzidas. Em contraste, o extrato aquoso de folhas apresentou um padrão dose-dependente, com aumento progressivo da mortalidade até a estabilidade nas maiores concentrações, indicando a existência de um limiar mínimo de concentração para maximização do efeito nematicida nesse material vegetal.

A elevada eficácia observada nos extratos aquosos, particularmente os florais, pode estar associada à solubilização preferencial de metabólitos secundários polares, como alcaloides tropânicos, flavonoides e compostos fenólicos, amplamente descritos para o gênero *Brugmansia* e para a Família Solanaceae. Alcaloides como escopolamina, atropina e hiosciamina têm sido relatados como capazes de interferir no sistema neuromuscular de nematoides, resultando em paralisia e morte, o que corrobora os elevados percentuais de mortalidade observados neste estudo (SALAZAR-ANTÓN; GUZMÁN-HERNÁNDEZ, 2014; MWAMULA *et al.* 2022).

A caracterização química por HS-GC-MS revelou que os extratos de *B. suaveolens* apresentaram predominância de compostos pertencentes às classes dos ácidos orgânicos de cadeia curta, ésteres de ácidos graxos, compostos fenólicos e terpenos. Entre os compostos majoritários identificados destacam-se ácido acético, ácido 2-metilpropanoico, hexadecanoato de metila, 9,12-octadecadienoato de metila, N-metil-L-prolinol, acetato de linalila, cariofileno e derivados fenólicos

do tipo metoxifenol. Diversos estudos como Oka *et al.* (2000); Ntalli e Caboni (2012) associam essas classes químicas a atividades biológicas relevantes, incluindo ação e antimicrobiana, inseticida e nematicida, principalmente devido à capacidade de alterar a permeabilidade de membranas celulares, interferir em processos metabólicos e provocar estresse oxidativo em organismos-alvo.

Especialmente, os ácidos orgânicos de cadeia curta identificados, como ácido acético e o ácido 2-metilpropanoico, são descritos por autores como Sukul, (1992) e Chitwood, (2002) como capazes de modificar o pH do microambiente e comprometer a homeostase celular de microrganismos e invertebrados, podendo causar desbalanço osmótico e disfunção metabólica. Os ésteres de ácidos graxos, como o hexadecanoato de metila e o 9,12-octadecadienoato de metila, apresentam natureza lipofílica e têm sido associados à desorganização de membranas biológicas, interferindo na integridade estrutural e na permeabilidade celular.

Embora nem todos os compostos possuam descrições específicas de atividade nematicida isolada, os mecanismos biológicos atribuídos às suas respectivas classes indicam potencial efeito tóxico sobre fitonematoides, especialmente quando considerados sob a perspectiva de ação sinérgica, o que pode contribuir para explicar os elevados índices de mortalidade observados.

As diferenças observadas entre flores e folhas reforçam a hipótese de que a distribuição dos metabólitos secundários em *B. suaveolens* não é homogênea entre os órgãos vegetais. De acordo com Petricevich (2020), a composição química da espécie pode variar significativamente em função da parte da planta, sendo relatada a presença de determinados grupos de compostos exclusivamente em flores ou folhas. Essa heterogeneidade metabólica explica, ao menos em parte, a maior potência biológica dos extratos florais e o padrão dose-dependente observado nos extratos de folhas.

Em relação aos extratos hidroalcoólicos, embora tenha sido constatada atividade nematicida estatisticamente significativa em comparação ao controle, os percentuais de mortalidade foram, de modo geral inferiores aos observados para extratos aquosos. Esses resultados sugerem que o solvente hidroalcoólico, apesar de extrair uma maior diversidade de compostos, conforme evidenciado pela análise por GC-MS, pode solubilizar metabólitos menos tóxicos aos juvenis de *M. incognita* ou diluir a ação dos compostos mais ativos ao coextrair moléculas de menor efeito biológico. Assim, a maior complexidade química dos extratos hidroalcoólicos não se traduziu, necessariamente, em maior eficácia nematicida.

Esses resultados corroboram com a observação de que, embora a caracterização fitoquímica de *B. suaveolens* já tenha sido previamente descrita, os efeitos do solvente de extração sobre a eficácia biológica dos compostos, considerando diferentes partes da planta, ainda permanecem pouco compreendidos. Os resultados do presente estudo contribuem para preencher essa lacuna ao demonstrar, de forma integrada, que a escolha do solvente exerce influência decisiva tanto sobre o perfil químico dos extratos quanto sobre sua atividade biológica frente a *Meloidogyne incognita*.

A análise por GC-MS complementa essa interpretação ao revelar diferenças qualitativas e quantitativas marcantes entre os perfis químicos dos extratos aquosos e hidroalcoólicos, bem como entre folhas e flores. Os extratos aquosos apresentaram perfis químicos mais restritos, como predominância de poucos compostos majoritários, enquanto os extratos hidroalcoólicos exibiram maiores diversidade e abundância relativa de metabólitos voláteis e semivoláteis. Essas diferenças refletem a seletividade do processo de extração e reforçam que a eficácia biológica não depende apenas da diversidade química, mas da presença e concentração de compostos-chave com ação nematicida.

Adicionalmente, fatores genéticos, fisiológicos e ambientais podem influenciar a produção e o acúmulo de metabólitos secundários em *B. suaveolens*, contribuindo para variações no perfil químico e na atividade biológica observada entre diferentes órgãos vegetais, conforme discutido por Pundir *et al.* (2022). Essas variações podem explicar diferenças na intensidade do efeito nematicida entre folhas e flores, mesmo quando submetidos ao mesmo solvente de extração.

De modo geral, a comparação entre os quatro tipos de extratos avaliados evidencia que a maior eficácia nematicida está associada aos extratos aquosos, especialmente os derivados de flores, os quais apresentaram elevada mortalidade de J2 de *M. incognita* independente da concentração. Esse padrão indica que os compostos responsáveis pela toxicidade observada são predominantemente hidrossolúveis e se encontram em maior abundância nas partes florais da planta.

Os resultados obtidos reforçam o potencial promissor de *B. suaveolens* como fonte de compostos bioativos para o controle alternativo de fitonematoides do gênero *Meloidogyne*. Contudo, a identificação definitiva dos metabólitos responsáveis pela atividade nematicida observada requer investigações complementares, incluindo análises químicas mais aprofundadas e estudos de isolamento e bioatividade individual dos compostos.

Ainda assim, o presente estudo fornece subsídios relevantes para o desenvolvimento futuro de estratégias sustentáveis de manejo de fitonematoides, considerando a parte vegetal e o solvente de extração como fatores-chave na maximização da eficácia biológica.

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos no presente estudo demonstram que os extratos de *B. suaveolens* apresentaram atividade nematicida significativa sobre juvenis de segundo estágio de *M. incognita*, evidenciando o potencial da espécie como fonte de compostos bioativos para manejo alternativo de fitonematoides. Observou-se que tanto a parte vegetal utilizada quanto o solvente de extração influenciaram diretamente a eficácia biológica dos extratos, com destaque para os extratos aquosos, especialmente os derivados de flores, que promoveram mortalidade superior a 98% em todas as concentrações avaliadas, sem diferença estatística entre as doses. Esses achados indicam que

compostos extraídos em meio aquoso, possivelmente de natureza mais polar, desempenham papel central na atividade nematicida observada.

Paralelamente, a análise por GC-MS revelou que os extratos hidroalcoólicos apresentaram maior diversidade e abundância de compostos voláteis, incluindo ácidos orgânicos de cadeia curta, ésteres de ácidos graxos, terpenos e compostos fenólicos. No entanto, a maior complexidade química não se refletiu proporcionalmente na resposta biológica, sugerindo que a atividade nematicida pode estar associada a metabólitos específicos, possivelmente mais polares e menos voláteis, presentes nos extratos aquosos. Essa discrepância entre perfil químico e eficácia biológica representa um achado relevante do estudo, indicando que a bioatividade não necessariamente relaciona à maior diversidade de compostos, mas sim à presença e concentração de moléculas-chave com ação sobre o sistema neuromuscular e homeostase celular dos nematoides.

Embora a identificação definitiva e a confirmação da bioatividade individual desses metabólitos exijam estudos complementares de isolamento, purificação e testes específicos, o presente trabalho contribui de forma inédita ao correlacionar perfil químico preliminar e atividade nematicida em *B. suaveolens*. Assim, os resultados fornecem subsídios científicos relevantes para o desenvolvimento de estratégias de manejo de *M. incognita*, destacando o solvente de extração e a parte vegetal como fatores determinantes na maximização da eficácia biológica e no direcionamento de futuras pesquisas fitoquímicas.

2.6 AGRADECIMENTOS

Agradeço ao laboratório Labinp e todos os que estão presentes fazendo cada pesquisa acontecer com excelência e dedicação, a minha orientadora pela disposição de ajudar a realizar um sonho acadêmico e profissional meu de trabalhar com fitonematoides. Agradeço ao Prof. Dr. Rodrigo de Souza Poletto pelo apoio e por disponibilizar seu laboratório e equipamentos utilizados na produção dos extratos hidroalcoólicos. Agradeço a toda equipe da empresa Agronema por cada ensinamento e treinamento em especial ao Prof. Dr. Santino pela atenção e compartilhamento de conhecimento e a Prof^a. Dr^a. Andressa que auxiliou muito no meu desenvolvimento acadêmico e a disponibilidade dos inóculos. Agradeço a técnica Dr^a Caroline Apolinário da Silva que esteve presente em todos os momentos de realização de experimentos com um apoio essencial e em especial a técnica Paula Sayuri Taguti e sua tia que disponibilizaram as amostras de material vegetal para a realização do trabalho. Agradeço a CAPES pela concessão de bolsa e a Fundação Araucária pelos recursos para o desenvolvimento dessa pesquisa.

2.7 REFERÊNCIAS

- ABD-ELGAWAD, M. M. M.; ASKARY, T. H. Impact of phytonematodes on agricultural productivity and their management through biological means. *Biocontrol Science and Technology*, v. 25, n. 4, p. 485-510, 2015.
- AZLAY, L.; EL BOUKHARI, M.; MAYAD, E. H.; BARAKATE, M. Manejo biológico de nematoides das galhas (*Meloidogyne* spp.): uma revisão. *Organic Agriculture*, v. 13, p. 99–117 (2023). <https://doi.org/10.1007/s13165-022-00417-y>
- 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*, v. 6, p. 553, 1981.
- CHITWOOD, D. J. Phytochemical based strategies for nematode control. *Annual Review of Phytopathology*, v. 40, p. 221-249, 2002. DOI: 10.1146/annurev.phyto.40.032602.130045.
- CLIFF, G. M.; HIRSCHMANN, H. Observations on the hatching of *Meloidogyne* eggs. *Journal of Nematology*, v. 17, p. 347-351, 1985.
- DAYAN, F. E.; CANTRELL, C. L.; DUKE, S. O. Natural products in crop protection. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, v. 17, p. 4022-4034, 2009.
- DE SOUZA, G. L. S.; PORTELA, C. R.; MARQUES, D. D. O uso da espécie *Brugmansia suaveolens* (Solanaceae) como ornamental e na medicina popular. *Scientia Naturalis*, v.1, n. 1, p. 171-180, 2019.
- FERRAZ, L. C. C. B.; BROWN, D. J. F. *Nematologia de plantas: fundamentos e importância*. 2.ed. Piracicaba: Editora da Universidade de São Paulo, 2016.
- MACHADO, A. C. Z. Diagnose e manejo de fitonematoides na cultura da soja. *Informe Agropecuário*, v. 40, n. 308, p. 58-66, 2019.
- MACHADO, A. C. Z.; SILVA, S. A.; FERRAZ, L. C. C. B. *Métodos em Nematologia Agrícola*. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Nematologia, 2022.
- MACHADO, A. C. Z. Bionematicides in Brazil: na emerging and challenging market. *Revisão Annual de Patologia de Plantas*, v. 28, n. 1, p. 35-49, 2022.
- MARTINS, D.; SILVA, A. A.; CERQUEIRA, M. R. Análise de compostos bioativos por cromatografia gasosa. *Química nova*, v. 37, n. 6.

- MWAMULA, A. O.; KABIR, M. F.; LEE, D. W. A review of the potency of plant extracts and compounds from key families as an alternative to synthetic nematicides: history, efficacy, and current developments. *Plant Pathol. J.*, v. 38, n. 2, p. 53-77, 2022.
- NANDAKUMAR, A.; VAGANAN, M. M.; SUNDARARAJU, P.; UDAYAKUMAR, R. Nematicidal Activity of Aqueous Leaf Extracts of *Datura metel*, *Datura innoxia* and *Brugmansia suaveolens* – Science Publishing Group – SciencePG, v. 1, n. 2, p. 39-45, 2017a.
- NANDAKUMAR, A.; VAGANAN, M.M.; SUNDARARAJU, P.; UDAYAKUMAR, R. 2017. Phytochemical analysis and nematicidal activity of ethanolic leaf extracts of *Datura metel*, *Datura innoxia*, *Brugmansia suaveolens* against *Meloidogyne incognita*. – *Asian Journal of Biology*, v. 2, n. 4, p. 1-11, 2017b.
- NTALLI, N. G.; CABONI, P. Botanical Nematicides: A review. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, v. 60, n. 40, p. 9929-9940, 2012.
- OKA, Y.; NACAR, S.; PUTIEVSKY, E.; RAVID, U.; YANIV, Z.; SPIEGEL, Y. Nematicidal activity of essential oils and their components against the root-knot nematode. *Phytopathology*, v. 90, n. 7, p. 710-715, 2000. DOI: 10.1094/PHYTO.2000.90.7.710.
- PETRICEVICH V. L.; SALINAS-SÁNCHEZ, D. O.; AVILÉS-MONTES, D.; SOTELO-LEYVA, C.; ABARCA-VARGAS, R. Compostos químicos, atividade farmacológica e toxicológica de *Brugmansia suaveolens*: uma revisão. *Plantas (Basileia)*, 2020.
- PUNDIR, S.; SHUKLA, M. K.; SINGH, A.; CHAUHAN, R.; LAL, U. R.; ALI, A.; KUMAR, D. A comprehensive review on angel's trumpet (*Brugmansia suaveolens*). *South African Journal of Botany*. v. 151, p. 266-274, 2022.
- SALAZAR-ANTÓN, W.; GUZMÁN-HERNÁNDEZ, T. J. Efecto nematocida de extractos de *Quassia amara* y *Brugmansia suaveolens* sobre *Meloidogyne* sp. asociado al Tomate en Nicaragua. *Agronomía Mesoamericana*, v. 25, n. 1, p. 111-119, 2014.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE NEMATOLOGIA (SBN). Nematoides causam prejuízos de R\$ 35 bilhões ao agronegócio nacional. [S.l.]: SBN, 2023. Disponível em: <https://www.sbnematologia.com.br/>
- SUKUL, N. C. Plants antagonistic to plant-parasitic nematodes. *Indian Review of Life Sciences*, v. 12, p. 23-52, 1992.
- TAPIA-VÁZQUEZ, I.; MONTOYA-MARTÍNEZ, A. C.; SANTOS-VILLALOBOS, S. D. L.; EK-RAMOS, M. J.; MONTESINOS-MATÍAS, R.; MARTÍNEZ-ANAYA, C. Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) a threat to agriculture in Mexico: biology, current control strategies, and perspectives. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, v. 38, n. 2, p. 26, 2022.

