



UNIVERSIDADE
ESTADUAL de LONDRINA

GABRIELA FERREIRA BATISTA

**HERANÇA DA RESISTÊNCIA AO NEMATOIDE *Meloidogyne*
paranaensis EM CAFEEIRO ARÁBICO SILVESTRE DA
ETIÓPIA**

GABRIELA FERREIRA BATISTA

**HERANÇA DA RESISTÊNCIA AO NEMATOIDE *Meloidogyne*
paranaensis EM CAFEIEIRO ARÁBICO SILVESTRE DA
ETIÓPIA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Hiroshi Sera.

Londrina
2026

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Batista, Gabriela .

HERANÇA DA RESISTÊNCIA AO NEMATOIDE *Meloidogyne paranaensis* EM CAFEEIRO ARÁBICO SILVESTRE DA ETIÓPIA / Gabriela Batista. - Londrina, 2026.
51 f.

Orientador: Gustavo Sera. Coorientador: Luciana Shigueoka.

Dissertação (Mestrado Profissional em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2026.
Inclui bibliografia.

1. HERANÇA DA RESISTÊNCIA AO NEMATOIDE
2. *Meloidogyne paranaensis* EM CAFEEIRO ARÁBICO SILVESTRE DA ETIÓPIA - Dissertação. I. Sera, Gustavo. II. Shigueoka, Luciana . III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 63

GABRIELA FERREIRA BATISTA

HERANÇA DA RESISTÊNCIA AO NEMATÓIDE *Meloidogyne paranaensis* EM CAFEEIRO ARÁBICO SILVESTRE DA ETIÓPIA

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Orientador Dr. Gustavo Hiroshi Sera
Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná –
IAPAR-EMATER (IDR-Paraná)

Dra. Karla Bianca de Almeida Lopes Torres
Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná –
IAPAR-EMATER (IDR-Paraná)

Dra. Juliana Costa de Rezende Abrahão
Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas
Gerais- EPAMIG

Londrina, 06 de fevereiro de 2026

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser minha fortaleza, guia e sustento em todos os momentos desta caminhada, pela graça derramada e pelas bênçãos concedidas.

À minha família, que mesmo distante sempre se fez presente, meu pai, minha mãe, minha avó e meu noivo pelo amor, apoio e incentivo constantes. Vocês são meu alicerce e a razão pela qual sigo firme nesta trajetória.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Gustavo Hiroshi Sera, pela orientação atenciosa, pela confiança depositada e por compartilhar seus amplos conhecimentos e experiências, demonstrando dedicação e paciência ao longo de todo o trabalho.

Aos professores e membros da banca avaliadora, pelas contribuições valiosas, que colaboraram para o aprimoramento deste trabalho.

A todos os docentes do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina - UEL, pelos ensinamentos transmitidos, pelo apoio acadêmico e pelas reflexões que enriqueceram minha formação.

À Dra. Ana Tiburcia, coordenadora do curso de Agronomia da Universidade Federal do Amazonas - UFAM, pelo incentivo constante e pelo apoio ao longo da minha trajetória acadêmica, e ao Dr. Magno Sávio Valente, do Instituto Federal do Amazonas - IFAM, pela valiosa colaboração, pelas contribuições técnicas e científicas e por compartilhar seu conhecimento em melhoramento genético.

Aos amigos, colegas e funcionários do Laboratório de Melhoramento Genético de Café, pela convivência, parceria e apoio, que tornaram a jornada acadêmica mais leve e significativa.

Às minhas amigas Ana Carolina Luz, Camilly Pires, Poliana Catarino, Gabriela Fuzinato, Debora Santos e Lacilene Melo pela amizade sincera, pelo apoio constante e por serem meu suporte nos momentos fora e dentro dos estudos.

À Universidade Estadual de Londrina - UEL e ao Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - IAPAR-EMATER (IDR-Paraná), pela infraestrutura e pelas condições oferecidas para a realização deste estudo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo apoio financeiro, fundamental para a execução desta pesquisa.

*Grandes conquistas florescem dos
pequenos esforços de cada dia,
sustentadas pela fé que vence o
medo e pela determinação que
supera as dificuldades.*

(Gabriela Ferreira)

RESUMO

BATISTA, Gabriela Ferreira. **Herança da resistência ao nematoide *Meloidogyne paranaensis* em cafeeiro arábico silvestre da Etiópia**. 2026. 48 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Área de Concentração em Melhoramento Genético de *Coffea arabica*) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2026.

A produção de café no Brasil é afetada significativamente pelo fitonematoide *Meloidogyne paranaensis*, que compromete o sistema radicular, reduz a absorção de água e nutrientes e pode causar perdas significativas na produtividade. O controle genético por meio de cultivares resistentes é uma estratégia eficaz em áreas infestadas. Em programas de melhoramento genético, é essencial compreender o número de genes e as interações alélicas e gênicas envolvidas na herança de uma determinada característica. Esse conhecimento pode ser obtido por meio de estudos de herança, os quais são fundamentais para a escolha de métodos e estratégias de melhoramento adequados para o desenvolvimento de novas cultivares. No entanto, não existem estudos de herança da resistência a *M. paranaensis*. O objetivo deste estudo foi determinar o número de genes e o tipo de interação alélica ou gênica envolvida na alta resistência a *M. paranaensis* de um acesso de *Coffea arabica* da Etiópia. Foram utilizados o acesso silvestre da Etiópia E464 (P₁, resistente) e a cultivar IPR 104 (P₂, suscetível). A partir desses genitores, foram obtidas as gerações F₁ (P₁ × P₂), F₂ (F₁ × F₁) e os retrocruzamentos RC₁ (F₁ × P₁) e RC₂ (F₁ × P₂). As cultivares Mundo Novo IAC 376-4 e IPR 106 foram incluídas como controles suscetível e resistente, respectivamente. O experimento foi conduzido em casa de vegetação no IDR-Paraná (Londrina, PR, Brasil), utilizando mudas inoculadas com 1.000 indivíduos de nematoides. A avaliação da população final de nematoides foi 120 dias após a inoculação. Foi calculado o fator de reprodução e o nível de resistência de cada planta foi obtido pela redução do fator de reprodução. O estudo de herança foi focado na alta resistência do tipo qualitativa do acesso etíope E464. Foram testadas as hipóteses de que essa resistência seja controlada por: i) um gene com interação alélica de dominância completa; ii) um gene com interação alélica de dominância incompleta; e iii) dois genes dominantes com interação gênica do tipo epistasia recessiva dupla. Para cada hipótese foi utilizada a proporção esperada de plantas das classes fenotípicas para calcular a frequência esperada das gerações F₁, F₂, RC₁ e RC₂. Os dados obtidos foram analisados por meio do teste de qui-quadrado (χ^2) para avaliar os padrões de herança da resistência nas gerações F₁, F₂, RC₁ e RC₂, considerando diferentes hipóteses genéticas de dominância e interação alélica. As análises revelaram que a resistência é controlada por um único gene, apresentando dominância completa. Com esse resultado os programas de melhoramento poderão traçar estratégias mais precisas para o desenvolvimento

de cultivares de café arábica com alta resistência a *M. paranaensis*.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, herança genética, nematoide das galhas.

ABSTRACT

BATISTA, Gabriela Ferreira. *Inheritance of resistance to the nematode Meloidogyne paranaensis in wild Ethiopian Arabica coffee*. 2026. 48 f. Dissertation (Master's degree in Agronomy, Concentration Area: Genetic Improvement of *Coffea arabica*) - State University of Londrina, Londrina, 2026.

Coffee production in Brazil is significantly affected by the plant-parasitic nematode *Meloidogyne paranaensis*, which compromises the root system, reduces water and nutrient uptake, and may cause substantial yield losses. Genetic control through resistant cultivars is an effective strategy in infested areas. In genetic breeding programs, it is essential to understand the number of genes and the allelic and genic interactions involved in the inheritance of a given trait. This knowledge can be obtained through inheritance studies, which are fundamental for selecting appropriate breeding methods and strategies for the development of new cultivars. However, there are no inheritance studies addressing resistance to *M. paranaensis*. The objective of this study was to determine the number of genes and the type of allelic or genic interaction involved in the high resistance to *M. paranaensis* of a *Coffea arabica* accession from Ethiopia. The wild Ethiopian accession E464 (P_1 , resistant) and the cultivar IPR 104 (P_2 , susceptible) were used as parents. From these parents, the F_1 ($P_1 \times P_2$), F_2 ($F_1 \times F_1$), and backcross generations BC_1 ($F_1 \times P_1$) and BC_2 ($F_1 \times P_2$) were obtained. The cultivars Mundo Novo IAC 376-4 and IPR 106 were included as susceptible and resistant controls, respectively. The experiment was conducted in a greenhouse at IDR-Paraná (Londrina, PR, Brazil), using seedlings inoculated with 1,000 nematode individuals. The final nematode population was evaluated 120 days after inoculation. The reproduction factor was calculated, and the resistance level of each plant was obtained based on the reduction in the reproduction factor. The inheritance study focused on the qualitative high resistance of the Ethiopian accession E464. The hypotheses tested were that this resistance is controlled by: (i) a single gene with complete dominance; (ii) a single gene with incomplete dominance; and (iii) two dominant genes with recessive double epistasis. For each hypothesis, the expected proportion of plants in the phenotypic classes was used to calculate the expected frequencies of the F_1 , F_2 , BC_1 , and BC_2 generations. The chi-square test (χ^2) was applied to determine whether the observed frequency of each phenotypic class differed from the expected frequency. The data were analyzed using the chi-square test (χ^2) to evaluate the inheritance patterns of resistance in the F_1 , F_2 , BC_1 , and BC_2 generations, considering different genetic hypotheses of dominance and allelic interaction. The analyses revealed that resistance is controlled by a single gene exhibiting complete dominance. With this

result, breeding programs will be able to develop more precise strategies for the development of Arabica coffee cultivars with high resistance to *M. paranaensis*.

Keywords: *Coffea*, genetic breeding, root-knot nematode.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1	CAFÉ	13
2.2	NEMATOIDES NA CULTURA DE CAFÉ	14
2.2.1	<i>Meloidogyne paranaensis</i>	16
2.2.2	<i>Perdas e Danos na Cultura do Café</i>	17
2.2.3	<i>Medidas de Controle do Meloidogyne paranaensis</i>	18
2.3	MECANISMO DE RESISTÊNCIA AOS NEMATOIDES DO CAFEEIRO	21
2.4	ESTUDOS DE HERANÇA EM CAFÉ	23
3	ARTIGO A: HERANÇA DA RESISTÊNCIA AO NEMATOIDE <i>MELOIDOGYNE PARANAENSIS</i> EM CAFEEIRO ARÁBICO SILVESTRE DA ETIOPIA.	25
4	ARTICLE A: INHERITANCE OF RESISTANCE TO THE NEMATODE <i>MELOIDOGYNE PARANAENSIS</i> IN WILD ETHIOPIAN ARABICA COFFEE	26
4.1	INTRODUÇÃO	27
4.2	MATERIAL E MÉTODOS	28
4.2.1	<i>Material Vegetal</i>	28
4.2.2	<i>Condução do Experimento em Casa de Vegetação</i>	29
4.2.3	<i>Inóculo de Meloidogyne paranaensis</i>	30
4.2.4	<i>Avaliação de Resistência</i>	30
4.2.5	<i>Análises estatísticas</i>	31
4.3	<i>RESULTADOS E DISCUSSÃO</i>	32
5	CONCLUSÃO	37
6	REFERÊNCIAS DO ARTIGO A	38
7	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

O Brasil se mantém como o principal produtor e exportador de café no mundo, ocupando posição estratégica no mercado internacional. O aumento do consumo da bebida ao longo dos anos, aliado às exigências por maior qualidade e sustentabilidade, tem intensificado os desafios enfrentados pela cafeicultura. Entre esses desafios, destacam-se os problemas fitossanitários e as variações climáticas, que afetam diretamente o desenvolvimento das plantas e a produtividade das lavouras. Dentre os fatores que limitam a produção, os nematoides fitoparasitas representam um dos principais entraves à cafeicultura.

Os nematoides do gênero *Meloidogyne* causam danos severos ao sistema radicular, comprometendo a absorção de água e nutrientes e reduzindo o vigor das plantas. Espécies como *M. incognita* e *M. paranaensis* são consideradas altamente agressivas e podem tornar áreas de cultivo economicamente inviáveis, enquanto *M. exigua* apresenta ampla distribuição nas regiões cafeeiras do Brasil. A presença desses patógenos resulta em perdas significativas de produtividade e aumento dos custos de produção. O manejo de nematoides é complexo e exige a integração de diferentes estratégias, incluindo práticas culturais, controle químico, biológico e genético.

Entre essas alternativas, o uso de cultivares resistentes se destaca por ser uma abordagem mais eficiente e sustentável, uma vez que o controle genético é mais eficiente que os controles químico e biológico, além de reduzir a necessidade de defensivos químicos e contribuir para a longevidade das lavouras. No entanto, são poucas as opções de cultivares de *C. arabica* com resistência a *M. paranaensis*, sendo IPR 100 a cultivar mais plantada atualmente. Além das cultivares de *C. arabica*, também existe a opção do uso de cultivares porta-enxerto de *C. canephora* como Apoatã IAC 2258 e IAC Herculândia.

No passado, as principais fontes de resistência disponíveis para serem utilizadas pelos programas de melhoramento genético eram *C. canephora* e cafeeiros arábicos com introgressão de *C. canephora* como o Icatu IAC 925 e com introgressão de *C. liberica* como o BA-10. Recentemente, foi descoberto que os acessos silvestres de *C. arabica* da Etiópia possuem alta variabilidade genética para resistência a *M. paranaensis*. Além disso, esses acessos apresentam resistência a *M. incognita* e *M. exigua*, bem como resistência a outros fatores bióticos e a estresses abióticos, além de possuírem outras características agronômicas desejáveis. Portanto, os acessos silvestres da Etiópia possuem potencial de serem utilizados nos programas de melhoramento visando o desenvolvimento de novas cultivares com resistência a *M. paranaensis*.

No melhoramento genético do cafeeiro, os estudos de herança genética auxiliam na escolha dos genitores e dos métodos de melhoramento, bem como na definição do número mínimo de plantas por progênie em cada geração de autofecundação e na seleção de plantas ao longo dessas gerações.

Para os nematoides do cafeeiro, existem estudos apenas sobre a herança da resistência a *M. exigua*, nos quais foi identificada a presença de um gene de efeito principal, denominado *Mex-1*, que apresenta interação alélica do tipo dominância incompleta. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a herança genética da resistência a *M. paranaensis* em um cafeeiro arábico silvestre da Etiópia.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CAFÉ

A produção de café ocupa uma alta posição no cenário agrícola brasileiro, tanto pela sua relevância econômica quanto pelos impactos sociais associados à atividade ao longo do tempo. A consolidação do Brasil como principal produtor mundial ocorreu de forma gradual, mantendo essa condição por mais de 150 anos. Registros históricos indicam que, já em 1850, o país concentrava aproximadamente 40% da produção mundial de café, evidenciando sua importância no abastecimento do mercado internacional (USDA, 2025).

As condições naturais do território brasileiro favorecem amplamente o cultivo do cafeeiro. A ocorrência de diferentes ambientes de produção, resultantes da variação climática e das características de relevo, permite a exploração comercial de mais de uma espécie de *Coffea*. Nesse contexto, a maior parte da área cultivada é ocupada por *Coffea arabica*, com cerca de 1,84 milhão de hectares, enquanto *Coffea canephora* responde por aproximadamente 409,7 mil hectares (CONAB, 2025).

O desempenho do café brasileiro no mercado externo tem sido expressivo nos últimos anos. Em 2024, as exportações atingiram 50,5 milhões de sacas de 60 kg, o maior volume já registrado, com crescimento de 28,8% em relação a 2023. No mesmo período, a receita gerada alcançou US\$ 12,3 bilhões, resultado atribuído principalmente à elevação da demanda internacional, à valorização cambial e ao desequilíbrio entre oferta e demanda no mercado global (CONAB, 2025).

Além disso, para o ano-capeicultor de 2025, o Valor Bruto da Produção (VBP) do café no Brasil foi estimado em aproximadamente R\$ 114,86 bilhões, representando um aumento expressivo em relação ao ano anterior e consolidando o café como uma das principais cadeias de valor da agricultura brasileira. Esse montante coloca o café na quarta posição entre as lavouras brasileiras em termos de VBP, atrás da soja (cerca de R\$ 350 bilhões), milho (aproximadamente R\$ 128 bilhões) e cana-de-açúcar (em torno de R\$ 113 bilhões) na safra 2025 (Brasil, 2025).

As estimativas para a safra de 2025 indicaram produtividade média nacional de 28 sacas por hectare, valor 3% inferior ao observado na safra anterior. O café arábica representa cerca de 82% da área total cultivada, com produtividade estimada em 23,4 sacas por hectare. Já o café Conilon apresenta expectativa de produtividade de 46,3 sacas por hectare. A produção nacional concentra-se, principalmente, nos estados de Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Rondônia, Paraná, Rio de Janeiro, Mato Grosso e Goiás (CONAB, 2025).

O setor tem se modernizado continuamente, adotando tecnologias avançadas de cultivo, colheita e processamento, com o objetivo de aumentar a produtividade, a qualidade dos grãos e a sustentabilidade ambiental. Há também um crescente interesse por cafés especiais e orgânicos, atendendo à demanda global por produtos de alta qualidade e sustentáveis. Dessa forma, o café não apenas moldou a economia e a cultura brasileiras, mas permanece como um elemento estratégico, adaptando-se às novas exigências do mercado global e promovendo o desenvolvimento sustentável do país.

O café arábica (*Coffea arabica* L.) é a principal espécie de café cultivada globalmente, tendo sua origem nas regiões montanhosas e de clima ameno da Etiópia. Esta espécie, um alotetraploide natural, é o resultado de um cruzamento espontâneo entre as espécies silvestres diploides *Coffea eugenioides* S. Moore e *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner, conforme detalhado por Lashermes *et al.* (1999, 2008). É estimado que esse cruzamento espontâneo tenha ocorrido cerca de 350.000 e 610.000 anos atrás (Salojärvi *et al.*, 2024).

C. arabica é caracterizada por apresentar apenas um caule ortotrópico, o que difere da característica multicaule observada em *C. canephora* (Villain *et al.*, 2018). A espécie apresenta 90% ou mais de seus grãos sendo formados por autofecundação (autogamia). A polinização cruzada (alogamia), que responde pelos 10% remanescentes, é facilitada pela gravidade, vento e, principalmente, por insetos como as abelhas (Medina Filho; Bordignon, 2007; Fazuoli *et al.*, 1991, 2000).

Embora a propagação comercial por sementes assegure a estabilidade e manutenção das características agronômicas desejadas, esta prática, combinada à origem da espécie, resulta em uma base genética restrita e pouca variabilidade nas cultivares comerciais (Ferrão *et al.*, 2021). Essa homogeneidade genética aumenta a suscetibilidade da espécie a novas pragas, dentre elas umas das que se destaca é a ocorrência de nematoides.

2.2 NEMATOIDES NA CULTURA DE CAFÉ

Os nematoides constituem um grupo expressivo dentro do reino animal, amplamente distribuído nos ecossistemas agrícolas e naturais. Esses organismos apresentam elevada diversidade morfológica e funcional, característica que lhes confere notável capacidade adaptativa (Subbotin; Palomares-Rius; Castillo, 2021). Segundo Campos, Pinho e Freitas (2010), os nematoides possuem corpo alongado e delgado, revestido por cutícula flexível, estrutura que lhes permite movimentar-se entre as partículas do solo e explorar diferentes nichos ecológicos. Nos agroecossistemas, incluem tanto espécies de vida livre, que atuam na

decomposição da matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes, quantas espécies fitoparasitas, capazes de estabelecer complexas relações de parasitismo com as plantas hospedeiras. Entre estas, destacam-se aquelas pertencentes ao gênero *Meloidogyne*, reconhecidas pela ampla distribuição geográfica, diversidade de hospedeiros e severidade dos danos provocados às culturas de importância econômica, como o cafeeiro (Jones *et al.*, 2013).

Os primeiros registros da presença de nematoides associados ao cafeeiro datam de 1878, quando Joubert observou sintomas compatíveis com o parasitismo radicular. Alguns anos depois, em 1887, Goeldi investigou essa ocorrência e descreveu o agente responsável, nomeando-o como *Meloidogyne exigua* e definindo o gênero *Meloidogyne*. O termo tem origem no grego, unindo *melon* (maçã), *oid* (semelhante) e *gyne* (fêmea), em referência à forma das galhas produzidas pelo parasita (Tihohod, 1993).

Atualmente, o gênero *Meloidogyne* reúne cerca de 100 espécies descritas, das quais 18 estão associadas ao cafeeiro como parasitas. Entre elas, destacam-se *M. exigua*, *M. paranaensis* e *M. incognita*, consideradas as mais amplamente distribuídas e prejudiciais à cultura. Outras espécies apresentam ocorrência mais restrita e menor impacto, enquanto algumas foram equivocadamente citadas como parasitas do café (Carneiro; Cofcewicz, 2008; Carneiro; Santos, 2022; Le *et al.*, 2019; Trinh *et al.*, 2019; Villain *et al.*, 2018).

Entre os nematoides associados ao cafeeiro no Brasil, *M. exigua* é a espécie mais frequentemente registrada e apresenta ampla distribuição em diferentes regiões produtoras, incluindo os estados de Minas Gerais, Paraná, Espírito Santo e Bahia (Santos, 1997; Portz *et al.*, 2006; Gonçalves *et al.*, 2004). No entanto, *M. exigua* é uma espécie menos agressiva do que *M. paranaensis* e *M. incognita*, as quais podem provocar a redução drástica da produtividade em poucos anos ou até mesmo a morte das plantas (Gonçalves *et al.*, 2004; Sera *et al.*, 2020).

Essas espécies diferem quanto ao número de raças descritas, sendo relatadas duas raças para *M. exigua*, quatro para *M. incognita* e apenas uma para *M. paranaensis* (Gonçalves; Silvarolla, 2007).

A distribuição dessas espécies não é uniforme entre as regiões produtoras, variando de acordo com o estado. No Paraná, por exemplo, estudos indicam maior ocorrência de *M. paranaensis*, que representa cerca de 70% dos registros, enquanto *M. incognita* corresponde a aproximadamente 30% (Carneiro; Almeida, 2000). Apesar da predominância de *M. paranaensis* nesse estado (Carneiro; Almeida, 2000; Krzyzanowski *et al.*, 2001), as raças 1 e 2 de *M. incognita* também são frequentemente observadas (Carneiro *et al.*, 1990; Krzyzanowski *et al.*, 2001).

Em São Paulo, o cenário é diferente. Nas áreas de solos areníticos, *M. incognita* é a espécie predominante, com maior frequência da raça 1 (Monteiro *et al.*, 1995; Oliveira *et al.*, 2001), embora a presença de *M. paranaensis* também tenha sido registrada em diferentes localidades (Carneiro *et al.*, 2005; Lordello; Lordello, 2001; Gonçalves; Silvarolla, 2007).

Em Minas Gerais, estudos recentes indicam a ocorrência de diferentes espécies de nematoides-das-galhas associadas à cultura do café, com destaque para *M. exigua*, *M. paranaensis*, *M. incognita* e *M. arenaria*. Entre essas, *M. exigua* é a espécie mais frequente nas áreas cafeeiras do estado, enquanto *M. paranaensis* e *M. incognita* apresentam menor ocorrência, porém maior potencial de danos à cultura. Também foi registrada a presença de populações mistas, principalmente envolvendo *M. exigua* e *M. paranaensis*, enquanto *M. arenaria* ocorreu de forma pontual. Esses resultados reforçam a relevância fitossanitária de *M. paranaensis* e *M. incognita* para a cafeicultura mineira, especialmente em função de sua maior agressividade ao cafeeiro (Babilônia *et al.*, 2024). Recentemente, também foi identificada a espécie *M. izalcoensis* causando perdas econômicas nas lavouras de café em Minas Gerais (Almeida *et al.*, 2022)

2.2.1 *Meloidogyne paranaensis*

O reconhecimento de *Meloidogyne paranaensis* como uma nova espécie ocorreu em decorrência de sua alta agressividade e dos danos observados nas lavouras de café. Inicialmente, uma população com essas características foi identificada por Carneiro (1993) e considerada apenas uma variante de *Meloidogyne incognita*. No entanto, análises mais detalhadas de suas diferenças morfológicas e biológicas levaram à sua descrição como uma nova espécie, *Meloidogyne paranaensis*, por Carneiro *et al.* (1996). Desde sua formalização, a espécie se estabeleceu como um fitonematoide das galhas de grande importância no Brasil, com ampla distribuição em áreas cafeeiras e causando danos significativos às lavouras. Estudos recentes continuam a confirmar que *M. paranaensis* representa uma ameaça relevante para a produção de café nos principais estados produtores (Sera *et al.*, 2007)

A capacidade de causar danos severos está ligada ao seu ciclo de vida. Como nematoide formador de galhas, *M. paranaensis* tem a habilidade de induzir alterações fisiológicas nas raízes de suas plantas hospedeiras. O ciclo se inicia quando os juvenis de segundo estágio (J2) penetram nas raízes do cafeeiro, onde se estabelecem e estimulam a formação de células gigantes. Essas células hipertrofiadas, que dão origem às galhas, funcionam como sítios especializados para a alimentação e reprodução do nematoide. As fêmeas, por sua vez,

produzem massas de ovos que liberam novos juvenis capazes de infestar novamente as raízes próximas. Esse ciclo contínuo compromete severamente o sistema radicular, o que reduz a absorção de água e nutrientes e, conseqüentemente, resulta em perdas significativas de vigor e produtividade nas lavouras (Oliveira *et al.*, 2023).

Com um ciclo de vida que dura entre 25 e 30 dias a uma temperatura de 26 °C, *M. paranaensis* pode causar uma redução de até 50% na produção de grãos. Em casos de infestações severas, a espécie pode levar à morte do cafeeiro em um período de dois a três anos (Ferraz; Lordello, 1982). É importante ressaltar que sua adaptação a temperaturas mais baixas e a grandes profundidades no solo, em conjunto com sua agressividade, faz com que a espécie se torne uma ameaça ainda maior para a cafeicultura, superando o impacto de *M. exigua* e *M. incognita* em regiões onde as temperaturas são mais amenas (Gonçalves *et al.*, 2004).

2.2.2 Perdas e Danos na Cultura do Café

A presença de *fitonematoides* nas lavouras cafeeiras está entre os principais fatores que comprometem a produtividade e a longevidade das plantas. Diferentes espécies de *Meloidogyne* apresentam mecanismos de patogenicidade distintos, resultando em variações nos sintomas e no nível de perdas. *M. exigua* forma numerosas galhas nas raízes, abrigando fêmeas com massas de ovos, mas raramente causa desorganização intensa do tecido cortical ou sintomas evidentes na parte aérea, como murcha ou enfezamento. Em contraste, *M. paranaensis* compromete principalmente a raiz pivotante, ocasionando rachaduras, descortiçamentos e necroses, o que se reflete na parte aérea em cloroses, queda precoce de folhas, redução no crescimento e, em casos severos, morte da planta. Já *M. incognita* apresenta elevada capacidade destrutiva do sistema radicular, promovendo deformações, engrossamentos e necroses, além do aparecimento de galhas, resultando em cloroses e desfolhas, especialmente em condições de estresse hídrico (Kimati, 2005; Souza, 2000).

Os prejuízos decorrentes da suscetibilidade das cultivares a esses nematoides são expressivos. Estudos demonstraram que a cultivar Mundo Novo, quando enxertada em porta-enxertos resistentes, apresentou ganhos de produtividade de 37% em áreas infestadas por *M. exigua*, 442% na presença de *M. incognita* e 590% em condições de infestação por *M. paranaensis*. Esses resultados indicam que *M. exigua* apresenta menor agressividade, enquanto *M. incognita* e, principalmente, *M. paranaensis* estão associadas às maiores perdas produtivas (Gonçalves; Silvarolla, 2007).

Em condições de elevada infestação, os efeitos dos nematoides refletem diretamente no crescimento e na longevidade das plantas de café. Avaliações conduzidas em São Jorge do Patrocínio, no estado do Paraná, demonstraram que, após cinco ciclos produtivos, a cultivar suscetível Catuaí Vermelho IAC 81 apresentou queda expressiva de produtividade, menor vigor vegetativo e mortalidade de plantas próxima a 45% enquanto, as cultivares IPR 100 e IPR 106, classificadas como resistentes, mantiveram melhor desempenho agrônomo ao longo das safras, com maior vigor e menores taxas de mortalidade (Sera *et al.*, 2020b).

2.2.3 Medidas de Controle do *Meloidogyne paranaensis*

O controle de nematoides na cafeicultura é considerado desafiador, uma vez que a erradicação completa se torna inviável após o estabelecimento do patógeno na área. Nesse contexto, as medidas preventivas assumem papel central no manejo integrado, sendo recomendada a utilização de mudas saudáveis, a higienização de máquinas e implementos agrícolas e o monitoramento constante de áreas livres de nematoides, já que as mudas constituem o principal veículo de disseminação a longas distâncias (Kimati, 2005).

Em áreas infestadas, o manejo deve integrar diferentes estratégias culturais, químicas, biológicas e genéticas. Entre as medidas culturais, destaca-se a utilização de culturas não hospedeiras no período anterior à instalação da lavoura, prática que reduz a população inicial de nematoides. Ensaios demonstraram que a cultivar de aveia branca IPR Afrodite apresentou elevada resistência a diferentes espécies de *Meloidogyne* (*M. incognita*, *M. javanica*, *M. paranaensis* e *M. enterolobii*), enquanto espécies como crotalária, milho, leucena e mucuna-preta também proporcionaram reduções significativas no fator de reprodução, próximo a zero (Riede *et al.*, 2015).

O controle químico, apesar das restrições ambientais e toxicológicas, ainda é empregado em áreas de elevada pressão de inóculo. Substâncias como fluopiram e fluensulfona demonstraram elevada eficácia, com reduções populacionais de até 95% para *M. paranaensis* (Arita; Silva e Machado, 2020). Resultados promissores também foram registrados para *M. exigua* em condições de campo (Corte *et al.*, 2015). No Brasil, estão disponíveis produtos como Counter 150 G (organofosforado, eficaz contra *M. exigua* e *M. incognita*), Rugby 200 CS (organofosforado, para *M. incognita*), Nimitz EC (fluensulfona, para *M. exigua* e *M. paranaensis*) e Verango Prime SC (benzamida, para *M. exigua*), cujo uso exige cautela em razão do impacto ambiental e dos riscos à saúde humana (Brasil, 2020).

O mercado de produtos microbiológicos também vem crescendo no Brasil, e tais ferramentas representam alternativas complementares no manejo integrado de *fitonematoides* do cafeeiro. Esses insumos são, em sua maioria, formulados à base de bactérias e fungos. Entre as bactérias, espécies do gênero *Bacillus* têm se destacado, como *B. subtilis*, *B. methylotrophicus*, *B. licheniformis* e *B. amyloliquefaciens*. Entre os fungos mais comuns em produtos comerciais estão *Purpureocillium lilacinum* (*Paecilomyces lilacinus*), *Pochonia chlamydosporia* e espécies de *Trichoderma* (Arpini *et al.*, 2018). Atualmente, há cerca de 87 produtos microbiológicos registrados para o controle de nematoides-das-galhas, aplicados geralmente via solo em lavouras já implantadas ou no sulco de plantio. Contudo, a eficiência desses produtos para o cafeeiro ainda é variável, o que limita sua adoção em larga escala.

Por fim, o controle genético se destaca como uma das ferramentas mais eficientes e sustentáveis, especialmente em função da natureza perene do cafeeiro, que reduz a eficácia de métodos químicos e biológicos. O uso de cultivares resistentes a espécies de *Meloidogyne* é, portanto, fundamental para a estabilidade da produção (Albuquerque *et al.*, 2010; Villain *et al.*, 2010). Já existem cultivares de café com diferentes níveis de resistência a espécies de *Meloidogyne*, embora o número ainda seja limitado frente à diversidade do patógeno. Entretanto, as opções resistentes a *M. paranaensis* ou com resistência múltipla ainda são escassas, e relatos de superação da resistência em campo não são incomuns, evidenciando a alta capacidade adaptativa das populações de *Meloidogyne spp.* (Shigueoka *et al.*, 2022). Nesse cenário, a busca contínua por novas fontes de resistência genética permanece essencial para o sucesso do manejo integrado.

RESISTÊNCIA À *M. exigua*, *M. incognita* e *M. Paranaensis*.

A resistência de *Coffea spp.* aos nematoides do gênero *Meloidogyne* tem sido amplamente estudada, com destaque para *M. exigua*, *M. incognita* e *M. paranaensis*. Para *M. exigua*, foi identificado um gene maior de resistência denominado *Mex-1*, caracterizado por dominância incompleta (Alpizar *et al.*, 2007; Noir *et al.* 2003). No caso de *M. incognita*, análises em híbridos F₁ e populações F₂ revelaram a presença de um gene dominante em alguns cruzamentos e de dois genes dominantes complementares em outros. Nessas populações, a dominância também se mostrou incompleta, com maior formação de massas de ovos nos híbridos F₁ (Anzueto *et al.*, 2001). Até o momento, não há relatos sobre o padrão de herança da resistência a *M. paranaensis* na cultura do café.

Diversas espécies silvestres de *Coffea* foram identificadas como fontes de resistência, principalmente contra *M. exigua*, incluindo *C. canephora*, *C. congensis*, *C. dewevrei*, *C. liberica*, *C. racemosa*, *C. kapakata*, *C. eugenoides*, *C. salvatrix*, *C. stenophylla* e *C. sessiliflora* (Anthony *et al.*, 2003; Curi *et al.*, 1970; Fazuoli; Lordello, 1977, 1978; Gonçalves *et al.*, 1992). *C. canephora* também é uma fonte de resistência a *M. incognita* (Carneiro; Altéia, 1992; Gonçalves, Lima e Fazuoli, 1988; Sera *et al.*, 2006; Tomazini *et al.*, 2005) e *M. paranaensis* (Sera *et al.*, 2006).

Uma das principais fontes de resistência a *M. paranaensis* são os acessos silvestres de café provenientes da Etiópia (Fatobene *et al.*, 2017; Holderbaum *et al.*, 2020), que apresentam não apenas resistência a esse nematoide, mas também elevada diversidade genética em comparação às variedades comerciais (Silvestrini *et al.*, 2007). Esses acessos têm se mostrado importantes fontes de variabilidade para resistência a *M. incognita* (Anzueto *et al.*, 2001; Fatobene *et al.*, 2017), *M. exigua* (Fatobene *et al.*, 2017), mancha-aureolada e mancha-bacteriana (Mohan *et al.*, 1978; Rodrigues *et al.*, 2023), *Coffee Berry Disease* (Van Der Vossen; Walyaro, 2009), além de apresentarem tolerância à seca (Queiroz-Voltan *et al.*, 2014), atributos relacionados à qualidade da bebida (Bertrand *et al.*, 2006), baixo teor de cafeína (Silvarolla *et al.*, 2004) e variação em compostos químicos (Scholz *et al.*, 2000).

As cultivares resistentes podem ser usadas por meio de porta-enxertos, nos quais são enxertados cafeeiros suscetíveis ou pelo uso de pés-franco sem a necessidade de enxertia. *C. canephora* cv. Apoatã IAC 2258 tem sido amplamente empregada como porta-enxerto, pois possui resistência a *M. exigua*, *M. incognita* e *M. paranaensis* (Salgado, Resende e Campos, 2005; Sera *et al.*, 2006; Gonçalves; Silvarolla, 2007; Andreazi *et al.*, 2015;). Outra cultivar de *C. canephora* lançada recentemente, denominada IAC Herculândia, também possui resistência à essas três espécies de nematoides (Guerreiro Filho *et al.*, 2023). Desde 1987, essa prática possibilitou a continuidade do cultivo em áreas infestadas (Fazuoli *et al.*, 2000). No entanto, apresenta limitações como segregação de 10 a 15% para suscetibilidade, devido à fecundação cruzada de *C. canephora*, risco de quebra na região da enxertia, maior necessidade de replantio e custo elevado das mudas enxertadas (Gonçalves; Silvarolla, 2007).

Avanços no melhoramento genético possibilitaram a transferência da resistência de *C. canephora* e *C. liberica* para *C. arabica*. Alguns cafeeiros arábicos com introgressão de *C. canephora* denominados Icatu e Híbrido de Timor (HdT), além de seus derivados, apresentaram alta resistência a *M. paranaensis* (Sera *et al.*, 2004; Gonçalves; Silvarolla 2007; Shigueoka *et al.*, 2016), *M. incognita* (Sera *et al.*, 2004) e *M. exigua* (Gonçalves; Pereira 1998, Silvarolla *et al.*, 1998). O genótipo BA-10 é um cafeeiro arábica com introgressão de *C. liberica*, e já foram

identificados derivados desse genótipo com alta resistência a *Meloidogyne paranaensis* (Sera *et al.*, 2017, 2020a) . *M. incognita* (Sera *et al.*, 2017) e *M. exigua* (Rezende *et al.*, 2017). O cafeeiro arábico puro Amphillo foi usado pelo programa de melhoramento da EPAMIG como fonte de resistência a *M. incognita* e *M. paranaensis* (Peres *et al.*, 2017).

Resistência intermediária a *M. paranaensis* foi encontrada em cafeeiros derivados do HdT (Muniz *et al.*, 2009; Holderbaum *et al.*, 2021; Sera *et al.*, 2021). Para *M. incognita* a resistência intermediária também foi encontrada em HdT UFV 408-28 (Albuquerque *et al.*, 2010), mas também foi identificada em Icatu IAC 3282 (Gonçalves; Ferraz, 1987).

Alta resistência a *M. exigua* já foi relatada para cultivares de *C. arabica* como Acauã, Acauãma, Acauã novo, Asabranca, Catucaí 785/15, IAC 125 RN, IAPAR 59, MGS Aranãs, MGS Catiguá 3 e Paraíso MG H419-1, todas com parentesco de HdT e Icatu (Carvalho *et al.*, 2022; Fazuoli *et al.*, 2018; Pereira; Baião, 2015). IPR 100 é a única cultivar de *C. arabica* com introgressão de *C. liberica* que possui resistência a *M. exigua* (Rezende *et al.*, 2017).

Alta resistência a *M. incognita* e *M. paranaensis* foi identificada somente nas cultivares de *C. arabica* IPR 100, IPR 106 (Sera *et al.*, 2017, 2020b), MGS Vereda e MGS Guaíçara (Peres *et al.*, 2017; Salgado *et al.*, 2022). A provável fonte de resistência dessas duas últimas é um cafeeiro arábico puro denominado *Amphillo* (Peres *et al.*, 2017).

Na fitopatologia, o termo raça é definido para designar variantes dentro de uma mesma espécie patogênica, que causam doença em algumas cultivares de uma espécie de hospedeiro, mas não em outras. Quando isso ocorre, existe a interação diferencial entre genótipos do hospedeiro e do patógeno (Camargo 2018). Essa interação foi identificada para genótipos das espécies *M. exigua* em cafeeiros arábicos derivados de HdT (Muniz *et al.*, 2009) e para *M. paranaensis* com genótipos de *C. arabica* e *C. canephora* (Shigueoka *et al.*, 2022), indicando a presença de raças fisiológicas nessas duas espécies de nematoides.

2.3 MECANISMO DE RESISTÊNCIA AOS NEMATOIDES DO CAFEEIRO

Os mecanismos de defesa das plantas contra nematoides do gênero *Meloidogyne* podem ser classificados como pré- e pós-infeccionais. Os mecanismos de pré-infecção restringem a penetração dos juvenis de segundo estágio (J2) por meio de barreiras físicas, como características morfológicas da raiz, ou químicas, como exsudatos radiculares que repelem ou não atraem o patógeno (Jatala; Russell, 1972; Huang, 1985). Já os mecanismos pós-infeccionais envolvem a ativação de respostas fisiológicas e moleculares que inibem a formação e o

funcionamento dos sítios de alimentação, retardando ou impedindo o desenvolvimento e a reprodução dos nematoides (Huang, 1985; Oliveira *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2013).

Dentre os principais mecanismos pós-infeccionais destacam-se a reação de hipersensibilidade (RH), o acúmulo de compostos fenólicos, a deposição de lignina, a produção de fitoalexinas e a maior atividade de enzimas oxidativas, como peroxidases, polifenoloxidasas e fenilalanina-amônia-liase (Giebel, 1982). A RH consiste em morte celular localizada, frequentemente observada ao redor dos J2 durante a migração ou após o estabelecimento dos sítios de alimentação, bloqueando o desenvolvimento do nematoide (Rodrigues *et al.*, 2000).

Estudos histológicos em cafeeiros resistentes mostram que essa resposta pode ocorrer desde a penetração inicial até o desenvolvimento das células gigantes, variando de acordo com a interação patógeno-hospedeiro (Albuquerque *et al.*, 2010; Anthony *et al.*, 2005; Lima *et al.*, 2013; Shigueoka *et al.*, 2019). No clone 14 de *Coffea canephora* var. *kouillou* foram relatados diversos mecanismos de resistência a *Meloidogyne paranaensis* e *Meloidogyne incognita* como um inicial, caracterizado por RH intensa durante a migração dos J2 nas células corticais, e outros mais tardios, envolvendo morte celular ao redor de fêmeas jovens e degeneração citoplasmática das células gigantes, comprometendo o estabelecimento e o desenvolvimento dos nematoides no sistema radicular (Carneiro *et al.*, 2011; Lima, 2015).

Estudos histopatológicos demonstram que múltiplos mecanismos de defesa podem atuar simultaneamente durante a interação planta-patógeno, variando quanto ao momento e à localização da resposta nos tecidos radiculares. Em *Coffea arabica* UFV 408-28, genótipo avaliado por Albuquerque *et al.*, (2010), a resistência a *Meloidogyne incognita* foi caracterizada pela ocorrência de uma RH nas fases iniciais da infecção, com morte celular localizada nas células corticais adjacentes ao sítio de penetração do nematoide, limitando sua migração e estabelecimento. Essa resposta foi associada a um nível de resistência moderado a intermediário, evidenciando a importância de mecanismos histológicos no controle do desenvolvimento do patógeno. A cultivar de *Coffea arabica* IPR 106 apresenta resistência ao nematoide *Meloidogyne paranaensis*, a qual está relacionada a mecanismos de defesa que atuam principalmente nas fases iniciais da infecção. Estudos histopatológicos indicam que, nesse genótipo, ocorre restrição da migração e do desenvolvimento do nematoide no sistema radicular, associada a respostas celulares localizadas nos tecidos da raiz. Essas respostas resultam em alterações na formação e no funcionamento das células gigantes, o que compromete a alimentação, o desenvolvimento e a reprodução do patógeno. Como consequência, observa-se redução do fator de reprodução do nematoide, confirmando o

potencial da cultivar IPR 106 como fonte de resistência genética para programas de melhoramento do cafeeiro (Shigueoka *et al.*, 2019).

2.4 ESTUDOS DE HERANÇA EM CAFÉ

Em programas de melhoramento genético, conhecer o número de genes envolvidos e as interações alélicas e gênicas que controlam caracteres de interesse é essencial para a definição de métodos de seleção e estratégias de cruzamento, permitindo o desenvolvimento de novas cultivares com características desejáveis (Ramalho; Santos; Pinto, 2008). Estudos de herança genética em *Coffea* spp. são relativamente escassos, principalmente devido ao longo ciclo biológico da planta e à necessidade de populações experimentais amplas, porém são indispensáveis para compreender a base genética de caracteres agrônômicos, como produtividade, resistência a pragas e doenças, adaptação ambiental e qualidade da bebida (Alves *et al.*, 2013; Fazuoli *et al.*, 2017).

Caracteres qualitativos já descritos incluem a cor das folhas jovens e dos frutos, controladas por um par de alelos com dominância incompleta (Krug; Carvalho, 1942), o porte da planta, controlado por um par de alelos com dominância completa (Carvalho *et al.*, 1984), resistência ao bicho-mineiro *Leucoptera coffeella*, governada por dois genes dominantes com interação do tipo epistasia recessiva dupla (*Lm1* e *Lm2*) (Guerreiro Filho *et al.*, 1999), e resistência a bacterioses causadas por *Pseudomonas* spp., controlada por genes dominantes ligados (Rodrigues *et al.*, 2023). Além disso, a resistência ao nematoide *Meloidogyne exigua* foi associada a um gene com dominância incompleta (Alpizar *et al.*, 2007; Noir *et al.*, 2003).

Conhecer a herança genética ajuda a planejar os cruzamentos e a seleção, além de permitir antecipar o comportamento das progênies para os caracteres avaliados. Caracteres controlados por poucos genes de efeito principal são importantes no melhoramento, pois permitem fixar alelos desejáveis mais rapidamente e facilitam a escolha de genitores promissores. Por outro lado, caracteres quantitativos, como produtividade e adaptação a condições ambientais adversas, exigem o conhecimento de interações gênicas complexas e de seu comportamento em diferentes ambientes. Dessa forma, estudos de herança genética contribuem para a eficiência na obtenção de cultivares adaptadas, resistentes e de qualidade, minimizando o tempo e os recursos necessários para a seleção (Alves *et al.*, 2013).

Além disso, a caracterização da herança genética é essencial para a conservação e utilização de recursos genéticos. Populações silvestres ou cultivares antigas podem apresentar alelos raros ou únicos que conferem resistência a pragas, doenças ou tolerância a estresses

abióticos. O estudo da transmissão desses alelos permite incorporá-los de maneira planejada em programas de cruzamento, ampliando a base genética das populações melhoradas e reduzindo o risco de erosão genética. Assim, o conhecimento da herança de caracteres agronômicos em *Coffea* sp. fornece subsídios teóricos e práticos que sustentam tanto a pesquisa fundamental quanto a aplicação direta em melhoramento, tornando-se uma etapa indispensável para o avanço sustentável da cafeicultura (Alves *et al.*, 2013; Ramalho; Santos; Pinto, 2008).

3 ARTIGO A: HERANÇA DA RESISTÊNCIA AO NEMATOIDE *MELOIDOGYNE PARANAENSIS* EM CAFEEIRO ARÁBICO SILVESTRE DA ETIOPIA.

RESUMO:

A cultura do cafeeiro é frequentemente afetada por *fitonematoides*, com destaque para *Meloidogyne paranaensis*, que compromete o sistema radicular das plantas, reduz a absorção de água e nutrientes e pode causar perdas importantes de produtividade. O uso de cultivares resistentes é uma estratégia eficiente para o manejo desse nematoide; no entanto, ainda há poucas informações sobre a herança da resistência a essa espécie. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi estudar a herança da resistência a *M. paranaensis* em genótipos de *Coffea arabica*, com foco em um acesso silvestre da Etiópia. Foram utilizados o acesso E464, resistente, e a cultivar IPR 104, suscetível, a partir dos quais foram obtidas as gerações F₁, F₂ e os retrocruzamentos RC₁ e RC₂. As cultivares Mundo Novo IAC 376-4 e IPR 106 foram utilizadas como controles suscetível e resistente, respectivamente. O experimento foi conduzido em casa de vegetação no IDR-Paraná, em Londrina, PR, entre dezembro de 2024 e julho de 2025. As plantas foram inoculadas com *M. paranaensis*, e a resistência foi avaliada por meio do fator de reprodução do nematoide. A análise do padrão de segregação nas diferentes gerações foi realizada pelo teste de qui-quadrado, considerando diferentes hipóteses genéticas. Os resultados indicaram que a resistência do acesso E464 é controlada por um único gene com dominância completa, caracterizando um padrão de resistência qualitativa.

Palavras-chave: *Coffea arabica*; herança genética; nematoide das galhas.

4 ARTICLE A: INHERITANCE OF RESISTANCE TO THE NEMATODE *MELOIDOGYNE PARANAENSIS* IN WILD ETHIOPIAN ARABICA COFFEE

ABSTRACT

Coffee cultivation is frequently affected by plant-parasitic nematodes, particularly *Meloidogyne paranaensis*, which damages the root system, reduces water and nutrient uptake, and can cause significant yield losses. The use of resistant cultivars is an efficient strategy for managing this nematode; however, information on the inheritance of resistance to this species is still limited. Therefore, the objective of this study was to investigate the inheritance of resistance to *M. paranaensis* in *Coffea arabica* genotypes, with emphasis on a wild accession from Ethiopia. The resistant accession E464 and the susceptible cultivar IPR 104 were used as parents, from which the F₁ and F₂ generations and the backcrosses BC₁ and BC₂ were obtained. The cultivars Mundo Novo IAC 376-4 and IPR 106 were used as susceptible and resistant controls, respectively. The experiment was conducted under greenhouse conditions at IDR-Paraná, in Londrina, Paraná State, Brazil, from December 2024 to July 2025. Plants were inoculated with *M. paranaensis*, and resistance was evaluated based on the nematode reproduction factor. Segregation patterns in the different generations were analyzed using the chi-square test under different genetic hypotheses. The results indicated that resistance in accession E464 is controlled by a single gene with complete dominance, characterizing a qualitative resistance pattern.

Keywords: *Coffea arabica*; genetic inheritance; root-knot nematode.

4.1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura ocupa posição de destaque no cenário agrícola brasileiro, sendo o Brasil o maior produtor e exportador de café no mundo. Além disso, o Valor Bruto da Produção (VBP) do café em 2025 foi estimado em aproximadamente R\$ 100 bilhões, confirmando a importância econômica da atividade no contexto agropecuário nacional. Dados oficiais indicam que, em 2025, o país registrou exportações superiores a 34,2 milhões de sacas de 60 kg no acumulado até outubro, mesmo após o recorde histórico de 50,5 milhões de sacas exportadas em 2024, evidenciando a consolidação da liderança brasileira no mercado internacional e reforçando a importância econômica e social da cultura (CONAB, 2026). Esse protagonismo e os desafios enfrentados exigem constantes avanços tecnológicos para sustentar a produção diante do crescimento do consumo mundial e das limitações impostas por fatores bióticos e abióticos.

Entre os principais problemas da produção do cafeeiro estão as questões fitossanitárias, com destaque para os fitonematoídeos, que comprometem o desenvolvimento das plantas e a longevidade das lavouras. Nematóides do gênero *Meloidogyne* estão entre os principais problemas do cafeeiro, destacando-se *M. incognita* e *M. paranaensis* pela alta agressividade, enquanto *M. exigua* ocorre amplamente nas regiões produtoras. A espécie *M. paranaensis*, descrita inicialmente no estado do Paraná (Carneiro *et al.*, 1996), disseminou-se rapidamente para importantes áreas cafeeiras do país, como São Paulo, Espírito Santo e Minas Gerais, causando danos severos ao sistema radicular e expressivas perdas produtivas (Carneiro e Almeida, 2000; Castro e Campos, 2004; Barros *et al.*, 2011). Além do Brasil, a ocorrência de *Meloidogyne paranaensis* também foi registrada em outros países produtores de café da América Central, evidenciando sua importância em escala internacional (Cofcewicz *et al.*, 2004).

O manejo desses patógenos é particularmente desafiador devido ao caráter perene da cultura do cafeeiro e à limitada eficiência de métodos isolados de controle. Práticas culturais, químicas e biológicas têm sido empregadas de forma integrada, entretanto, a adoção de cultivares resistentes tem se destacado como uma alternativa estratégica, por reduzir a população do nematoídeo no solo e minimizar impactos ambientais e econômicos associados ao uso de nematicidas (Sera *et al.*, 2017, 2020b).

No Brasil, em áreas infestadas por *M. paranaensis*, tem sido adotado o uso de mudas não enxertadas das cultivares resistentes IPR 100 e IPR 106, que são cafeeiros arábicos com introgressão de *Coffea liberica* e *C. canephora*, respectivamente (Sera *et al.*, 2017, 2020b). Uma alternativa é o uso de porta-enxertos resistentes de *C. canephora*, como as cultivares

Apoatã IAC 2258 (Andreazi *et al.*, 2015) e IAC Herculândia (Guerreiro-Filho *et al.*, 2023). As demais cultivares brasileiras de *C. arabica* são suscetíveis a *M. paranaensis*, incluindo tantos cafeeiros arábicos puros, com origem ou derivados de Typica e Bourbon, quanto aqueles com introgressão de *C. canephora* e *C. liberica*. Uma importante fonte de resistência a *M. paranaensis* são os acessos silvestres da Etiópia (Fatobene *et al.*, 2017; Holderbaum *et al.*, 2020). Acessos etíopes têm sido utilizados pelo programa de melhoramento genético do IDR-Paraná visando a transferência de resistência a *M. paranaensis* (Moda-Cirino *et al.*, 2012), como é o caso do acesso E464, que apresenta alta resistência a esse nematoide (Holderbaum *et al.*, 2020).

Nos programas de melhoramento genético, o entendimento do número de genes envolvidos e das interações alélicas e gênicas responsáveis pela expressão de uma característica é fundamental. Essas informações, obtidas por meio de estudos de herança, são determinantes para a definição de métodos e estratégias de melhoramento mais eficientes na obtenção de novas cultivares. No entanto, os estudos relacionados à herança de caracteres agrônômicos em *Coffea arabica* ainda são limitados, principalmente em razão do longo período necessário para a formação de populações apropriadas para esse tipo de investigação. Em espécies do gênero *Coffea*, já foram relatados diversos casos de resistência qualitativa controlada por um ou dois genes de efeito principal, incluindo a resistência ao nematoide *Meloidogyne exigua* (Noir *et al.*, 2003; Alpizar *et al.*, 2007), ao bicho-mineiro (*Leucoptera coffeella*) (Guerreiro-Filho *et al.*, 1999) e às bacterioses mancha aureolada e mancha bacteriana (Rodrigues *et al.*, 2023).

Desta forma, o objetivo deste estudo foi determinar o número de genes e o tipo de interação alélica ou gênica envolvida na alta resistência a *M. paranaensis* do acesso silvestre etíope E464.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Material Vegetal

Para avaliar a herança da resistência ao nematoide *M. paranaensis*, o acesso E464/IDR.113 foi utilizado como parental resistente (P₁) (Holderbaum *et al.*, 2020) e a cultivar IPR 104 como suscetível (P₂). O acesso E464/IDR.113 é um cafeeiro arábico silvestre da Etiópia, enquanto IPR 104 é uma cultivar de café arábica com introgressão de *C. canephora*, do grupo Sarchimor. Estes foram utilizados para a obtenção das gerações F₁ (P₁ x P₂), F₂ (F₁ x F₁), RC₁ (F₁ x P₁) e RC₂ (F₁ x P₂). A avaliação da resistência foi realizada em 20, 19, 15, 229,

19 e 19 mudas, respectivamente, do P_1 , P_2 , F_1 , F_2 , RC_1 e RC_2 .

Em 2014, no Polo de Pesquisa e Inovação do IDR-Paraná, em Londrina-PR-Brasil, foram realizadas hibridações artificiais controladas entre o parental feminino E464/IDR.113 e o parental masculino IPR 104, gerando a população F_1 denominada HB 1436, a qual foi plantada em campo em abril de 2017.

Em 2024 foram obtidas mudas da geração F_2 , oriundas da autofecundação controlada de uma planta F_1 de HB1436 (E1712 I-24). Neste mesmo ano foram produzidas as mudas da planta F_1 (E1712 I-24), as quais foram obtidas a partir de clonagem por meio de estaquia de ramos ortotrópicos. Também em 2024 foram obtidas mudas do P_1 e do P_2 de autofecundação controlada, além das gerações RC_1 ($F_1 \times P_1$) e RC_2 ($F_1 \times P_2$), originadas de cruzamentos controlados entre a planta F_1 (E1712 I-24) e os parentais resistente e suscetível. Foram avaliadas 28 mudas de *Coffea arabica* cv. Mundo novo IAC376-4 e 24 mudas de *Coffea arabica* cv. IPR 106, utilizadas como controle suscetível e resistente, respectivamente (Sera *et al.*, 2020b).

4.2.2 Condução do Experimento em Casa de Vegetação

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Polo de Pesquisa e Inovação do IDR-Paraná, em Londrina, Paraná, Brasil (lat 23° 21' 45" S, long 51° 09' 48" W, alt 585 m) de 2 de dezembro de 2024 a 8 de julho de 2025. Os dados das médias de temperaturas máximas e mínimas durante o experimento foram 40°C e 9°C, respectivamente. O delineamento foi inteiramente casualizado, com número variável de repetições por tratamento e uma planta por parcela.

As mudas das gerações P_1 , P_2 , F_2 , RC_1 e RC_2 foram obtidas por semeadura em germinadores contendo areia. Ao atingirem a fase cotiledonar, as plantas foram transferidas para tubetes preenchidos com substrato Mecplant® enriquecido com 2% de fertilizante de liberação lenta (Osmocote Plus®: 15% N, 9% P_2O_5 , 12% K_2O , 1,3% Mg, 6% S, 0,05% Cu, 0,46% Fe, 0,06% Mn, 0,02% Mo). As mudas permaneceram nos tubetes até apresentarem quatro pares de folhas expandidas, quando foram transplantadas para copos de isopor de 945 mL, preenchidos com aproximadamente 800 mL de substrato esterilizado, composto por uma mistura de areia e solo na proporção de 3,0:0,5. A esterilização do substrato foi realizada por calor seco a 170 °C por 48 horas. No dia 2 de dezembro de 2024, após o transplante, as mudas foram transferidas do viveiro para a casa de vegetação, sendo que em cada copo foram aplicados 3,0 g Osmocote Plus®. As mudas da geração F_1 , obtidas de clonagem por estaquia, foram produzidas com o mesmo substrato e fertilizante, com a diferença de que as estacas foram

enraizadas diretamente nos tubetes.

4.2.3 Inóculo de *Meloidogyne paranaensis*

A população de *M. paranaensis* utilizada no experimento foi originalmente obtida de raízes de cafeeiro coletadas no município de Apucarana/PR, e registrada no Laboratório de Nematologia do IDR-Paraná sob o número 98.1. Essa população foi purificada a partir de uma única massa de ovos e identificada com base nos fenótipos de α -esterase (Carneiro; Almeida; Quénehervé, 2000) e nos padrões perineais (Hartman; Sasser, 1985). Rotineiramente, essa população foi mantida em casa de vegetação em plantas da cultivar suscetível Mundo Novo IAC 376-4. Aproximadamente 60 dias antes das inoculações, os nematoides foram extraídos das raízes dos cafeeiros (Boneti; Ferraz, 1981) e inoculados em plantas de tomate da cultivar Santa Clara para multiplicação.

Os ovos e juvenis de segundo estágio (J2) utilizados como inóculo foram extraídos das raízes das plantas de tomate pelo método de Boneti e Ferraz (1981). Nas suspensões obtidas, o número de indivíduos por mililitro foi estimado ao microscópio óptico com o auxílio de uma lâmina de Peters. A inoculação das plantas foi realizada 30 dias após o transplântio, pipetando-se uma suspensão contendo 1.000 indivíduos de nematoides (população inicial = P_i) em dois orifícios feitos no solo, próximos à base das plantas.

4.2.4 Avaliação de Resistência

Após 120 dias da inoculação, as plantas foram removidas do substrato e as partes aéreas foram descartadas. Para a extração dos ovos e juvenis J2 as raízes foram lavadas e, após o escoamento do excesso de água, foram pesadas e submetidas à extração empregando-se a metodologia descrita por Hussey e Barker (1973) e modificada por Boneti e Ferraz (1981). O procedimento envolveu a trituração das raízes em liquidificador utilizando solução de hipoclorito de sódio a 0,5% por 1 minuto, um tempo adequado para a rigidez radicular do cafeeiro. A suspensão foi filtrada através de peneiras de 230 e 500 mesh, restando os nematoides na última. A população final (P_f) foi quantificada em lâmina de Peters com o auxílio de microscópio óptico. Para cada planta ou unidade experimental foi calculado o fator de reprodução (FR) pela fórmula $FR = \frac{P_f}{P_i}$ (Oostenbrink, 1966). O nível de resistência de cada planta foi obtido pela redução do fator de reprodução (RFR), que foi calculado pela fórmula:

$$RFR = \frac{(FR_{mpSusc} - FR_{iTrat})}{FR_{mpSusc}} \times 100 \text{ (Shigueoka et al., 2017), em que: } FR_{mpSusc} = \text{média das}$$

parcelas do fator de reprodução do controle suscetível; e FR_{iTrat} = fator de reprodução das plantas individuais de cada tratamento. Baseado nos valores de RFR, cada planta foi classificada em seis níveis de resistência (Shigueoka et al., 2017 modificado) (Tabela 1).

Tabela 1. Níveis de resistência a *Meloidogyne paranaensis* conforme os valores da redução do fator de reprodução (RFR).

Níveis de resistência	RFR
Resistência muito alta (RMA)	95,00 a 100%
Resistência alta (RA)	90,00 a 94,99%
Resistência moderada (RM)	75,00 a 89,99%
Resistência baixa (RB)	50,00 a 74,99%
Resistência muito baixa (RMB)	25,00 a 49,99%
Suscetibilidade alta (SA)	< 25,00%

4.2.5 Análises estatísticas

O estudo de herança foi focado na alta resistência do tipo qualitativa do acesso etíope E464. Foram testadas as hipóteses de que essa resistência seja controlada por: i) um gene com interação alélica de dominância completa; ii) um gene com interação alélica de dominância incompleta; e iii) dois genes dominantes com interação gênica do tipo epistasia recessiva dupla. Para as hipóteses de controle por um gene com dominância completa e por dois genes dominantes com interação gênica do tipo epistasia recessiva dupla, as plantas foram classificadas em duas classes fenotípicas, enquanto, para a hipótese de um gene com dominância incompleta, foram consideradas três classes fenotípicas. Essas classes fenotípicas foram definidas com base nos seis níveis de resistência (**Tabela 1**) determinados pelos valores de RFR (**Tabela 2**).

Tabela 2. Classes fenotípicas de resistência à *Meloidogyne paranaensis* baseadas na classificação dos níveis de resistência pela redução do fator de reprodução (RFR), considerando as hipóteses de um gene com interação alélica de dominância completa, dois genes dominantes com epistasia recessiva dupla e um gene com interação alélica de dominância incompleta.

Hipóteses	Classes fenotípicas ⁽¹⁾	Níveis de resistência pelo RFR ⁽²⁾
Um gene com dominância completa	R	RMA e RA
Dois genes dominantes com epistasia recessiva dupla	S	RM, RB, RMB e SA
Um gene com dominância incompleta	R	RMA e RA
	RI	RM e RB
	S	RMB e SA

⁽¹⁾ R = resistente; S = suscetível; RI = resistência intermediária.

⁽²⁾ RMA = resistência muito alta; RA = resistência alta; RM = resistência moderada; RB = resistência baixa; RMB = resistência muito baixa; SA = suscetibilidade alta.

Para cada hipótese foi utilizada a proporção esperada de plantas das classes fenotípicas para calcular a frequência esperada das gerações F₁, F₂, RC₁ e RC₂. O teste de qui-quadrado (χ^2) (Snedecor; Cochran, 1989) foi aplicado para determinar se a frequência observada de cada classe fenotípica diferia da frequência esperada. O programa Genes (Cruz, 2013) foi utilizado para aplicar o teste χ^2 , através da fórmula $\chi^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$, em que: O_i = número de indivíduos observados na classe fenotípica; E_i = número de indivíduos esperados na classe fenotípica.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parentais resistente (P₁) e suscetível (P₂) apresentaram, respectivamente, 100% de plantas nas classes fenotípicas resistente (R) e suscetível (S), confirmando que estão em homozigose para a resistência e suscetibilidade a *Meloidogyne paranaensis* (Tabela 3; Tabela 4). As médias do fator de reprodução (FR) dos parentais P₁ e P₂ foram 0,21 e 16,86, respectivamente, demonstrando a divergência entre os parentais com relação a resistência a *M. paranaensis*. O FR médio do controle suscetível foi de 16,31, indicando uma boa reprodução de *M. paranaensis* no nosso estudo, enquanto o controle resistente teve FR médio de 0,22.

Na geração F₁, todas as plantas foram agrupadas na classe fenotípica resistente, sendo 93,33% das plantas classificadas no nível de resistência muito alta (RMA) e 6,67% como alta (RA). Na geração RC₁ também foram encontradas 100% de plantas da classe resistente, sendo

63,16% RMA e 36,84% RA (Tabela 3; Tabela 4; Figura 1). Esses resultados observados nas gerações F₁ e RC₁ indicam que a resistência a *M. paranaensis* do acesso E464 é do tipo qualitativa, de caráter dominante e a interação alélica é de dominância completa.

Considerando as hipóteses de a resistência ser controlada por um gene com dominância completa ou por dois genes dominantes com interação gênica de epistasia recessiva dupla, na geração F₂, foram encontradas 75,98% de plantas resistentes e 24,02% de suscetíveis. O teste de χ^2 indicou que as probabilidades de que os desvios entre as frequências observadas e esperadas sejam devido ao acaso foram de 73,1% para a proporção 3:1 e de 0% para a proporção 9:7. Na geração RC₂ as probabilidades de que esses desvios sejam devido ao acaso foram de 49,1% para hipótese de 1 gene e de 8,5% para 2 genes (Tabela 3). Portanto, tanto na geração F₂ quanto na RC₂, a hipótese da resistência qualitativa a *M. paranaensis* ser governada por um gene com dominância completa se ajustou melhor do que para a hipótese de ser controlada por dois genes dominantes com interação gênica do tipo epistasia recessiva dupla.

Tabela 3. Proporção esperada, frequências observada e esperada de plantas resistentes (R) e suscetíveis (S), qui-quadrado calculado (χ^2) e p-valor das gerações P₁ (parental resistente), P₂ (parental suscetível), F₁, F₂, RC₁ (F₁ x P₁) e RC₂ (F₁ x P₂) nas hipóteses da resistência à *Meloidogyne paranaensis* ser controlada por um gene com dominância completa e dois genes dominantes com epistasia recessiva dupla.

Hipótese	Geração	n	Proporção esperada	Frequência observada		Frequência esperada		χ^2	p-valor
				R	S	R	S		
-	P ₁	20	1 R: 0 S	20	0	20	0	-	-
-	P ₂	19	0 R: 1 S	0	19	0	19	-	-
1 e 2 genes	F ₁	15	1 R: 0 S	15	0	15	0	-	-
1 gene	F ₂	229	3 R: 1 S	174	55	171,75	57,25	0,118	0,731ns
2 genes dominantes com epistasia recessiva dupla	F ₂	229	9 R: 7 S	174	55	128,81	100,19	36,233	0,000*
1 e 2 genes	RC ₁	19	1 R: 0 S	19	0	19	0	-	-
1 gene	RC ₂	19	1 R: 1 S	11	8	9,5	9,5	0,474	0,491ns
2 genes	RC ₂	19	3 R: 1 S	11	8	14,25	4,75	2,965	0,085ns

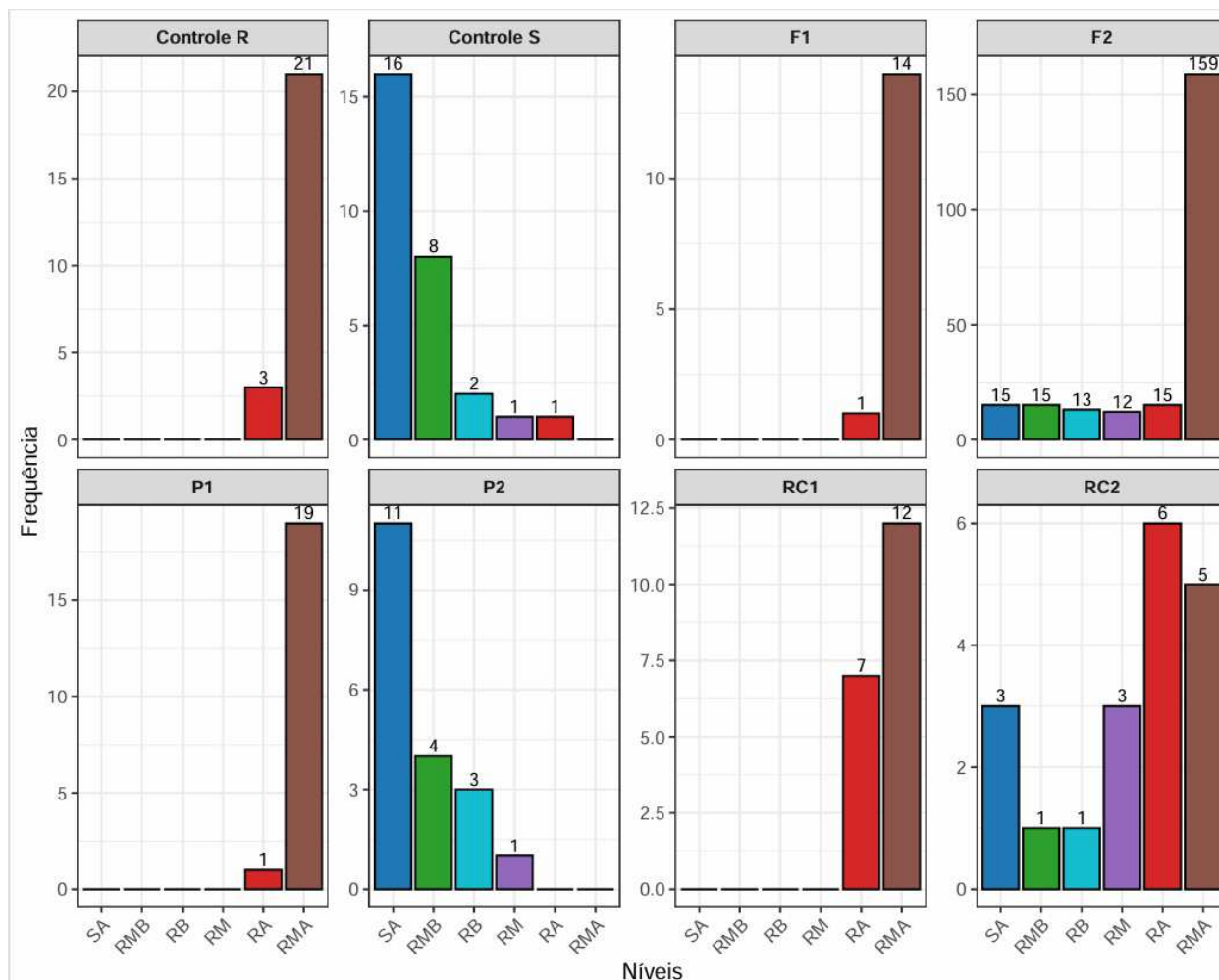
Para a hipótese da resistência ser controlada por um gene com dominância incompleta na geração F₂, foram encontradas 75,98% de plantas resistentes, 10,92% com resistência intermediária (RI) e 13,1% suscetíveis. O teste de χ^2 indicou que a probabilidade de que o desvio entre a frequência observada e esperada sejam devido ao acaso foi de 0% para a proporção 1 R: 2 RI: 1 R. Na geração RC₂ a porcentagem esperada de plantas de R era 0%, porém foram

encontradas 57,9% (Tabela 4). Portanto, tanto com os dados da geração F₂ quanto da RC₂, a hipótese da resistência qualitativa a *M. paranaensis* ser governada por um gene com dominância incompleta foi rejeitada.

Tabela 4. Proporção esperada, frequências observada e esperada de plantas das classes fenotípicas resistentes (R), resistência intermediária (RI) e suscetível (S), qui-quadrado calculado (χ^2) e p-valor das gerações P₁ (parental resistente), P₂ (parental suscetível), F₁, F₂, RC₁ (F₁ x P₁) e RC₂ (F₁ x P₂) nas hipóteses da resistência à *Meloidogyne paranaensis* ser controlada por um gene com dominância incompleta.

Geração	n	Proporção esperada	Frequência observada			Frequência esperada			χ^2	p-valor
			R	RI	S	R	RI	S		
P ₁	20	1 R: 0 RI: 0 S	20	0	0	20	0	0	-	-
P ₂	19	0 R: 0 RI: 1 S	0	4	15	0	0	19	-	-
F ₁	15	0 R: 1 RI: 0 S	15	0	0	0	15	0	-	-
F ₂	229	1 R: 2 RI: 1 S	174	25	30	57,25	114,5	57,25	321,02	0,000
RC ₁	19	1 R: 1 RI: 0 S	19	0	0	9,5	9,5	0	19,00	0,0013
RC ₂	19	0 R: 1 RI: 1 S	11	4	4	0	9,5	9,5	-	-

Figura 1. Distribuição de frequência de plantas com diferentes níveis de resistência a *Meloidogyne paranaensis* nas gerações P₁, P₂, F₁, F₂, RC₁ (F₁ x P₁) e RC₂ (F₁ x P₂), e nos controles suscetível (S) e resistente (R).



Baseado nos dados e hipóteses testadas é possível concluir que a resistência a *M. paranaensis* do tipo qualitativa do acesso etíope é controlada por um gene dominante com interação alélica de dominância completa. Propõe-se que esse gene seja denominado *Mp1*, uma vez que é possível a existência de raças fisiológicas de *M. paranaensis* e, consequentemente, de outros genes de efeito principal (*Mp*) associados à resistência. Em um estudo foi encontrada interação diferencial das reações de resistência e suscetibilidade entre 13 genótipos de café e 11 populações de *M. paranaensis*, indicando a provável existência de raças fisiológicas desta espécie de nematoide (Shigueoka *et al.*, 2022). A resistência a *M. exigua* do cafeeiro T5296 do grupo Sarchimor também é controlada por um major gene denominado *Mex-1* (Noir *et al.*, 2003), porém a interação alélica é de dominância incompleta (Alpizar *et al.*, 2007).

É provável que o mecanismo de resistência associado ao gene *Mp1* seja a hipersensibilidade, pois essa reação já foi encontrada no clone 14 de *Coffea canephora* var.

kouillou e também na cultivar IPR 106, que é um cafeeiro arábico com introgressão de *C. canephora*. O acesso E464 é um cafeeiro arábico puro, no entanto, é conhecido que *C. arabica* teve origem do cruzamento espontâneo ocorrido cerca de 350.000 e 610.000 anos atrás entre *C. eugenoides* e *C. canephora* (Salojärvi *et al.*, 2024). Portanto, como um dos parentais de *C. arabica* foi *C. canephora* (Ariyoshi *et al.*, 2022; Salojärvi *et al.*, 2024), esta última pode ter sido a fonte de resistência do gene *Mp1* presente no acesso E464. Outros acessos etíopes já foram identificados apresentando alta resistência a *M. paranaensis* (Fatobene *et al.*, 2017; Holderbaum *et al.*, 2020) e, dessa forma, esses podem ter o mesmo gene *Mp1* ou outros genes maiores, porém isto deverá ser investigado em novos estudos de herança, utilizando diferentes genótipos silvestres e populações desse nematoide.

Para áreas com histórico de infestação de *M. paranaensis* vem sendo recomendada IPR 100, que representa uma das melhores opções de cultivar de café arábica de porte baixo, sem a necessidade de enxertia de mudas, com alta produtividade e resistência simultânea a *M. paranaensis*, *M. incognita* (Sera *et al.*, 2017) e *M. exigua* (Rezende *et al.*, 2017). No entanto, é necessário que novas cultivares sejam desenvolvidas com características agronômicas diferentes do IPR 100. É conhecido que vários acessos silvestres da Etiópia são resistentes a *M. paranaensis*, *M. incognita* e *M. exigua* (Fatobene *et al.*, 2017; Holderbaum *et al.*, 2020), além de serem fontes de diversidade genética mais ampla que das cultivares modernas (Ariyoshi *et al.*, 2022; Salojärvi *et al.*, 2024). Além disso, possuem resistência a ferrugem alaranjada (Sera *et al.*, 2022), às bacterioses mancha aureolada e mancha bacteriana (Rodrigues *et al.*, 2021), ao *Coffee Berry Disease* (Van der Vossen; Walyaro 2009) e à seca (Queiroz-Voltan *et al.*, 2014).

Portanto, os acessos silvestres da Etiópia, incluindo o E464, devem ser mais explorados em programas de melhoramento visando ao desenvolvimento de cultivares com resistência múltipla a fatores bióticos e abióticos. Considerando que a alta resistência é controlada por um único gene, com dois alelos (*Mp1Mp1*) e interação alélica do tipo dominância completa, os programas de melhoramento podem traçar estratégias mais precisas para o desenvolvimento de cultivares de café arábica com alta resistência a *M. paranaensis*. Como exemplo, podem ser definidos os métodos de melhoramento a serem utilizados, bem como o número mínimo de plantas a serem avançadas em cada geração de autofecundação.

5 CONCLUSÃO

A resistência qualitativa a *Meloidogyne paranaensis* no acesso etíope E464 é determinada por um par de alelos do gene *Mp-1*, apresentando dominância completa do alelo de resistência.

6 REFERÊNCIAS DO ARTIGO A

- ALPIZAR, E.; ETIENNE, H.; BERTRAND, B. Intermediate resistance to *Meloidogyne exigua* root-knot nematode in *Coffea arabica*. **Crop Protection**, v. 26, p. 903–910, 2007.
- ANDREAZI, E.; SERA, G. H.; FARIA, R. T.; SERA, T.; FONSECA, I. C. B.; MACHADO, A. C. Z.; SHIGUEOKA, L. H.; CARVALHO, F. G.; CARDUCCI, F. C. Behavior of ‘IPR 100’ and ‘Apoatã IAC 2258’ coffee cultivars at different levels of *Meloidogyne paranaensis* inoculum. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, p. 1069–1074, 2015.
- ARIYOSHI, C.; SANT’ANA, G. C.; FELICIO, M. S.; SERA, G. H.; NOGUEIRA, L. M.; RODRIGUES, L. M. R.; FERREIRA, R. V.; SILVA, B. S. R.; RESENDE, M. L. V.; DESTÉFANO, S. A. L.; DOMINGUES, D. S.; PEREIRA, L. F. P. Genome-wide association study for resistance to *Pseudomonas syringae* pv. *garcae* in *Coffea arabica*. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, e989847, 2022.
- BONETI, J. I. da S.; FERRAZ, S. Modificação do método de Hussey & Barker para extração de ovos de *Meloidogyne exigua* em raízes de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 6, p. 533, 1981. Disponível em: https://nematologia.com.br/files/revnb/35_12.pdf Acesso em: 28 dez. 2025.
- CARNEIRO, R. M. D. G.; ALMEIDA, M. R. A.; QUÉNHERVÉ, P. Enzyme phenotypes of *Meloidogyne* spp. populations. **Nematology**, v. 2, n.6, p. 645-654, 2000.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café: safra 2024**. Brasília: CONAB, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-cafe> Acesso em: 28 dez. 2025.
- COFCEWICZ, E. T.; CARNEIRO, R. M.D.G.; CASTAGNONE-SERENO, P.; QUÉNÉHERVÉ, P. Enzyme phenotypes and genetic diversity of root-knot nematodes parasitising Musa in Brazil. **Nematology**, v.6, n. 1, p.85-95, 2004.
- FATOBENE, B. J. R.; ANDRADE, V. T.; ALOISE, G. S.; SILVAROLLA, M. B.; GONÇALVES, W.; GUERREIRO-FILHO, O. Wild *Coffea arabica* resistant to *Meloidogyne paranaensis* and genetic parameters for resistance. **Euphytica**, v. 213, p. 196, 2017.
- GUERREIRO-FILHO, O.; FAZUOLI, L. C.; BRAGHINI, M. T.; GALLO, P. B.; OLIVEIRA, C. M. G.; PADILHA, L.; FATOBENE, B. J. R.; ANDRADE, V. T.; VASCONCELOS, L. B. C.; ROSA, J. M. O. IAC Herculândia – a *Coffea canephora* rootstock multiresistant to *Meloidogyne* species. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 23, n. 3, e46322339, 2023.
- GUERREIRO-FILHO, O.; SILVAROLLA, M. B.; ESKES, A. B. Expression and mode of inheritance of resistance in coffee to leaf miner *Perileucoptera coffeella*. **Euphytica**, v. 105, p. 7–15, 1999.
- HARTMANN, K. M.; SASSER, J. N. **Identification of *Meloidogyne* species on the basis of differential host test and perineal patterns morphology**. In: BARKER, K. R.; CARTER,

CC.; SASSER, J. N. (Eds). An advanced treatise on *Meloidogyne*. v.2. Methodology. North Carolina State University Graphics: Raleigh, p.69-77, 1985.

HOLDERBAUM, M. M.; ITO, D. S.; SANTIAGO, D. C.; SHIGUEOKA, L. H.; FERNANDES, L. E.; SERA, G. H. *Arabica coffee* accessions originated from Ethiopia with resistance to nematode *Meloidogyne paranaensis*. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 8, p. 1209–1213, 2020.

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, p. 1025–1028, 1973.

MODA-CIRINO, V.; GERAGE, A. C.; RIEDE, C. R.; SERA, G. H.; TAKAHASHI, M.; ABBUD, N. S.; NAZARENO, N. R. X.; ARAÚJO, P. M.; AULER, P. M.; YAMAOKA, R. S.; SERA, T.; ALMEIDA, W. P. **Plant breeding at Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR**. Crop Breeding and Applied Biotechnology, v. 12, suplemento 2, p. 25–30, 2012.

NOIR, S.; ANTHONY, F.; BERTRAND, B.; COMBES, M. C.; LASHERMES, P. Identification of a major gene (Mex-1) from *Coffea canephora* conferring resistance to *Meloidogyne exigua* in *Coffea arabica*. **Plant Pathology**, v. 52, p. 97–103, 2003.

NOIR S., ANTHONY F., BERTRAND B., COMBES M.C., LASHERMES P. Identification of a major gene (*Mex-1*) from *Coffea canephora* conferring resistance to *Meloidogyne exigua* in *Coffea arabica*. **Plant Pathology**, v. 52, n. 1, p. 97–103, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/250054171_Resistance_to_Meloidogyne_paranaensis_in_wild_Coffea_arabica Acesso em: 28 dez. 2025.

OOSTENBRINK, M. Major characteristics of the relation between nematodes and plants. **Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen**, v. 66, n. 4, p. 1-46, 1966.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; NARDIN, C. F.; FAZUOLI, L. C.; BRAGHINI, M. T. Caracterização da anatomia foliar de cafeeiros arábica em diferentes períodos sazonais. **Biotemas**, v. 27, p. 1–10, 2014.

REZENDE, R. M.; ANDRADE, V. T.; SALGADO, S. M. L.; REZENDE, J. C.; MENEZES, J. O.; CARVALHO, G. R. Genetic gain in the resistance of *Arabica coffee* progenies to root-knot nematode. **Crop Science**, v. 57, p. 1–8, 2017.

RODRIGUES, L. M. R.; ANDRADE, V. T.; DESTÉFANO, S. A. L.; BRAGHINI, M. T.; CAIXETA, L. B.; GUERREIRO-FILHO, O. Inheritance of resistance to bacterial halo blight and bacterial leaf spot in *Arabica coffee*. **Plant Disease**, v. 107, p. 1–7, 2023.

RODRIGUES, L. M. R.; DESTÉFANO, S. A. L.; BERIAM, L. O. S.; FERREIRO-TONIN, M.; BRAGHINI, M. T.; GUERREIRO-FILHO, O. Ethiopian coffee germplasm is a valuable resistance gene pool to Brazilian *Pseudomonas syringae* pvs. *garcae* and *tabaci*. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 45, e002921, 2021.

SERA, G. H.; MACHADO, A. C. Z.; ITO, D. S. SHIGUEOKA L.H, S, SERA T. IPR 106: new *Arabica coffee* cultivar, resistant to some *Meloidogyne paranaensis* and *M. incognita* nematode populations of Paraná. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, 2020b.

SERA G. H, SERA T, MARIUCCI JUNIOR, V, SHIGUEOKA LH, BORTOLATO KS. IPR 100-Rustic dwarf *Arabica coffee* cultivar with resistance to nematodes. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 3, 2017.

SHIGUEOKA, L. H.; FONSECA, I. C. B.; SERA, G. H.; SERA, T.; SILVA, S. A.; DORIGO, O. F.; MACHADO, A. C. Z. Virulence and reproductive fitness of *Meloidogyne paranaensis* field populations in coffee genotypes. **Plant Disease**, St. Paul, v. 106, n. 9, p. 2618–2624, 2022. DOI: 10.1094/PDIS-01-22-0247-RE.

SNEDECOR, G. W.; COCHRAN, W. G. **Statistical methods**. 8. ed. Ames: Iowa State University Press, 1989.

VAN DER VOSSEN, H. A. M.; WALYARO, D. J. Additional evidence for oligogenic inheritance of durable host resistance to coffee berry disease (*Colletotrichum kahawae*) in Arabica coffee (*Coffea arabica* L.). **Euphytica**, v. 165, p. 105–111, 2009.

7 REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, E. V. S.; CARNEIRO, R. M. D.; COSTA, P. M.; GOMES, A. C. M. M.; SANTOS, M.; P., A. A.; NICOLE, M.; FERNANDEZ, D.; GROSSI-DE-SÁ, M. F. Resistance to *Meloidogyne incognita* is expressed by a hypersensitive-like response in *Coffea arabica*. **European Journal of Plant Pathology**, v. 127, n. 3, p. 365-373, 2010.
- ALMEIDA, A. M. R.; CARVALHO, L. T.; SOUZA, R. P.; OLIVEIRA, S. F. Sustainable management strategies for *Meloidogyne paranaensis* in coffee plantations. **Brazilian Journal of Plant Pathology**, Brasília, v. 27, n. 3, p. 245-257, 2022.
- ALPIZAR, E.; ETIENNE, H.; BERTRAND, B. Intermediate resistance to *Meloidogyne exigua* root-knot nematode in *Coffea arabica*. **Crop Protection**, v. 26, p. 903–910, 2007.
- ALVES, F. R. R.; FAZUOLI, L. C.; OLIVEIRA, A. C. de; SERA, G. H.; TOMAZ, M. A. **Melhoramento do cafeeiro: princípios e perspectivas**. Brasília: Embrapa, 2013.
- ANDREAZI, E.; SERA, G. H.; FARIA, R. T.; SERA, T.; FONSECA, I. C. B.; MACHADO, A. C. Z.; SHIGUEOKA, L. H.; CARVALHO, F. G.; CARDUCCI, F. C. Behavior of ‘IPR 100’ and ‘Apoatã IAC 2258’ coffee cultivars at different levels of *Meloidogyne paranaensis* inoculum. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, p. 1069–1074, 2015.
- ANZUETO F, B. B.; SARAH JL, E. A.; DECAZY B. Resistance to *Meloidogyne incognita* in Ethiopian *Coffea arabica* accessions. **Euphytica**, v. 118, p. 1-8, 2001.
- ARITA, L.Y.; SILVA, S.; MACHADO, A. Efficacy of chemical and biological nematicides in the management of *Meloidogyne paranaensis* in *Coffea arabica*. **Crop Protection**, p. 131, 2020.
- ARPINI, B. da Silva; LIMA, I. de M.; NÁDMA, S. C. **Controle De *Meloidogyne Exigua* Em Cafeeiro Arábica Com Uso De Bionematicida Constituído Por *Bacillus Subtilis* E *B. Licheniformis***. Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VIII Encontro de Iniciação à Docência - Universidade do Vale do Paraíba. Urbanova: UNIVAP, p.6, 2018.
- BABILÔNIA, G. B.; LONDE, M. L. A.; TERRA, W. C.; SALGADO, S. M. de L.; VIEIRA, B. S.; OLIVEIRA, C. M. G. de; ROSA, J. M. O.; LOPES, E. A. Distribuição do nematoide das galhas na produção de café na região do Cerrado de Minas Gerais, Brasil. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 131, n. 6, p. 2237–2242, 2024. DOI: 10.1007/s41348-024-00928-8.
- BERTRAND, B.; VAAST, P.; ALPIZAR, E.; ETIENNE, H.; DAVRIEUX, F.; CHARMETANT, P. Comparison of bean biochemical composition and beverage quality of Arabica hybrids involving Sudanese-Ethiopian origins with traditional varieties at various elevations in Central America. **Tree Physiology**, v. 26, n. 9, p. 1239-1248, 2006.
- CAMARGO, L. E. A. Genética da interação patógeno-hospedeiro. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN-FILHO, A. (eds.). Manual de fitopatologia: princípios e conceitos. 5. ed. Ouro Fino: **Agronômica Ceres**, v. 1, p. 85–92, 2018.

CARNEIRO R. M. D. G., COFCEWICZ E. T. **Taxonomy of coffee-parasitic root-knot nematodes, *Meloidogyne* spp.** In: Souza RM (Ed.) *Plant-Parasitic Nematodes of Coffee*. Dordrecht, NL. Springer ScienceBusiness. pp.87-121, 2008.

CARNEIRO, R. G.; ALTÉIA, A. A. K. Seleção de cafeeiros de *Coffea canephora* resistentes a raças de *Meloidogyne incognita*. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v.16, n.1/ 2, p.93, 1992.

CARNEIRO, R. M. D.; CARES, J. E.; GOMES, A. C. M. M. *Meloidogyne paranaensis* sp. n. (Nematoda: *Meloidogynidae*), a root-knot nematode parasitizing coffee in Brazil. **Nematology**, Leiden, v. 5, n. 4, p. 383-394, 2003.

CARNEIRO, R. M. D. G.; ALMEIDA, M. R. A. Distribution of *Meloidogyne* spp. on coffee in Brazil: identification, characterization and intraspecific variability. In: **Mejoramiento sostenible del café arábica por los recursos genéticos, asistido por los marcadores moleculares, con énfasis en la resistencia a los nematodos**. Turrialba: CATIE/IRD, 2000. p. 43-48.

CARVALHO, A.; MEDINA FILHO, H. P.; FAZUOLI, L. C.; COSTA, W. M. Genética de *Coffea*: XXVI. Hereditariedade do porte reduzido do cultivar Caturra. **Bragantia**, Campinas, v. 43, n. 2, p. 443-458, 1984.

CARVALHO, C. H. S. de; SERA, G. H.; FAZUOLI, L. C.; ALVES, F. R. R. **Catálogo de cultivares de café arábica**. Brasília, DF: Embrapa Café, 2022. 115 p.

CORTE, G. D.; FARIA, D. S., BENETTI, E., BRITES, M., VIEIRA, H. Eficiência do novo nematicida Fluensulfone 480 EC (Nimitztm) no controle de *Meloidogyne exigua* em *Coffea arabica* L. **SBICAPE**, 2015.

CURI, S. M.; CARVALHO, A.; MORAES, F.P.; MONACO, L. C.; ARRUDA, H. V. de. Novas fontes de resistência genética de *Coffea* no controle do nematoide do cafeeiro, *Meloidogyne exigua*. **O Biológico**, São Paulo, v. 36, n. 10, p. 293-295, 1970.

FATOBENE, B. J. R.; ANDRADE, V. T.; ALOISE, G. S.; SILVAROLLA, M. B.; GONÇALVES, Wallace; GUERREIRO-FILHO, Oliveira. Wild *Coffea arabica* resistant to *Meloidogyne paranaensis* and genetic parameters for resistance. **Euphytica**, v. 213, p. 196, 2017.

FAZUOLI LC.; LORDELLO R.R.A. Fontes de resistência em espécies de cafeeiros ao nematóide *Meloidogyne exigua*. **Nematologia Brasileira**, v. 3, p. 49-52, 1978.

FAZUOLI, I.C., LORDELLO, R.R.A. Resistência de *Coffea liberica* e *C. dewevrei* a *Meloidogyne exigua*. **Nematologia Brasileira**, v.2, p.197-199, 1977.

FAZUOLI, L. C.; GUERREIRO FILHO, O.; SILVAROLLA, M. B.; MEDINA FILHO, H. P. Avaliação das cultivares Mundo Novo, Bourbon Amarelo e Bourbon Vermelho de *Coffea arabica* em Campinas. In: Simpósio De Pesquisa Dos Cafés Do Brasil, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos expandidos**. Brasília, DF: Embrapacafé/Minasplan, 2000. p. 451-458.

FAZUOLI, L.C.; M. M. A. LIMA; W. GONÇALVES. W. M. COSTA. Estratégias de manejo de resistência em *Coffea arabica*. In: **Melhoramento de Cafeeiros e Fitopatologia Aplicada**. Viçosa: Editora UFV, 2017.

FAZUOLI, L. C.; SERA, G. H.; FAZUOLI JÚNIOR, L. C.; SILVAROLLA, M. B. IAC 125 RN - A dwarf coffee cultivar resistant to leaf rust and root-knot nematode. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 18, p. 237-240, 2018.

FERRÃO, M. A. G.; RIVA-SOUZA, E. M.; FONSECA, A. F. A. da; FERRÃO, R. G.; SANTOS, W. G. dos; SPADETO, J. **Indicação de cultivares de café arábica para o estado do Espírito Santo e avaliação comparativa com o conilon em altitude elevada**. Brasília, DF: Embrapa Café, 2021.

FERRAZ, L.C.C.B.; LORDELLO, L.G.E. Suscetibilidade e danos causados a espécies de *Eucalyptus* e *Pinus* por nematóides das galhas no estado de São Paulo. **Brazilian Journal of Agriculture**, Piracicaba, v.57, n.1-2, p.67-75, 1982.

GIEBEL, J. Mechanism of resistance to plant nematodes. **Annual Review of Phytopathology**, California, 20:257-279. 1982.

GONÇALVES, W.; LIMA, M. M. A.; FAZUOLI, L. C. Resistência do cafeeiro a nematoides: III -Avaliação da resistência de espécies de *Coffea* e de híbridos interespecíficos a *Meloidogyne incognita* raça 3. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v.12, p.47-54, 1988.

GONÇALVES, W.; PEREIRA, A. A. Resistência do cafeeiro a nematoides IV – Reação de cafeeiros derivados do Híbrido de Timor a *Meloidogyne exigua*. **Nematologia Brasileira**, v. 22, p. 39–50, 1998.

GONÇALVES, W.; RAMIRO, D. A.; GALLO, P. B.; GIOMO, G. S. Manejo de nematoides na cultura do cafeeiro. In: Reunião Itinerante De Fitossanidade Do Instituto Biológico – CAFÉ, Mococa, Mococa. **Anais [...]**. São Paulo: Instituto Biológico, 2004. p. 48-66.

GONÇALVES, W.; SILVAROLLA, M. B. A luta contra a doença causada pelos nematoides parasitos do cafeeiro. **O Agrônomo**, Campinas, v. 59, n. 1, 2007.

GONÇALVES, W.; FERRAZ, L. C. C. B. Resistência do cafeeiro a nematoides. II. Testes de progênies e híbridos para *Meloidogyne incognita* raça 3. **Nematologia Brasileira**, v. 11, p. 125-142, 1987.

GUERREIRO-FILHO, O.; FAZUOLI, L. C.; BRAGHINI, M. T.; GALLO, P. B.; OLIVEIRA, C. M. G.; PADILHA, L.; FATOBENE, B. J. R.; ANDRADE, V. T.; VASCONCELOS, L. B. C.; ROSA, J. M. O. IAC Herculândia a *Coffea canephora* rootstock multiresistant to *Meloidogyne* species. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 23, n. 3, e46322339, 2023.

GUERREIRO-FILHO, O.; SILVAROLLA, M. B.; ESKEES, A. B. Expression and mode of inheritance of resistance in coffee to leaf miner *Perileucoptera coffeella*. **Euphytica**, v. 105, p. 7–15, 1999.

HOLDERBAUM, Michele Mendes; ITO, Dhalton Shiguer; SANTIAGO, Débora Cristina; SHIGUEOKA, Luciana Harumi; FERNANDES, L. E.; SERA, Gustavo Hiroshi. Arabica coffee accessions originated from Ethiopia with resistance to nematode *Meloidogyne paranaensis*. **Australian Journal of Crop Science**, p. 1209-1213, 2020.

HOLDERBAUM, M. M.; SANTIAGO, D. C.; SERA, G. H.; SILVA, A. A.; DORIGO, O. F.; SHIGUEOKA, L. H.; MACHADO, A. C. Z. Penetration, development, and reproduction of *Meloidogyne paranaensis* in three *Coffea arabica* genotypes. **Tropical Plant Pathology**, v. 5, p. 1-8, 2021.

HUANG CS. **Formation, anatomy and physiology of giant cells induced by root-knot nematodes**. In: Sasser JN, Carter CC (Eds.) *An Advanced Treatise on Meloidogyne* Vol. 1: Biology and Control. NCSU and USAID Cooperative Publication, Raleigh, NC, U.S.A. pp. 155-164. 1985.

JATALA P., RUSSELL C. C. Nature of sweet potato resistance to *Meloidogyne incognita* and the effects of temperature on parasitism. **Journal of Nematology** 4:1-7. 1972.

JONES, J. T.; HAEGEMAN, A.; DANCHIN, E. G. J.; GAUR, H. S.; HELDER, J.; JONES, M. G. K.; KIKUCHI, T.; MANZANILLA-LÓPEZ, R.; PALOMARES-RIUS, J. E.; WESEMAEL, W. M. L.; PERRY, R. N. **Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology**. *Molecular Plant Pathology*, [s.l.], v. 14, n. 9, p. 946-961, 2013.

KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. **Manual de fitopatologia**. 4. ed. v. 2. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005.

KRUG, C. A.; CARVALHO, A. Genética de *Coffea*. VII - Hereditariedade dos Caracteres de *Coffea arabica* L. Var. *Maragogipe hort Ex Froehner*. **Bragantia**, 11, 231-247. 1942. <https://doi.org/10.1590/S0006-87051942000600003>.

KRZYŻANOWSKI, F.C.; FRANÇA-NETO, J.B., MANDARINO, J.M.G.; KASTER, M. Comparison between two gravimetric methods to determine the lignin content in soybean seed coat. **Seed Science and Technology**, Zurich, n. 29, p.619-624, 2001.

LASHERMES, P.; COMBES, M. C.; ROBERT, J.; TROUSLOT, P.; D'HONT, A.; ANTHONY, F.; CHARRIER, A. Molecular characterization and origin of the *Coffea arabica* L. genome. **Mol. Gen. Genet.**, v. 261, p. 259-266, 1999.

LASHERMES, P.; ANDRADE, A. C.; ETIENNE, H. Genomics of *coffee*, one of the world's largest traded commodities. **Genomics of Tropical Crop Plants**, New York, v. 1, n. 1, p. 203-226, May 2008.

LE, T. M. L.; NGUYEN, T. D.; NGUYEN, H. T.; LIEBANAS, G.; NGUYEN, T. A. D.; TRINH, Q. P. A new root-knot nematode, *Meloidogyne moensi* n. sp. (Nematoda: Meloidogynidae), parasitizing *Robusta coffee* from Western Highlands, Vietnam. **Helminthologia**, Košice, v. 56, n. 3, p. 229–246, 2019. DOI: 10.2478/helm-2019-0014.

LIMA, E.A.; FURLANETTO, C.; SOUSA, M.G.; MENEZES, A.C.M.; SOUZA, F.R.; ALMEIDA, M.R.A.; SÉRGIO JÚNIOR, A.; FERRÃO, M.A.; CARNEIRO, R.M.D.G. Resistência múltipla e resposta de hipersensibilidade do cafeeiro ‘Conilon 14’ a *Meloidogyne* spp. In: Simpósio De Pesquisas Dos Cafés Do Brasil, 8., 2013, Salvador. **Anais**. Brasília: Embrapa Café, 2013.

LIMA, E. A.; FURLANETTO, C.; NICOLE, M.; GOMES, A. C. M. M.; ALMEIDA, M. R. A.; ALDEMIRO, J. J.; CORREA, V. R.; SALGADO, S. M.; FERRÃO, M. A. G.; CARNEIRO, R. M. D. G. The multi-resistant reaction of drought-tolerant *Coffea conilon* “Clone 14” to

Meloidogyne spp. and late hypersensitive-like response in *Coffea canephora*. **Phytopathology**, v. 105, p. 805-814, 2015.

LORDELLO, A.I.L.; LORDELLO, R.R.A. Nematóides encontrados em cafezais do Estado de São Paulo. pp. 85 In: **Congresso Brasileiro de Nematologia**, Garça (Resumos). 2001.

MEDINA-FILHO, H. P.; BORDIGNON, R.; GUERREIRO-FILHO, O.; MALUF, M. P.; FAZUOLI, L. C. Breeding of *arabica coffee* at IAC, Brazil: Objectives, problems, and prospects. **Acta Horticulturae**, v. 745, p. 393-408, 2007.

MOHAN, S.K.; CARDOSO, R.M.L.; PAIVA, M.A. Resistência em germoplasma de *Coffea* ao crestamento bacteriano incitado por *Pseudomonas garcae*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.13, n.1, p.53-64, 1978.

MONTEIRO, A. R.; OLIVEIRA, C. M. G. de; FERRAZ, L. C. C. B.; GONÇALVES, W. Identificação morfológica de populações de *Meloidogyne* de cafezais paulistas. In: **Congresso Internacional De Nematologia Tropical**, 1995, Rio Quente. **Anais**. Piracicaba: SBN, 1995. p. 82.

MUNIZ, M.F.S., V.P. CAMPOS, A.W. MOITA, W. GONÇALVES. R.M.D.G. CARNEIRO. R. Reaction of coffee genotypes to different populations of *Meloidogyne* spp.: detection of a naturally virulent *M. exigua* population. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, p. 370-378, 2009.

NOIR, S.; ANTHONY, F.; BERTRAND, B.; COMBÈS, M.; LASHERMES, P. Identification of a major gene (*Mex-1*) from *Coffea canephora* conferring resistance to *Meloidogyne exigua* in *Coffea arabica*. **Plant Pathology**, v. 52, n. 1, p. 97–103, 2003.

OLIVEIRA, C. M. G. de; G., Wallace; MONTEIRO, A. R. Espécies de *Meloidogyne* e raças de *M. incognita* em cafezais do Estado de São Paulo. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 76, n. 1, p. 155-164, 2001.

OLIVEIRA, D. S.; OLIVEIRA, R. D' de L.; SILVA, D. G.; SILVA, R. V. Characterization of *Meloidogyne incognita* populations from São Paulo and Minas Gerais state and their pathogenicity on coffee plants. **Tropical Plant Pathology**, v. 36, n. 3, p. 190-194, 2011.

PEREIRA, A. A.; BAIÃO, A. C. Cultivares. In: SAKIYAMA, Ney Sussumu. (ed.). **Café arábica: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2015. p. 24-45.

PERES, A. C. J.; SALGADO, S. M. L.; CORREA, V. R.; SANTOS, M. F. A.; MATTOS, V. S.; MONTEIRO, J. M. S.; CARNEIRO, R. M. D. G. Resistance of *Coffea arabica* genotypes against *Meloidogyne paranaensis* and *M. incognita* under controlled and field conditions. **Nematology**, v. 19, p. 617–626, 2017.

PORTZ, R. L.; STANGARLIN, J. R.; FRANZENER, G.; BALBI-PENA, M. I.; FURLANETTO, C. *Meloidogyne* spp. associadas à cafeicultura em municípios do oeste do Paraná. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 30, n. 1, p. 23-27, 2006.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; NARDIN, C. F.; FAZUOLI, L. C.; BRAGHINI, M. T. Caracterização da anatomia foliar de cafeeiros arábica em diferentes períodos sazonais. **Biotemas**, v. 27, p. 1–10, 2014.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. A. B. P. **Genética na agropecuária**. 4. ed. Lavras: Ufla, 2008. 461 p.

REZENDE, R. M.; ANDRADE, V. T.; SALGADO, S. M. L.; REZENDE, J. C.; MENEZES, J. O.; CARVALHO, G. R. Genetic gain in the resistance of Arabica coffee progenies to rootknotnematode. **Crop Science**, v. 57, p. 1355-1362, 2017.

RIEDE, C. R.; GARBUGLIO, D. D.; MACHADO, A. C. Z.; PÓLA, J. N.; CARVALHAL, R.; ARRUDA, K. M. A. IPR AFRODITE - new oat cultivar with nematode resistance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 15, p. 278-281, 2015.

RODRIGUES, A. C. F. O.; ABRANTES, I. M. O.; MELILLO, M. T.; BLEVEZACHEO, T. Ultrastructural response of coffee roots to root-knot nematodes, *Meloidogyne exigua* and *M. megadora*. **Nematropica**, Florida, v. 30, n. 2, p. 201-210, 2000.

RODRIGUES, L. M. R.; ANDRADE, V. T.; DESTÉFANO, S. A. L.; BRAGHINI, M. T.; CAIXETA, L. B.; GUERREIRO-FILHO, O. Inheritance of Resistance to Bacterial Halo Blight and Bacterial Leaf Spot in *Arabica Coffee*. **Plant Disease**, v. 107, n. 12, p. 3810-3816, 2023.

RODRIGUES, L. M. R.; ANDRADE, V. T.; DESTÉFANO, S. A. L.; BRAGHINI, M. T.; CAIXETA, L. B.; GUERREIRO-FILHO, O. Inheritance of resistance to bacterial halo blight and bacterial leaf spot in Arabica coffee. **Plant Disease**, v. 107, p. 1–7, 2023.

SALGADO, S. M. L.; FATOBENE, B. J. R.; PEREIRA, A. A.; ABRAHÃO, J. C. R.; BOTE LHO, C. E.; CARVALHO, G. R.; OLIVEIRA, A. C. B.; FERREIRA, A. D.; FIGUEIREDO, V. C.; VILELA, D. J. M.; LUZ, S. R. O. T.; ANDRADE, V. T. MGS Guaíçara and MGS Vereda: *Coffea arabica* cultivars resistant to the root-knot nematode *Meloidogyne paranaensis*. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 22, 2022.

SALGADO, S. M. L.; RESENDE, M. L. V.; CAMPOS, V. P. Reprodução de *Meloidogyne exigua* em cultivares de cafeeiros resistentes e suscetíveis. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30, p. 413-415, 2005.

SANTOS, J. M. dos. **Estudo das principais espécies de *Meloidogyne* que infectam o cafeeiro no Brasil**. 1997. 153 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - UNESP, Botucatu, 1997. SCHOLZ, M.B.S.; PRETE, C.E.C.; CRUDI, E.; MAGRI, T.B. Composição química de variedades de café (*Coffea arabica*). In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil (1.: 2000: Poços de Caldas, MG). **Resumos expandidos**. Brasília, D.F.: Embrapa Café; Belo Horizonte: Minasplan, 2000. 2 v. (1490p.), p. 673-676.

SERA, G. H.; CARVALHO, F. G.; FONSECA, I. C. B.; SHIGUEOKA, L. H.; SILVA, S. A.; ITO, D. S. Resistance to nematode *Meloidogyne paranaensis* in Arabica coffee genotypes introgressed with *Coffea liberica*. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 8, p. 1236–1241, 2020a.

SERA, G. H.; FERNANDES, L. E.; FONSECA, I. C. B.; ITO, D. S.; SHIGUEOKA, L. H.; MARIUCCI JUNIOR, V.; BORTOLATO, K. S.; PEREIRA, A. A. Intermediate resistance to nematode *Meloidogyne paranaensis* in Híbrido de Timor coffee genotypes. **Australian Journal of Crop Science**, v. 15, n. 5, p. 628–633, 2021.

SERA, G.H.; SERA, T.; AZEVEDO, J. A.; MATA, J. S.; RIBEIRO-FILHO, C.; DOI, D. S.; ITO, D. S.; FONSECA, I. C. B.; Porta-enxertos de café robusta resistentes aos nematóides *Meloidogyne paranaensis* e *M. incognita* raças 1 e 2. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 7, p. 171-184, 2006.

SERA, G. H.; SERA, T.; ITO, D. S.; MATA, J. S.; DOI, D. S.; AZEVEDO, J. A.; RIBEIRO FILHO, C. Progenies de *Coffea arabica* cv. IPR 100 resistentes ao nematoide *Meloidogyne paranaensis*. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 3, p. 475–481, 2007.

SERA, G. H.; CARVALHO, F. G.; FONSECA, I. C. B.; SHIGUEOKA, L. H.; SILVA, S. A.; SILVA, A. G.; ITO, D. S. Resistance to nematode *Meloidogyne paranaensis* in Arabica coffee genotypes introgressed with *Coffea liberica*. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 8, p. 1236–1241, 2020. DOI: 10.21475/ajcs.20.14.08.p2446.

SERA, G. H.; MACHADO, A. C. Z.; ITO, D. S. SHIGUEOKA LH, S. S. da, SERA T. IPR 106: New Arabica coffee cultivar, resistant to some *Meloidogyne paranaensis* and *M. incognita* nematode populations of Paraná. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, e29602015, 2020. DOI: 10.1590/1984-70332020v20e29602015

SERA, T.; MATA, J. S.; ITO, D. S.; DOI, D. S.; SERA, G. H.; AZEVEDO, J. A.; COTARELLI, V. M. Identificação de cafeeiros resistentes aos nematoides *Meloidogyne paranaensis* e *M. incognita* raças 2 e 1 em populações de Icatu (*Coffea arabica*). **SBPN**, v. 8, p. 20–21, 2004.

SERA, T.; SERA, G. H.; FAZUOLI, L. C.; MACHADO, A. C. Z.; ITO, D. S.; SHIGUEOKA, L. H.; SILVA, S. A. IPR 100 – Rustic dwarf Arabica coffee cultivar with resistance to nematodes *Meloidogyne paranaensis* and *M. incognita*. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, p. 175–179, 2017.

SHIGUEOKA, L. H.; DORIGO, O. F.; ARITA, L. Y.; FONSECA, I. C. B.; SILVA, S. A.; MACHADO, A. C. Z. Histopathological characterization of *Coffea arabica* cultivar IPR 106 resistance to *Meloidogyne paranaensis*. **Scientia Agricola**, v. 76, p. 434–438, 2019.

SHIGUEOKA, L. H.; SERA, G. H.; SERA, T.; FONSECA, I. C. B.; ANDREAZI, E.; CARVALHO, F. G.; CARDUCCI, F. C.; ITO, D. S. Reaction of Arabica coffee progenies derivative from Icatu to *Meloidogyne paranaensis*. **Bragantia**, Campinas, v. 75, n. 2, p. 193–198, 2016.

SHIGUEOKA, L. H.; FONSECA, I. C. de B.; SERA, G. H.; SERA, T.; SILVA, S. A. da; DORIGO, O. F.; MACHADO, A. C. Z. Virulence and reproductive fitness of *Meloidogyne paranaensis* field populations in coffee genotypes. **Plant Disease**, v. 106, n. 10, p. 2618–2624, 2022.

SILVAROLLA, M. B.; GONÇALVES, W.; LIMA, M. M. A. Resistência do cafeeiro a nematoides V – Reprodução de *Meloidogyne exigua* em cafeeiros derivados da hibridação de *Coffea arabica* com *C. canephora*. **Nematologia Brasileira**, v. 22, p. 51–59, 1998.

SILVAROLLA, M.B.; MAZZAFERA, P.; FAZUOLI, L.C. A naturally decaffeinated arabica coffee. **Nature**. v. 429, p. 826, 2004.

SILVESTRINI, S.; JUNQUEIRA, M. G.; FAVARIN, A. C.; GUERREIRO-FILHO, O.; MALUF, M. P.; SILVAROLLA, M. B.; COLOMBO, C. A. Genetic diversity and structure of

Ethiopian, Yemen and Brazilian *Coffea arabica* L. Accessions using microsatellites markers. **Genetic Resources and Crop Evolution**, Dordrecht, v. 54, n. 6, p. 1367-1379, 2007.

SOUZA, S. E.; SANTOS, J. M.; MATOS, R. V.; RAMOS, J. A.; SANTOS, F. S.; FERRAZ, R. C. N.; CARVALHO, G. S.; OLIVEIRA, C. A. Levantamento preliminar de *Meloidogyne* em cafeeiros no Estado da Bahia. In: Simpósio De Pesquisa Dos Cafés Do Brasil, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos expandidos**. Brasília: Embrapa, 2000. p. 167-170.

SUBBOTIN, S. A.; PALOMARES-RIUS, J. E.; CASTILLO, P. **Systematics of root-knot nematodes (*Nematoda: Meloidogynidae*)**. Leiden: Brill, 2021.

TIHOHOD, D. **Nematologia agrícola aplicada**. Jaboticabal: FUNEP, 1993.

TOMAZINI M. D.; SILVA, R. A.; OLIVEIRA, C. M. G.; GONÇALVES, W.; INOMOTO, M. M. Resistência de genótipos de cafeeiros a *Pratylenchus coffeae* e *Meloidogyne incognita*. **Nematologia Brasileira**, v.29, pp.193- 198, 2005.

VAN DER VOSSEN H, WALYARO D. Additional evidence for oligogenic inheritance of durable host resistance to coffee berry disease (*Colletotrichum kahawae*) in Arabica coffee (*Coffea arabica* L.). **Euphytica**, v. 165, n. 1, p. 105–111, 2009.

VILLAIN, L.; ARIBI, J.; REVERSAT, G.; ANTHONY, F. A high-throughput method for early screening of coffee (*Coffea* spp.) genotypes for resistance to root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.). **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 128, n. 4, p. 451-458, 2010.

VILLAIN, L., SALGADO, S.M.L. AND TRINH, P.Q. Nematodes parasites of coffee and cocoa. In: Sikora, R.A., Coyne, D.L., Hallman, J. and Timper, P. (eds) **Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture**, 3rd edition. CAB International, Wallingford, UK, pp. 536–583. 2018.