



BERAMSON LOUIS CHARLES

**POTENCIAL NEMATICIDA DO RESÍDUO EM PÓ DO
REBENEFICIAMENTO DE CAFÉ SOBRE *Meloidogyne*
incognita EM TOMATEIRO**

**LAVRAS-MG
2025**

BERAMSON LOUIS CHARLES

**POTENCIAL NEMATICIDA DO RESÍDUO EM PÓ DO REBENEFICIAMENTO DE
CAFÉ SOBRE *Meloidogyne incognita* EM TOMATEIRO**

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

Prof. Dr. Flávio H. Vasconcelos de Medeiros

Orientador

**LAVRAS - MG
2025**

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

Beramson, Louis Charles.

Potencial nematicida do resíduo em pó do rebeneficiamento de
café sobre *Meloidogyne incognita* em tomateiro / Louis Charles
Beramson. - 2025.

94 p. : il.

Orientador(a): Flávio H. Vasconcelos de Medeiros.

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

1. *Meloidogyne incognita*. 2. Bionematicida. 3. Resíduos de
café. 4. Controle de nematóides. I. Medeiros, Flávio H. Vasconcelos
de. II. Título.

BERAMSON LOUIS CHARLES

POTENCIAL NEMATICIDA DO RESÍDUO EM PÓ DO REBENEFICIAMENTO DE CAFÉ SOBRE *Meloidogyne incognita* EM TOMATEIRO.

NEMATICIDAL POTENTIAL OF COFFEE RE-PROCESSING POWDER RESIDUE ON *Meloidogyne incognita* IN TOMATO PLANTS.

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

APROVADA em 24 de Janeiro de 2025.

Dr. Mário César Guerreiro UFLA
Dr. Leandro Carlos Paiva IFMG

Prof. Dr. Flávio H. Vasconcelos de Medeiros
Orientador

**LAVRAS-MG
2025**

"Se o Senhor não fosse minha fortaleza, onde encontraria a paz para minha alma?" (*Salmo 46:1*)

"Entregue suas alegrias e preocupações nas mãos do Senhor, e Ele satisfará os desejos do seu coração." (*Salmo 37:4*)

Dedico este trabalho:

- Aos meus pais, Mervenie Fontus e Wilker Louis Charles, que com suas mãos lavraram a terra e me ensinaram a amá-la. Pelo apoio incondicional.
- A todos os professores que moldaram minha trajetória acadêmica.
- Aos meus irmãos e irmãs Bethesda, Béthanie, Rosmy, Wilcheder e John Aphter, assim como meus primos(as) e tios(as).
- À minha preciosa esposa, Suzie Candio, pela amizade, companhia e apoio em todos os momentos.
- A todos vocês, dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho de pesquisa é o resultado de inúmeras consultas e colaborações. Não teria sido possível concluí-lo sem a preciosa ajuda de muitas pessoas. Assim, meus sinceros agradecimentos vão principalmente para:

- Ao grande Deus do universo, que continuamente me proporciona tudo o que é necessário para minha vida e minha motivação;
- À Universidade Federal de Lavras (UFLA), em especial ao Departamento de Fitopatologia (DFP), por ter me dado a oportunidade concedida para realizar o curso de Mestrado.
- À Faculdade de Agronomia e de Medicina Veterinária (FAMV) da Universidade de Estado do Haiti (UEH), pela formação e apoio recebido ao longo da minha jornada acadêmica;
- Ao meu orientador, Dr. Flávio H. Vasconcelos de Medeiros, que, apesar de suas múltiplas responsabilidades, aceitou supervisionar este trabalho com rigor científico e dedicação;
- Ao professor Dr. Wilian Terra, pelo apoio fundamental na realização deste estudo;
- Ao Dr. Muhammad Siddiqui, pelas suas contribuições inestimáveis ao longo da pesquisa;
- Aos professores e técnicos de laboratórios, por contribuírem para minha formação acadêmica durante me mestrado no período de 2023-2025;
- À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa.
- À secretária do DFP Ariane Alvarenga por todo apoio e acolhida durante o curso.
- À minha querida esposa Suzie Candio, pelo amor, apoio moral e valiosos conselhos durante todo este processo;
- Aos membros da minha família, especialmente aos meus pais, Sr. e Sra. Wilker Louis Charles e Mavenie Fontus, pelo apoio e amor incondicionais;
- A todos os meus colegas e amigos da Fitopatologia, com quem compartilhei momentos de fraternidade e aprendizado ao longo da nossa jornada acadêmica;
- A todos aqueles que, de alguma forma, não foram mencionados acima, mas que contribuíram para esta grande realização, com gestos de apoio, incentivo ou amizade.

RESUMO

Meloidogyne incognita infecta diversas culturas agrícolas, causando perdas expressivas na produtividade. Seu manejo tem se baseado predominantemente no uso de nematicidas sintéticos e no cultivo de variedades resistentes. No entanto, resíduos de processamento de produtos agrícolas são amplamente utilizados como fertilizantes. Vários desses resíduos apresentam um potencial ainda não plenamente explorado no manejo de pragas e doenças das culturas. Este estudo teve como objetivo avaliar o potencial nematicida do resíduo do rebeneficiamento de café, um subproduto amplamente disponível, como alternativa para o manejo integrado de *M. incognita*. Por meio de experimentos in vitro e in vivo, bem como da caracterização parcial do resíduo, foi possível avaliar sua atividade. No primeiro experimento in vitro, diferentes doses do extrato dos resíduos (0%; 0,5%; 1%; 1,5%; 2%) reduziram significativamente a eclosão de ovos, alcançando até 98% de inibição. No segundo experimento in vitro, as doses de 1,5% e 2% promoveram aumento na mortalidade de juvenis (J2), atingindo até 92%. O resíduo foi fracionado em carbono residual, extrato metanólico e extrato aquoso. A aplicação do extrato aquoso do resíduo carbonizado, na dose de 1,1% (m/v), resultou em 100% de mortalidade de J2 em comparação ao controle tratado com água. A caracterização química do resíduo revelou altas concentrações de ácido clorogênico, catequina e trigonelina, compostos com propriedades bioativas conhecidas. Os resultados confirmaram o potencial do resíduo do rebeneficiamento de café em interferir na eclosão e reprodução de *M. incognita*. A presença de frações bioativas, ricas em compostos fenólicos e alcaloides, pode explicar sua ação nematicida, destacando-o como uma alternativa promissora para o manejo sustentável dessa praga.

Palavras-chave : *Meloidogyne incognita* ; Bionematicida ; Resíduos de café ; Sustentabilidade ; Economia circular ; Controle de nematóides.

ABSTRACT

Meloidogyne incognita infects various agricultural crops, causing significant losses in productivity. Its management has predominantly relied on the use of synthetic nematicides and the cultivation of resistant varieties. However, agricultural processing residues are widely used as fertilizers. Several of these residues have untapped potential for managing crop pests and diseases. This study aimed to evaluate the nematicidal potential of coffee processing residue, a widely available byproduct, as an alternative for the integrated management of *M. incognita*. Through *in vitro* and *in vivo* experiments, as well as partial characterization of the residue, its activity was assessed. In the first *in vitro* experiment, different doses of the residue extract (0%, 0.5%, 1%, 1.5%, 2%) significantly reduced egg hatching, achieving up to 98% inhibition. In the second *in vitro* experiment, doses of 1.5% and 2% increased the mortality of second-stage juveniles (J2), reaching up to 92%. The residue was fractionated into residual carbon, methanolic extract, and aqueous extract. The application of the aqueous extract of the carbonized residue at a dose of 1.1% (w/v) resulted in 100% J2 mortality compared to the water-treated control. Chemical characterization of the residue revealed high concentrations of chlorogenic acid, catechin, and trigonelline, compounds with known bioactive properties. The results confirmed the potential of coffee processing residue to interfere with the hatching and reproduction of *M. incognita*. The presence of bioactive fractions rich in phenolic compounds and alkaloids may explain its nematicidal action, highlighting it as a promising alternative for the sustainable management of this pest.

Keywords: *Meloidogyne incognita*; Bionematicide; Coffee Residues; Sustainability; Circular Economy; Nematode Control.

INDICADORES DE IMPACTO

O estudo sobre o potencial nematicida dos resíduos de pó de café na supressão de *Meloidogyne incognita* em tomateiros apresenta impactos sociais, tecnológicos, econômicos e ambientais significativos. No aspecto social, propõe uma alternativa biológica para o manejo de nematoides, reduzindo a exposição dos agricultores a produtos químicos nocivos. Tecnicamente, valoriza um resíduo agroindustrial, promovendo a economia circular. Economicamente, reduz os custos de produção ao diminuir a dependência de insumos químicos, criando novas oportunidades de renda para produtores de café. Ambientalmente, alinha-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente o consumo sustentável (ODS 12) e a ação contra mudanças climáticas (ODS 13), ao mitigar os impactos negativos de produtos químicos e resíduos agroindustriais. Os resultados experimentais comprovam a eficácia do resíduo na redução de populações de *M. incognita*, abrindo caminho para aplicações comerciais e novas pesquisas sobre seu mecanismo de ação. Este estudo promove práticas agrícolas sustentáveis e fortalece a inovação tecnológica no setor agrícola.

IMPACT INDICATORS

The study on the nematicidal potential of coffee powder residue in suppressing *Meloidogyne incognita* in tomato plants presents significant social, technological, economic, and environmental impacts. Socially, it offers a biological alternative for nematode management, reducing farmers' exposure to harmful chemicals. Technologically, it valorizes an agro-industrial byproduct, promoting a circular economy. Economically, it lowers production costs by reducing reliance on chemical inputs while creating new income opportunities for coffee producers. Environmentally, it aligns with the UN Sustainable Development Goals (SDGs), particularly sustainable consumption (SDG 12) and climate action (SDG 13), by mitigating the negative impacts of chemicals and agro-industrial waste. Experimental results demonstrate the residue's effectiveness in reducing *M. incognita* populations, paving the way for commercial applications and further research on its mode of action. This study promotes sustainable agricultural practices and strengthens technological innovation in the agricultural sector.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS DE ESTUDO	18
2.1- Objetivo geral.....	18
2.2- Objetivos específicos.....	18
4. REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1- O tomateiro	19
3.1.1- Produção de tomate no mundo e no Brasil	20
3.1.2- Impactos das pragas e doenças na cultura do tomate.....	21
3.2- Fitonematóides.....	22
3.2.1- Gênero <i>Meloidogyne spp.</i> e importância econômica.....	23
3.2.2- Ciclo da doença causada por <i>Meloidogyne spp.</i>	24
3.2.3- Métodos de controle de nematóides em culturas.....	25
3.2.3.1- Manejo químico com produtos sintéticos.....	25
3.2.3.2- Controle biológico	26
3.2.3.3- Manejo genético.....	27
3.2.3.4- Controle físico	28
3.2.3.5- Manejo integrado de nematóides em tomate	29
3.3- Produção de café no Brasil.....	30
3.3.1- Resíduos gerados pela cadeia de processamento de café.....	31
3.3.1.1- Anatomia de um grão de café.....	31
3.3.2- Potencialidade e implicação ambiental	33
3.3.3- Composição química da cereja de café.....	34
3.3.3.1- Compostos fenólicos	35
3.3.3.2- Modo de ação e atividade antimicrobiana dos compostos fenólicos.....	38
4 MATERIAL E MÉTODOS	39
4.1- Obtenção de ovos de <i>Meloidogyne incognita</i> para os experimentos.....	39
4.2- Obtenção do resíduo de café e preparo do extrato aquoso para ensaio in vitro.....	40
4.3- Caracterização do potencial do resíduo de rebeneficiamento do café no controle de <i>Meloidogyne incognita</i>	41

4.3.1- Avaliação do extrato de resíduo sobre a eclosão de juvenis de segundo estágio de <i>Meloidogyne incognita</i>	41
4.3.2- Avaliação do efeito do resíduo de rebeneficiamento de café no parasitismo de <i>M. incognita</i> em tomateiro	43
4.3.2.1- Montagem do experimento de acordo com a segunda metodologia adotada	43
4.3.2.2- Aplicação do controle positivo e infestação do solo com ovos de <i>M. incognita</i>	45
4.3.2.3- Manutenção e avaliação do experimento na casa de vegetação	45
4.3.2.3- Determinação do pH do Resíduo, do Solo e da mistura de solo com resíduo	46
4.3.3-Avaliação dos extratos de resíduo fracionado e resíduo normal sobre a mortalidade de juvenis de segundo estágio (J2) de <i>Meloidogyne incognita</i>	46
4.3.3.1- Fracionamento do resíduo por carbonização hidrotermal (HTC)	46
4.3.3.2- Teste de mortalidade de J2 de <i>Meloidogyne incognita</i>	47
4.3.3.2.1- Obtenção de juvenis de segundo estágio (J2).....	47
4.3.3.2.2- Montagem do experimento	47
4.3.3.2.3- Avaliação do teste in vitro sobre mortalidade de J2	48
4.4- Caracterização química do resíduo, determinando os compostos bioativos fenólicos presentes no resíduo de café estudado.....	49
4.4.1- O preparo do terceiro extrato (extrato a quente).....	49
4.4.2- Detecção e quantificação de compostos bioativos em três extratos de resíduo de café.....	49
4.5- Análise estatística e interpretação dos dados do estudo.....	49
5 RESULTADOS	51
5.1- Efeito do extrato líquido do resíduo de rebeneficiamento do café na eclosão de J2 de <i>Meloidogyne incognita</i>	51
5.1.1- Estatísticas descritivas dos dados experimentais.....	51
5.1.2- Análise estatística dos dados sobre o efeito do resíduo na eclosão de J2 de <i>Meloidogyne incognita</i>	52
5.1.3- Progressão da eclosão dos juvenis de segundo estágio (J2) ao longo de 12 dias.....	53
5.2- Avaliação do resíduo em pó, misturado ao solo em diferentes doses, no parasitismo de <i>M. incognita</i> em tomateiros	54
5.2.1- Avaliação dos parâmetros agrônômicos das plantas	54

5.2.2- Avaliação dos parâmetros populacionais de <i>Meloidogyne incognita</i> em tomateiros nos experimentos I e II realizados in vivo	55
5.2.2.1- Número médio de ovos por planta	55
5.2.2.2- Número médio de galhas por planta.....	56
5.2.2.3- Fator de Reprodução, número de nematóides por grama de raiz (Nema/g) e número galha/ por grama de raiz (Galha/g)	57
5.2.3- Análise de regressão do efeito dos diferentes tratamentos com o resíduo de café	58
5.2.4- Determinação do pH (resíduo, solo e solo + resíduo)	59
5.3- Avaliação do efeito do extrato de resíduos e do extrato aquoso do resíduo carbonizado sobre <i>Meloidogyne incognita</i> (J2) em condições in vitro.....	60
5.4- Análise química do resíduo de café, com a determinação e quantificação dos compostos bioativos presentes no material em estudo.....	61
6 DISCUSSÃO	64
7 CONCLUSÃO.....	67
REFERÊNCIAS	68
ANEXOS	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Um fitonematóide (<i>M. incognita</i>) em seu estágio infectante (J2).....	23
Figura 2- Ciclo de vida <i>Meloidogyne spp.</i> (Nematóide das galhas).....	25
Figura 3- Anatomia da cereja do café.....	31
Figure 4- Resíduo de rebeneficiamento triturado de café do estudo.	33
Figura 5- Estrutura química dos ácidos clorogênicos e cafeicos.....	36
Figura 6- Etapas de refinamento do resíduo até o preparo da solução estoque de extrato (20%) (m/v) no laboratório.....	40
Figura 7- Montagem do experimento : teste de eclosão de J2 de <i>Meloidogyne incognita</i>	42
Figura 8- Dispositivo experimental e avaliação da mortalidade dos J2 em microscópio invertido.	48
Figura 9- Níveis médios de eclosão de juvenis de segundo estágio de <i>Meloidogyne incognita</i> em dois experimentos in vitro, durante 10 dias em BOD a 27,3 °C.....	51
Figura 10- Eclosão de juvenis de segundo estágio (J2) de <i>Meloidogyne incognita</i> em função de diferentes concentrações do extrato aquoso de resíduos de café, avaliados após 10 dias de incubação em tubos mantidos em BOD a 27.3°C.....	52
Figura 11- Curva de progressão da eclosão de juvenis de segundo estágio (<i>Meloidogyne incognita</i>) ao longo de 12 dias, mantidos em BOD a 27°C.....	53
Figura 12- Número médio de ovos de <i>M. incognita</i> por planta de tomate cv. Santa Clara infestada com 4500 ovos, em experimentos realizados em casa de vegetação, utilizando 4 tratamentos com resíduo de café (0,5%, 1%, 1,5% ;2%) e dois controles.	55
Figura 13- Número médio de galhas por planta de tomate cv. Santa Clara infestada com 4500 ovos de <i>Meloidogyne incognita</i> , em experimentos realizados em casa de vegetação, utilizando 4 tratamentos com resíduo de café (0,5%, 1%, 1,5% e 2%) (m/m), se dois controles (N: negativo & P: positivo).....	56
Figura 14- Gráficos de análise de regressão da relação entre as diferentes doses de resíduos do rebeneficiamento de café (0,5%, 1%, 1,5% e 2% m/m), incluindo o controle negativo, na redução do número de ovos por grama de raiz nos experimentos, com 5 repetições.	59
Figura 15- Valores de pH do resíduo de café, do solo e da mistura dos dois.....	60
Figura 16- Perfil cromatográfico das três amostras de resíduo do beneficiamento do café analisadas.....	63

LISTA DAS TABELAS

- Tabela 1- Composição dos diferentes tratamentos (0.5%, 1%, 1.5% e 2%) em volume retirado da solução estoque (20%) (m/v), volume da suspensão de ovos de *Meloidogyne incognita* e volume de água destilada misturados nos diferentes tratamentos, em μL42
- Tabela 2- Composição de cada tratamento, em que uma quantidade de solo autoclavado foi misturada com uma quantidade de resíduo de rebeneficiamento de café, de acordo com as concentrações (0,5% ; 1% ; 1,5% ; 2%) (m/m), além dos controles.44
- Tabela 3- Composição de cada tratamento com os respectivos volumes : solução estoque do resíduo (20%) (m/v), suspensão de J2 de *Meloidogyne incognita* e água destilada, misturados de acordo com as especificações dos diferentes tratamentos.48
- Tabela 4- Média da altura das plantas (cm), do peso seco da parte aérea (g) e da massa fresca das raízes (g) em plantas de tomate cultivadas em solo tratado com diferentes concentrações de resíduo de rebeneficiamento do café (0% ; 0,5%, 1%, 1,5% e 2%) (m/m) e fluensulfona.54
- Tabela 5- Fator de Reprodução (FR), número de nematóides de *M. incognita* por grama de raiz (Nema/g) e número de galhas por grama de raiz (galha/g) em tomateiro, tratados com resíduo de rebeneficiamento do café (0,5%, 1%, 1,5% e 2%) (m/m).57
- Tabela 6- Impacto do extrato de resíduos de café (1,53% e 2%) (m/v) e do extrato aquoso obtido a partir de amostras do resíduo processadas por carbonização hidrotermal (HTC) na mortalidade de juvenis (J2) de *Meloidogyne incognita* após 48 horas em placas de ELISA.61
- Tabela 7- Compostos fenólicos e alcaloides identificados e quantificados por método cromatográfico nos três tipos de extratos de resíduo preparados : extrato de Ramaiya, extrato aquoso e extrato oleoso, obtidos a partir de amostras do resíduo processadas por carbonização.62

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DFP	Departamento de Fitopatologia
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
GCP	Green Coffee Powder
GCUB	Grupo de Cooperação Internacional de Universidades Brasileiras
HPLC	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência
HTC	Carbonisation hydrothermal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRAHORT	Instituto Brasileiro de Horticultura
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MG	Minas Gerais
NPPs	Nematoide Fitoparasitas
Pf	População final
pH	Potencial hidrogeniônico
Pi	População inicial
RF	Reproduction Factor
UFLA	Universidade Federal de Lavras

1 INTRODUÇÃO

O cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum L.*), originária da América do Sul, é uma das hortaliças mais importantes no Brasil e no mundo. O tomate se tornou um elemento essencial na gastronomia mundial, seus frutos, amplamente consumidos frescos ou processados, são uma fonte essencial de nutrientes na dieta humana, como vitaminas A, C e licopeno, um importante antioxidante. Dessa forma, ele desempenha um papel muito importante na segurança alimentar, na saúde e na subsistência de milhões de pessoas, destacando sua importância econômica e social para a agricultura atual (CARVALHO et al., 2014; FAO, 2022). Com uma produção de 4,6 milhões de toneladas em 2024, o Brasil consolida-se entre os 10 maiores produtores mundiais de tomate, reforçando a relevância estratégica desse cultivo para o agronegócio e a economia nacional (IBGE, 2024; FAO, 2022). Essa produção está distribuída em quatro grandes regiões: Centro-Oeste, Sudeste, Sul e Nordeste, e envolve cerca de 50 mil propriedades agrícolas, sendo a maioria de base familiar. O cultivo do tomate é economicamente importante, tanto para o mercado in natura quanto para a indústria de processamento, que produz molhos, purês e sucos (CARVALHO et al., 2014 ; FILGUEIRA, 2008; IBRAHORT, 2020).

Um dos principais desafios do cultivo de tomate é a grande variedade de patógenos e pragas que comprometem diretamente a produtividade e a qualidade dos frutos (GOUVEIA, 2016 ; RESENDE et al., 2006). Entre essas dificuldades, destaca-se a infestação por nematóides do gênero *Meloidogyne spp.* (Nematoides das galhas), particularmente *Meloidogyne incognita*, uma espécie bastante distribuída em regiões tropicais e subtropicais, incluindo o Brasil. O gênero *Meloidogyne* é responsável pela maior parte das perdas econômicas observadas em várias culturas do mundo (AGRIOS, 2024 ; BARBOSA, 2004 ; OLIVEIRA, 2019). Essas dificuldades enfrentadas pela tomaticultura brasileira comprometem sua competitividade e sustentabilidade, requerendo estratégias eficazes de manejo integrado para diminuir os impactos negativos e garantir uma produção efetiva (EMBRAPA, 2014 ; WESEMAEL et al., 2011).

Os nematóides são parasitas que atacam as raízes das plantas, originando deformações conhecidas como galhas. Essas danificações não apenas afetam a capacidade da planta de absorver água e nutrientes, mas também aumentam sua vulnerabilidade a infecções secundárias por fungos e bactérias fitopatogênicos (EMBRAPA, 2014). No caso das culturas de tomate

infectadas, as perdas podem chegar cerca de 25%, dependendo da gravidade dos danos causados (SASSER, 1998 ; SILVA et al., 2020).

Para o manejo de nematóides, diversas técnicas têm sido empregadas. O controle por meio de pesticidas, por exemplo, é mais popular e utilizado devido à sua eficácia imediata. No entanto, apresenta prejuízos significativos, como, impactos ambientais e riscos à saúde humana (GOUVEIA, 2016; DESAEGER et al., 2020; NICOL et al., 2011). Além disso, uma exposição prolongada a doses subletais de nematicidas sintéticos pode favorecer o surgimento de fitonematóides resistentes, dificultando ainda mais o controle desses parasitas (CATHERINE & IGA, 2019).

A aplicação de nematicidas sintéticos, como o aldicarbe e o brometo de metila, entre outros, tem demonstrado impactos adversos significativos para o meio ambiente e a saúde humana. Como consequência, muitos desses produtos estão sendo progressivamente retirados do mercado devido às suas implicações ambientais e às regulamentações mais restritivas (SIDDQUI, 2009 ; SILVA et al., 2020).

O controle biológico, por sua parte, utiliza principalmente, agentes como fungos e bactérias antagonistas, mas sua aplicação em larga escala ainda é limitada pela variabilidade dos resultados devido às condições ambientais (HEIMPEL & MILLS, 2017). Encontra também, o controle genético, baseado no uso de variedades resistentes, é uma ferramenta eficaz, mas enfrenta limitações devido à adaptação de populações de nematóides que superam essa resistência (RESENDE, 2006). Métodos culturais, como rotação de culturas, solarização e adição de matéria orgânica, são alternativas promissoras, mas requerem planejamento e tempo para serem eficazes (CAMPOS & VILAIN, 2005 ; GOUVEIA, 2016).

Nesse contexto, torna-se urgente a busca por novos produtos sustentáveis para o controle de nematóides fitoparasitas (NPPs). Além disso, o aumento dos custos associados aos produtos químicos tem motivado o desenvolvimento de estratégias alternativas para o controle desses organismos patógenos (DONG & ZHANG, 2006), fortalecendo a necessidade de métodos mais sustentáveis e economicamente viáveis. O controle biológico, por sua vez, destaca-se como uma alternativa promissora e sustentável, com diversos produtos já disponíveis no mercado (ARITA et al., 2020).

Nesse contexto, a valorização de subprodutos agrícolas poderia se apresentar como uma estratégia promissora, alinhada aos princípios da economia circular e potencialmente capaz de promover a sustentabilidade. Os resíduos agroindustriais, amplamente disponíveis e de baixo

custo, têm se destacado como componentes promissores para substratos. Como exemplo notável é a utilização de resíduos gerados durante o processamento do café, como cascas, polpa, mucilagem e borra, em diversas áreas, incluindo a agricultura, o setor energético, a indústria farmacêutica e alimentícia, entre outras (DURÁN et al., 2017; MURTHY & NAIDU, 2012 ; VALE et al. 2007). Segundo Quirino (2003), a valorização do resíduo na cadeia produtiva permite reduzir custos, além de gerar uma renda adicional para os produtores. Brasil, sendo o maior produtor mundial de café (IBGE, 2024), gera volumes importantes desses resíduos, que podem corresponder a até 50% da safra anual (DURÁN et al., 2017; SILVA et al., 2016). Os resíduos utilizados neste estudo são provenientes do rebeneficiamento do café, um processo na indústria de transformação que consiste na reclassificação e refinamento dos grãos para padronizar sua qualidade, removendo impurezas e defeitos após o processamento inicial.

Minas Gerais destaca-se como o principal estado produtor de café, correspondendo por cerca de 75,7% da produção total, e conseqüentemente gera uma grande quantidade de resíduos provenientes do processamento do café (BARBOSA, 2021). No entanto, o descarte inadequado dos resíduos gerados pelo processamento do café pode causar graves problemas ambientais, incluindo a contaminação de solos, recursos hídricos e emissões de gases de efeito estufa (GRAÇA & CALDAS, 2017 ; VEGRO & CARVALHO, 1994).

O uso de resíduos de café como bio-nematicidas apresentaria um potencial duplo: reduzir os impactos ambientais associados ao descarte inadequado e oferecer uma solução sustentável para o manejo de nematóides em culturas agrícolas como o tomate. Além disso, essa prática poderia trazer benefícios econômicos, criando novas fontes de receita para os produtores (ALMEIDA et al., 2021; STUMM, 2019).

Este trabalho representa a primeira avaliação dos efeitos do resíduo de rebeneficiamento de café sobre *Meloidogyne. Incognita* in vitro e em tomateiro, um dos principais fitonematóides do mundo, para o qual existem poucas soluções eficazes e sustentável. Ao final, espera-se que os resultados desta pesquisa auxiliem na tomada de decisões para uma agricultura sustentável e lucrativa.

2. OBJETIVOS DE ESTUDO

2.1- Objetivo geral

Avaliar o potencial nematicida do resíduo de rebeneficiamento de café contra o nematóide das galhas *Meloidogyne incognita*, por meio de experimentos in vitro e in vivo, com foco em oferecer soluções para o manejo sustentável dessa praga.

2.2- Objetivos específicos

1. Avaliar o efeito do extrato líquido do resíduo de rebeneficiamento de café na eclosão de juvenis (J2) de *Meloidogyne incognita* e o impacto do resíduo em pó, em diferentes concentrações no solo, sobre o parasitismo em tomateiros;
2. Estudar os efeitos dos extratos aquoso e oleoso, obtidos após a carbonização (fracionamento), e do extrato líquido dos resíduos de rebeneficiamento de café na mortalidade de J2 de *Meloidogyne incognita*;
3. Realizar uma análise química do resíduo para detectar e identificar a presença de compostos fenólicos e alcaloides, potencialmente bioativos, com o intuito de avaliar seu efeito nematicida.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1- O tomateiro

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) é uma planta anual de origem sul-americana, amplamente cultivada pelos seus frutos comestíveis. Pertence à família das Solanaceae e apresenta raízes fibrosas, caule ereto ou rastejante, folhas compostas e flores amarelas reunidas em inflorescências (FILGUEIRA, 2008 ; MASSIMI et al., 2023). O ciclo do tomateiro varia de 95 a 125 dias e pode ser dividido em quatro etapas distintas: a primeira vai da sementeira ao transplante, com duração aproximada de três a quatro semanas; a segunda, do transplante ao florescimento, leva entre quatro e cinco semanas; a terceira etapa se estende do florescimento ao início da colheita, com um período de cinco a seis semanas; por fim, a última fase abrange o período do início ao término da colheita (ALVARENGA, 2013; MAROUELLI et al., 2012).

O tomateiro pode atingir até 1,20 m de altura e, dependendo da variedade e das condições de cultivo, apresentar até 12 pencas. A condução da planta geralmente é feita com 3 a 4 hastes por planta, visando otimizar o desenvolvimento e a produtividade. O desenvolvimento ideal do tomateiro ocorre em temperaturas diurnas entre 21 e 27 °C e noturnas entre 15 e 20 °C. Temperaturas abaixo de 10 °C ou acima de 35 °C podem prejudicar significativamente o crescimento, a floração e a frutificação, podendo até mesmo inviabilizar a produção em condições extremas (FILGUEIRA, 2008 ; MASSIMI et al., 2023 ; SILVA & NASCIMENTO, 2007; TEIXEIRA, 2022).

Os tomateiros requerem condições específicas de solo: preferem solos leves, bem drenados, com textura argilo-arenosa ou arenosa e pH entre 6,0 e 6,8, para um bom desenvolvimento radicular e adequada absorção de nutrientes. Quanto às necessidades hídricas, o tomateiro é moderadamente sensível ao estresse hídrico, exigindo irrigação regular para manter uma umidade de 60% a 80% da capacidade de retenção de água do solo na zona das raízes. Recomenda-se uma umidade relativa do ar entre 60% e 70% para reduzir os riscos de doenças fúngicas e garantir uma polinização eficiente, enquanto o fornecimento de nutrientes, especialmente nitrogênio, fósforo e potássio, é essencial para o crescimento e a produção de frutos (ALVARENGA, 2013; FILGUEIRA, 2008; MASSIMI et al., 2023).

3.1.1- Produção de tomate no mundo e no Brasil

O cultivo do tomate (*Solanum lycopersicum*) é uma das mais importantes culturas hortícolas do mundo, reconhecido por sua grande relevância nutricional e econômica. Este fruto é consumido globalmente em diversas formas, seja fresco, em molhos, sucos ou produtos processados. As regiões de cultivo de tomate são amplas, com principais produtores mundiais como a China, Índia, Estados Unidos e Turquia. A produção mundial de tomates tem crescido continuamente, alcançando mais de 180 milhões de toneladas (FAO, 2022).

O Brasil é um dos maiores produtores de tomate da América do Sul e ocupa uma posição de destaque entre os principais produtores mundiais. Os produtores brasileiros administram importantes recursos físicos e financeiros, além de um grande contingente de mão de obra, o que contribui para a alta valorização da cadeia produtiva e consolida a tomaticultura como um setor estratégico no país (SOUZA et al., 2018; IBRAHORT, 2020).

A produção está distribuída entre diferentes regiões: Centro-Oeste, Sudeste, Sul e Nordeste, desempenhando um papel crucial na economia agrícola nacional. As práticas agrícolas locais incluem tanto sistemas a céu aberto quanto em estufas, com ciclos adaptados às condições climáticas de cada região (FILGUEIRA, 2008; IBRAHORT, 2020).

A produção de tomates no Brasil está organizada em duas grandes cadeias principais: o segmento de mesa, destinado ao consumo *in natura*, e o segmento industrial, voltado para o processamento dos frutos. No segmento de mesa, destacam-se variedades como a tomate Salada, Caqui (incluindo a Saladinha), Santa Cruz, Italiano (ou Saladete) e Mini Tomate, selecionadas por sua aparência, sabor e textura, ideais para o consumo direto. Já no segmento industrial, as variedades são escolhidas por sua alta produtividade, teor de sólidos e aptidão para a transformação em produtos como conservas, molhos e concentrados. Entre as principais variedades utilizadas na indústria, encontram-se a tomate Italiano, a Santa Cruz, a Caqui (em algumas de suas variações), a Rasteira, a Débora, a AP 533 e a U2006 (ALVARENGA, 2004; ANDREUCCETTI et al., 2007; CARMELO et al., 2010; FERNANDES JUNIOR et al., 2019).

Além disso, estudos recentes têm destacado a importância do manejo pós-colheita e das condições de armazenamento para a manutenção da qualidade dos tomates, tanto para o segmento de mesa quanto para o industrial. A aplicação de técnicas como o uso de atmosfera controlada e o tratamento com etileno tem se mostrado eficaz na preservação das características

físicas e químicas dos frutos, prolongando sua vida útil e reduzindo perdas (CARMELO et al., 2010; ANDREUCCETTI et al., 2007). Outros trabalhos também abordam a influência de fatores como irrigação, épocas de plantio e escolha de híbridos na produtividade e qualidade dos tomates, especialmente em regiões como o Médio Norte de Mato Grosso, onde a cultura tem ganhado destaque (FERNANDES JUNIOR et al., 2019; SANTOS et al., 2015).

3.1.2- Impactos das pragas e doenças na cultura do tomate

A cultura do tomateiro no Brasil é severamente afetada por uma ampla gama de fitopatógenos e pragas. Dentre os principais problemas fitossanitários, destacam-se doenças causadas por fungos, bactérias e vírus, além da infestação por nematóides fitoparasitas, como *Meloidogyne spp.* (GOUVEIA, 2016). A presença desses organismos compromete significativamente a produtividade e a qualidade dos frutos, exigindo o desenvolvimento de estratégias eficazes para o manejo integrado. Nas regiões produtoras de tomate no Brasil, os principais gêneros de nematóides responsáveis por danos significativos são *Meloidogyne*, *Belonolaimus*, *Trichodorus* e *Paratrichodorus*. Outros gêneros de nematóides associados ao tomate são mencionados na literatura, mas não causam perdas ou prejuízos econômicos notáveis. Entre esses nematóides, o gênero *Meloidogyne spp.*, principalmente *M. incognita*, é um dos parasitas mais devastadores para a cultura do tomate. Outras espécies importantes incluem *M. javanica*, *M. arenaria*, *M. hapla* e *M. enterolobii* (AGRIOS, 2024; EMBRAPA, 2014; SILVA et al., 2020; SASSER, 1998).

Os nematóides das galhas (*Meloidogyne spp.*) causam deformações características nas raízes, conhecidas como galhas, resultantes de hipertrofia e hiperplasia das células induzidas pela invasão de juvenis de segundo estágio (J2) (AGRIOS, 2024). Essas galhas, frequentemente suscetíveis a infecções secundárias por patógenos como *Fusarium sp.* ou *Ralstonia sp.*, comprometem o transporte de nutrientes e minerais, resultando em clorose, nanismo, murcha e uma redução significativa na produtividade, que pode chegar a 25%. Em campo, os sintomas aparecem como manchas irregulares de plantas enfraquecidas e amareladas, especialmente em regiões tropicais e subtropicais, onde esses nematóides representam uma ameaça significativa para a produção de tomates (EMBRAPA, 2014; SILVA et al., 2020; SASSER, 1998).

3.2- Fitonematóides

Os nematóides parasitas de plantas são pragas de grande relevância para diversas culturas agrícolas. Pertencem ao reino Animalia e ao filo Nematoda, termo derivado do grego nema, que significa 'fio' (Figura 1). Embora se assemelhem a vermes, são taxonomicamente distintos dos anelídeos. Possuem corpo cilíndrico, frequentemente filiforme, não segmentado, fino e translúcido, revestido por uma cutícula estriada que se renova a cada estágio juvenil. Em sua maturidade, as fêmeas de algumas espécies podem apresentar formas inchadas, como periformes ou esféricas.

Geralmente microscópicos, os nematoides fitoparasitas possuem comprimento variando entre 300 e 1000 μm , embora algumas espécies possam atingir até 12 mm. Seu diâmetro, por sua vez, oscila entre 15 e 35 μm , o que os torna invisíveis a olho nu, mas facilmente observáveis ao microscópio (LILLEY et al., 2024; AGRIOS, 2024).

Estima-se que existam mais de 25.000 espécies de nematóides descritas, das quais aproximadamente 4.100 são fitonematóides, parasitas de plantas. No entanto, o número total de espécies de nematóides pode ultrapassar 1 milhão. Entre os gêneros de fitonematóides que causam grandes perdas econômicas na agricultura mundial destacam-se *Meloidogyne* (nematóides das galhas), *Globodera* (nematóides de cisto), *Pratylenchus* (nematóides das lesões), *Radopholus* (nematóides das raízes) e *Heterodera* (nematóides de cisto). Esses parasitas afetam uma grande variedade de culturas essenciais, como cereais, hortaliças, frutíferas e plantações industriais (AGRIOS, 2024).

Os fitonematóides habitam uma ampla gama de ambientes e vivem principalmente no solo, onde se movem pelos poros para infestar as raízes das plantas. Também podem ser encontrados na superfície ou no interior dos tecidos vegetais, alimentando-se com a ajuda de seu estilete bucal e causando doenças às culturas que parasitam (AGRIOS, 2024; FERRAZ & BROWN, 2016). Anatomicamente, os nematoides possuem um sistema digestivo completo, composto por uma boca com estruturas especializadas, intestino e ânus. Muitos fitonematóides apresentam um estilete bucal, uma estrutura rígida que permite perfurar tecidos vegetais para alimentação e injetar secreções que induzem alterações celulares, como a formação de galhas radiculares, exemplificada no gênero *Meloidogyne* (AGRIOS, 2024; BIRD & BIRD, 1991; FERRAZ & BROWN, 2016). Apesar de possuírem tecidos organizados, os nematóides não possuem sistemas circulatório e respiratório. Sua locomoção baseia-se em movimentos

ondulatórios, gerados por músculos longitudinais que trabalham em conjunto com um sistema nervoso simples, formado por cordões dorsais e ventrais (AGRIOS, 2024; PERRY & MOENS, 2013).

Figura 1 - Um fitonematóide (*M. incognita*) em seu estágio infectante (J2).



Fonte : Autoria própria, 2024

As condições ótimas de temperatura, umidade e aeração do solo são essenciais para a sobrevivência, reprodução e mobilidade dos nematóides. Os nematoides fitoparasitas agem parasitando as raízes (*Meloidogyne incognita*) ou as partes aéreas das plantas (ex: *Ditylenchus dipsaci*), causando lesões, galhas ou deformações devido à sua alimentação e interação com os tecidos vegetais. Essas condições são frequentemente acompanhadas por infecções secundárias de bactérias ou fungos patogênicos, o que compromete o crescimento, a qualidade e a produtividade das culturas (AGRIOS, 2024 ; BIRD, 1991 ; PERRY & MOENS, 2013).

3.2.1- Gênero *Meloidogyne* spp. e importância econômica

Os nematóides do gênero *Meloidogyne*, comumente conhecidos como nematóides das galhas radiculares, estão entre os parasitas de plantas mais importantes no mundo. Esse gênero reúne mais de 90 espécies identificadas até o momento (MOENS et al., 2009). Os *Meloidogyne* spp. são polifágicos, pois atacam uma ampla gama de culturas, incluindo o tomateiro. São parasitas obrigatórios biotróficos altamente adaptados e possuem um estilo de vida endoparasita sedentário. As diversas espécies de nematoides estão amplamente distribuídas em diferentes regiões geográficas (AGRIOS, 2024; FERRAZ & BROWN, 2016; WESEMAEL et al., 2011).

Na maturidade, as fêmeas de *Meloidogyne*, ao contrário da maioria dos outros nematoides parasitas de plantas, adotam uma forma globular e permanecem imóveis, medindo entre 400 µm e 1.000 µm de comprimento. Os machos, por outro lado, têm uma estrutura alongada em forma de verme, com comprimento entre 1.100 µm e 2.000 µm, e são equipados com estiletos bucais robustos, característicos dos nematóides fitoparasitas.

Do ponto de vista econômico, as espécies mais prejudiciais são *M. incognita*, *M. javanica*, *Meloidogyne paranaensis* e *M. arenaria*. Esses nematóides atacam as raízes das plantas, formando galhas que comprometem a absorção de nutrientes e água, resultando na redução da qualidade e do rendimento das culturas colhidas, como o café (CAMPOS & VILAIN, 2005; SASSER et al., 1982). Os nematóides das galhas, especialmente *Meloidogyne incognita*, são parasitas que causam perdas significativas de produtividade em culturas agrícolas. Eles danificam as raízes, afetando diretamente a saúde e a produtividade das plantas (ALMEIDA & ZYLBERSZTAJN, 2017; CHITWOOD, 2002; FERRAZ & SOUZA, 2016; LÓPEZ-GÓMEZ et al., 2014).

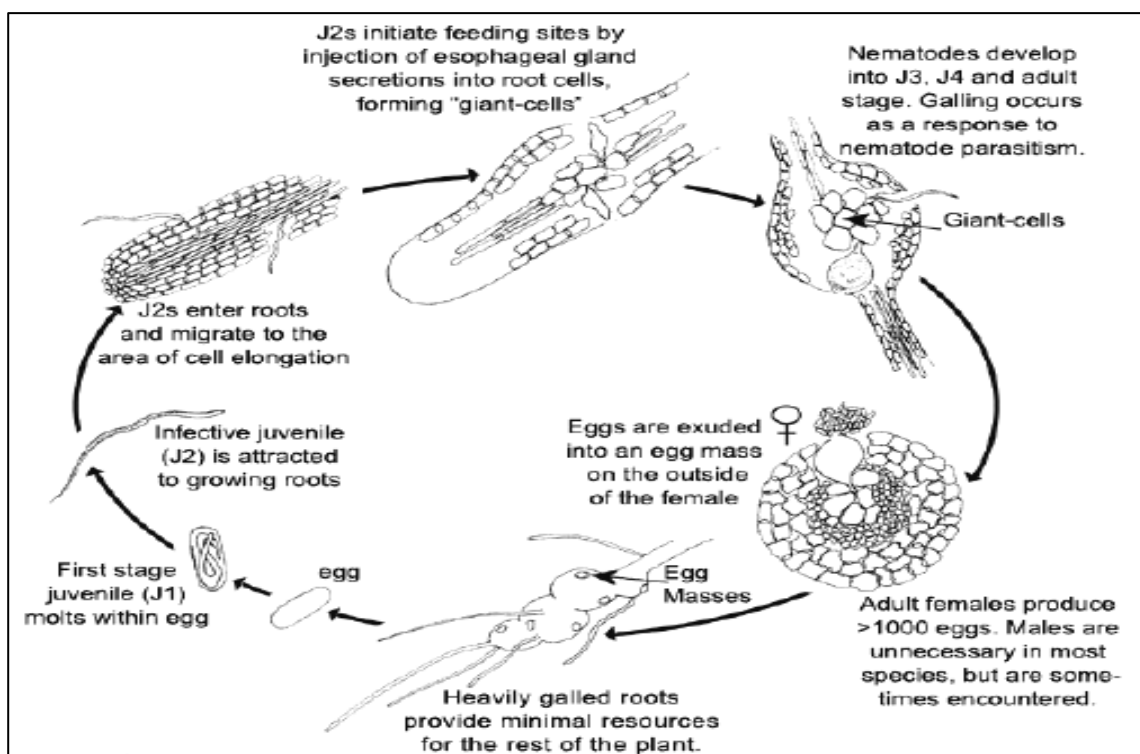
3.2.2- Ciclo da doença causada por *Meloidogyne* spp.

O ciclo biológico da meloidoginose começa com o desenvolvimento embrionário dos nematóides dentro do ovo, culminando na formação do primeiro estágio juvenil (J1). Nesse estágio, ocorre a primeira ecdise, dando origem ao segundo estágio juvenil (J2), que, após a eclosão, migra pelo solo em direção às raízes das plantas hospedeiras. O J2 é o principal responsável por iniciar o processo de infecção, utilizando seu estilete para injetar secreções enzimáticas e absorver nutrientes das células da planta hospedeira. Essas secreções não apenas estimulam o crescimento das células infectadas, mas também dissolvem parcialmente o conteúdo celular. Durante a infecção, os nematóides migram entre as células até estabelecerem seu sítio de alimentação próximo ao tecido vascular, momento em que se tornam sedentários (AGRIOS, 2024; SINGH et al., 2015).

Após a segunda fase juvenil (J2), os nematóides passam por mais três ecdises até atingirem a fase adulta. Nesse estágio, as fêmeas permanecem fixas nas raízes infectadas, enquanto os machos deixam de parasitar a planta. Muitas espécies de *Meloidogyne* apresentam reprodução partenogênica ou induzem a formação de "células gigantes" nas plantas hospedeiras. Além disso, as células adjacentes ao sítio de alimentação sofrem divisões

aceleradas, provavelmente devido à liberação de reguladores de crescimento vegetal pelos nematóides, resultando na formação de galhas características (Figura 2).

Figura 2- Ciclo de vida *Meloidogyne spp.* (Nematóide das galhas).



Fonte : Singh et al., 2015

3.2.3- Métodos de controle de nematóides em culturas

3.2.3.1- Manejo químico com produtos sintéticos

O manejo com produtos químicos sintéticos é uma das estratégias tradicionais e mais amplamente utilizadas no controle de nematóides. Ele envolve o uso de nematicidas, produtos químicos destinados a reduzir as populações de nematóides no solo e proteger as plantas contra danos. Apesar de sua eficácia na redução das perdas ocasionadas por este microrganismo após o estabelecimento da cultura no campo, o manejo químico enfrenta desafios crescentes relacionados à sustentabilidade, regulamentações ambientais e saúde humana. O controle tradicional com nematicidas químicos apresenta problemas ambientais e de saúde. Os nematicidas se dividem principalmente em duas categorias. A primeira inclui os nematicidas fumigantes, como o brometo de metila, agora proibido em muitos países devido ao seu impacto

ambiental, que agem pela liberação de gases tóxicos no solo, penetrando profundamente para eliminar os nematóides e outros organismos. A segunda categoria engloba os nematicidas não fumigantes, disponíveis na forma líquida ou granulada, que operam por contato ou ingestão (DESAEGER et al., 2017; DUNIWAY, 2002; SIDDQUI, 2009; SILVA et al., 2020).

Novas formulações de nematicidas, desenvolvidas com foco em menor impacto ambiental, estão sendo introduzidas no mercado graças à renovação tecnológica e ao crescente interesse da indústria de proteção agrícola. Dentre estas últimas, figuram as novas formulações à base de fluensulfone e fluopyram, reconhecidas por sua eficácia e perfil de segurança melhorado (OKA et al., 2009; KEARN et al., 2014).

3.2.3.2- Controle biológico

O controle biológico é reconhecido como uma estratégia sustentável de manejo, baseada no uso de organismos vivos ou seus derivados para reduzir patógenos e pragas nas culturas, incluindo os nematóides parasitas de plantas. Essa abordagem se destaca pelo potencial de reduzir a dependência de produtos químicos sintéticos, limitando os impactos negativos ao meio ambiente e à saúde humana (). Sustentável e respeitosa aos ecossistemas, essa estratégia se apoia em diversos mecanismos biológicos eficazes.

Embora seja ecologicamente vantajoso, o controle biológico apresenta algumas limitações, como eficácia variável dependendo das condições ambientais, custos iniciais geralmente elevados e resultados mais lentos em comparação aos produtos químicos (AGRIOS, 2024; DESAEGER et al., 2020 & 2017; GURR et al., 2021 & 2024; HEIMPEL & MILLS, 2017; LENTEREN et al., 2019; PARRA, 2014).

No Brasil, o mercado de produtos biológicos voltados para a proteção de culturas tem apresentado um crescimento acelerado, impulsionado pela demanda crescente por soluções agrícolas sustentáveis (MAPA, 2023; Revista Campo & Negócios, 2024). Esses produtos incluem bioinseticidas, biofungicidas e bionematicidas, que oferecem alternativas ecológicas aos pesticidas químicos tradicionais, contribuindo para uma agricultura mais sustentável e segura para os consumidores.

O controle biológico de nematoides é uma estratégia sustentável que utiliza diversos mecanismos de ação para combater esses parasitas. O antagonismo direto envolve a produção de metabólitos secundários, como enzimas e substâncias antimicrobianas, por micro-organismos como *Bacillus spp.* e *Trichoderma spp.*, que inibem a eclosão de ovos, a mobilidade de juvenis e a reprodução dos nematoides. O parasitismo é mediado por fungos nematófagos, como *Pochonia chlamydosporia* e *Arthrobotrys spp.*, que possuem estruturas especializadas para capturar e digerir ovos, juvenis e fêmeas de nematoides. A competição ecológica ocorre quando organismos benéficos, como bactérias promotoras de crescimento (PGPR) e fungos micorrízicos, ocupam os mesmos nichos ecológicos dos nematoides, limitando seu acesso a recursos. Por fim, a indução de resistência sistêmica nas plantas é estimulada por micro-organismos como *Pseudomonas spp.* e *Bacillus spp.*, que ativam vias bioquímicas de defesa, como a produção de fitoalexinas e o reforço da parede celular. Esses mecanismos, combinados, oferecem uma alternativa eficaz e sustentável aos nematicidas químicos, promovendo a saúde do solo e a produtividade das culturas (BETTIOL, 2009; HARMAN et al., 2004; KERRY, 2000; STIRLING, 2014; VAN LOON et al., 1998).

O controle biológico da meloidoginose com micro-organismos antagonistas, como fungos e bactérias, apresenta-se como uma alternativa eficaz e sustentável. Entre os fungos, destacam-se os nematófagos como *Arthrobotrys spp.* e *Monacrosporium spp.*, que capturam nematóides por meio de armadilhas ou esporos pegajosos, além de *Pochonia chlamydosporia*, *Paecilomyces lilacinus* e *Trichoderma spp.*, que parasitam ovos e fêmeas, promovendo ainda o crescimento das plantas e a absorção de nutrientes (TARIQUE, 2015). No caso das bactérias, *Bacillus spp.* e *Pasteuria penetrans* se destacam, sendo que esta última utiliza seus endósporos para aderir à cutícula de juvenis de nematóides, levando à morte gradual dos parasitas (BERG, 2012; SENGUPTA et al., 2020). Esses micro-organismos, ao induzirem defesas locais e sistêmicas nas plantas, oferecem um método promissor no manejo de nematóides em culturas agrícolas.

3.2.3.3- Manejo genético

O manejo genético é uma estratégia eficaz no controle de fitonematóides, amplamente reconhecida por sua eficiência, custo acessível e segurança ambiental (BRIDGE & STARR, 2007). Ele envolve o uso de variedades de plantas resistentes ou tolerantes a nematóides e técnicas como a enxertia, que aumentam a resiliência das culturas. No tomateiro, a resistência aos nematóides das galhas, causados por *Meloidogyne spp.*, é conferida pelos genes Mi,

provenientes de *Lycopersicon peruvianum*. Contudo, a eficácia desse gene pode ser comprometida em temperaturas elevadas, limitando sua aplicação em regiões tropicais (BARKER, 2006; MILLIGAN et al., 1998; WILLIAMSON et al., 2006).

O uso de variedades resistentes oferece vantagens como a redução de custos, pela menor dependência de insumos químicos, e sustentabilidade, pois não afeta negativamente o meio ambiente ou a saúde humana (JONES et al., 2013). Essas variedades são facilmente integradas às práticas agrícolas existentes, tornando-se uma solução acessível. No entanto, a eficácia pode ser limitada devido à perda de resistência em condições de calor extremo e à evolução de raças de nematóides capazes de superar a resistência genética, exigindo o desenvolvimento contínuo de novas cultivares (WILLIAMSON & KUMAR, 2006).

Contudo, o manejo genético deve ser combinado com outras estratégias, como a rotação de genes de resistência, controle biológico e químico, para evitar a pressão seletiva e garantir a durabilidade da resistência. Quando integrado a essas práticas, o manejo genético pode ser uma ferramenta poderosa para o controle sustentável dos nematóides, reduzindo perdas agrícolas de forma eficiente e ambientalmente responsável (JONES et al., 2013; LILLEY et al., 2024).

3.2.3.4- Controle físico

O controle físico de nematoides consiste na utilização de métodos que alteram as condições físicas do solo ou do ambiente para reduzir ou eliminar a população desses parasitas. Entre as principais formas de manejo físico, destacam-se a solarização, a vaporização, o uso de temperaturas extremas (calor ou frio), a inundação e a aração profunda. Essas técnicas visam interromper o ciclo de vida dos nematoides, seja pela destruição direta dos ovos e juvenis, seja pela criação de condições desfavoráveis à sua sobrevivência.

A solarização é um dos métodos físicos mais estudados e eficazes para o controle de nematoides no solo. Essa técnica consiste na cobertura do solo com duas camadas de filme de polietileno transparente, que aumentam a temperatura do solo por meio do efeito estufa, eliminando nematoides e seus ovos. Temperaturas entre 44 °C e 48 °C são particularmente eficazes para exterminar organismos nocivos (SOUZA et al., 2010).

As etapas principais da solarização incluem:

- ✓ Preparação do solo: O solo deve ser revolvido e umedecido para facilitar a condução térmica.
- ✓ Aplicação do plástico: Duas camadas de filme de polietileno transparente são estendidas sobre o solo e bem seladas nas bordas para maximizar a retenção de calor.
- ✓ Duração do tratamento: O processo dura de duas a seis semanas, sendo idealmente realizado no verão ou em períodos de alta incidência solar (SILVA et al., 2012).

Os benefícios da solarização incluem sua eficácia na eliminação de nematoides e outros patógenos do solo, a ausência de produtos químicos e o estímulo a micro-organismos termófilos benéficos (MEDEIROS et al., 2013). No entanto, a técnica apresenta limitações, como a seletividade que pode afetar micro-organismos benéficos, a eficácia variável conforme a textura do solo, a penetração limitada (geralmente até 10 cm de profundidade) e o custo inicial elevado devido à necessidade de plásticos de alta qualidade (TAVARES et al., 2011).

Além da solarização, outras técnicas de controle físico podem ser exploradas, como a vaporização, que utiliza vapor de água para aquecer o solo, e a aração profunda, que expõe os nematoides a condições adversas na superfície. A escolha do método depende das condições locais, do tipo de cultura e da viabilidade econômica.

3.2.3.5- Manejo integrado de nematóides em tomate

O Manejo Integrado de Nematóides (MIN) é uma abordagem estratégica para o controle sustentável de nematóides nas culturas agrícolas, com o objetivo de equilibrar a eficiência e minimizar os impactos ambientais. No Brasil, o controle de *Meloidogyne spp.*, que causa danos significativos, especialmente no tomateiro, continua sendo um desafio. O MIN oferece soluções abrangentes ao combinar diversas práticas para reduzir a dependência de métodos químicos, que frequentemente são prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana (DESAEGER et al., 2022; LIMA et al., 2018; SANTOS et al., 2014). A integração de práticas culturais, biológicas, químicas, genéticas e físicas tem se mostrado a estratégia mais eficaz e ambientalmente responsável, permitindo o controle das populações de nematóides e a preservação da qualidade do solo (OLIVEIRA et al., 2012; PERRY & MOENS, 2013).

Um dos princípios fundamentais do MIN é a diversidade de estratégias. O uso combinado de cultivares resistentes, como as variedades de tomateiro com o gene Mi, o controle preventivo e práticas culturais como rotação de culturas e adição de matéria orgânica, favorece o acúmulo de antagonistas naturais dos nematóides. Além disso, a solarização do solo é uma prática física que se utiliza da energia solar para aumentar a temperatura do solo e eliminar nematóides e outros patógenos, sem recorrer ao uso de produtos sintéticos (DESAEGER et al, 2022; SOUZA et al., 2010; TAVARES et al., 2011).

A sustentabilidade é outro princípio fundamental do Manejo Integrado de Nematóides (MIN), pois, ao integrar diferentes abordagens, busca-se reduzir a pressão sobre o meio ambiente e preservar a biodiversidade do solo. O monitoramento contínuo das populações de nematóides e a implementação de medidas preventivas são indispensáveis, permitindo que o manejo seja adaptativo e responda rapidamente às mudanças na dinâmica populacional desses organismos.

O sucesso do MIN no Brasil é evidenciado por estudos como o de Souza et al. (2017), que demonstraram a eficácia da integração de enxertos em porta-enxertos resistentes com o uso controlado de nematicidas, além de práticas culturais e biológicas, em condições de cultivo tropical (SILVA et al., 2013). Essa abordagem integrada não apenas oferece um controle eficiente de nematóides, mas também contribui para a viabilidade econômica e a sustentabilidade dos ecossistemas agrícolas.

3.3- Produção de café no Brasil

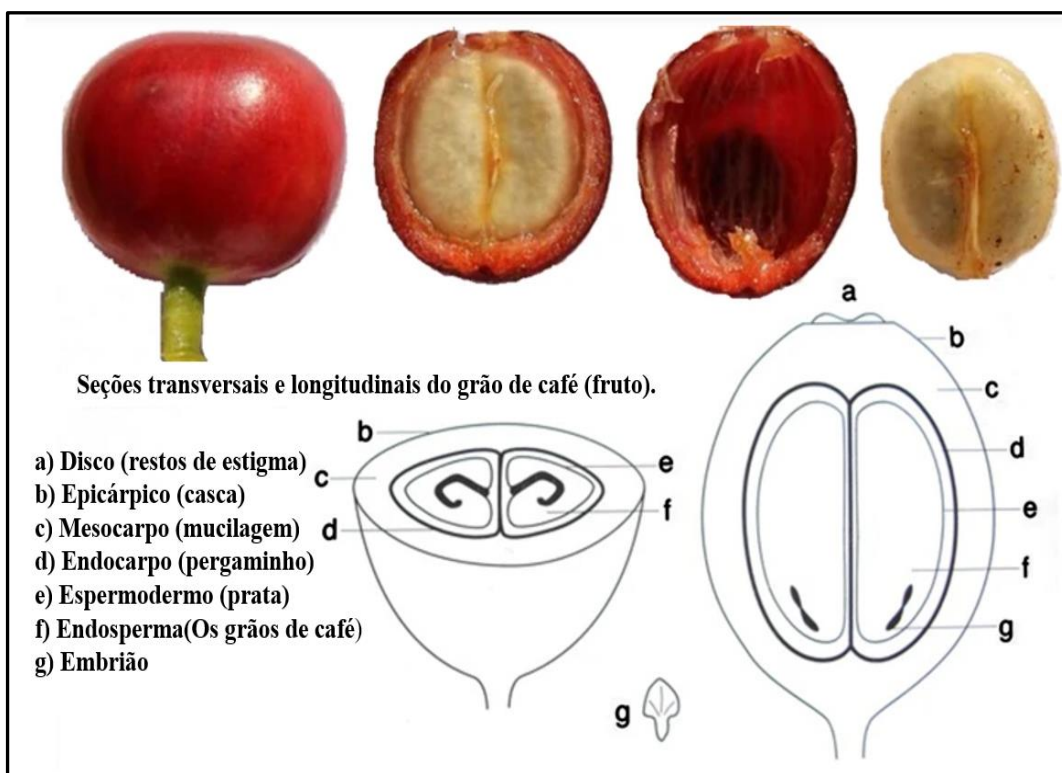
O Brasil, maior produtor e exportador mundial de café, possui uma longa história na cafeicultura. Introduzido no início do século XVIII durante o período colonial, o café rapidamente se consolidou como um dos pilares da economia brasileira. Atualmente, a produção é concentrada principalmente em duas espécies: *Coffea arabica*, predominante devido à sua qualidade superior, e *Coffea canephora* (Robusta), mais resistente e amplamente utilizada na produção de café solúvel. Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a colheita de 2024 foi estimada em 57,84 milhões de sacas de 60 kg. O cultivo está amplamente distribuído, com destaque para: Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Rondônia e Paraná, que juntos contribuem significativamente para a produção nacional (IBGE, 2024).

3.3.1- Resíduos gerados pela cadeia de processamento de café

3.3.1.1- Anatomia de um grão de café

Anatomicamente, a cereja do café é composta por dois grãos (sementes) e por diversas camadas estruturais com funções específicas (Figura 3). A camada mais externa é o epicarpo, comumente chamado de casca, que apresenta coloração verde quando imatura e, geralmente, vermelha ou amarela ao atingir a maturidade. Abaixo da casca, encontra-se o mesocarpo, uma polpa macia e adocicada, rica em açúcares e nutrientes. Adjacente à polpa, há uma camada viscosa e altamente hidratada de mucilagem, composta principalmente por pectinas, que desempenha um papel crucial durante o processamento do café, influenciando a fermentação e a secagem. Internamente, o endocarpo, uma camada fina e resistente conhecida como pergaminho, envolve e protege os grãos. Por fim, cada grão de café verde é revestido por uma película prateada, denominada tegumento ou película prateada, que fornece proteção adicional durante o armazenamento e o processamento (CLARKE & VITZTHUM, 2008 ; DURÁN et al., 2017 ; ESQUIVEL & JIMÉNEZ, 2012 ; MURTHY & NAIDU, 2012).

Figura 3- Anatomia da cereja do café.



Fonte : Arya et al., 2022

Após a colheita do café, diversas operações tecnológicas são realizadas para separar os grãos das outras partes do fruto, com o intuito de formar lotes uniformes que atendam aos padrões exigidos para comercialização e industrialização, agregando valor ao produto final (FERREIRA, 2023).

O beneficiamento é a etapa inicial do preparo do café, focada na limpeza e na retirada de impurezas como terra, galhos e pedras, além do descascamento para obter o café verde ou grão beneficiado. Durante esse processo, são gerados resíduos como cascas, palha e partículas de sujeira. Essa fase garante que o café esteja pronto para armazenamento ou transporte inicial e utiliza equipamentos como peneirões, abanadores e descascadores (MENEGHELLI et al., 2016). Ao final, obtêm-se grãos livres da polpa seca, prontos para a comercialização. Quando há necessidade de alcançar um padrão de qualidade mais elevado e maior valor comercial, realiza-se o rebeneficiamento, que é uma etapa mais avançada, dedicada à classificação e padronização do café conforme as exigências do mercado. Nesse processo, os grãos são separados por tamanho e densidade, grãos defeituosos são descartados, e, quando necessário, o teor de umidade é ajustado.

O rebeneficiamento gera resíduos como grãos quebrados, defeituosos e fragmentos menores de café é também conhecido como Resíduo de fundo de peneira. O objetivo é preparar o lote para exportação ou venda final, assegurando altos padrões de qualidade (FERREIRA &..., 2023). Os resíduos gerados no processamento do café podem chegar a aproximadamente 50,6% da produção total (MENEGHELLI et al., 2016; SILVA et al., 2016).

Esses resíduos incluem a casca, a palha, a mucilagem e o pergaminho, que são subprodutos das etapas de despolpa, fermentação, lavagem e secagem dos grãos. A gestão adequada desses resíduos é fundamental, tanto para reduzir o impacto ambiental quanto para explorar seu potencial de reaproveitamento.

Figure 4- Resíduo de rebeneficiamento triturado de café do estudo.



Fonte : Foto do autor

Os resíduos orgânicos são fonte de compostos bioativos e também de nutrientes, como proteínas, carboidratos e fibras alimentares (HEEGER et al., 2016 ; JANISSEN & HUYNH, 2018). Esses subprodutos representam uma oportunidade que pode contrabalançar a elevada produção desse segmento agrícola com uma alternativa sustentável, contribuindo para a redução do impacto ambiental e para a valorização desses produtos, permitindo que os produtores gerem muito mais receitas, segundo o princípio da economia circular (DURÁN, 2017 ; FERREIRA, 2023 ; RAMALAKSHMI, 2009).

3.3.2- Potencialidade e implicação ambiental

Os resíduos do processamento do café representam um desafio significativo para o meio ambiente devido ao elevado volume gerado e às características de sua decomposição. Quando mal geridos, esses resíduos podem se transformar em material recalcitrante, aumentar a acidez do solo, diminuir a biodiversidade e até contaminar o solo e os recursos hídricos (DURÁN et al., 2017; MURTHY & NAIDU, 2012 ; VALE et al. 2007). No entanto, esses subprodutos apresentam um enorme potencial de valorização, contribuindo para a economia circular, que visa prolongar a vida útil dos recursos e transformar resíduos em produtos de valor sustentável e econômico (STUMM, 2019).

Uma das principais aplicações dos resíduos de café é na adubação e condicionamento do solo. Cascas e polpas de café são ricas em nutrientes e podem ser compostadas para melhorar a fertilidade do solo, promovendo um manejo agrícola mais sustentável. Além disso, a biomassa residual do café é uma fonte promissora de energia renovável, podendo ser utilizada na geração de biogás e bioenergia, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis. Na indústria alimentícia e cosmética, compostos bioativos presentes nos resíduos, como polifenóis e cafeína, podem ser extraídos para uso em alimentos funcionais e produtos de beleza, agregando valor a esses subprodutos.

Os resíduos de café, como a polpa, o mucilagem, as cascas e o marcado de café, apresentam atividade antifúngica significativa contra agentes patogênicos de plantas, tais como *Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum* e *Phytophthora capsici*. Esses resíduos contêm compostos bioativos, como polifenóis, taninos e cafeína, que inibem a germinação de esporos e o crescimento desses fungos, oferecendo uma solução ecológica para o manejo de doenças agrícolas (KIM et al., 2016; MURTHY & NAIDU, 2012). Além disso, diversos projetos têm explorado a valorização dos resíduos de café em aplicações industriais e tecnológicas. Por exemplo, as cascas de café têm sido utilizadas para produzir carvão ativado e compósitos biodegradáveis, melhorando as propriedades mecânicas para aplicações em engenharia (BRUM et al., 2008; CALDEIRA et al., 2013; FARIA et al., 2013; MACHADO et al., 2010; PEREIRA, 2009; STUMM, 2019).

Outro aspecto relevante é a presença de compostos fenólicos, como os ácidos clorogênico e ferúlico, que possuem propriedades antioxidantes comprovadas. Esses fenóis extraídos dos resíduos de café também apresentam potencial de aplicação na gestão sustentável das culturas agrícolas (BONDAM et al., 2022; NEVES, 2016; OLIVEIRA, 2019). A valorização dos resíduos de café não apenas mitiga os impactos ambientais negativos, mas também abre novas oportunidades econômicas e sustentáveis. Ao transformar esses subprodutos em recursos úteis, é possível promover a economia circular e contribuir para um manejo mais eficiente e ecológico na cadeia produtiva do café.

3.3.3- Composição química da cereja de café

A cereja do café (*Coffea spp.*) é um fruto complexo cuja composição química varia de acordo com fatores como a espécie, a região de cultivo e as práticas agrícolas. Ela contém diversos compostos químicos, entre os quais: água (que constitui grande parte da polpa,

aproximadamente 75-85%), açúcares (glicose, frutose e sacarose), compostos fenólicos (como ácidos clorogênicos e cafeicos), vitaminas e alcaloides.

Contudo, os grãos de café são ricos em diversos outros componentes químicos e nutricionais, como celulose, lipídios, taninos e uma ampla gama de minerais. Entre os minerais, destacam-se potássio, magnésio, cálcio, sódio, ferro, manganês, entre outros. Além disso, os grãos contêm uma variedade de aminoácidos essenciais e não essenciais, incluindo alanina, arginina, asparagina, cisteína, ácido glutâmico, glicina, histidina, isoleucina, treonina, tirosina e valina. Esses compostos estão presentes em praticamente todas as partes do fruto do café, incluindo a polpa, o mucilagem e o próprio grão (BELITZ et al., 2009; GREMBECKA et al., 2007; KIM et al., 2016; SANTOS & OLIVEIRA, 2001; SMITH, 1989).

A cafeína é o composto mais amplamente reconhecido nos grãos de café. Em grãos da variedade *Coffea arabica*, sua concentração varia de 0,8% a 1,4% (p/p), enquanto na variedade *Coffea canephora* (Robusta), os teores são significativamente mais elevados, situando-se entre 1,7% e 4,0% (p/p) (BELITZ et al., 2009; LONDOÑO-HERNANDEZ et al., 2020).

Outro destaque na composição dos grãos de café são as vitaminas do complexo B, como a niacina (vitamina B3 e PP), e o ácido clorogênico, cuja concentração varia entre 7% e 12% do peso total, ou seja, cerca de três a cinco vezes maior do que a da cafeína. Essa diversidade de componentes reforça a importância dos grãos de café não apenas como uma fonte de cafeína, mas também como um alimento rico em nutrientes e compostos bioativos (BELITZ et al., 2009; LIMA, 2003; TRUGO, 2003; TRUGO & MACRAE, 1984).

3.3.3.1- Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos, amplamente encontrados no reino vegetal, são metabólitos secundários. Embora não estejam diretamente envolvidos em funções bioquímicas essenciais, como o crescimento ou a reprodução das plantas, desempenham um papel crucial na adaptação das plantas aos estresses ambientais. Esses compostos são especialmente ativos na proteção contra os raios ultravioleta e infecções por patógenos.

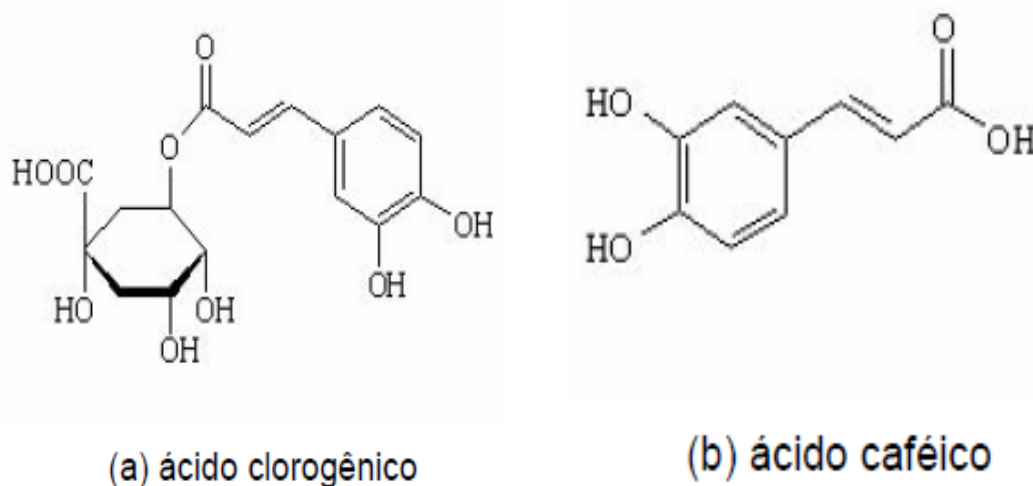
Alguns fenólicos, como os ácidos clorogênicos e cafeicos, também estão envolvidos na regulação de hormônios vegetais e na biossíntese da lignina, que é essencial para a estrutura das paredes celulares (ALMEIDA, 2007; BELITZ et al., 2009; CLIFORD, 1989; FARAH &

DONANGELO, 2006). A concentração de compostos fenólicos aumenta da casca externa para o interior da cereja do café (DOS SANTOS et al., 2021; IRIONDO-DEHOND et al., 2019).

Quimicamente, os compostos fenólicos são caracterizados pela presença de um ou mais grupos hidroxilas (-OH) ligados a um anel aromático (figura 5), podendo ser modificados por diferentes grupos, como carboxilas, metoxilas ou outras estruturas cíclicas não aromáticas (GEMECHU, 2020).

A biossíntese dos compostos fenólicos ocorre principalmente por duas vias metabólicas: a via do acetato-polimalonato, que gera cerca de 40% desses compostos, e a via do ácido chiquímico, responsável por 60% e derivada dos carboidratos. Os compostos originados pela via do acetato resultam da condensação de acetil-CoA e malonil-CoA. Esse processo de biossíntese é especialmente intensificado durante as fases de diferenciação celular ou crescimento das plantas, destacando a importância dos compostos fenólicos no desenvolvimento vegetal (ALMEIDA, 2007; BRUNETON, 1991).

Figura 5- Estrutura química dos ácidos clorogênicos e cafeicos.



Fonte : Almeida, 2007

✓ Ácidos fenólicos

A polpa de café é particularmente rica em ácidos fenólicos, incluindo o ácido ferúlico, o ácido protocatecuico, o ácido 5-cafeoilquínico (também conhecido como ácido clorogênico), o ácido 3-p-cumarolquínico e o ácido 3-feruloilquínico (BELITZ et al., 2009; GREMBECKA et al., 2007; SANTOS & OLIVEIRA, 2001). Esses compostos destacam-se por suas propriedades

antioxidantes, atuando como doadores de átomos de hidrogênio para estabilizar moléculas oxidadas (GREMBECKA et al., 2007; STALIKAS,2007).

Os ácidos clorogênicos (CGA), um subgrupo de ácidos fenólicos, estão amplamente presentes em plantas e são formados pela esterificação de ácidos trans-hidroxicinâmicos (p-cumárico, ferúlico, cafeico e sinápico) com o ácido (-)-quínico (BELITZ et al., 2009; STALIKAS,2007). No café, os CGAs mais comuns incluem os ácidos cafeico, p-cumárico, ferúlico, vanílico e protocatecuico. Com teores que podem atingir até 10% da matéria seca do grão, o café é considerado a fonte mais abundante de CGA, sendo responsável por fornecer até 1 g desses antioxidantes diariamente em algumas dietas (BELITZ et al., 2009; NACZK& SHAID, 2004).

✓ **Taninos**

Os taninos são compostos fenólicos amplamente presentes nas plantas, conhecidos por suas propriedades adstringentes e sua capacidade de formar complexos com macromoléculas, como proteínas (ex. enzimas digestivas de insetos, proteínas estruturais das paredes celulares), polissacarídeos (ex. celulose, hemicelulose, pectina) e lipídios (ex. ceras cuticulares, membranas celulares de patógenos). Eles desempenham um papel essencial no reino vegetal, principalmente na defesa das plantas contra herbívoros e patógenos, inibindo a digestão de insetos e dificultando a adesão e penetração de microrganismos. Além disso, contribuem para a resistência a estresses abióticos, como seca e radiação UV, fortalecendo as paredes celulares e atuando como antioxidantes naturais.

Os taninos, uma classe heterogênea de compostos fenólicos solúveis em água, também estão presentes nos resíduos do café. Esses compostos oferecem uma diversidade de propriedades biológicas benéficas para a agricultura, incluindo a modulação do crescimento de microrganismos do solo, a influência na biodisponibilidade de nutrientes e um possível papel no controle biológico de certos parasitas (BELITZ et al., 2009; ICBAL et al., 2007).

✓ **Alcaloides**

O alcaloide mais famoso presente no café é, sem dúvida, a cafeína, conhecida por suas propriedades estimulantes. Além dela, outro alcaloide significativo nos grãos de café verde é a trigonelina, que desempenha um papel importante no sabor característico da bebida, contribuindo para seu leve amargo. Os alcaloides, como a cafeína e a trigonelina, possuem

propriedades antimicrobianas e antiparasitárias, capazes de perturbar as funções celulares dos organismos-alvo, como *Meloidogyne incognita*. (BELITZ et al., 2009; JANISSEN & HUYNH, 2018).

3.3.3.2- Modo de ação e atividade antimicrobiana dos compostos fenólicos

Segundo Kim et al. (1995), os compostos fenólicos exercem sua atividade antimicrobiana por meio de três mecanismos principais. Primeiramente, eles alteram a membrana celular, aumentando sua permeabilidade e provocando o vazamento de componentes intracelulares essenciais, o que compromete as funções vitais da célula. Em segundo lugar, esses compostos inibem enzimas cruciais para a síntese de estruturas celulares e a produção de energia, como o ácido protocatecuico, que atua sobre as enzimas da parede bacteriana. Por fim, alguns compostos fenólicos podem danificar o material genético ao interagir diretamente com o DNA ou RNA, prejudicando os processos de replicação e transcrição.

Os compostos fenólicos demonstram atividade antimicrobiana contra diversos micro-organismos, embora sua eficácia varie dependendo das espécies e das condições experimentais. No caso de bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, compostos como o ácido cafeico e o ácido protocatecuico mostraram eficácia moderada contra cepas como *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Bacillus cereus*, apresentando efeitos que podem ser bactericidas ou bacteriostáticos, dependendo da concentração e do pH (DOGAZAKI, 2002; DAGLIA et al., 1994; FURUHATA et al., 2002). Quanto à atividade antifúngica, embora menos estudada, os compostos fenólicos demonstraram alguma eficácia contra fungos como *Penicillium*, *Fusarium*, *Cladosporium* e *Aspergillus* (CHALFOUN et al., 2000). A eficácia antimicrobiana dos compostos fenólicos depende de fatores como sua solubilidade, diferenças entre cepas microbianas e condições experimentais, incluindo pH, temperatura e composição do meio (FURUHATA et al., 2002 ; DOGAZAKI, 2002).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado entre março e dezembro de 2024, com atividades desenvolvidas em diferentes locais da Universidade Federal de Lavras (UFLA), incluindo o Laboratório de Controle Biológico, o Laboratório de Nematologia do Departamento de Fitopatologia (DFP), na Central de Análises e Prospecção Química, o Laboratório de Novos Materiais e Catálise Ambiental do Departamento de Química e na casa de vegetação.

4.1- Obtenção de ovos de *Meloidogyne incognita* para os experimentos

Raízes de plantas de tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.), cultivar Santa Clara, foram escolhidas devido ao alto grau de suscetibilidade à espécie *Meloidogyne incognita*. As plantas foram cultivadas em casa de vegetação por 65 dias e infectadas com 5.000 ovos de *Meloidogyne incognita* por planta. Após esse período, as raízes foram cuidadosamente removidas, lavadas e transportadas ao laboratório de Nematologia para a extração dos ovos dos nematóides.

No laboratório, as raízes foram cortadas em pedaços de aproximadamente 1 cm de comprimento com o auxílio de uma tesoura e, em seguida, trituradas em um liquidificador por 1 minuto em solução de hipoclorito de sódio a 0,5 %. É importante destacar que a concentração de 0,5 % e o tempo de trituração de 1 minuto foram cuidadosamente otimizados com base em protocolos estabelecidos (Hussey & Barker, 1973). Após a trituração, a suspensão foi imediatamente lavada abundantemente com água para remover qualquer resíduo de hipoclorito, assegurando a integridade dos ovos.

A suspensão obtida foi filtrada em duas peneiras sobrepostas, uma de 200 mesh (0,074 mm) e outra de 500 mesh (0,025 mm), seguindo o método descrito por Coolen e D'Herde (1972). Os ovos retidos na peneira de 500 mesh foram recolhidos em um béquero de 500 mL para utilização nos experimentos. Em seguida, realizou-se a centrifugação da amostra, de acordo com os requisitos específicos da metodologia e do objetivo da etapa, visando à separação eficiente dos nematóides para análise posterior.

Os ovos extraídos foram armazenados por, no máximo, 3 dias em câmara fria a 6 °C. O inóculo final foi mantido em condições adequadas para preservar sua integridade e viabilidade, assegurando sua utilização correta na etapa subsequente. Os ovos foram quantificados em

câmaras de Peters, e a suspensão foi calibrada para 385 ovos/mL nos experimentos *in vitro* (teste de eclosão) e para 833 ovos/mL no experimento em casa de vegetação.

4.2- Obtenção do resíduo de café e preparo do extrato aquoso para ensaio *in vitro*

O resíduo originado do processo de rebeneficiamento de café foi obtido de uma indústria de processamento de café na cidade de Três Pontas, Minas Gerais. O material foi recebido embalado em sacos plásticos e apresentava-se em forma de pó de textura fina, embora não uniforme, contendo algumas partículas de maior tamanho. O resíduo de café era com um teor de umidade variando entre 10% - 15%.

Determinamos sua densidade aparente no laboratório na condição em que o material foi recebido. Para isso, medimos a massa de um volume conhecido do resíduo homogeneizado, utilizando uma balança de precisão e um recipiente de capacidade volumétrica conhecida. O recipiente foi completamente preenchido, garantindo que a superfície fosse nivelada (Anexo : 5). A densidade foi calculada dividindo-se a massa do resíduo pelo volume do recipiente.

O resíduo foi refinado em um pilão até adquirir uma textura mais fina e uniforme. Em seguida, o material foi passado por uma peneira com malha de 100 mesh (0,149 mm) descartando-se as partículas maiores (Figura 6). A preparação inicial envolveu a produção de uma solução estoque a 20% (m/v), obtida ao misturar 20 g de resíduo refinado com 80 mL de água destilada. Após a mistura, a solução foi submetida a agitação em vortex por 5 minutos, garantindo homogeneização completa. Em seguida, a mistura foi armazenada na geladeira por 24 horas. Posteriormente, foi filtrada utilizando uma peneira de 500 mesh (0,025 mm), com o filtrado sendo coletado em um béquer. Esse refinado constituiu a solução estoque, que foi utilizada como base para a preparação dos tratamentos com várias concentrações nos testes *in vitro* (Anexo 2).

Figura 6 - Etapas de refinamento do resíduo até o preparo da solução estoque de extrato (20%) (m/v) no laboratório.



4.3- Caracterização do potencial do resíduo de rebeneficiamento do café no controle de *Meloidogyne incognita*

Para avaliar o potencial nematicida do resíduo de rebeneficiamento de café em pó, foram realizados testes in vitro e in vivo, analisando sua eficácia contra *Meloidogyne incognita* em diferentes condições experimentais.

4.3.1- Avaliação do extrato de resíduo sobre a eclosão de juvenis de segundo estágio de *Meloidogyne incognita*

Para avaliar o efeito do resíduo sobre a eclosão de juvenis de segundo estágio (J2) de *Meloidogyne incognita*, foi conduzido um experimento in vitro utilizando um delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC). O experimento consistiu em cinco tratamentos com doses de 0 %, 0,5 %, 1 %, 1,5 % e 2 % (m/v), preparados em laboratório, cada um com sete repetições (Tabela 1).

Os experimentos foram repetidos duas vezes sob as mesmas condições. As concentrações selecionadas basearam-se em estudos prévios que demonstraram a eficácia de produtos de origem vegetal e biodegradáveis em experimentações similares (BETTIOL, 2009; MELO et al., 2009). O tratamento com 2 % foi realizado em duplicata, sendo dividido da seguinte forma:

- Uma parte foi destinada à avaliação da eclosão após 10 dias.
- A outra parte acompanhou a eclosão ao longo do tempo, com medições realizadas a cada dois dias, até 12 dias.

As diferentes concentrações foram preparadas utilizando a seguinte fórmula, de diluição volumétrica:

$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$ (SKOOG, 2014), onde:

- C_1 : Concentração inicial da solução estoque.
- V_1 : Volume inicial da solução estoque.
- C_2 : Concentração desejada.
- V_2 : Volume final.

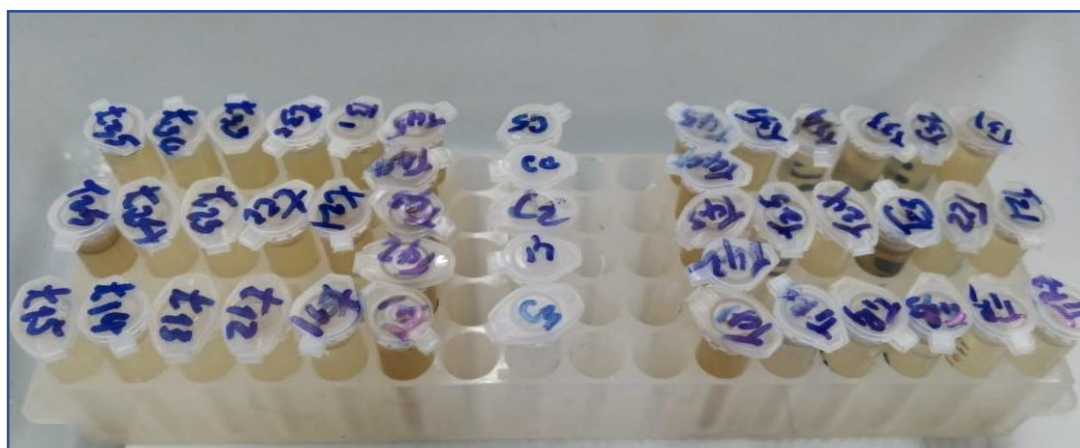
Tabela 1 - Composição dos diferentes tratamentos (0.5%, 1%, 1.5% e 2%) em volume retirado da solução estoque (20%) (m/v), volume da suspensão de ovos de *Meloidogyne incognita* e volume de água destilada misturados nos diferentes tratamentos, em μL .

Tratamentos	Volume pipetado do extrato estoque (μL)	Volume pipetado da suspensão de ovos (μL), contendo cerca de 500 ovos.	Água destilada (μL), (diluyente) *
Controle (com água)	0	1300	700
T1 (0.5%)	50	1300	650
T2 (1%)	100	1300	600
T3 (1.5%)	150	1300	550
T4 (2%)	200	1300	500

*Os tubos de microcentrífuga foram completados com água destilada até atingir 2000 μL para a diluição

O ensaio foi conduzido em tubos Eppendorf (para microcentrífuga), e cada microtubo constituiu uma unidade experimental, onde foram avaliados aproximadamente 500 ovos de *Meloidogyne incognita* (Figura 7). Os microtubos foram fechados para evitar a evaporação do líquido e possíveis contaminações.

Figura 7 - Montagem do experimento : teste de eclosão de J2 de *Meloidogyne incognita*.



Após o período de incubação na câmara BODa 27.3 $^{\circ}\text{C}$ (10 dias), a avaliação foi realizada utilizando um microscópio invertido (40X), com foco na observação da mobilidade dos juvenis de segundo estágio (J2). Adicionalmente, a análise da eclosão ao longo do tempo foi realizada em intervalos de dois (2) dias durante 12 dias (Anexo 2.1).

4.3.2- Avaliação do efeito do resíduo de rebeneficiamento de café no parasitismo de *M. incognita* em tomateiro

Em casa de vegetação, foi testada uma primeira metodologia para avaliar o efeito dos tratamentos aplicados após o transplante das plântulas (diretamente na superfície, em forma de pó) e antes da infecção em plantas de tomate. Essa abordagem experimental, conduzida em casa de vegetação, seguiu um delineamento inteiramente casualizado com quatro tratamentos, dois controles (positivo e negativo) e cinco repetições por grupo. No entanto, apesar da preparação cuidadosa do substrato e das condições controladas, os resultados obtidos não foram satisfatórios. As plantas apresentaram sinais de estresse ou toxicidade, comprometendo a validade dos dados. Diante dessas limitações, foi desenvolvida e implementada uma segunda metodologia, com o objetivo de otimizar as condições experimentais e melhorar a resposta das plantas aos tratamentos.

4.3.2.1- Montagem do experimento de acordo com a segunda metodologia adotada

Essa metodologia consistiu em aplicar os tratamentos no solo antes do transplante das mudas de tomate para os copos e da infestação do solo com ovos de nematóides *Meloidogyne incognita*. Ela incluiu dois grupos de controle, um positivo e um negativo, e quatro tratamentos com resíduo de café em diferentes concentrações. Abaixo estão as etapas detalhadas seguidas para a realização desta experiência :

O solo utilizado nos experimentos foi coletado no campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Antes do uso, passou por um processo de esterilização em autoclave, visando criar condições mais controladas e eliminar possíveis interferências nos resultados do estudo. Essa etapa foi fundamental para garantir um substrato neutro e homogêneo, adequado à aplicação dos diferentes tratamentos.

Após a esterilização, o solo foi homogeneizado com um substrato orgânico comercial na proporção de 3:1 (três partes de solo para uma parte de substrato). O substrato utilizado foi composto à base de casca de pinus, vermiculita, PG Mix 14.16.18, nitrato de potássio, superfosfato simples e turfa (Nome comercial: Substrato Tropstrato HA Hortaliças, marca Vida Verde).

Tabela 2- Composição de cada tratamento, em que uma quantidade de solo autoclavado foi misturada com uma quantidade de resíduo de rebeneficiamento de café, de acordo com as concentrações (0,5% ; 1% ; 1,5% ; 2%) (m/m), além dos controles.

Tratamentos	Resíduo de café (g)	Solo (g)	Peso total
Controle negativo	0,00	658,00	658,00
Controle positivo	0,00	658,00	658,00
T1 (0,5%)	3,29	654,71	658,00
T2 (1%)	6,58	651,42	658,00
T3 (1,5%)	9,87	648,13	658,00
T4 (2%)	13,16	644,84	658,00

**Dois grupos de controle foram incluídos: um controle negativo (em água) e um controle positivo (200ppm).*

A quantidade necessária para cada tratamento foi calculada e distribuída uniformemente em sacos correspondentes aos grupos experimentais, com cinco repetições por grupo. Os sacos foram bem fechados e deixados à temperatura ambiente por 24 horas. Essa etapa permitiu que os resíduos de café interagissem com o solo e estabilizassem a matéria orgânica nas condições experimentais.

Após o período de estabilização, o solo tratado foi transferido para copos com capacidade de 500 mL, padronizados com um peso total de 658 g cada. Na Tabela 2, acima está descrita a composição de cada unidade experimental em cada grupo. Foi dada atenção especial ao preenchimento dos vasos, assegurando uma distribuição homogênea das misturas. Em seguida, os copos foram devidamente etiquetados com códigos específicos que indicam o tratamento e a repetição correspondente.

As mudas de tomate, com 20 dias de idade e cultivadas em estufa sob condições controladas, foram selecionadas com base em sua boa saúde e uniformidade (Anexo 4). Cada muda foi cuidadosamente transplantada para os vasos contendo a mistura de solo e substrato preparada de acordo com os tratamentos experimentais, assegurando uma instalação homogênea e padronizada para todos os grupos experimentais.

4.3.2.2- Aplicação do controle positivo e infestação do solo com ovos de *M. incognita*

O tratamento específico para o controle positivo foi realizado com a aplicação de Nimitz (fluensulfona: 480,0 g/L (48,00% m/v), concentração comercial, um produto amplamente reconhecido por sua eficácia nematicida. Trata-se de um nematicida sistêmico com ação de contato. A preparação do produto foi realizada misturando 41,67 µL de fluensulfona com 100 mL de água destilada, resultando em uma concentração final de 200 mg/L (200 µg/mL). ou 200 ppm. Em seguida, cada planta de grupo controle positivo recebeu 5 mL dessa solução, aplicados diretamente no solo por meio de quatro orifícios feitos ao redor das mudas (0,5 cm de diâmetro e 2,5 cm de profundidade). Todos os tratamentos foram aplicados 24 horas após o transplante das mudas (PACULE et al, 2022; WRAM et al., 2019).

A infestação do solo de cada planta com *Meloidogyne incognita* foi realizada cinco dias após o transplante. Cada copo recebeu uma suspensão 5,4 mL contendo aproximadamente 4500 ovos de nematóides, aplicada por meio de três orifícios feitos com um bastão de vidro ao redor das mudas (0,5 cm de diâmetro e 2,5 cm de profundidade), garantindo uma infestação homogênea para todos os grupos experimentais (Anexo 4).

4.3.2.3- Manutenção e avaliação do experimento na casa de vegetação

Cuidados regulares foram fornecidos às plantas para garantir o bom andamento do experimento. A avaliação do experimento foi realizada 45 dias após a infestação do solo com ovos de (PACULE et al, 2022) *Meloidogyne incognita*. A altura das plantas foi medida, em centímetros, desde a base do colo até o ápice. Após a colheita, as raízes foram cuidadosamente lavadas para remover o excesso de solo., e em seguida pesadas para determinar seu peso fresco. A parte aérea das plantas foi cortada, seca em estufa a uma temperatura constante de 60°C durante quatro dias consecutivos e, depois, pesada para obter o peso seco.

O número total de galhas visíveis nas raízes foi contado para cada planta. Para avaliar a população de nematóides, os ovos foram extraídos das raízes seguindo a metodologia descrita por Coolen e D'Herde (1972), e contados sob um microscópio invertido com o auxílio de uma câmara de Peters. Por fim, os diferentes parâmetros foram calculados desta forma :

$$\Rightarrow \text{Fator de reprodução (FR)} = \frac{\text{População final de nematóides (Pf)}}{\text{População inicial de nematóides (Pi)}}$$

$$\Rightarrow \text{Galha/grama de raiz} = \frac{\text{Número de galhas}}{\text{Peso fresco das raízes (g)}}$$

$$\Rightarrow \text{Nematoides/grama de raiz} = \frac{\text{Numero total de ovos}}{\text{Peso fresco das raízes (g)}}$$

4.3.2.3- Determinação do pH do Resíduo, do Solo e da mistura de solo com resíduo

As medições de pH foram realizadas com o auxílio de um pHmetro digital, com três repetições para cada amostra. Os valores obtidos foram registrados como intervalo, considerando as menores e maiores leituras (valores mínimo e máximo). Foram analisados, separadamente, o resíduo de rebeneficiamento de café, o solo autoclavado utilizado no experimento e a mistura de solo com resíduo de café, preparada na concentração de 1,5% de resíduo (Anexo 5). Para cada medição, 10 g da amostra foram homogeneizados em 50 mL de água destilada. Após 30 minutos de repouso, o pH foi registrado. A metodologia adotada seguiu os procedimentos descritos por Raij et al. (2001) e EMBRAPA (1997).

4.3.3-Avaliação dos extratos de resíduo fracionado e resíduo normal sobre a mortalidade de juvenis de segundo estágio (J2) de *Meloidogyne incognita*

4.3.3.1- Fracionamento do resíduo por carbonização hidrotermal (HTC)

O fracionamento do resíduo de rebeneficiamento de café foi feito por carbonização hidrotérmica (HTC). Nesse processo, 10 g de resíduos de café em pó foram misturados com 300 mL de água deionizada em um recipiente hermético, resistente à pressão autogênica. A reação ocorreu em um reator mecânico Parr 4660 sob atmosfera de argônio, a 250 °C por 40 minutos, com agitação constante. Após o resfriamento a temperatura ambiente por 30 minutos, a fração líquida (Extrato aquoso-HTC) foi separada por filtração a vácuo, enquanto a parte sólida foi submetida a tratamento para extração da fração oleosa-HTC. Para isso, 50 mL de metanol (pureza 98,8%) foram adicionados à fração sólida, seguidos de nova filtração, recuperando a fase oleosa (Anexo 1).

Ambas as frações (aquosa e oleosa) foram armazenadas em frascos herméticos para análise química por cromatografia líquida (SANTANA et al., 2020), e alíquotas das frações líquidas foram utilizadas em ensaios in vitro para avaliar seus efeitos sobre os juvenis de *Meloidogyne incognita*.

4.3.3.2- Teste de mortalidade de J2 de *Meloidogyne incognita*

4.3.3.2.1- Obtenção de juvenis de segundo estágio (J2)

Ovos de *M. incognita* foram obtidos a partir de raízes de plantas de tomate previamente infectadas. A extração dos ovos foi realizada seguindo a mesma metodologia descrita anteriormente (Coolen e D'Herde, 1972). Em seguida, uma câmara de eclosão de J2 foi montada no laboratório utilizando o Funil de Baermann (1917) para obter os juvenis necessários. Os juvenis de segundo estágio (J2) obtidos após 24 horas da montagem foram descartados, sendo coletados em béquer apenas aqueles produzidos após 48 horas. A suspensão de J2 foi calibrada em câmara de Peters para 400 J2/mL.

4.3.3.2.2- Montagem do experimento

A montagem do experimento foi realizada utilizando placa Elisa. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, composto por dois grupos controles (um em água e outro com metanol como “mock control” do tratamento com fração oleosa, já que a extração foi realizada com metanol) e três grupos tratados (extrato líquido do resíduo do café em pó e duas frações obtidas após a carbonização do resíduo) (anexo 3).

Cada grupo foi repetido cinco vezes. Cada unidade experimental consistiu em uma cavidade da placa, no qual foram adicionados aproximadamente 40 juvenis de segundo estágio (J2) de *M. incognita* (Tabela 3). As placas foram devidamente tampadas e incubadas a 27,3 °C em BOD.

Tabela 3- Composição de cada tratamento com os respectivos volumes : solução estoque do resíduo (20%) (m/v), suspensão de J2 de *Meloidogyne incognita* e água destilada, misturados de acordo com as especificações dos diferentes tratamentos.

Tratamentos	Volume pipetado da solução estoque (µL)	Volume pipetado da suspensão de J2 (µL), contendo 40 J2	Água destilada* (µL), (diluyente)
Controle (com água)	0	100	50
Extrato de resíduo (1.5%)	11.25	100	38.75
Extrato de resíduo (2%)	15	100	35
Fração aquosa (0.22%**)	10	100	40
Fração aquosa (1.11%**)	50	100	0
Fração oleosa (10 µL)	10	100	40
Fração oleosa (50 µL)	50	100	0
Metanol (6.58 %)	10	100	40
Metanol (32.93 %)	50	100	0

*Cada unidade foi diluída com água destilada até atingir 150µ (uma célula de placa de ELISA).

** Os valores são estimados com base na concentração antes da carbonização.

4.3.3.2.3- Avaliação do teste in vitro sobre mortalidade de J2

Após 48 horas de incubação no BOD (27,3 °C), foi realizada a avaliação da mortalidade dos juvenis de segundo estágio (J2) utilizando um microscópio invertido (Figura 8). O objetivo dessa avaliação foi identificar e quantificar os J2 mortos (Anexo 3), avaliando a imobilidade. Para diferenciar os nematóides vivos dos mortos, utilizou-se uma solução de NaOH (0,5 µL). Essa solução estimula os nematóides vivos, que em alguns casos podem permanecer imóveis, mas ainda estão viáveis. Os nematóides que não apresentaram nenhuma reação ao contato com a solução foram considerados mortos, seguindo os critérios padrão para determinação de mortalidade em nematóides. Essa metodologia assegura uma avaliação precisa, minimizando erros causados pela imobilidade passiva dos nematóides vivos.

$$\text{Mortalidade de juvenis (\%)} = 100 \times (\text{número de juvenis mortos} / \text{número total de juvenis})$$

Figura 8 - Dispositivo experimental e avaliação da mortalidade dos J2 em microscópio invertido.



4.4- Caracterização química do resíduo, determinando os compostos bioativos fenólicos presentes no resíduo de café estudado

4.4.1- O preparo do terceiro extrato (extrato a quente)

Além das duas frações obtidas do fracionamento do resíduo, foi preparado um terceiro extrato (extrato a quente) seguindo a metodologia descrita por Ramaiya et al. (2013). O preparo consistiu na homogeneização de 2,5 g de amostra de resíduos de rebeneficiamento de café em 20 mL de metanol HPLC a 70% (v/v). A mistura foi submetida a banho ultrassônico à temperatura ambiente por 1 hora. Em seguida, o extrato foi centrifugado a 1.500 rpm durante 15 minutos a 4 °C e filtrado utilizando papel filtro com porosidade de 14 µm.

4.4.2- Detecção e quantificação de compostos bioativos em três extratos de resíduo de café

A quantificação e identificação dos compostos fenólicos foram realizadas utilizando cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC-DAD/UV-Vis), modelo Shimadzu. Os compostos fenólicos foram detectados a 280 nm. Soluções padrão foram diluídas em metanol, e as curvas de calibração foram obtidas a partir de injeções de dez concentrações diferentes, realizadas em duplicata. Os compostos fenólicos foram identificados por comparação dos tempos de retenção com padrões específicos. Os resultados foram expressos em mg/g.

4.5- Análise estatística e interpretação dos dados do estudo

Os dados coletados nos três experimentos (dois in vitro e um in vivo) foram tratados e submetidos a análises descritivas. Posteriormente, foram analisados utilizando o software R versão 4.3.1 (R Core Team, 2023). Para verificar a adequação dos dados aos pré-requisitos estatísticos, aplicaram-se o teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e o teste de Bartlett para avaliar a homogeneidade das variâncias. Os dados são considerados normais e homogêneos se os valores de p nos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett forem superiores a 0,05, indicando, respectivamente, distribuição normal e homogeneidade das variâncias.

Após atender aos critérios estabelecidos, foi realizada uma análise de variância em esquema fatorial. Quando identificado efeito significativo pelo teste F, as médias dos parâmetros avaliados foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância,

para verificar diferenças estatisticamente significativas entre os grupos. Também foi realizada uma análise conjunta dos experimentos repetidos ao longo do tempo, com o objetivo de identificar possíveis diferenças entre as repetições. Foram realizadas análises de regressão para explorar a relação entre as concentrações de resíduos e os parâmetros de resposta, além de determinar a dose ideal capaz de reduzir, de forma eficaz, a eclosão dos ovos de nematóides. Os resultados foram avaliados com técnicas estatísticas adequadas, comparando os tratamentos com o controle, e testes de significância foram aplicados para identificar diferenças relevantes. Por fim, os resultados foram interpretados para avaliar a eficácia dos resíduos de café como agentes nematicidas contra *Meloidogyne incognita* e outros nematóides.

5 RESULTADOS

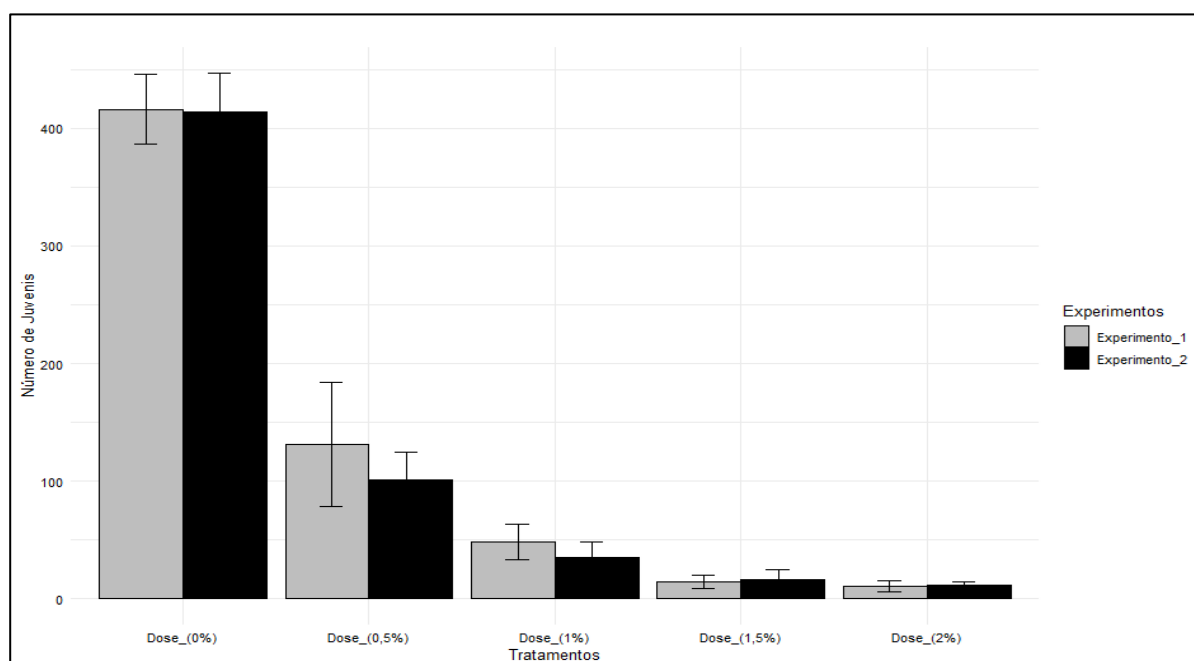
Nesta seção são apresentados os resultados in vitro e in vivo sobre o efeito do resíduo de café no controle de *Meloidogyne incognita*, avaliando a eclosão e a mortalidade dos juvenis (J2) em diferentes extratos, além das análises químicas para identificar e quantificar compostos fenólicos. A integração dos dados é fundamental para entender o potencial dos resíduos tanto em laboratório quanto em casa de vegetação, mais real. A densidade determinada variou entre 0,49 e 0,53 g/mL.

5.1- Efeito do extrato líquido do resíduo de rebeneficiamento do café na eclosão de J2 de *Meloidogyne incognita*

5.1.1- Estatísticas descritivas dos dados experimentais

Na Figura 9 são apresentados os dados da eclosão média de juvenis de segundo estágio (J2) nos diferentes tratamentos, juntamente com a variabilidade representada pelos desvios-padrão em dois experimentos (1 e 2). Observa-se que a eclosão foi maior nos grupos controle em ambos os experimentos, correspondendo a 82,8% e 83,2% de juvenis de segundo estágio (J2) eclodidos do total de ovos colocados nos tubos.

Figura 9- Níveis médios de eclosão de juvenis de segundo estágio de *Meloidogyne incognita* em dois experimentos in vitro, nas concentrações de 0%, 0,5%, 1%, 1,5% e 2% (m/v), durante 10 dias em BOD a 27,3 °C.



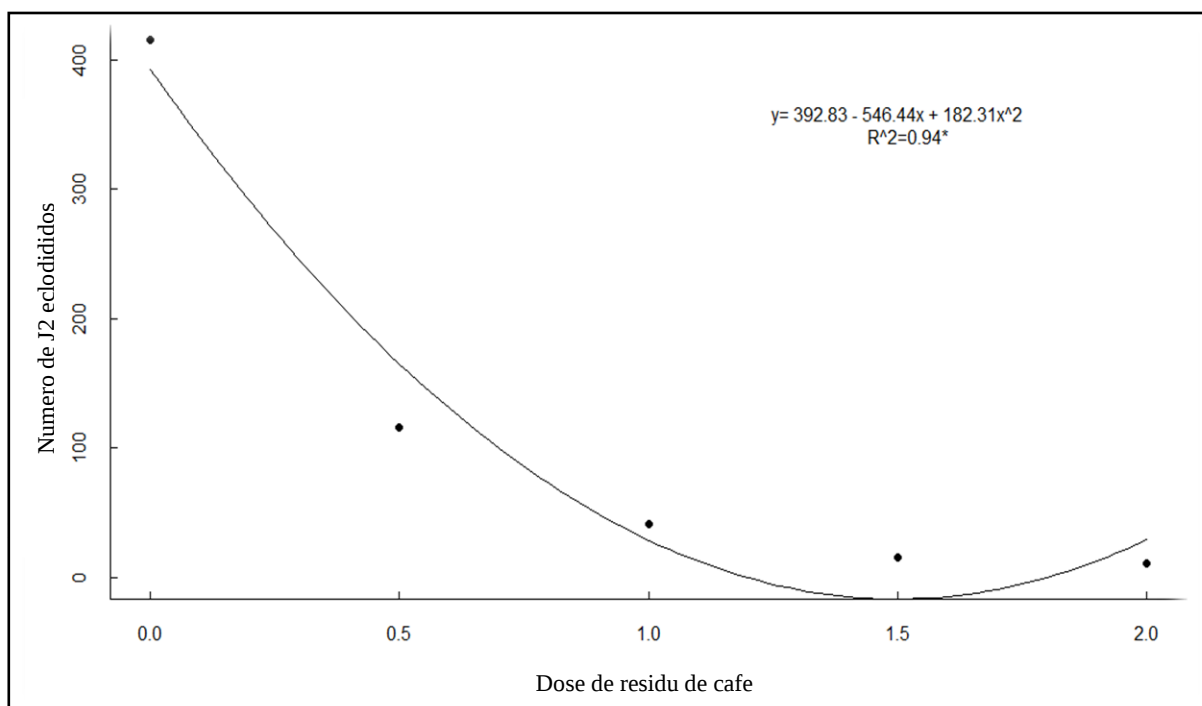
O tratamento com 2% nos dois experimentos (1 e 2) apresentou médias de 11 e 17 juvenis de segundo estágio (J2) eclodidos, correspondendo a 2,2% e 2,4% (m/v) do total de ovos, respectivamente. Ambos os experimentos demonstraram baixa variabilidade, indicando resultados consistentes. Os dados seguiram uma distribuição normal, e as variâncias entre os diferentes grupos foram homogêneas, conforme confirmado pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, com nível de confiança de 95%. A análise estatística não identificou diferenças significativas entre os dois experimentos ($P > 0,05$), permitindo o agrupamento dos dados para uma análise de regressão comum. Os dados foram transformados utilizando a transformação de Box-Cox ($\lambda = -0,139$).

5.1.2- Análise estatística dos dados sobre o efeito do resíduo na eclosão de J2 de *Meloidogyne incognita*.

Houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos e o controle pela análise de variância (ANOVA), com um valor $F_{\text{cal.}} > F_{\text{crit.}}$ e um p-valor $< 0,05$.

A Figura 10 apresenta a análise de regressão entre as variáveis estudadas : as doses do extrato de resíduo de café (0%, 0,5%, 1%, 1,5% e 2%) (m/v) e a eclosão de juvenis de segundo estágio (J2) de *Meloidogyne incognita*, após 10 dias de incubação em BOD a 27,3 °C.

Figura 10- Eclosão de juvenis de segundo estágio (J2) de *Meloidogyne incognita* em função de diferentes concentrações do extrato aquoso de resíduos de café, avaliados após 10 dias de incubação em tubos mantidos em BOD a 27.3°C.

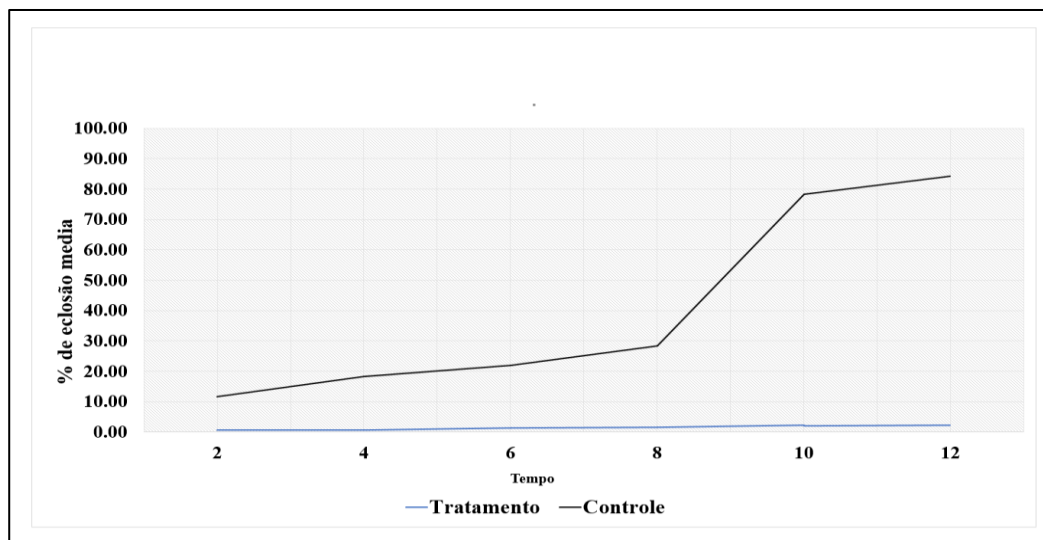


A análise de regressão identificou a dose ideal de 1,50% de resíduos para um controle eficaz, com alta precisão estatística ($R^2 = 0,94$; $F < 0.05$), indicando que o modelo explica 94% da variação observada nos dados. A variável independente explica de maneira significativa a variabilidade da variável dependente.

5.1.3- Progressão da eclosão dos juvenis de segundo estágio (J2) ao longo de 12 dias

A Figura 11 ilustra a progressão da eclosão dos juvenis de segundo estágio (J2) de *Meloidogyne incognita* ao longo de 12 dias, com avaliações realizadas a cada dois dias. A partir da análise do gráfico, foi observada uma inibição significativa da eclosão no grupo tratado com resíduo, quando comparado ao controle, o qual apresentou um aumento contínuo no número de J2 eclodidos durante o período de incubação em BOD a 27.3°C.

Figura 11- Curva de progressão da eclosão de juvenis de segundo estágio (*Meloidogyne incognita*) ao longo de 12 dias, mantidos em BOD a 27°C, utilizando o resíduo na concentração de 2% (m/v) em tubos de microcentrífuga com uma população inicial de 500 ovos.



A inibição da eclosão dos ovos pelos resíduos de café evidencia seu potencial no controle de *Meloidogyne incognita*, um nematóide de galhas, in vitro. A redução progressiva dos nematóides eclodidos observada ao longo de 12 dias nos tratamentos sugere que os resíduos de café podem manter sua eficácia nematicida durante esse período.

5.2- Avaliação do resíduo em pó, misturado ao solo em diferentes doses, no parasitismo de *M. incognita* em tomateiros

Esta seção apresenta os resultados da avaliação dos resíduos de rebeneficiamento de café em tomateiros cultivados em casa de vegetação.

5.2.1- Avaliação dos parâmetros agrônômicos das plantas

Em quanto à altura das plantas, diferenças entre os grupos foram observadas apenas no primeiro experimento. Para o peso seco da parte aérea, diferenças significativas entre os tratamentos foram constatadas apenas no segundo experimento (Tabela 4).

No primeiro experimento, os resíduos de café, especialmente nas doses T2 e T3, proporcionaram pesos secos elevados, alcançando 7,93 g e 7,58 g, respectivamente. No segundo experimento, o maior peso seco da parte aérea foi obtido com o tratamento T3. Os pesos das raízes foram significativamente maiores nos tratamentos em ambos os experimentos.

Tabela 4- Média da altura das plantas (cm), do peso seco da parte aérea (g) e da massa fresca das raízes (g) em plantas de tomate cultivadas em solo tratado com diferentes concentrações de resíduo de rebeneficiamento do café (0% ; 0,5%, 1%, 1,5% e 2%) (m/m) e fluensulfona.

Tratamentos	Experimento I			Experimento II		
	Altura (cm)	Peso seco parte area (g)	Peso Raiz (g)	Altura (cm)	Peso seco parte area	Peso Raiz (g)
Controle	29.0 ab	5.17 a	6.1 ab	28.0 a	4.8 b	5.3 c
Fluensulfona	28.8 ab	4.6 a	5.7 b	31.7 a	5.3 ab	4.3 d
T1 (0.5%)	25.1 b	5.36 a	8.3 ab	30.2 a	6.6 ab	8.2 a
T2 (1%)	35.1 a	7.93 a	9.8 a	28.2 a	6.0 ab	7.9 ab
T3 (1.5%)	31.8 ab	7.58 a	9.8 a	26.6 a	7.4 a	7.6 b
T4 (2%)	25.3 b	6.83 a	9.5 ab	28.9 a	6.6 ab	8.6 a
P-value	0.025	0.024	0.0084	0.25	0.0234	0.0017
CV (%)	16.63	27.53	25.69	13.60	18.79	24.03

(Valores médios de cinco repetições. Valores médios seguidos por mesmas letras na coluna, não são estatisticamente diferentes pelo teste Tukey ($P < 0.05$).)

Houve diferença significativa no peso fresco das raízes entre os tratamentos em ambos os experimentos, conforme identificado pela análise de variância (ANOVA), com $p < 0,05$, e

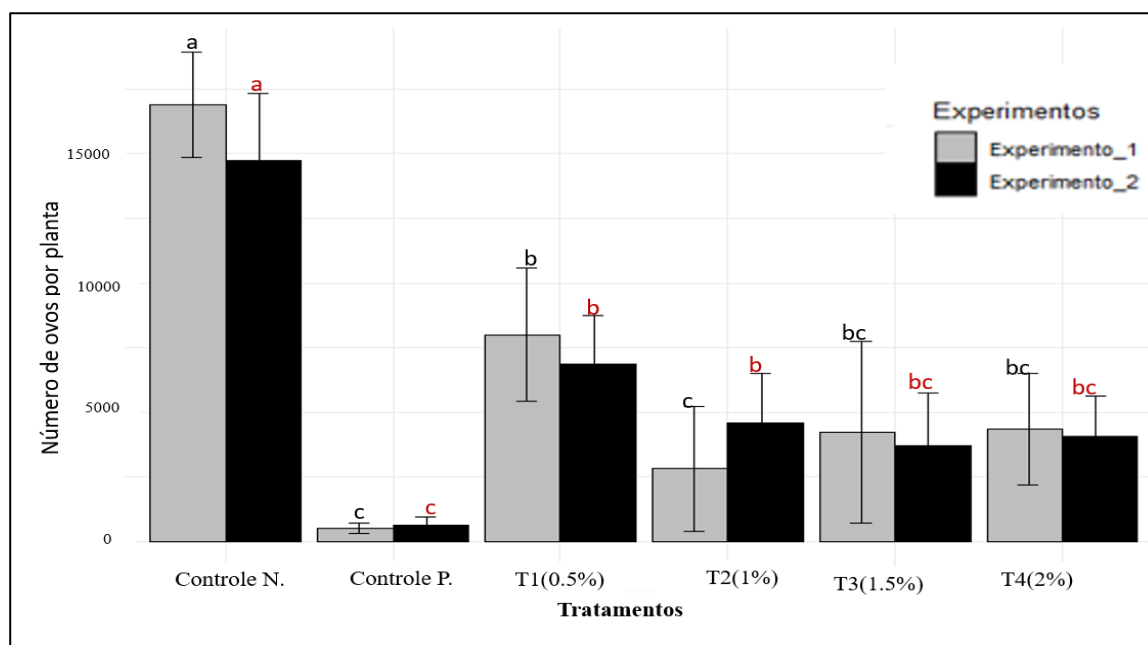
confirmado pelo teste de Tukey. A análise da Tabela 5 revelou que os tratamentos com resíduos de café aumentaram significativamente o peso das raízes em relação ao controle, indicando maior desenvolvimento radicular. Os resíduos de café, especialmente em doses moderadas e altas, favoreceram a biomassa subterrânea, refletindo uma melhora no crescimento vegetativo e na saúde geral das plantas. Por outro lado, o controle positivo (fluensulfona) apresentou a menor massa radicular em ambos os experimentos.

5.2.2- Avaliação dos parâmetros populacionais de *Meloidogyne incognita* em tomateiros nos experimentos I e II realizados in vivo

5.2.2.1- Número médio de ovos por planta

O controle negativo apresentou os valores mais elevados, com uma média de 16894 ovos no experimento I e 14737 no experimento II, indicando o impacto descontrolado dos nematóides em condições sem tratamento (Figura 12).

Figura 12- Número médio de ovos de *M. incognita* por planta de tomate cv. Santa Clara infestada com 4500 ovos, em experimentos realizados em casa de vegetação, utilizando 4 tratamentos com resíduo de café (0,5%, 1%, 1,5% ;2%) e dois controles.



(Valores médios de cinco repetições. Médias seguidas por letras iguais da mesma cor não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).)

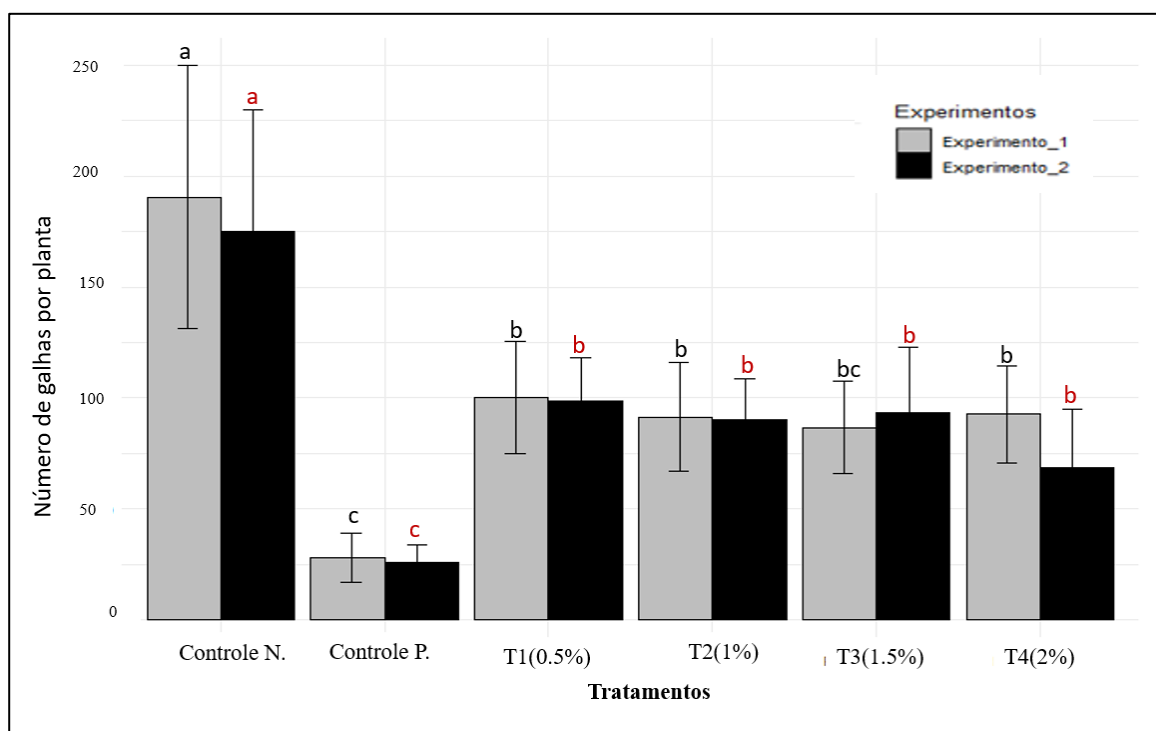
Em contraste, o tratamento com fluensulfona demonstrou uma eficiência considerável na redução do número de galhas, registrando médias de 521 e 643 ovos, respectivamente, nos

Experimentos I e II (Figura 12). Os tratamentos com resíduo de café reduziram o número de ovos por planta de forma dependente da dose. Além disso, Os tratamentos intermediários com resíduo de café demonstraram uma redução significativa na quantidade de ovos por planta.

5.2.2.2- Número médio de galhas por planta

A análise da Figura 13, referente ao número de galhas observadas, mostra que o controle negativo apresentou os níveis mais elevados por planta, com uma média de 191 galhas na Experiência I e 175 no Experimento II, sem ainda levar em consideração outros parâmetros, como a massa da raiz. Esses resultados ilustram o impacto descontrolado dos nematóides nas plantas de tomate. A fluensulfona, por outro lado, demonstrou uma redução significativa no número de galhas, alcançando médias de 28 e 26, respectivamente, nos dois experimentos.

Figura 13- Número médio de galhas por planta de tomate cv. Santa Clara infestada com 4500 ovos de *Meloidogyne incognita*, em experimentos realizados em casa de vegetação, utilizando 4 tratamentos com resíduo de café (0,5%, 1%, 1,5% e 2%) (m/m), se dois controles (N: negativo & P: positivo).



(Valores médios de cinco repetições. Médias seguidas por letras iguais da mesma cor não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$)).

Os tratamentos com resíduos de café apresentaram valores reduzidos de galhas nas raízes em comparação ao controle negativo. No Experimento I, as doses T1, T2, T3 e T4 resultaram em 100, 91, 87 e 93 galhas, respectivamente, enquanto no Experimento II, os valores foram 99,

90, 94 e 69 galhas. Esses resultados indicam uma tendência de eficácia dos resíduos no manejo de galhas, mesmo antes de incluir outros parâmetros, como a massa da raiz.

5.2.2.3- Fator de Reprodução, número de nematóides por grama de raiz (Nema/g) e número galha/ por grama de raiz (Galha/g)

A análise da Tabela 5 evidencia o impacto dos diferentes tratamentos sobre o fator de reprodução (FR) dos nematoides *Meloidogyne incognita* em tomateiro em casa de vegetação. O controle, sem tratamento, apresentou os valores mais elevados, com um FR de 3,75 nos dois Experimentos, indicando uma alta multiplicação dos nematóides na ausência de medidas de controle.

Tabela 5- Fator de Reprodução (FR), número de nematóides de *M. incognita* por grama de raiz (Nema/g) e número de galhas por grama de raiz (galha/g) em tomateiro, tratados com resíduo de rebeneficiamento do café (0,5%, 1%, 1,5% e 2%) (m/m).

Tratamento	Experimento I			Experimento II		
	FR	Nema/g	Galha/g	FR	Nema/g	Galha/g
Controle	3.75 a	2577 a	28 a	3.27 a	2967 a	31 a
Fluensulfona	0.12 c	94 c	5 c	0.14 c	157 c	6 c
T1 (0.5%)	1.78 b	1016 b	14 b	1.53 b	848 b	12 b
T2 (1%)	0.63 c	301 c	10 b	1.02 b	603 bc	11 b
T3 (1.5%)	0.94 bc	453 bc	10 b	0.83 bc	490 bc	12 b
T4 (2%)	0.97 bc	464 bc	9 b	0.9 bc	467 bc	8 b
P-value	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
CV(%)	26.48	21.52	20.02	29.01	22.85	17.97

(Valores médios de cinco repetições. Valores médios seguidos por mesmas letras na coluna, não são estatisticamente diferentes pelo teste Tukey ($p < 0.05$))

As análises estatísticas revelaram diferenças significativas entre os tratamentos para todas as variáveis analisadas nos dois experimentos, conforme indicado pelos valores de ($P < 0,05$).

No experimento 1, apenas o controle negativo e o tratamento T1 apresentaram valores de FR superiores a 1,0, enquanto, no experimento 2, o controle negativo e os tratamentos T1 e T2 apresentaram valores de FR superiores a 1,0. Por outro lado, a fluensulfona mostrou a maior redução no FR, com valores de 0,12 e 0,14 nos dois experimentos, demonstrando uma eficácia significativa em relação ao controle. Os resíduos de café também reduziram o FR de forma dose-dependente. Em baixa dose (0,5%), os valores foram de 1,78 e 1,53, enquanto as doses intermediárias (1% e 1,5%) levaram a reduções mais expressivas, com FR de 0,63 e 1,02 para

T2, e de 0,94 e 0,83 para T3. A dose mais alta (2%) apresentou resultados próximos aos de T3, com FR de 0,97 e 0,90. Os resíduos de café, embora menos eficazes que a fluensulfona, reduzem significativamente o fator de reprodução dos nematóides, especialmente em doses intermediárias.

Referente ao número de ovos por grama de raiz, observou-se uma alta infestação no controle, com os valores mais elevados : 2.577 e 2.967, refletindo uma intensa multiplicação dos nematóides na planta. Em contraste, a fluensulfona reduziu significativamente esses números, atingindo médias de 94 -157 ovos por planta, confirmando sua alta eficácia.

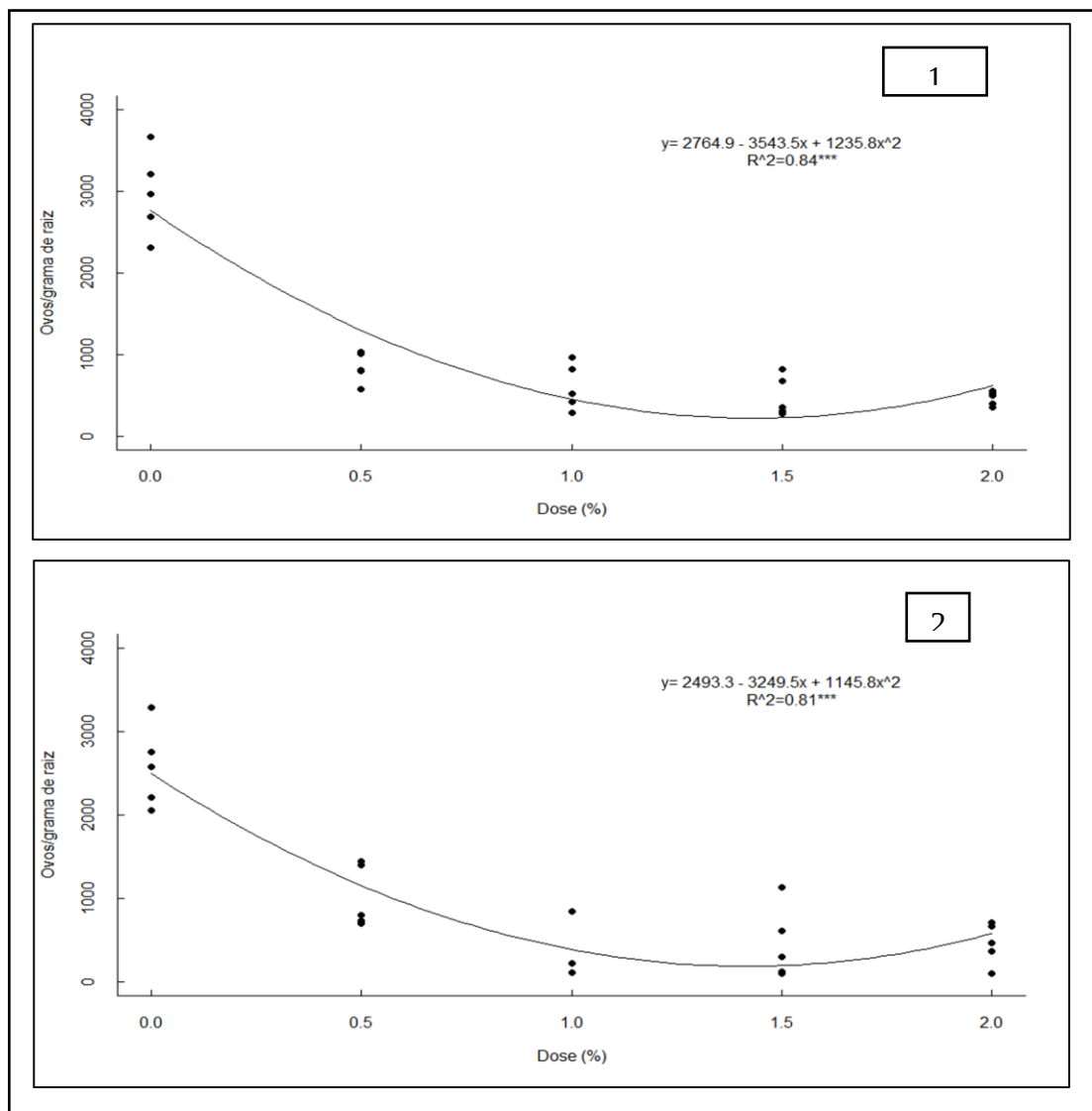
Os resíduos de café reduziram o número de galhas por grama de raiz de forma dose-dependente. Em baixa dose (0,5%), os valores foram de 14 e 12. Doses intermediárias (1% e 1,5%) apresentaram reduções significativas, com 10 e 11 para T2 e 9 e 8 para T4, destacando a eficácia crescente com o aumento da dose.

5.2.3- Análise de regressão do efeito dos diferentes tratamentos com o resíduo de café

Essa análise de regressão foi realizada para avaliar a relação entre as diferentes doses de resíduos do rebeneficiamento de café (0,5%, 1%, 1,5% e 2% m/m), incluindo o controle negativo, na redução do número de ovos por grama de raiz nos Experimentos.

Os resultados mostraram uma correlação negativa significativa entre as variáveis, indicando uma redução progressiva das populações de nematóides com o aumento das doses até certo ponto. Analisando o gráfico do modelo de regressão, a dose ideal média foi determinada, e o valor encontrado foi de 1,42% (m/m), equilibrando eficácia e segurança no sistema agrícola. Assim, é essencial otimizar as doses para maximizar o potencial dos resíduos de café.

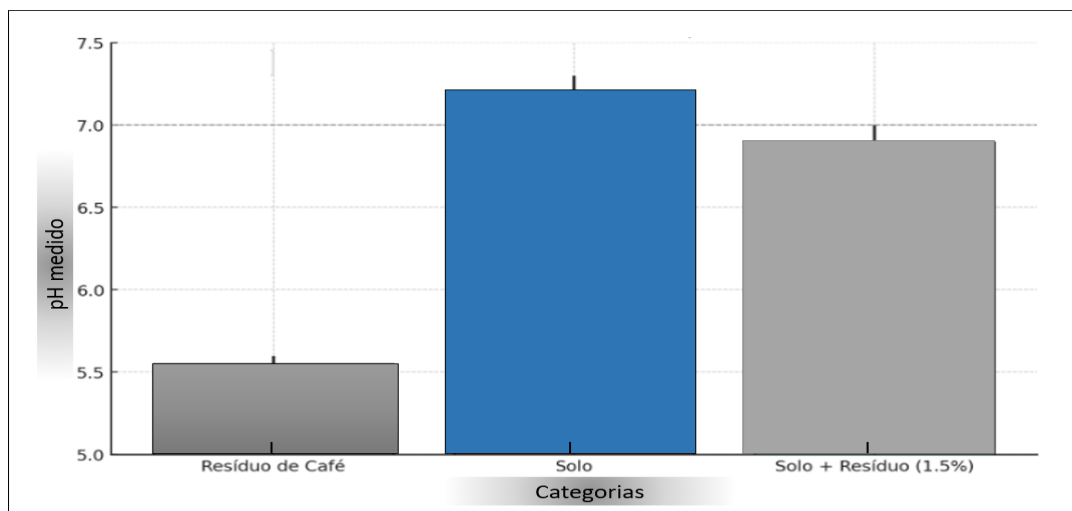
Figura 14- Gráficos de análise de regressão da relação entre as diferentes doses de resíduos do rebeneficiamento de café (0,5%, 1%, 1,5% e 2% m/m), incluindo o controle negativo, na redução do número de ovos por grama de raiz nos experimentos, com 5 repetições.



5.2.4- Determinação do pH (resíduo, solo e solo + resíduo)

A Figura 15 apresenta os valores de pH determinados durante os experimentos, evidenciando diferenças significativas entre o resíduo de rebeneficiamento de café, o solo e a mistura dos dois. O pH do resíduo, medido em água, apresentou valores levemente ácidos, variando entre 5,6 e 6,0. Já o pH do solo foi alcalino, com valores entre 7,5 e 7,8. Após a incorporação do resíduo ao solo, na concentração de 1,5% (m/m), houve uma redução moderada do pH, ajustando-se para uma faixa mais neutra, entre 6,9 e 7,0.

Figura 15- Valores de pH do resíduo de café, do solo e da mistura dos dois.



Essa alteração no pH após a incorporação do resíduo indica que o resíduo contribuiu para equilibrar as condições químicas do solo, o que pode favorecer a dinâmica biológica e química, promovendo o desenvolvimento das plantas e potencializando a ação dos compostos bioativos presentes no resíduo.

5.3- Avaliação do efeito do extrato de resíduos e do extrato aquoso do resíduo carbonizado sobre *Meloidogyne incognita* (J2) em condições *in vitro*

A Tabela 6 apresenta os resultados do teste realizado com juvenis de segundo estágio (J2) de *Meloidogyne incognita* *in vitro*. Os resultados abrangem exclusivamente os tratamentos com resíduos de café nas concentrações de 1,5% e 2% (m/v) e com a fração aquosa proveniente do processo de carbonização hidrotermal (HTC) dos resíduos de café nas concentrações de 0,22% e 1,11% (m/v), além do controle com água (0%). Os resultados referentes à fração oleosa não foram apresentados, pois foram equivalentes ao controle negativo (mock com metanol). Em ambos os casos, todos os J2 foram encontrados mortos, tornando impossível determinar se o efeito negativo sobre os J2 foi exclusivamente devido à fração oleosa dos resíduos.

Tabela 6- Impacto do extrato de resíduos de café (1,53% e 2%) (m/v) e do extrato aquoso obtido a partir de amostras do resíduo processadas por carbonização hidrotermal (HTC) na mortalidade de juvenis (J2) de *Meloidogyne incognita* após 48 horas em placas de ELISA.

Tratamentos	Experimento I	Experimento II
	Mortalidade (%)	Mortalidade (%)
Controle (com água)	1.5 d	1.2 d
Extrato de resíduo (1.5%)	85.6 b	84 b
Extrato de resíduo (2%)	97.5 a	86.5 b
Fração aquosa (0.22%)	80.6 c	58.11 c
Fração aquosa (1.11%)	100 a	100 a
P-value	<0.001	<0.001
CV (%)	2.75	9.87

(Valores médios seguidos por mesmas letras na coluna, não são estatisticamente diferentes pelo teste Tukey ($p < 0.05$))

As análises estatísticas revelaram diferenças significativas entre os tratamentos, conforme indicam os valores de ($P < 0,05$) para ambos experimentos (I&II). Os resultados indicam uma mortalidade quase nula no grupo controle, enquanto nos grupos tratados observa-se um nível elevado de mortalidade. Entre os tratamentos, os extratos de resíduo a 2% se destacaram, com taxas de mortalidade dos J2 atingindo 86,5% e 97,5%, e a fração aquosa do resíduo carbonizado (1,11%) alcançou 100% em ambos os experimentos. Por outro lado, a fração aquosa (0,22%) do resíduo carbonizado apresentou uma mortalidade de 58,11% a 80,6% e. Todos os tratamentos aumentaram significativamente a mortalidade dos J2 em comparação ao controle, que apresentou taxas de mortalidade de 1,5% e 1,2% n.

5.4- Análise química do resíduo de café, com a determinação e quantificação dos compostos bioativos presentes no material em estudo

O objetivo principal da análise química foi verificar a presença de compostos bioativos nos resíduos de rebeneficiamento de café, como fenóis, com potencial para atuar no controle de parasitas, especialmente os nematóides das galhas, *Meloidogyne incognita*.

A Tabela 7 destaca a presença de compostos bioativos no resíduo de rebeneficiamento de café estudado, incluindo fenólicos e alcaloides, fornecendo uma visão detalhada das moléculas identificadas e suas respectivas concentrações.

Tabela 7- Compostos fenólicos e alcaloides identificados e quantificados por método cromatográfico nos três tipos de extratos de resíduo preparados : extrato de Ramaiya, extrato aquoso e extrato oleoso, obtidos a partir de amostras do resíduo processadas por carbonização.

Amostras	Compostos fenólicos				Alcaloides	
	Ácido Cafeico (mg/g)	Ácido Clorogênico (mg/g)	Ácido gálico (mg/g)	Catequina (mg/g)	Teobromina (mg/g)	Trigonelina (mg/g)
Extrato Aquoso	0.1	20.12	0.02	33.27	0.09	117.23
Extrato oleoso	2.52	-	-	0.66	-	7.88
Extrato a quente*	4.65	1.92	0.01	-	0.23	12.47

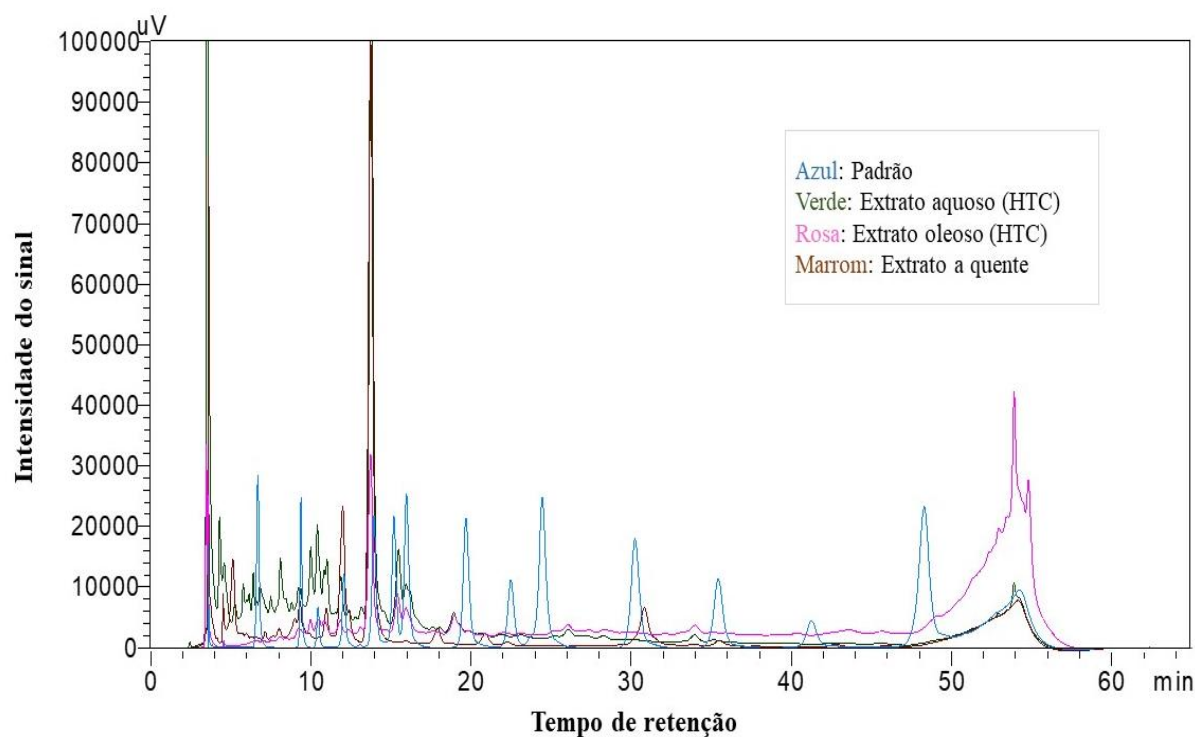
* Extração foi realizada conforme o método descrito por Ramaiya et al. (2013).

A análise química dos resíduos de café, realizada por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC-DAD/UV-Vis), revelou a presença significativa de compostos bioativos (Tabela 7). As três amostras analisadas apresentaram, predominantemente, os seguintes compostos fenólicos: ácido cafeico, ácido clorogênico, ácido gálico e catequina. Além disso, foram detectados alcaloides de interesse, como teobromina e trigonelina.

Ao todo, seis compostos bioativos foram identificados e quantificados. Entre os compostos fenólicos, a catequina apresentou a maior concentração, com 33,27 mg/g, enquanto o ácido gálico foi detectado em menor quantidade, com 0,01 mg/g. Em relação aos alcaloides, a trigonelina destacou-se como o composto mais abundante, com uma concentração de 117,23 mg/g.

Cabe destacar que o método e os equipamentos utilizados na extração podem influenciar os resultados obtidos, possibilitando a presença de compostos que não foram detectados. Estudos conduzidos por Esquivel e Jiménez (2012) e Murthy e Naidu (2012) ressaltam a grande diversidade química dos resíduos de café, bem como seu elevado potencial para aplicações agrícolas sustentáveis.

Figura 16- Perfil cromatográfico das três amostras de resíduo do beneficiamento do café analisadas.



Na Figura 16, são apresentados os cromatogramas resultantes das análises químicas dos extratos dos resíduos de rebeneficiamento de café. O gráfico revela o tempo de retenção e a intensidade do sinal de cada composto detectado. Cada pico representa um composto específico, identificado com base no seu tempo de retenção e no espectro de absorção, comparados aos valores de referência dos padrões analíticos.

6 DISCUSSÃO

Os nematóides de galhas, principalmente, *Meloidogyne incognita*, estão entre os parasitas de plantas de grande importância econômica, causando danos significativos a diversas culturas agrícolas. Esses parasitas atacam as raízes das plantas hospedeiras, formando galhas características que dificultam o funcionamento normal do sistema radicular, reduzindo a absorção de água e nutrientes no solo. Esses impactos resultam em perdas consideráveis na produção agrícola global, até mesmo a morte das plantas nos casos mais graves (BARBOSA, 2004; OLIVEIRA, 2019; TRUDGILL & BLOK, 2001).

Os experimentos *in vitro* demonstraram que o resíduo de rebeneficiamento de café reduziu significativamente a eclosão de juvenis (J2) e aumentou sua mortalidade, especialmente em doses intermediárias. A inibição de até 98% na eclosão de juvenis de segundo estágio (J2) e a mortalidade de 97.5% dos J2 em doses de 1,5% e 2% destacam o impacto nematicida do resíduo de rebeneficiamento de café. Nos tratamentos com 1,11% do extrato aquoso do resíduo carbonizado, observou-se mortalidade de até 100% dos juvenis de segundo estágio (J2). Esses resultados evidenciam a eficácia do tratamento, mesmo após a carbonização do resíduo em alta temperatura (250 °C), enquanto o controle tratado com água apresentava taxas de mortalidade quase nula.

Esses efeitos podem ser atribuídos à presença de compostos fenólicos e alcaloides, como ácido clorogênico, catequina e trigonelina, amplamente reconhecidos por suas propriedades bioativas (DOGAZAKI, 2002; CHALFOUN et al., 2000; KONSTANTINIDIS et al., 2023). A trigonelina, em particular, potencializa os efeitos, contribuindo para a elevada mortalidade observada. Essas moléculas bioativas possuem propriedades antimicrobianas e antiparasitárias, capazes de perturbar as funções celulares dos organismos-alvo, como *Meloidogyne incognita* (CATHERINE & INGA, 2019; FARIA et al., 2020; MARTINEZ-ALEMAN et al., 2019 ; KIM et al., 1995). A presença significativa de compostos bioativos nos resíduos de café é corroborada por estudos que evidenciam suas propriedades antimicrobianas e capacidade de interação com parasitas ambientais (CALHEIROS, 2023; KONSTANTINIDIS et al., 2023; KIM et al., 2016). Compostos como ácido cafeico e ácido protocatecuico demonstraram eficácia moderada contra bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, como *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*, além de potencial antifúngico contra fungos como *Aspergillus* e *Fusarium* (CHALFOUN et al., 2000; DAGLIA et al., 1994; DOGAZAKI, 2002).

Extratos vegetais, como os de *Euphorbia hirta*, *Sida acuta* e *Phyllanthus amarus*, também já demonstraram toxicidade marcante contra nematoides, resultando em mortalidade completa de juvenis de segundo estágio (J2) de *Meloidogyne incognita* (ADEGBITE & ADESIYAN, 2005). De forma semelhante, folhas de *Tagetes erecta* e raízes de *Hyptis suaveolens* e *Ocimum gratissimum*, ricas em saponinas e flavonóides, mostraram-se eficazes na redução de populações de nematoides, inibindo a eclosão dos ovos (OLABIYI, 2004; SALGADO & CAMPOS, 2003).

Diferenças estatisticamente significativas foram observadas na altura das plantas no primeiro experimento e no peso seco da parte aérea das plantas na presença de nematoides no segundo. Isso pode ser atribuído a um leve descompasso temporal que afetou o desenvolvimento das plantas, especialmente devido às interações com as condições de cultivo em casa de vegetação ou por fatores biológicos ou fisiológicos. Além disso, os tratamentos podem ter tido efeitos mais imediatos sobre a altura das plantas, enquanto seu impacto na biomassa se manifestou mais tarde. Adicionalmente o coeficiente de variação (CV), foi de 16,63 % na primeira experiência, contra 13,63 % na segunda. Isso sugere uma maior variabilidade nos resultados do primeiro experimento, contribuindo também a entender as diferenças observadas.

A observação da redução significativa no número de galhas e ovos por grama de raiz, além de um baixo fator de reprodução dos nematoides, com maior impacto nas doses intermediárias (1% e 1,5%) nos testes *in vivo*, reafirma o potencial nematicida do resíduo de café avaliado, especialmente em doses moderadas. Este efeito pode ser atribuído à liberação de compostos bioativos presentes nos resíduos de rebeneficiamento de café, reconhecidos por suas propriedades antimicrobianas e antiparasitárias (PREEDY, 2015; GÓRNAS et al., 2009).

Fluensulfona apresentou maior eficácia na redução da infestação de nematoides. No entanto, os resíduos de café promoveram um desenvolvimento radicular superior ao observado no controle e no tratamento com fluensulfona, que apresentou eficácia limitada nesse aspecto, em concordância com o trabalho de Catherine & Inga (2019).

Segundo Kim et al. (1995), os compostos fenólicos apresentam três principais mecanismos de ação: a destruição da membrana celular do patógeno, a inibição de enzimas essenciais à célula e a interação direta com o material genético, provocando danos ao DNA ou RNA. Tais danos comprometem os processos de replicação e transcrição, afetando funções

vitais dos organismos-alvo. Esses mecanismos podem ser atribuídos ao resíduo avaliado, o que contribui para a sua ação na interrupção da eclosão e na mortalidade dos juvenis de segundo estágio (J2) nos experimentos *in vitro*. Além disso, esses compostos interferem na infectividade dos J2 em tomateiros, impedindo sua penetração e o estabelecimento de sítios de alimentação nas raízes das plantas.

Estudos anteriores indicam que os taninos condensados possuem a capacidade de reduzir a eclosão e o desenvolvimento de nematoides parasitas, tanto em ruminantes (ICBAL et al., 2007) quanto em fitonematóides, como *Meloidogyne javanica* (MAISTRELLO et al., 2010). Além disso, pesquisas demonstraram que o ácido tânico pode desorientar os J2, dificultando a localização das raízes e resultando em redução ou atraso na penetração, o que leva a uma diminuição no número de galhas e massas de ovos (HEWLETT et al., 1999; MAISTRELLO et al., 2010; OLABIYI et al., 2008; OLABIYI, 2004; SALGADO & CAMPOS, 2003).

O maior valor de biomassa radicular pode estar associado à melhoria na nutrição das plantas, resultante da liberação de nutrientes, dos efeitos bioestimulantes dos resíduos de café e do controle dos nematóides no solo, o que sugere uma melhora na saúde vegetal. Além de representarem uma alternativa sustentável, os resíduos de café demonstram superioridade em relação ao controle químico (fluensulfona) e o controle negativo em parâmetros agrônômicos. Esse resultado reforça a eficácia limitada da fluensulfona em promover o desenvolvimento radicular, estando em concordância com os resultados de Catherine e Inga (2019) em seus experimentos *in vivo*. Santos (2015) também encontrou pesos radiculares mais baixos em soja. Isso sugere uma possível fitotoxicidade ou impacto negativo no desenvolvimento radicular.

Outro aspecto relevante é que, ao incorporar o resíduo ao solo na concentração de 1,5%, houve uma alteração significativa no pH, reduzindo-o de alcalino para uma faixa mais neutra. Essa mudança é positiva, pois solos com pH neutro tendem a favorecer a disponibilidade de nutrientes essenciais e a estimular a atividade biológica do solo (SOLTNER, 1992).

A fitotoxicidade dos resíduos de café, especialmente em doses altas ou aplicação direta antes do plantio, é um aspecto importante a ser considerado. Durante este estudo, a aplicação direta de resíduos em pó na superfície do solo dos vasos causou murcha nas plantas, com hastes secando rapidamente e levando à morte da planta. Estudos anteriores confirmam que o intervalo entre a aplicação de subprodutos orgânicos e o plantio reduz os riscos de fitotoxicidade (JAIN & BHATTI, 1988).

7 CONCLUSÃO

Este estudo é de grande importância, pois integra perspectivas econômicas, fitopatológicas e de sustentabilidade agrícola, ao explorar o uso dos resíduos de rebeneficiamento de café no manejo de *Meloidogyne incognita*.

O primeiro objetivo foi avaliar o efeito do extrato líquido do resíduo de café sobre a eclosão de J2 de *M. incognita* in vitro. Os resultados demonstraram que os tratamentos com resíduo de café reduziram significativamente a eclosão, com até 98%. Além disso, o extrato manteve também sua eficácia por até 12 dias.

O segundo foi analisar o efeito do resíduo de rebeneficiamento de café aplicado ao solo, sobre o parasitismo em tomateiros. Os tratamentos reduziram significativamente a infestação das plantas, apresentando um efeito inferior ao controle com fluensulfona, mas superior ao controle negativo. Além disso, os tratamentos promoveram um melhor crescimento radicular, como o aumento da massa fresca das raízes, em comparação aos controles.

Em seguida, foram avaliados os efeitos dos extratos aquoso e metanólico, obtidos após o fracionamento do resíduo, bem como do extrato não fracionado, sobre a mortalidade de J2 de *M. incognita*. Os resultados mostraram que o resíduo aumentaram significativamente a mortalidade dos J2. O tratamento com o extrato não fracionado a 2% (m/v) resultou em 97.5% de mortalidade, enquanto o extrato aquoso fracionado a 1,1% (m/v) atingiu 100%, superando o controle.

A análise dos compostos bioativos revelou a presença de fenólicos (ácido cafeico, ácido clorogênico, catequina) e além alcaloides (teobromina e trigonelina). Esses compostos são conhecidos por suas propriedades antimicrobianas e efeitos inibidores sobre patógenos. Apesar dos resultados promissores, o estudo reconhece algumas limitações, como a necessidade de mais pesquisas em condições de campo para avaliar os efeitos do resíduo no microbioma do solo e o aprofundamento dos mecanismos de ação sobre ovos e J2 de nematóides. Além disso, uma análise química mais detalhada das frações bioativas ainda é necessária.

Considerando os resultados promissores obtidos in vitro, é fortemente recomendável dar continuidade às pesquisas, avaliando a eficácia do resíduo carbonizado do café em condições reais, por meio de experimentos em casa de vegetação e em campo.

REFERÊNCIAS

- AGRIOS, G. N. Plant Pathology. 6. ed. Edited by Richard P. Oliver. **Cambridge: Academic Press**, 2024.
- ADEGBITE A. A; ADESIYAN S. O. Root extracts of plants to control root-knot nematodes on edible soybean. **World Journal of Agricultural Science** 1: 18-21, 2005.
- ALMEIDA, R. S.; NIERI, E. M.; MONTEIRO, E.C. S.; SILVA, O. M. C.; MELO, L. A. Reaproveitamento de resíduos de café em substratos para produção de mudas de *Joannesia princeps*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 41, 2021.
- ALMEIDA, L.; ZYLBERSZTAJN, D.. Key success factors in the Brazilian coffee agrichain: present and future challenges. **International Journal on Food System Dynamics**, v. 8, p. 45-53, 2017. DOI: 10.22004/ag.econ.254122.
- ALMEIDA, ANA AMÉLIA PAOLUCCI. Atividade antimicrobiana de extratos e de compostos fenólicos e nitrogenados do café: avaliação in vitro e em modelo alimentar. Tese de doutorado, **Universidade Federal de Minas Gerais (UFM)**, Faculdade de Farmácia, 2007.
- ALVARENGA, M.A. R. Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia. 2. ed. rev. e ampl. Lavras: Editora Universitária de Lavras, 2013. 455p.
- ANDREUCCETTI, C.; FERREIRA, M. D.; MORETTI, C. L.; HONORIO, S. L. Qualidade pós-colheita de tomates 'Débora' tratados com etileno. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 2, p. 245-250, 2007.
- ARITA, L. Y.; SILVA, S. A.; MACHADO, A. C. Z. Efficacy of chemical and biological nematicides in the management of *Meloidogyne paranaensis* in *Coffea arabica*. **Crop Protection**, v. 131, p. 105099, (2020). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105099>.
- ARYA, Shalini S.; VENKATRAM, Rahul; MORE, Pavankumar R.; VIJAYAN, Poornima. The wastes of coffee bean processing for utilization in food: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 59, n. 2, p. 429-444, fev. 2022. DOI: 10.1007/s13197-021-05032-5. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05032-5>.
- BAERMANN, G. Eine einfache method zur auffindung von ankvlostomum (Nematoden) larven in erdproben. **Ned. Indie**, 57: 131-137, 1917.
- BARBOSA, L. O. S.; AGUILAR, C.; MACIEL, L. A participação de Minas Gerais e do Brasil na cadeia produtiva global do café. **Economia & Região, Londrina** (PR), v. 9, n. 1, p. 147–166, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5433/2317-627X.2021v9n1p147>.
- BARBOSA, D. H. S. G. et al. Survey of root-knot (*Meloidogyne* spp.) in coffee plantations in the state of Rio de Janeiro, Brazil. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 28, p. 43-47, 2004.
- BARKER, K. R. Nematode parasitism of plants. In: Zuckerman, S. S.; et al. (Ed.). **Plant Nematology**. Academic Press, 2006. p. 1–19.
- BELITZ, H. D.; GROSCH, W.; SCHIEBERLE, P. “Coffee, tea, cocoa”. In: BELITZ, H. D.; GROSCH, W.; SCHIEBERLE, P. (Eds.). **Food Chemistry**. 4th ed. Berlin: Springer, 2009. p. 938–951.

BERG, C. Biological control of root-knot nematodes by *Pasteuria penetrans* and other microbial agents. **Biological Control**, v. 62, n. 3, p. 130–135, 2012.

BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. (Ed.). Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas. Jaguariúna: **Embrapa Meio Ambiente**, 2009. 341 p. ISBN 978-85-85771-47-8.

BIRD, A. F.; BIRD, J. *The Structure of Nematodes*. 2nd ed. **Academic Press**, 1991. E Book ISBN: 9780323138390.

BONDAM, A. F.; SILVEIRA, D. D.; SANTOS, J. P.; HOFFMANN, J. F. Phenolic compounds from coffee by-products: Extraction and application in the food and pharmaceutical industries. **Trends in Food Science & Technology**, v. 123, p. 59-73, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.03.013>.

BRIDGE, J.; STARR, J. *Plant nematodes of agricultural importance: a colour handbook*. 1st ed. London : **CRC Press**, 2007. 152 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/b15142>.

BRUM, S. S.; BIANCHI, M. L.; SILVA, V. L.; GONÇALVES, M.; GUERREIRO, M. C.; OLIVEIRA, L. C. A. Preparação e caracterização de carvão ativado produzido a partir de resíduos do beneficiamento do café. **Química Nova**, v. 31, n. 5, p. 1058-1062, 2008.

BRUNETON, J. *Elementos de Fitoquímica y de farmacognosia*. Zaragoza: Acribia, 1991. 594 p.

CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; FARIA, J. C. T.; JUVANHOL, R. S. Substratos alternativos na produção de mudas de *Chamaecrista desvauxii*. **Revista Árvore**, v. 37, n. 1, p. 31-39, 2013.

CALHEIROS, D.; DIAS, M. I.; CALHELHA, R. C.; BARROS, L.; FERREIRA, I. C. F. R.; FERNANDES, C.; GONÇALVES, T. Antifungal activity of spent coffee ground extracts. *Microorganisms*, v. 11, n. 2, Article 242, 2023.

CAMPOS, V. P.; VILAIN, P. Resistência de plantas aos nematóides-das-galhas no Brasil. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30, n. 2, p. 125-135, 2005.

CARMELO, L. G. P.; CALBO, A. G.; FERREIRA, M. D. “Efeito do armazenamento em atmosfera controlada de tomates (cv. Débora) colhidos em estágio inicial de amadurecimento.” In: *Congresso Brasileiro de Pós-Colheita*, 2010, São Paulo. Anais... São Paulo: Embrapa Instrumentação, 2010.

CARVALHO, C. R. F.; PONCIANO, N. J.; SOUZA, P. M.; SOUZA, C. L. M.; SOUSA, E. F. Viabilidade econômica e de risco da produção de tomate no município de Cambuci/RJ, Brasil. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 44, n. 12, 2014.

CATHERINE, L. W.; IGA, A. Z. Short-term effects of sublethal doses of nematicides on *Meloidogyne incognita*. **Nematology-Phytopathology**, v. 109, p. 1605-1613, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-11-18-0420-r>.

CHALFOUN, S. M.; PEREIRA, M. C.; ANGELICO, C. L. “Efeito da cafeína (1,3,7-trimetilxantina) sobre crescimento micelial de fungos associados ao café.” *Revista Brasileira de Armazenamento*, v. 1, p. 50-53, 2000.

CHITWOOD, D. J. Phytochemical-based strategies for nematode control. **Annual Review of Phytopathology**, v. 40, p. 221-249, 2002.

CLARKE, R. J.; VITZTHUM, O. G. *Coffee: Recent developments*. Wiley-Blackwell, 2008.

CLIFFORD, M.N. Chlorogenic acids. In: Clarke ,R.J.; Macre, R. (Ed) *Coffee Chemistry*. V. 1, London: **Elsevier Applied Science**, 1989. P 153-202.

CLIFFORD, M. N. “Chlorogenic acids.” In: CLARKE, R. J.; MACRE, R. (Eds.). *Coffee Chemistry*. v. 1. London: Elsevier Applied Science, 1989. p. 153-202.

COOLEN, W. A.; D’HERDE, C. J. “A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue.” **Ghent: State Nematology and Entomology Research Station**, 1972. p.77

DAGLIA, M.; CUZZONI, M. T.; DACARRO, C. “Antibacterial activity of coffee: relationship between biological activity and chemical markers.” *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 42, p. 2273-2277, 1994.

DESAEGER, J. A. ; DEWALE, R. A. ; JENKINS, J. N. Chemical control of plant-parasitic nematodes. In : *Integrated Nematode Management : State-of-the-art and visions for the future*. 2017.

DESAEGER, J. et al. New approaches to manage plant-parasitic nematodes. **Annual Review of Phytopathology**, v. 58, p. 123-145, 2020.

DOGASAKI, C.; SHINDO, T.; FURUHATA, K.; FUKUYAMA, M. Identification of chemical antibacterial components against *Legionella pneumophila* in coffee beverage. *J. Pharm. Soc. Japan*, v. 122, n. 7, p. 487-494, 2002

DONG, L. Q.; ZHANG, K. Q. Microbial control of plant–parasitic nematodes: a five-party interaction. **Plant and Soil**, v. 288, p. 31-45, 2006.

DUNIWAY, J. M. “Status of chemical alternatives to methyl bromide for pre-plant fumigation of soil.” *Phytopathology*, v. 92, n. 12, p. 1337-1343, 2002. DOI: 10.1094/PHYTO.2002.92.12.1337.

DURÁN, C. A.; TSUKUI, A.; SANTOS, F. K. F; MARTINEZ, S. T.; BIZZO,H. R.; REZENDE, C. M. Café : Aspectos gerais e seu aproveitamento para além da bebida. **Revista Virtual Química**, v. 9, n. 1, 2017.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária . Manejo de nematóides na cultura do tomate. Circular Técnica. Brasília, DF: **Embrapa**, 2014.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: **EMBRAPA-CNPS**, 1997.

ESQUIVEL, P.; JIMÉNEZ, V. M. “Functional properties of coffee and coffee by-products.” *Food Research International*, v. 46, n. 2, p. 488-495, 2012.

FARAH, A.; PAULIS, T.; MOREIRA, D. P.; TRUGO, L. C.; MARTIN, P. R. “Chlorogenic acids and lactones in regular and water-decaffeinated arabica coffees.” *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 54, p. 374-381, 2006.

FARIA, W. C. S.; OLIVEIRA, M. G. DE; CONCEIÇÃO, E. C. DA; SILVA, V. B.; VEGGI, N.; CONVERTI, A.; BARROS, W. M. DE; SILVA, M. F. DA; BRAGAGNOLO, N. “Antioxidant efficacy and in silico toxicity prediction of free and spray-dried extracts of green Arabica and Robusta coffee fruits and their application in edible oil.” *Food Hydrocolloids*, v. 108, p. 106004, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106004>.

FARIA, J. C. T.; CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; ROCHA, R. L. F. “Uso de resíduos orgânicos na produção de mudas de Senna alata (L.) Roxb.” *Ecologia e Nutrição Florestal*, v. 1, n. 3, p. 133-146, 2013. DOI: 10.13086/2316-980x.v01n03a05.

FILGUEIRA, F. A. R. *Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. 3. ed. Universidade Federal de Viçosa (UFV), 2013.

FILGUEIRA, F. A. R. *Novo manual de olericultura*. Universidade Federal de Viçosa (UFV), 2008. 421 p.

FERNANDES JUNIOR, F.; BOTELHO, S. de C. C.; VELOSO, P. O.; BASSOS, D. C.; LAMON, F. Híbridos de tomate para processamento industrial, épocas de plantio e sistemas de irrigação no médio norte de Mato Grosso. *Revista Ceres*, v. 66, n. 5, p. 365-373, 2019.

FERRAZ, L. C. C. B.; BROWN, D. J. F. (Orgs.). *Nematologia de plantas: fundamentos e importância*. Manaus: Norma Editora, 2016. 251 p.

ERREIRA, F. A. “Caracterização do pó de café conilon verde e perspectivas para seu aproveitamento sustentável.” 2023. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Sustentáveis) – Instituto Federal do Espírito Santo, 2023.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). “História do tomate: a jornada entre a curiosidade venenosa e o ingrediente popular.” FAO Brasil, 12 mai. 2022.

FREITAS, T. A. S.; BARROSO, D. G.; SOUZA, L. S.; CARNEIRO, J. G. A.; PAULINO, G. M. Produção de mudas de eucalipto com substratos para sistema de blocos. *Revista Árvore*, v. 34, n. 5, p. 761-770, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622010000500001>.

FURUHATA, K.; DOGASAKI, C.; HARA, M.; FURUYAMA, M. “Inactivation of *Legionella pneumophila* by phenol compounds contained in coffee.” *Journal of Antibacterial and Antifungal Agents*, v. 30, p. 291-297, 2002.

GÓRNAS, P.; NEUNERT, G.; BACZYŃSKI, K.; POLEWSKI, K. “Beta-cyclodextrin complexes with chlorogenic and caffeic acids from coffee brew: Spectroscopic, thermodynamic and molecular modelling study.” *Food Chemistry*, v. 114, n. 1, p. 190–196, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.048>.

GOUVEIA, B. T. Avaliação agronômica e resistência a pragas de híbridos de tomate com elevados teores foliares de açúcares. 2016. 90 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – **Universidade Federal de Lavras**, Lavras, 2016, 90 p.

GRAÇA, C. H.; CALDAS, R. M. F. “Estimativa da quantidade de resíduos (casca e polpa) produzidos durante o processo de beneficiamento do café no município de Varginha – MG.” **Revista Geonorte**, v. 8, n. 30, p. 104-117, 2017.

GREMBECKA, M.; MALINOWSKA, E.; SZEFER, P. “Differentiation of market coffee and its infusions in view of their mineral composition.” **Science of the Total Environment**, v. 383, p. 59–69, 2007.

GURR, G. M.; WRATTEN, S. D.; ALTIERI, M. A. (Eds.). *Ecological engineering for pest management: Advances in habitat manipulation for arthropods*. CABI Publishing, 2004.

GURR, G. M. Biological control in agriculture: Advances and challenges. *Biological Control*, v. 160, p. 104-115, 2021.

HARMAN, G. E.; HOWELL, C. R.; VITERBO, A.; CHET, I.; LORITO, M. “Trichoderma species—opportunistic, avirulent plant symbionts.” *Nature Reviews Microbiology*, v. 2, n. 1, p. 43–56, 2004.

HEEGER, A., KOSINSKA, A., CANTERGIANI, E., ANDLAUER, W. Bioactives of coffee cherry pulp and its utilisation for production of Cascara beverage. **Food Chemistry**, v. 221, 2016. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.11.067.

HEIMPEL, G. E.; MILLS, N. J. *Biological Control: Ecology and Applications*. Cambridge: **Cambridge University Press**, 2017.

HEWLET, T. E.; HEWLET, E. M.; DICKSON, D. W. “Response of *Meloidogyne* spp., *Heterodera glycines* and *Radopholus similis* to tannic acid.” **Journal of Nematology**, v. 29, p. 737-741, 1999.

HUSSEY, R. S.; BARKER, K. R. A Comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp., including a new technique. **Plant Disease Reporter**, v. 57, n. 12, p. 1025-1028, 1973.

IBRAHORT - INSTITUTO BRASILEIRO DE HORTICULTURA. “Produção e mapeamento do tomate de mesa no Brasil.” 2020.
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA): Produção de Tomate & Café, Brasil. Rio de Janeiro, 2024.

ICBAL, Z.; SARVAR, M.; JABBAR, A.; AHMED, S.; NISA, M.; SAJID, M. S.; KHAN, M. N.; MUFTI, K. A.; YASSEN, M. “Direct and indirect anthelmintic effects of condensed tannins in sheep.” **Veterinary Parasitology**, v. 144, p. 125-131, 2007.

IRIONDO-DEHOND, A.; APARICIO GARCÍA, N.; FERNANDEZ-GOMEZ, B. “Validation of coffee by-products as novel food ingredients.” *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v. 51, p. 194–204, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.010>.

JAIN, R. K.; BHATTI, D. S. “Effect of degradation of neem leaves on incidence of root knot nematode in tomato transplants.” *Indian Journal of Nematology*, v. 8, p. 19-24, 1988.

JANISSEN, B.; HUYNH, T. Chemical composition and value-adding applications of coffee industry by-products: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 128, p. 110–117, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2017.10.001>.

JONES, J. T.; HAEGEMAN, A.; DANCHIN, E. G. J.; GAUR, H. S.; HELDER, J.; JONES, M. G. K.; KIKUCHI, T.; MANZANILLA-LOPEZ, R. H.; PALOMARES-RIUS, J. E.; WESEMAEL, W. M. L.; PERRY, R. N. “Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology.” *Molecular Plant Pathology*, v. 14, n. 9, p. 946-961, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/mpp.12057>.

KEARN, J. L. E.; DILLON, J.; O'CONNOR, V. “Fluensulfone: A new nematicide for controlling root-knot nematodes.” *Pest Management Science*, v. 70, n. 9, p. 1442-1447, 2014.

KERRY, B. R. Rhizosphere interactions and the exploitation of microbial agents for the biological control of plant-parasitic nematodes. *Annual Review of Phytopathology*, 38(1), 423–441, 2000.

KIM, M.-J., SHIM, C.-K., KIM, Y.-K., & PARK, J.-H. The Antifungal Activity of Coffee Ground Compost Extract against Plant Pathogens. *Journal of the Korea Organic Resource Recycling Association*, 24(4), 85-94, 2016.

KIM, M.-J.; SHIM, C.-K.; KIM, Y.-K.; PARK, J.-H. “The antifungal activity of coffee ground compost extract against plant pathogens.” *Journal of the Korea Organic Resource Recycling Association*, v. 24, n. 4, p. 85-94, 2016. DOI: <https://doi.org/10.17137/korrae.2016.24.4.85>.

KONSTANTINIDIS, N.; FRANKE, H.; SCHWARZ, S.; LACHENMEIER, D. W. “Risk assessment of trigonelline in coffee and coffee by-products.” *Molecules*, v. 28, n. 8, p. 3460, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28083460>.

LENTEREN, J. C.; BUENO, V. H. P.; LUNA, M. G. “Biological control in Latin America and the Caribbean: information sources, organizations, types and approaches in biological control.” In: *Biological control in Latin America and the Caribbean: its rich history and bright future*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1079/9781789242430.0001>.

LILLEY, C. J.; MOURA DE SOUZA, V. H.; EVES-VAN DEN AKKER, S. “Plant diseases caused by nematodes. *Agrios' Plant Pathology*. 6. ed. 2024. p. 607-649. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822429-8.00018-2>.

LIMA, N. S. A.; VOGEL, G. F.; FEY, R. “Rates of application of *Azospirillum brasilense* in tomato crop.” *Revista de Agricultura Neotropical, Cassilândia-MS*, v. 5, n. 4, p. 81-87, out./dez. 2018.

LIMA, D. R. *Café e Saúde: Manual de Farmacologia Clínica, Terapêutica e Toxicologia*. Rio de Janeiro: Medsi Editora, 2003.

LONDOÑO-HERNANDEZ, L.; RUIZ, H. A.; RAMÍREZ, T. C.; ASCACIO, J. A.; RODRÍGUEZ-HERRERA, R.; AGUILAR, C. N. “Fungal detoxification of coffee pulp by solid-state fermentation.” *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 23, p. 101467, jan. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101467>.

LÓPEZ-GÓMEZ, M.; CADENA-HINOJOSA, M.; MARTÍNEZ-AGUILAR, J.; DE LA CRUZ-LÁZARO, E.; HERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, J.; MONTES-BELMONT, R. “*Meloidogyne spp.* management in coffee.” *Annual Review of Phytopathology*, 2014. DOI: 10.1146/annurev-phyto-082712-102257.

MACHADO, A. R. T. I.; MARTINS, P. F. Q. I.; FONSECA, E. M. B. I.; REIS, K. C. Compósitos biodegradáveis à base de polihidroxibutirato-hidroxivalerato (PHB-HV) reforçados com resíduos do beneficiamento do café. *Revista Matéria*, v. 15, n. 3, p. 400-404, 2010.

MACIEL, T. C. M.; SILVA, T. I.; ALCANTARA, F. D. O.; MARCO, C. A.; NESS, R. L. L. Substrato à base de pequi (*Caryocar coriaceum*) na produção de mudas de tomate e pimentão. *Revista de Agricultura Neotropical*, v. 4, n. 2, 2017. DOI: <https://doi.org/10.32404/rean.v4i2.1551>.

MAISTRELLO, L.; VACCARI, G.; SASANELLI, N. “Effect of chestnut tannins on the root-knot nematode *Meloidogyne javanica*.” *Helminthologica*, v. 47, p. 48-57, 2010.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, H. R.; SILVA, W. L. C. *Irrigação do tomateiro para processamento. Brasília: Embrapa Hortaliças*, 2012. 24 p.

MARTINEZ-ALEMAN, S. R.; HERNANDEZ-CASTILLO, F. D.; AGUILAR-GONZALEZ, C. N.; RODRIGUEZ-HERRERA, R. “Extractos de pulpa de café: Una revisión sobre antioxidantes polifenólicos y su actividad antimicrobiana.” *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, v. 27, n. 77, p. 73-79, 2019.

MARTINS, C. M.; SILVA, D. J. H.; CLEMENTE, F. M. V. T. Melhoramento genético do tomateiro: avanços e perspectivas. *Horticultura Brasileira*, v. 34, n. 2, p. 145-152, 2016.

MASSIMI, M. ; RADÓCZ, L. ; CSÓTÓ, A. Impact of Organic Acids and Biological Treatments in Foliar Nutrition on Tomato and Pepper Plants. *Horticulturae*, [S. l.], v. 9, n. 3, p. 413, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030413>.

MEDEIROS, M. A., SILVA, F. A., & BARRETO, D. A. Efeitos da solarização na qualidade do solo e controle de fitopatógenos no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48(4), 404-411, 2013.

MELO, L. A. de; PEREIRA, G. de A.; MOREIRA, E. J. C.; DAVIDE, A. C.; SILVA, E. V. da; TEIXEIRA, L. A. F. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eremanthus erythropappus* sob diferentes formulações de substrato. *Floresta e Ambiente*, v. 21, n. 2, p. 234-242, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2014.028>

MELO, T. A.; SERRA, ILKA M. R. S., Plant materials applied to the agroecological management of *Meloidogyne incognita* in tomato plants. *Summa Phytopathologica*, v. 45, n. 1, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-5405/187851>.

MENEGHELLI, C. M.; MONACO, P. A. V. L.; HADDADE, I. R.; MENEGHELLI, L. A. M.; KRAUSE, M. R. Resíduo da secagem dos grãos de café como substrato alternativo em mudas de café conilon. *Coffee Science*, v. 11, n. 3, p. 329-334, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.25186/cs.v11i3>.

MILLIGAN, S. B.; BODEAU, J.; YAGHOUBI, J.; KALOSHIAN, I.; ZABET, P.; WILLIAMSON, V. M. The Mi gene for resistance to root-knot nematode in tomato is a member of the leucine zipper, nucleotide binding, leucine-rich repeat family of plant genes. *The Plant Cell*, v. 10, n. 8, p. 1307-1317, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1105/tpc.10.8.1307>.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). “Produtos biológicos no Brasil.” 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br>.

MOENS M., PERRY R.N., STARR J.L. Meloidogynespecies - a diverse group of novel and important plant parasites. In: Root-knot Nematodes. Perry R.N., Moens M., Starr J.L. (eds.). *CABI International, Cambridge*, MA, USA: 1-17, 2009.

MURTHY, P. S., & NAIDU, M. M. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 66, 45-58, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.005>

NACZK, M., & SHAHIDI, F. Extraction and analysis of phenolics in food. *Journal of Chromatography A*, 1054(1-2), 95-111, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.08.059>.

NEVES, J. V. G. D. “Cascaas residuais de café orgânico: composição química, potencial antioxidante, fatores antinutricionais e aplicação tecnológica.” 2016. **Dissertação (Mestrado)** – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2016.

NICOL, J. M.; TURNER, S. J.; COYNE, D. L.; DEN NIJS, L.; HOCKLAND, S.; TAHNA MAAFI, Z. Current nematode threats to world agriculture. In: JONES, J.; GHEYSEN, G.; FENOLL, C. (Eds.). *Genomics and Molecular Genetics of Plant–Nematode Interactions*. Heidelberg: Springer, 2011. p. 21-44.

OLABIYI, T. I.; OYEDUMADE, E. E. A.; IBIKUNLE, G. L.; OJO, O. A.; ADESINA, G. O.; ADELASOYE, K. A.; OGUNNIRAN, T. A. Chemical composition and bio-nematicidal potential of some weed extracts on *Meloidogyne incognita* under laboratory conditions. *Plant Sciences Research*, v. 1, p. 30-35, 2008.

OLABIYI TI. 2004. Assessment of the nematicidal properties of extracts from *Tagetes erecta*, *Ocimum gratissimu*, *hyptis suaveolous* and *Crotalaria retusa*. Ilorin, Nigeria : **University of Ilorin**. 177p, 2004.

OLIVEIRA, D. F.; COSTA, V. A.; TERRA, W. C.; CAMPOS, V. P.; PAULA, P. M.; MARTINS, S. J. Impact of phenolic compounds on *Meloidogyne incognita* in vitro and in tomato plants. *Experimental Parasitology*, v. 199, p. 17-23, abr. 2019. DOI: [10.1016/j.exppara.2019.02.009](https://doi.org/10.1016/j.exppara.2019.02.009).

OLIVEIRA, F. M., SILVA, T. L., SOUZA, R. A. (2012). Controle biológico de nematoides em cultivo de tomateiro. *Revista Brasileira de Nematologia*, 35(2), 200-208, 2012.

OKA, Y., SHUKER, S., & TKACHI, N. Systemic nematicides for the control of root-knot nematodes in perennial and vegetable crops. **Crop Protection**, 28(8), 811-817, 2009. DOI: 10.1016/j.cropro.2009.06.001

PACULE, H. B.; VANEGAS, J. A. G.; TERRA, W. C.; CAMPOS, V. P.; OLIVEIRA, D. F. (R)-Carvone is a potential soil fumigant against *Meloidogyne incognita* whose likely enzymatic target in the nematode is acetylcholinesterase. **Experimental Parasitology**, v. 234, 2022. DOI: 10.1016/j.exppara.2022.108359. PMID: 35998723.

PARRA J.R.P. Biological control in Brazil: an overview. **Scientia Agricola** 71: 345-355, 2014. DOI : <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2014-0167>

PEREIRA, R. P. Potencial dos resíduos de café na produção de biofertilizantes e outros co-produtos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 3, p. 301-310, 2009.

PERRY, R. N., & MOENS, M. Introduction to plant-parasitic nematodes." In **Plant Nematology**. pp. 1-12, 2013.

PREEDY, V. R. Coffee in health and disease prevention. Elsevier, 2015.

QUIRINO, W. F. Utilização energética de resíduos vegetais. **Brasília, Laboratório de Produtos Florestais - LPF/IBAMA**, 2003. 14 p.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: **Instituto Agrônomo**, 2001.

RAMAIYA, S.; BUJANG, J. S.; ZAKARIA, M. H.; SAHRIR, M. A. S. Sugars, ascorbic acid, total phenolic content and total antioxidant activity in passion fruit (*Passiflora*) cultivars. **Journal of The Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 10, p. 2302–2309, mar. 2013. DOI: 10.1002/jsfa.5876.

RAMALAKSHMI, K.; RAO, L. J. M.; TAKANO-ISHIKAWA, Y.; GOTO, M. Bioactivities of low-grade green coffee and spent coffee in different in vitro model systems. **Food Chemistry**, v. 115, n. 1, p. 79–85, 2009.

RESENDE, J.T.V.; MALUF, W.R.; CARDOSO, M.G.; FARIA, M.V.; GONÇALVES, L.D.; NASCIMENTO, I.R. Resistance of tomato genotypes with high level of acylsugars to *Tetranychusevansi* Backer & Pritchard. **Scientia Agricola**, v. 65, p. 31-35, 2008.

SANTANA, M. S.; ALVES, R. P.; BORGES, W. M. S.; FRANCISQUINI, E.; GUERREIRO, M. C. Hydrochar production from defective coffee beans by hydrothermal carbonization. **Bioresource Technology**, v. 300, p. 122653, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122653>.

SANTOS, J. R.; CARVALHO, L. M.; SILVA, E. M. Influência da irrigação e da adubação na qualidade de tomates para processamento industrial. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 8, p. 689-697, 2015.

SANTOS, PAULO SERGIO. Aplicação em sulco de nematicidas em soja. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – **Universidade Federal de Santa Maria**, Santa Maria, RS, Brasil, 2015.

SANTOS, C. P., LIMA, J. A., BARROS, M. P. Manejo integrado de fitonematóides no Brasil : Desafios e soluções. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 49(1), 100-108, 2014.

SANTOS, É. J.; OLIVEIRA, E. Determination of Mineral Nutrients and Toxic Elements in Brazilian Soluble Coffee by ICP-AES. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 14, n. 5, p. 523–531, 2001.

SASSER, J.N. Plant Parasitic Nematodes: The Farmer's Hidden Enemy. Publication Department of Plant Pathology and the consortium for international crop protection, 1989. 114 p.

SASSER J.N., CARTER C.C., TAYLOR A.L. A guide to the development of a plant nematology program. A Cooperative Publication of The Department of Plant Pathology, **North Carolina State University** and The United States Agency for International Development. Raleigh, North Carolina, 1982.

SENGUPTA, S., et al. Advances in the biocontrol of plant parasitic nematodes. **Biocontrol**, 65(4), 361-378, 2020.

SIDDQUI, Z. A.; AKHTAR, M. S. Effect of plant growth promoting rhizobacteria, nematode parasitic fungi and root-nodule bacterium on root-knot nematodes *Meloidogyne javanica* and growth of chickpea. **Biocontrol Science and Technology**, v. 19, n. 5, p. 511–521, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1080/09583150902887792>.

SINGH, Rajendra. Plant parasitic nematodes: The hidden enemies of farmers. In: Environmental Issues for Socio-ecological Development. 1. ed. New Delhi: **Excel India Publishers**, 2015. p. 68-81. DOI: 10.13140/RG.2.1.2994.7763.

SILVA, M. J.; COLLABORATEURS. Impact of *Meloidogyne incognita* on tomato crops in Brazil: Damage and control methods. **Brazilian Journal of Plant Pathology**, v. 38, n. 1, p. 33-41, 2020.

SILVA, D. F., & CAIXETA, E. T. The Coffee Agro-Industry in Brazil: Challenges and Opportunities. In: **Technological Innovations in Major World Oil Crops**, Volume 2, 2016.

SILVA, D. A., GONÇALVES, E. R., & OLIVEIRA, L. B. "Estratégias para o controle de *Meloidogyne* spp. em tomateiro: Manejo integrado e biológico." **Revista de Agricultura Sustentável**, 12(2), 70-75, 2013.

SILVA, SC; NASCIMENTO, DJ. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia** 36: 121-138, 2007.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J. CROUCH, S. R. Fundamentals of Analytical Chemistry. 9. ed. **Boston**: Cengage Learning, 2014.

SMITH, A.W. Introduction. In: Clarke, R.J.; Macrae, R. (ed) coffee Chemistry, v. 1. London: **Elsevier Applied Science**, 1989. P. 1-41.

SOLTNER, D., *As bases da produção vegetal, Volume 1: O solo e sua melhoria. 19ª Edição, Ciências e Técnicas Agrícolas.* Sainte Gemmes sur Loire, 1992.

SOUZA, R. A., LIMA, J. A., & SILVA, T. L. Uso de solarização para controle de fitonematóides no Brasil. **Revista Brasileira de Nematologia**, 34(3), 175-182, 2010.

STALIKAS, C. D. Extraction, separation, and detection methods for phenolic acids and flavonoids. **Journal of Separation Science**, 30(18), 3268-3295, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1002/jssc.200700261>.

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

STUMM, C. R. Economia circular e sustentabilidade na cafeicultura brasileira. **Agroecologia Hoje**, v. 6, n. 1, p. 12-20, 2019.

TARIQUE HASSAN ASKARY. Nematophagous fungi as biocontrol agents of plant-parasitic nematodes: A review. **Biocontrol Science and Technology**, 26(7), 1065-1083, 2015. DOI:10.1079/9781780643755.0081

TAVARES, S. A., BARBOSA, L. F., & CARVALHO, M. G. "Análise de custos e viabilidade econômica da solarização no controle de nematoides em solos tropicais." **Revista de Nematologia Tropical**, 15(2), 100-107, 2011.

TEIXEIRA, F. M. V.; MENDONÇA, J. L.; ALVARENGA, M. A. R. Tratos culturais. **Embrapa Hortaliças**, 2022.

TRUDGILL, D. L., BLOK, V. C., Apomictic, polyphagous root-knot nematodes: exceptionally successful and damaging biotrophic root pathogens. **Annu Rev Phytopathol.** 39, 53-77, 2001.

TRUGO, L. Coffee. In B. Caballero, L. Trugo, & P. Finglas (Eds.), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (2nd ed.). **London: Academic.** 2003.

TRUGO, L. C., MACRAE R. A study of the effect of roasting on the chlorogenic acid composition of coffee using HPLC. **Food Chem.** 15, 219–227, 1984.

VALE, A. T., GENTIL, L. V., GONÇALEZ, J. C., COSTA, A. F. Caracterização energética e rendimento da carbonização de resíduos de grãos de café (*Coffea arabica*, L) e de madeira (*Cedrelinga catenaeformis*). **Duke CERNE**, vol. 13, núm. 4, pp. 416-420, 2007.

VAN LOON, L. C., BAKKER, P. A. H. M., & PIETERSE, C. M. J. Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. **Annual Review of Phytopathology**, 36(1), 453–483, 1998.

VEGRO, C.L.R.; CARVALHO, F.C. Disponibilidade e utilização de resíduos gerados no processamento agroindustrial do café. **Informações Econômicas, São Paulo**, v.24, n.1, p.9-16, 1994.

VIEIRA, A. C. C.; TERRA, D. L. C. V.; FONSECA, E. F.; SOUZA, P. B. Utilização de resíduos agroindustriais na produção de mudas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. Allemão). *Magistra*, v. 30, p. 86-93, 2019.

WESEMAEL, W.; VIAENE, N.; MOENS, M. Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in Europe. *Nematology*, v. 13, p. 3-16, 2011.

WILLIAMSON, V. M., & KUMAR, A. "Nematode resistance genes in tomato and their role in integrated management." *Annual Review of Phytopathology*, 44(1), 355-375, 2006.

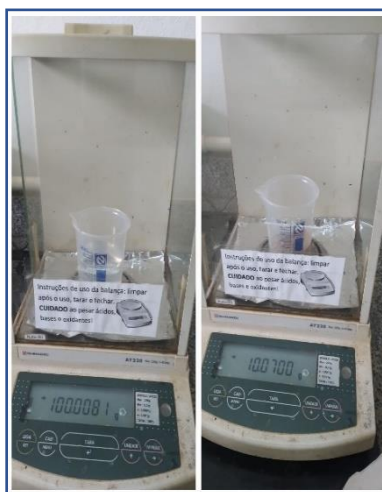
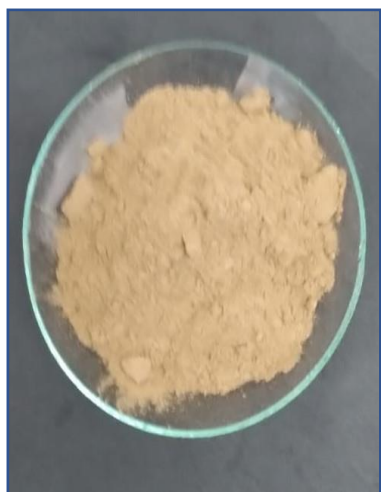
WRAM, C. L. & ZASADA, Inga A. Short-term effects of sublethal doses of nematicides on *Meloidogyne incognita*. *Phytopathology*, 2019. DOI: 10.1094/PHYTO-11-18-0420-R.

Sitografia :

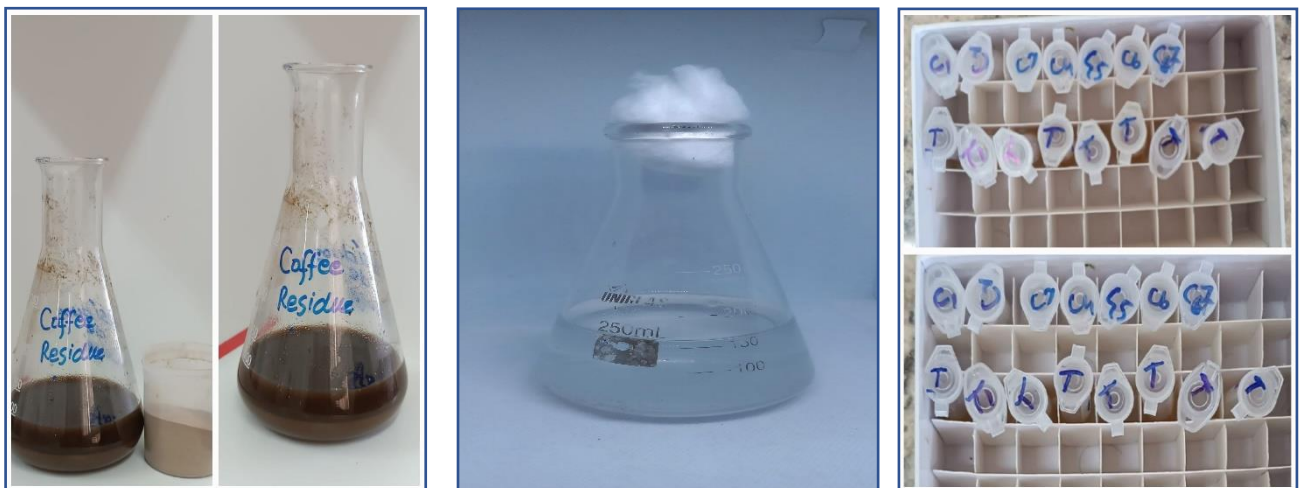
Revista Campo & Negócios. Cresce o mercado de biodefensivos. 2024. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/cresce-o-mercado-de-biodefensivos/>. Acesso em: 13/01/2024.

ANEXOS

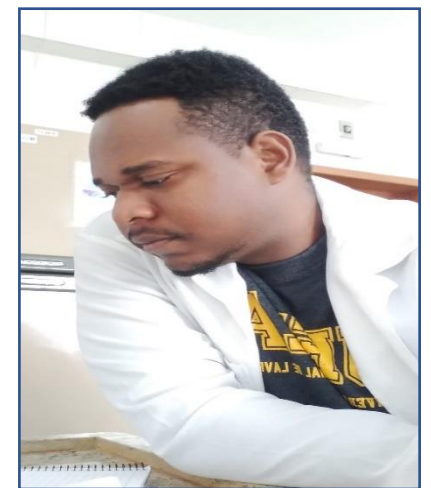
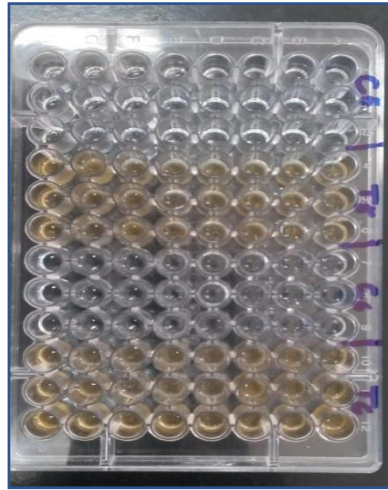
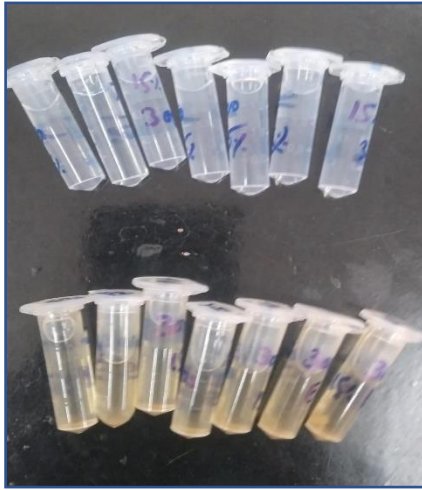
1. Análises químicas do resíduo de café – Processo de carbonização hidrotermal



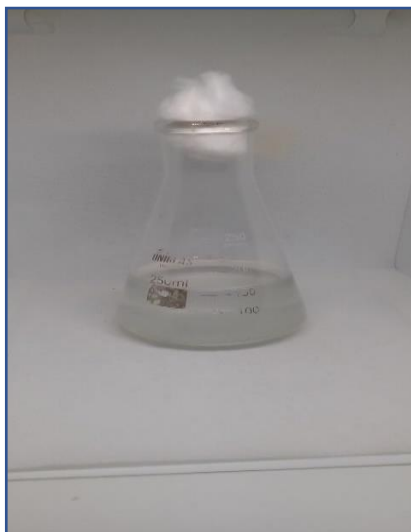
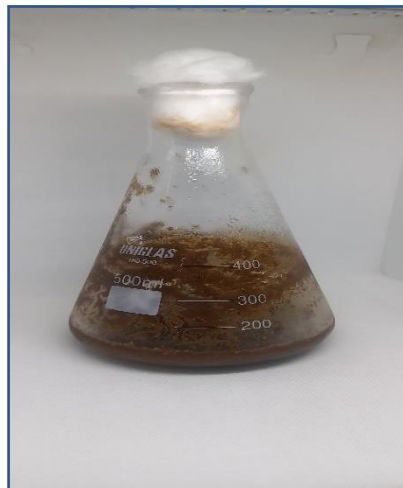
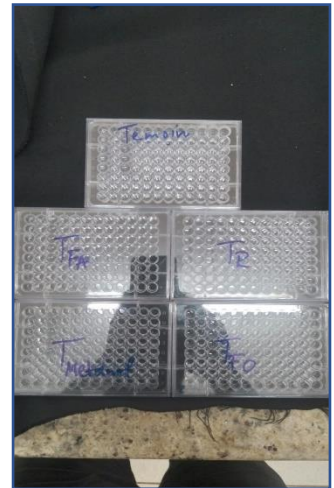
2. Teste in vitro I: Avaliação do efeito do extrato resíduo na eclosão de J2 de *Meloidogyne incognita* (Montagem do experimento)



2.1. Avaliação



3. Teste in vitro II: Avaliação do efeito dos extratos de resíduo na mortalidade de J2 de *Meloidogyne incognita* (Montagem e avaliação do experimento)



4. Experimento in vivo





5. Densidade e o pH

