

Brasília, DF / Fevereiro, 2024

## Avaliação do espectro de resistência do porta-enxerto BRS Guaraçá a diferentes populações de *Meloidogyne enterolobii*

Caio Felipe de Barros Souza<sup>1</sup>  
 Ana Luisa Porto Cruz<sup>1</sup>  
 Carlos Eduardo dos Santos Dias<sup>1</sup>  
 Sheila Freitas de Almeida<sup>1</sup>  
 Marcilene Fernandes Almeida dos Santos<sup>2</sup>  
 Juvenil Enrique Cares<sup>3</sup>  
 Regina Maria Dechechi Gomes Carneiro<sup>4</sup>

<sup>(1)</sup> Bolsista, Universidade de Brasília, Brasília, DF. <sup>(2)</sup> Bolsista, Consórcio Pesquisa Café, Brasília, DF.  
<sup>(3)</sup> Professor, Universidade de Brasília, Brasília, DF. <sup>(4)</sup> Pesquisadora, Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Brasília, DF.

### Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia

Parque Estação Biológica (PqEB)  
 Av. W5 Norte (final)  
 CEP: 70770-917, Brasília, DF  
 Fones: (61) 3448-4700/(61)  
 3448-4739  
 www.embrapa.br  
 www.embrapa.br/fale-conosco/sac

#### Comitê Local de Publicações

Presidente  
 Priscila Grynberg  
 Secretária-executiva  
 Ana Flávia do Nascimento Dias  
 Membros  
 Andrielle Câmara Amaral Lopes,  
 Bruno Machado Teles Walter,  
 Débora Pires Paula, Edson  
 Junqueira Leite, Marcos Aparecido  
 Gimenes, Solange Carvalho  
 Barrios Roveri José

Revisão de texto  
 Regina Maria Dechechi  
 Gomes Carneiro

Normalização bibliográfica  
 Rosamires Rocha Galvão  
 (CRB 1/2122)

Projeto gráfico  
 Leandro Sousa Fazio

Diagramação  
 Júlio César da Silva Delfino

1ª edição  
 Publicação digital (2024): PDF

Todos os direitos  
 reservados à Embrapa

**Resumo** – Em 2019, foi lançado o porta-enxerto de goiabeira, BRS Guaraçá (Híbrido: *Psidium guajava* x *P. guineense*), que mostrou resistência a *Meloidogyne enterolobii* e compatibilidade de enxertia com goiabeiras comerciais. Os estudos relacionados a esse porta-enxerto foram realizados na região de Petrolina, apenas com a população local do nematoide. Este estudo teve como objetivo avaliar o espectro da resistência desse porta-enxerto a quatro populações do nematoide oriundas de diferentes culturas. Para isso, foram conduzidos dois ensaios em casa de vegetação em diferentes tempos, adotando ‘Paluma’ como padrão de suscetibilidade. Foram utilizadas as populações de *M. enterolobii* provenientes da goiabeira (Petrolina, Pernambuco), pimentão (Pirajú, São Paulo), batata-doce (Jandaíra, Rio Grande do Norte) e algodoeiro (Paracatu, Minas Gerais). As plantas de ‘BRS Guaraçá’ e ‘Paluma’ foram inoculadas com 10.000 ovos de cada uma das populações e, aos 180 dias, foram avaliados os índices de galhas e de massas de ovos, número de ovos por grama de raiz e fator de reprodução (FR). Todas as populações foram patogênicas à cultivar Paluma, com FRs que variaram de 84,6 a 329,5, sendo a população da batata-doce a mais agressiva (FR médio = 267,5). A população do pimentão foi a menos agressiva (FR médio = 87,9). As populações da goiabeira e do algodoeiro tiveram os FRs médios de 149,3 e 179,9, respectivamente. O porta-enxerto BRS Guaraçá apresentou alta resistência a todas as populações de *M. enterolobii*, não tendo manifestado sintomas radiculares (IG = 0 e IMO = 0) e os FRs variaram de 0,08 a 0,52. Este estudo evidenciou a alta resistência desse porta-enxerto lançado pela Embrapa a diferentes populações de *M. enterolobii*, um nematoide conhecido pela alta virulência à maioria das fontes de resistência de várias culturas, constituindo o único método de controle altamente eficiente para o cultivo de goiabeiras em áreas infestadas por *M. enterolobii*.

**Termos para indexação:** nematoide-da-goiabeira, resistência, agressividade, *Psidium guineense*, *Psidium guajava*.

## Evaluation of the resistance spectrum of the rootstock BRS Guaraçá to different populations of *Meloidogyne enterolobii*

**Abstract** - In 2019, the guava rootstock BRS Guaraçá (Hybrid: *Psidium guajava* x *P. guineense*) was released, showing resistance to *Meloidogyne enterolobii* and graft compatibility with commercial guava varieties. However, studies including different populations of *M. enterolobii* have not yet been conducted. The objective of this study was to evaluate the resistance spectrum of this rootstock to four populations of this nematode from different crops. Two greenhouse trials were conducted using guava 'Paluma' as the susceptible standard. The populations of *M. enterolobii* originated from guava (Petrolina, Pernambuco), bell pepper (Pirajú, São Paulo), sweet potato (Jandaíra, Rio Grande do Norte), and cotton (Paracatu, Minas Gerais). 'BRS Guaraçá' and 'Paluma' plants were inoculated with 10,000 eggs of each population, and after 180 days, gall index (GI), egg masses (EM), and reproduction factor (RF) were evaluated. All populations were pathogenic to 'Paluma', with GI and EMI equal to 5, and the sweet potato population was the most aggressive (average RF = 267.5). Meanwhile, the bell pepper population was the least aggressive (average RF = 87.9). The guava and cotton populations had average RFs of 149.3 and 179.9, respectively. The BRS Guaraçá rootstock showed high resistance to all populations of *M. enterolobii*, with no root symptoms (GI and EM = 0) and RFs ranging from 0.08 to 0.52. This study highlighted the high level of resistance of this rootstock released by EMBRAPA to different populations of *M. enterolobii*, a nematode known for its virulence to most sources of resistance in various crops.

**Index terms:** Guava nematode, resistance, aggressiveness, *Psidium guineense*, *Psidium guajava*.

## Introdução

A goiabeira (*Psidium guajava* L.) pertence à família Myrtaceae. Em termos de produção, a goiaba é uma das frutas tropicais mais importantes, sendo que no período de 2015 a 2017, a produção média foi de cerca de 7 milhões de toneladas em todo o mundo, representando 24,48% do volume total de frutas tropicais menos conhecidas (Altendorf, 2018). O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de goiaba e, no ano de 2018, produziu aproximadamente 310 mil

toneladas da fruta (IBGE, 2020). A goiaba é uma excelente fonte de vitamina C, B5 e carotenoides, além de minerais, carboidratos e fibras alimentares (Bhattacharjee; Tandon, 2021).

Os produtores de goiaba enfrentam uma série de desafios fitossanitários que impactam negativamente a cultura. Entre esses desafios, destaca-se o nematoide *Meloidogyne enterolobii* Yang ; Eiesenback, 1983 (sin. *M. mayaguensis* Rammah ; Hirschmann, 1988), um dos principais patógenos que afetam a goiabeira (Carneiro et al., 2021). No Vale do São Francisco, uma importante região produtora, houve redução de mais de 70% na produção de goiaba entre anos 2000-2007, devido, principalmente, à infecção por esse nematoide (Freitas et al., 2014). O nematoide da goiabeira é altamente destrutivo e pode causar danos significativos à planta hospedeira, resultando em amarelecimento geral da parte aérea, queda das folhas, culminando com a morte da planta. Os sistemas radiculares infectados apresentam múltiplas galhas e necrose generalizada, além de uma diminuição drástica nas raízes finas. Infecções moderadas estão associadas à clorose comum, deficiência de nutrientes, e redução de flores e frutos. A infecção por *M. enterolobii* em goiabeiras é uma doença complexa denominada fusnem, geralmente associada a infecções com o nematoide e o fungo *Neocosmospora falsiformis* (Carrión) L. Lombard ; Crous (*Fusarium solani* (Mart.) Sacc.) (Carneiro et al., 2001; Gomes et al., 2011; Veloso et al., 2021).

O primeiro relato de *M. enterolobii* em goiabeira no Brasil ocorreu em 2001 (Carneiro et al., 2001) em Petrolina, Pernambuco e em Juazeiro, Bahia, e sua disseminação para vários estados brasileiros ocorreu por meio da comercialização de mudas infectadas pelo nematoide (Carneiro et al., 2007). No entanto, a sua ocorrência natural em outros locais não pode ser descartada, como a exemplo do estado do Paraná, onde foi relatada a ocorrência desse nematoide em goiabeiras sem que, aparentemente, tenha ocorrido a introdução de mudas de outros locais (Lima et al., 2005; Carneiro et al., 2006). Mais recentemente, foi relatada a ocorrência natural de *M. enterolobii* parasitando algodoeiro nos estados de Minas Gerais e Bahia, em áreas sem histórico de plantio de goiabeira ou qualquer outra planta propagada por mudas que possam introduzir o nematoide (Galbieri et al., 2020; Souza et al., 2022).

Desde a detecção de *M. enterolobii* em goiabeira no Brasil (Carneiro et al., 2001), observou-se que essa espécie apresenta uma ampla gama de hospedeiras e parasita várias espécies de plantas de importância econômica, incluindo frutíferas, grãos e hortaliças (Sikandar et al., 2023). *Meloidogyne*

*enterolobii* é reconhecido por sua virulência à maioria dos genes de resistência conhecidos, como os encontrados em tomateiro, pimentão, feijão-caupi, soja, batata-doce e algodoeiro (Sumarizado em Schwarz, 2019; Souza et al., 2022). Até o momento, apenas algumas potenciais fontes de resistência a *M. enterolobii* foram identificadas, como o gene *Ma* de *Prunus cerasifera* Ehrh. ou em alguns acessos de goiabeira (*Psidium* spp.), pimentão (*Capsicum chinense* L.) e batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) (Claverie et al., 2011; Gonçalves et al., 2014; Freitas et al., 2014; Rutter et al., 2021). Com exceção dos acessos de batata-doce (Rutter et al., 2021), todos os demais acessos foram testados apenas com populações regionais de *M. enterolobii* e não com isolados de diferentes plantas hospedeiras e regiões geográficas.

Diante dos prejuízos causados por *M. enterolobii*, é crucial adotar estratégias eficazes de controle desse patógeno na cultura da goiabeira. Embora existam produtos químicos indicados para a cultura da goiabeira, o controle é realizado principalmente por meio da prevenção da entrada do patógeno na área de cultivo e da remoção das plantas infectadas no campo, embora outros métodos também sejam utilizados, como a rotação com culturas não hospedeira pouco eficiente para culturas perenes em geral e controle de hospedeiros secundários (Freitas et al., 2017; Carneiro et al., 2021). Entre as medidas de controle recomendadas para os nematoides-das-galhas em diferentes culturas, destaca-se a resistência genética, devido à sua alta eficiência e aos custos relativamente baixos. No Brasil, foram realizados extensos estudos para identificar porta-enxertos de Myrtaceae resistentes a *M. enterolobii*, mostrando resultados promissores na redução da população e permitindo a identificação de novas fontes de resistência (Carneiro et al., 2007; Castro et al., 2012; Freitas et al., 2014).

Embora as fontes de resistência a *M. enterolobii* em acessos de *Psidium* spp. e até em outros gêneros de Myrtaceae tenham sido identificadas e caracterizadas com sucesso (Carneiro et al., 2007; Castro et al., 2012; Freitas et al., 2014), a incompatibilidade ou compatibilidade parcial dos porta-enxertos com as cultivares comerciais de goiabeiras limitou a utilização dos acessos estudados como porta-enxerto. O desenvolvimento e a avaliação de uma nova estratégia para um híbrido interespecífico entre plantas de *Psidium* sp. resistente e *P. guajava* suscetível foram feitos por Costa et al. (2012). Estes autores desenvolveram um híbrido entre os acessos GUA 161-PE de *P. guajava* e ARA 138-RR de *P. guineense* Sw que é resistente a *M. enterolobii* e

altamente compatível com as principais variedades comerciais de goiabeiras. O sucesso dessa hibridização foi confirmado por marcadores de DNA/SSR e por características morfológicas. Quase dez anos depois, essa cultivar híbrida, nomeada de 'BRS Guaraçá', foi lançada como porta-enxerto resistente ao nematoide-da-goiabeira. Atualmente, mudas formadas sobre esse porta-enxerto são comercializadas em viveiros credenciados pela Embrapa.

O desenvolvimento do híbrido resultou em um porta-enxerto com alta resistência, no entanto, os ensaios para avaliação dessa resistência tanto em campo como em casa de vegetação, foram realizados apenas com a população de *M. enterolobii* proveniente de goiabeira da região de Petrolina, PE (Costa et al., 2012). Embora tenham ocorrido validações em áreas de produtores de goiabeira em São Paulo e Rio de Janeiro (dados não publicados) é de grande importância estudar o espectro da resistência do híbrido BRS Guaraçá a diferentes populações de *M. enterolobii*, provenientes de diferentes plantas hospedeiras e regiões geográficas, pois a quebra de resistência pelos nematoides-das-galhas em culturas de importância econômica como cafeeiro, tomateiro, dentre outras é algo frequente (Muniz et al., 2009; Gabriel et al., 2022).

## Material e Métodos

Os experimentos foram realizados em duas épocas diferentes com uma diferença no tempo de 60 dias, seguindo um delineamento de blocos ao acaso. Foram estudadas as reações da cultivar Paluma (*P. guajava*), adotada como padrão de suscetibilidade e o porta-enxerto BRS Guaraçá, enxertado com 'Paluma', em relação a quatro populações e incluindo as duas raças de *M. enterolobii* (Tabela 1), cada uma com seis repetições. As mudas de ambas as cultivares foram adquiridas de viveiro credenciado pela Embrapa, localizado no município de Petrolina, PE. Mudas que mediam entre 15 cm e 30 cm de comprimento foram transferidas para vasos de 5 L, contendo uma mistura esterilizada de substrato comercial Bioplant<sup>®</sup> e solo (1:1) e mantidos em casa de vegetação.

Um mês após o transplantio, cada uma das goiabeiras ('Paluma' enxertada em 'Paluma' e porta-enxerto 'BRS Guaraçá' enxertado com 'Paluma') foi inoculada com suspensão contendo 10.000 ovos e eventuais J2. O inóculo de cada população de *M. enterolobii* foi mantido em tomateiro 'Santa Clara' e a pureza dos inóculos foi confirmada pelo padrão do fenótipo de esterase (Carneiro; Almeida, 2001).

**Tabela 1.** Populações de *Meloidogyne enterolobii* utilizadas nesse estudo.

Código	Origem geográfica	Hospedeiro/Cultura	Fenótipo de Esterase
Me7	Petrolina, PE, Brasil	Goiaba	En2
Me14	Pirajú, SP, Brasil	Pimentão	En2
Me17	Jandaíra, RN, Brasil	Batata-doce	En2
Me18	Paracatu, MG, Brasil	Algodão	En2

<sup>a</sup> Estados brasileiros: PE: Pernambuco; SP: São Paulo; RN: Rio Grande do Norte; MG: Minas Gerais.

Os ovos foram obtidos pelo método de extração de ovos em hipoclorito de sódio a 0,5% segundo Hussey; Barker (1973), usando liquidificador ao invés de agitação manual. A concentração da suspensão de ovos foi determinada por contagem de 3 alíquotas de 1 ml em lâmina de Peter ao microscópio óptico.

A avaliação da multiplicação do nematoide foi realizada seis meses após a inoculação. As raízes foram retiradas do solo, lavadas, pesadas e coradas com floxina B, na concentração de 15 mg por litro de água. Foram avaliados os índices de galhas e de massas de ovos, onde: 0 = nenhuma galha ou massa de ovos; 1 = 1-2 galhas ou massas de ovos; 2 = 3-10; 3 = 11-30; 4 = 31-100, e 5 > 100 galhas ou massas de ovos (Hartman ; Sasser, 1985) somente para confirmação do sintoma. Em seguida foi avaliado o número total de ovos/planta/repetição como descrito por Hussey & Barker (1973) com NaOCl a 1%.

O fator de reprodução (FR) de cada planta foi calculado, dividindo-se o número total de ovos/planta ou população final (PF) pelo número de ovos inoculados ou população inicial (PI = 10.000), segundo o método de Oostenbrink (1966). As médias do FR foram transformadas em  $\sqrt{X+1}$ , e após análise de variância, foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. As plantas foram classificadas em resistente ou suscetível de acordo com os seus respectivos fatores de reprodução, ou seja, FR > 1.0, susceptível e, FR < 1.0, resistente.

## Resultados

Nos Experimentos 1 e 2, a massa de matéria fresca das raízes indicou crescimento satisfatório das plantas da cultivar Paluma e do porta-enxerto BRS Guaraçá, permitindo uma avaliação precisa das demais variáveis nematológicas. As massas das raízes variaram de 91,2 g a 205,5 g no primeiro experimento e 84,6 g a 329,5 g no segundo experimento (Tabelas 2 e 3). Nos dois experimentos, a cultivar Paluma apresentou massa de raiz significativamente maior do que o porta-enxerto BRS Guaraçá, com

média de 188,7 g e 92,2 g, respectivamente (Tabelas 2 e 3). As raízes de 'Paluma' infectadas com a população do algodoeiro obtiveram massa superior (282,2 g), diferenciando-se das demais no primeiro experimento (Tabela 2). Embora, no segundo experimento, as raízes infectadas com essa população também tenham apresentado uma massa maior que as demais raízes infectadas com as outras populações do nematoide (274 g), não foi possível separá-las estatisticamente das raízes infectadas com a população obtida da batata-doce pelo teste de Scott-Knott (Tabela 3). Essa diferença de massa de matéria fresca de raiz deve-se, sobretudo, à maior massa de tecido vegetal envolvida na formação do grande número de galhas presentes na cv. Paluma e praticamente nenhuma galha no porta-enxerto 'BRS Guaraçá' (Figura 1).

Os sintomas radiculares foram avaliados com base nos índices de galhas e massas de ovos. As raízes da cultivar Paluma apresentaram índices máximos de galhas e de massa de ovos (IG = 5 e IMO = 5) para todas as populações (Tabelas 2 e 3), exibindo galhas volumosas (Figura 1a; 1b, seta vermelha) e necrose parcial das raízes (Figura 1a; 1b, seta verde), especialmente quando infectadas pelas populações obtidas de batata-doce e de algodoeiro. Porém, o porta-enxerto 'BRS Guaraçá' suprimiu totalmente os sintomas, não apresentando galhas (Figura 1c), massas de ovos ou necrose das raízes (IG e IMO = 0), além de ter propiciado a formação de grande quantidade de raízes finas (Figura 1d).

Quanto à reação da planta avaliada pelo fator de reprodução (FR) do nematoide, o porta-enxerto 'BRS Guaraçá' mostrou alta resistência para todas as populações, com fator de reprodução inferior a 1 em ambos os experimentos (Tabelas 2 e 3). No primeiro experimento, os FRs do nematoide no porta-enxerto 'BRS Guaraçá' variou de 0,1, para população obtida da goiabeira, a 0,6, para a população oriunda da batata-doce, no entanto, não se diferenciaram pelo teste de Scott-Knott (Tabela 2). Resultado semelhante também foi observado no segundo experimento, em que o FR variou de 0,08 para população

**Tabela 2.** Reação da cultivar Paluma e do porta-enxerto híbrido BRS Guaraçá inoculados com 10.000 ovos e juvenis de diferentes populações *Meloidogyne enterolobii*, avaliadas aos 180 dias após a inoculação (Experimento 1).

Genótipo	População	Massa de Matéria Fresca de Raiz (g)	IG <sup>2</sup>	IMO <sup>3</sup>	Ovos por g de Raiz	Fator de Reprodução	Reação <sup>6</sup>
Paluma							
	Pimentão	136,5a <sup>1</sup>	5,0	5,0	5.893,0a	91,2a	S
	Goiaba	167,3a	5,0	5,0	6.607,6a	159,1b	S
	Algodão	282,2b	5,0	5,0	6.833,4a	175,5b	S
	Batata-doce	158,2a	5,0	5,0	10.468,6b	205,5c	S
BRS Guaraçá							
	Pimentão	94,8a	0,0	0,0	36,0a	0,4a	R
	Goiaba	85,1a	0,0	0,0	23,8a	0,2a	R
	Algodão	106,6a	0,0	0,0	7,1a	0,1a	R
	Batata-doce	97,0a	0,0	0,0	41,1a	0,6a	R
P-valor <sup>4</sup>		> 0,05	-	-	> 0,001	> 0,001	-
CV (%) <sup>5</sup>		15,1	-	-	25,1	16,3	-

<sup>1</sup> Letras iguais na coluna não se diferenciam estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Os valores foram transformados em  $\sqrt{(x+1)}$  para análise estatística e os dados originais foram mantidos na tabela. <sup>2</sup> Índices de galhas (IG) e de <sup>3</sup> massas de ovos (IMO) de acordo com Hartman e Sasser (1985). <sup>4</sup> Significância da análise 'Paluma' x 'BRS Guaraçá'. <sup>5</sup> Coeficiente de variação dos valores transformados. <sup>6</sup> S = Suscetível e R = Resistente.

**Tabela 3.** Reação da cultivar Paluma e do porta-enxerto híbrido BRS Guaraçá inoculados com 10.000 ovos e juvenis de diferentes populações *Meloidogyne enterolobii*, avaliadas aos 180 dias após a inoculação (Experimento 2).

Genótipo	População	Massa de Matéria Fresca de Raiz (g)	IG <sup>2</sup>	IMO <sup>3</sup>	Ovos por g de Raiz	Fator de Reprodução	Reação <sup>6</sup>
Paluma							
	Pimentão	116,0a <sup>1</sup>	5,0	5,0	6.103,7a	84,6a	S
	Goiaba	169,8a	5,0	5,0	6.986,1a	139,4b	S
	Algodão	274,0b	5,0	5,0	7.135,5a	184,2b	S
	Batata-doce	205,5b	5,0	5,0	7.228,4a	329,5c	S
BRS Guaraçá							
	Pimentão	85,4a	0,0	0,0	24,6a	0,26a	R
	Goiaba	90,6a	0,0	0,0	11,2a	0,08a	R
	Algodão	92,2a	0,0	0,0	6,5a	0,08a	R
	Batata-doce	85,7a	0,0	0,0	30,7a	0,44a	R
P-valor <sup>4</sup>		> 0,01	-	-	> 0,001	> 0,001	-
CV (%) <sup>5</sup>		21,0	-	-	19,3	24,4	-

<sup>1</sup> Letras iguais na coluna não se diferenciam estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Os valores foram transformados em  $\sqrt{(x+1)}$  para análise estatística e os dados originais foram mantidos na tabela. <sup>2</sup> Índices de galhas (IG) e de <sup>3</sup> massas de ovos (IMO) de acordo com Hartman e Sasser (1985). <sup>4</sup> Significância da análise 'Paluma' x 'BRS Guaraçá'. <sup>5</sup> Coeficiente de variação dos valores transformados. <sup>6</sup> S = Suscetível e R = Resistente.

originária do algodoeiro a 0,44 para a população da extraída da batata-doce, sem que fosse alcançada a significância pelo teste de Scott-Knott.

Na cultivar Paluma, todas as populações foram patogênicas, com fatores de reprodução que variaram de 91,2 a 205,5, no primeiro experimento

(Tabela 2), e 84,6 a 329,5, no segundo experimento (Tabela 3). Quanto à agressividade, contudo, foram observadas diferenças entre as populações ao se considerar a cultivar Paluma como padrão de suscetibilidade. A população proveniente da batata-doce foi a mais agressiva e apresentou fatores de

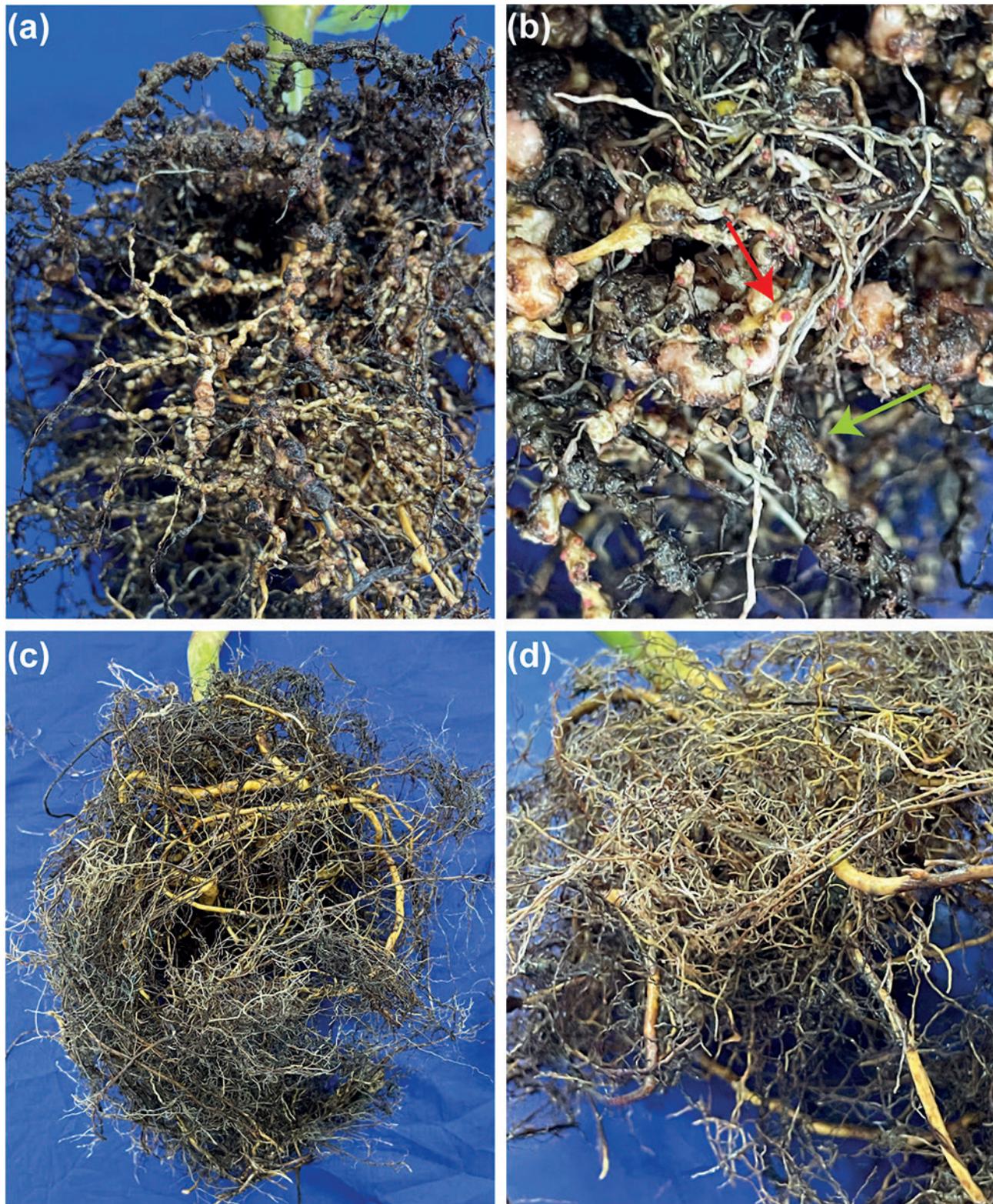


Foto: Regina Maria Dechechi Gomes Carneiro

**Figura 1.** Raízes inoculadas com 10.000 ovos e juvenis de segundo estágio de *Meloidogyne enterolobii*. Raiz da cultivar Paluma com galhas volumosas (a), massas de ovos (seta vermelha) e necrose (seta verde) (b); Raiz do porta-enxerto 'BRS Guaraçá' com ausência de galhas e de massas de ovos (c) e grande quantidade de raízes finas (d).

reprodução de 205,5 e 329,5 no primeiro e segundo experimentos, respectivamente, tendo se diferenciado estatisticamente das demais populações pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade (Tabelas 2 e 3). As populações oriundas do algodoeiro e da goiabeira tiveram fatores de reprodução intermediários, que variaram de 159,1 a 175,5 e de 139,4 a 184,2 para o primeiro e o segundo experimentos, respectivamente, não se diferenciando entre si. A população obtida do pimentão foi a menos agressiva à goiabeira 'Paluma', com fatores de reprodução de 91,2 e 84,6 no primeiro e segundo experimentos, respectivamente, diferenciando-se estatisticamente das demais populações. Pela análise de correlação de Pearson, observou-se correlação alta e positiva ( $P$ : 0,81;  $P$ -valor: 0,0078) entre o fator de reprodução e o número de ovos por grama de raiz.

## Discussão

Este estudo evidencia a resistência do porta-enxerto BRS Guaraçá a diferentes populações de *M. enterolobii*, incluindo duas raças desse patógeno (raça goiaba e raça algodão). No Brasil, a ocorrência dessas raças já foi registrada (Souza et al., 2022). A patogenicidade das quatro populações de *M. enterolobii* foi comprovada neste estudo pelos elevados fatores de reprodução alcançados no padrão de suscetibilidade (cv. Paluma). A suscetibilidade de genótipos de *P. guajava* a *M. enterolobii*, observada neste estudo, também foi relatada em estudos anteriores (Villota; Agudelo, 1997; Maranhão et al., 2003; Carneiro et al., 2007; Almeida et al., 2009; González-Gaona et al., 2010; Castro et al., 2012; Freitas et al., 2014).

Este estudo é pioneiro ao incluir diferentes populações de *M. enterolobii* provenientes de outras culturas no estudo de resistência do porta-enxerto BRS Guaraçá, revelando variações na agressividade dessa espécie, que não foram previamente relatadas, mesmo em outras hospedeiras. As diferenças na agressividade das populações de *M. enterolobii* observadas na cultivar Paluma provavelmente se devem à variabilidade genética dessas populações, coletadas em diferentes localidades e hospedeiras (Castagnone-Sereno et al., 1993). Variações na agressividade entre diferentes populações de nematoides do gênero *Meloidogyne* com o mesmo modo de reprodução de *M. enterolobii* (partenogênese mitótica) já foram observadas em estudos anteriores, incluindo *M. arenaria* em soja (Carpenter; Lewis, 1991), *M. javanica* em batata (Medina et al., 2017),

*M. paranaensis* em café (Santos et al., 2018) e *M. incognita* em algodão (Lopes et al., 2019).

O estudo de Costa et al. (2012) demonstrou a resistência do híbrido 'BRS Guaraçá' a *M. enterolobii*, tendo sido observados índices de galhas e de massas de ovos iguais a zero (IG = 0 e IMO = 0) e fatores de reprodução inferiores a 1,0 (FR < 1,0), que foram muito semelhantes aos resultados encontrados neste estudo. No entanto, esses autores mesclaram os termos tolerância e resistência de forma equivocada para descrever a resistência do híbrido. Termos que foram bem definidos por Roberts et al. (2002). Estudos mostram que existe variabilidade para resistência entre e dentro de acessos de araçazeiros, em especial em *P. guineense*, sendo que os acessos provenientes da Bahia, Pernambuco, Rio de Janeiro e Distrito Federal foram suscetíveis a *M. enterolobii* em condições de casa de vegetação (Carneiro et al., 2007; Almeida et al., 2009; Miranda et al., 2012; Freitas et al., 2014; Oliveira et al., 2019). Entretanto várias plantas dos acessos testados por Costa et al. (2012) foram resistentes. Outros acessos de *P. cattleianum* Sabine e *P. friedrichsthalianum* (O.Berg) Nied. foram utilizados para cruzamento com *P. guajava*, no entanto houve incompatibilidade no cruzamento entre essas goiabeiras (Costa et al., 2010).

Ainda há lacunas no conhecimento sobre o tipo de resistência apresentado pelo 'BRS Guaraçá', mas sabe-se que esse híbrido segue um modelo de resistência dominante, controlado por dois genes com efeitos epistáticos e a presença de apenas um alelo dominante é a condição para a resistência do híbrido a *M. enterolobii* (Santos et al., 2022). Esses genes estão localizados no cromossomo 3, em uma região rica em genes de resistência do tipo NBS-LRR (*nucleotide binding site-leucine-rich repeat*), que estão associados ao reconhecimento do patógeno e à resposta de hipersensibilidade (RH). Essa resposta limita o desenvolvimento do patógeno e suprime os sintomas e o desenvolvimento do nematoide (Zhang; Zhou, 2010; Mota et al., 2018; Santos et al., 2022). A supressão dos sintomas no 'BRS Guaraçá' foi evidenciada neste estudo pelos baixos índices de galhas e de massas de ovos (Tabelas 2 e 3; Figura 1c) e fatores de reprodução.

Sabe-se que para *P. cattleianum* e *P. friedrichsthalianum*, não houve RH aparente na resposta de resistência a *M. enterolobii*, e sim uma deterioração tardia das células gigantes, entre 27 e 32 dias após a infecção pelo nematoide (Freitas et al., 2014; Sreekavya et al., 2019). Para o 'BRS Guaraçá', ainda são necessários estudos de histopatologia para uma compreensão mais aprofundada

da resposta de resistência do híbrido em relação à infecção por *M. enterolobii*.

O porta-enxerto BRS Guaraçá não só mostrou ser altamente resistente a várias populações de *M. enterolobii*, mas também apresenta alta compatibilidade com as principais variedades comerciais de goiabeira ('Paluma', 'Pedro Sato', 'Suprema', 'Século XXI e outras). Lourenço et al. (2022) não observaram exsudações, rachaduras no caule das plantas enxertadas ou diferenças de diâmetro no local da enxertia, indicando a sua alta compatibilidade com enxerto de *P. guajava*. As cultivares enxertadas apresentaram produção em torno de 40 toneladas de frutas por hectare, em colheitas realizadas 30 meses após o transplante em área infestada com *M. enterolobii*, com altura das plantas superior a dois metros (Souza et al., 2018; Embrapa, 2023).

A utilização do 'BRS Guaraçá' como porta-enxerto resistente a *M. enterolobii* oferece benefícios significativos para os produtores de goiaba. Ao adotar esse porta-enxerto, os agricultores podem reduzir a incidência e os danos causados pelo nematoide-das-galhas, melhorando a produtividade e a qualidade dos frutos. Além disso, a resistência do 'BRS Guaraçá' pode diminuir a dependência de medidas de controle químico (nematicidas), contribuindo para a utilização de práticas de manejo mais sustentáveis e ecologicamente corretas.

## Conclusões

'BRS Guaraçá' mostrou alta resistência para todas as populações testadas, enquanto 'Paluma' foi altamente suscetível a todas as populações, com a população oriunda da batata-doce tendo sido a mais agressiva. Os resultados encontrados reforçam a importância do uso de 'BRS Guaraçá' como porta-enxerto na cultura da goiabeira, devido à sua resistência contra o nematoide *M. enterolobii*.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq projeto Universal (404948/2021-9) pelo financiamento da pesquisa e concessão das bolsas de estudo, assim como à Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia (CENARGEN) pela infraestrutura. Agradecem também aos colegas José Mauro da Cunha e Castro, Jadir Borges Pinheiro, César Bauer Gomes e Rafael Galbieri pelo envio das populações de nematoides da goiabeira, pimentão, batata-doce e algodoeiro, respectivamente.

## Referências

- ALMEIDA, E. J.; SANTOS, J. M.; MARTINS, A. B. G. Resistência de goiabeiras e araçazeiros a *Meloidogyne mayaguensis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 4, p. 421-423, 2009.
- ALTENDORF, S. Minor tropical fruits: mainstreaming a niche market. **Food Outlook**, p. 67-75, 2018.
- BHATTACHERJEE, A. K.; TANDON, D. K. Composition and processing. In: MITRA S. **Guava: botany, production and uses**. Wallingford: CABI, 2021. p. 33-63.
- CARNEIRO, R. M. D. G.; ALMEIDA, M. R. A. Técnica de eletroforese usada no estudo de enzimas de nematóides de galhas para identificação de espécies. **Nematologia Brasileira**, v. 25, p. 35-44, 2001.
- CARNEIRO, R. M. D. G.; MOREIRA, W. A.; ALMEIDA, M. R. A.; GOMES, A. C. M. M. Primeiro registro de *Meloidogyne mayaguensis* em goiabeira no Brasil. **Nematologia Brasileira**, v. 25, p. 223-228, 2001.
- CARNEIRO, R. M. D. G.; ALMEIDA, M. R. A.; BRAGA, R. S.; ALMEIDA, C. A.; GIORIA, R. Primeiro registro de *Meloidogyne mayaguensis* parasitando plantas de tomate e pimentão resistentes à meloidoginose no estado de São Paulo. **Nematologia Brasileira**, v. 30, p. 81-86, 2006.
- CARNEIRO, R. M. D. G.; CIROTTO, P. A.; QUINTANILHA, A. P.; SILVA, D. B.; CARNEIRO, R. G. Resistance to *Meloidogyne mayaguensis* in *Psidium* spp. Accessions and their grafting compatibility with *P. guajava* cv. Paluma. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32, p. 281-284, 2007.
- CARNEIRO, R. M. D. G.; SANTOS, M. F. A.; CASTRO, J. M. C. Nematodes. In: MITRA S. **Guava: botany, production and uses**. Wallingford (UK): CABI, 2021. p. 270-284.
- CARPENTER A. S.; LEWIS S. A. Aggressiveness and reproduction of four *Meloidogyne arenaria* Populations on Soybean. **Journal of Nematology**, v. 23, p. 232-238, 1991.
- CASTAGNONE-SERENO, P.; PIOTTE, C.; UIJTHOF, J.; ABAD, P.; WAJNBERG, E.; VANLERBERGHE-MASUTTI, F.; DALMASSO, A. Phylogenetic relationships between amphimictic and parthenogenetic nematodes of the genus *Meloidogyne* as inferred from repetitive DNA analysis. **Heredity**, v. 70, p. 195-204, 1993.
- CASTRO, J. M. C.; RIBEIRO, J. M. **Pesquisa e desenvolvimento para a cultura da goiabeira: contribuição da Embrapa Semiárido**. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2020. 82 p. il. (Embrapa Semiárido. Documentos, 297).

- CASTRO, J. M. C.; SANTOS, C. A. F.; FLORI, J. E.; SIQUEIRA, S. V. C.; NOVAES, P. A. R.; LIMA, R. G. Reaction of *Psidium* accessions to the *Meloidogyne enterolobii* root-knot nematode. **Acta Horticulturae**, v. 959, p. 51-58, 2012.
- CLAVERIE, M.; DIRLEWANGER, E.; BOSSELUT, N.; GHELDER, C. V.; VOISIN, R.; KLEINHENTZ, M.; LAFARGUE, B.; ABAD, P.; ROSSO, M.-N.; CHALHOUB B.; ESMENJAUD, D. The Ma gene for complete-spectrum resistance to *Meloidogyne* species in *Prunus* is a TNL with a huge repeated C-terminal post-LRR region. **Plant Physiology**, v. 156, p. 779-792, 2011.
- COSTA, S. R. da; SANTOS, C. A. F.; NUNES, E. D.; DINIZ, L. da S. Cruzamentos interespecíficos no gênero *Psidium*. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA SEMIÁRIDO, 5., 2010, Petrolina. **Anais...** Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2010. p. 75-79. (Embrapa Semiárido. Documentos, 228.).
- COSTA, S. R.; SANTOS, C. A. F.; CASTRO, J. M. C. Tolerance of *Psidium guajava* x *P. guineense* hybrids to *Meloidogyne enterolobii*. Petrolina, PE. **Acta Horticulture**, v. 959, p. 59-65, 2012.
- EMBRAPA. **BRS Guaraçá**: porta-enxerto de goiabeira. **Tecnologias**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/6053/brs-guaraca-porta-enxerto-de-goiabeira>. Acesso em: 14 de julho de 2023.
- FREITAS, V. M.; CORREA, V. R.; MOTTA, F. C.; SOUSA, M. G.; GOMES, A. C. M. M.; CARNEIRO, M. D. G.; MATTOS, J. K.; NICOLE, M.; CARNEIRO R. M. D. G. Resistant accessions of wild *Psidium* spp. to *Meloidogyne enterolobii* and histological characterization of resistance. **Plant Pathology**, v. 63, p. 738-746, 2014.
- FREITAS, V. M.; SILVA, J. G. P.; GOMES, C. B.; CASTRO, J. M. C.; CORREA, V. R.; CARNEIRO, R. M. D. G. Host status of selected cultivated fruit crops to *Meloidogyne enterolobii*. **European Journal of Plant Pathology**, v. 148, p. 307-319, 2017.
- GALBIERI, R.; DAVIS, R. F.; SCOZ, L. B.; BELOT, J. L.; SKANTAR, A. M. First report of *Meloidogyne enterolobii* on cotton in Brazil. **Plant Disease**, v. 104, p. 2295–2295, 2020.
- GABRIEL, M.; KULCZYNSKI, S. M.; SANTOS, M. F. A.; SOUZA, C. F. B.; MUNIZ, M. F. B.; BOITEUX, L. S.; CARNEIRO, R. M. D. G. A novel virulent Brazilian pathotype of *Meloidogyne javanica* towards the tomato *Mi-1.2* gene and pathogenicity to resistant rootstock. **Journal of Plant Disease and Protection**, v. 129, p. 1269-1276, 2022.
- GOMES, V. M.; SOUZA, R. M.; MUSSI-DIAS, V.; SILVEIRA, S. F.; DOLINSKI C. Guava decline: a complex disease involving *Meloidogyne mayaguensis* and *Fusarium solani*. **Journal of Phytopathology**, v. 159, p. 45-50, 2011.
- GONÇALVES, L. S. A.; GOMES, V. M.; ROBAINA, R. R.; VALIM, R. H.; RODRIGUES, R.; ARANHA, F. M. Resistance to root-knot nematode (*Meloidogyne enterolobii*) in *Capsicum* spp. accessions. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, p. 49-52, 2014.
- GONZÁLEZ-GAONA, E.; PADILLA-RAMÍREZ, J. S.; LOZANO-GUTIÉRREZ, J. ESPAÑA-LUNA, M. P.; VELÁSQUEZ-VALLE, R.; GALLEGOS-MORALES, G. CEPEDA-SILLER, M. Evaluation of mexican guava germplasm against root knot nematodes. **Acta Horticulturae**, v. 849, p. 363-368, 2010.
- HARTMAN, K. M.; SASSER J. N. Identification of *Meloidogyne* species on the basis of differential host test and perineal pattern morphology. In: SASSER, J. N.; CARTER, C. C. (ed.). **An advanced treatise on Meloidogyne**. I. Biology and control. Raleigh: North Carolina State University, v. 2, 1985. p. 69-77.
- 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.
- IBGE. **Sidra** - Sistema IBGE de recuperação automática. 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/acervo#/S/Q>. Acesso em: 14 de julho de 2023.
- LIMA, I. M.; SOUZA, R. M.; SILVA, C. P.; CARNEIRO, R. D. G. *Meloidogyne* spp. from preserved areas of Atlantic forest in the State of Rio de Janeiro, Brazil. **Nematologia Brasileira**, v. 29, p. 31-38, 2005.
- LOPES, C. M. L.; CARES, J. E.; PERINA, F. J.; NASCIMENTO, G. F.; MENDONÇA, J. S. F.; MOITA, A. W.; CASTAGNONE-SERENO, P.; CARNEIRO R. M. D. G. Diversity of *Meloidogyne incognita* populations from cotton and aggressiveness to *Gossypium* spp. accessions. **Plant Pathology**, v. 68, p. 816-824, 2019.
- LOURENÇO, A. M. S.; SANTOS, C. A. F.; SILVA, D. O. M. Compatibility and phenotypic variability of guava accessions grafted on BRS Guaraçá rootstock: vegetative and fruit production traits1. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 52, 2022.
- MARANHÃO, S. R. V. L.; MOURA, R. M.; PEDROSA, E. M. Reação de indivíduos segregantes de araçazeiro a *Meloidogyne incognita* raça 1, *M. javanica* e *M. mayaguensis*. **Nematologia Brasileira**, v. 27, p. 173-178, 2003.
- MEDINA, I. L.; GOMES, C. B.; CORREA, V. R.; MATTOS, V. S.; CASTAGNONE-SERENO, P.; CARNEIRO, R. M. D. G. Genetic diversity of *Meloidogyne* spp. parasitising potato in Brazil and aggressiveness

of *M. javanica* populations on susceptible cultivars. **Nematology**, v. 19, p. 69-80, 2017.

MIRANDA, G. B.; SOUZA, R. M.; GOMES, V. M.; FERREIRA, T. F.; ALMEIDA, A. M. Avaliação de acessos de *Psidium* spp. quanto à resistência a *Meloidogyne enterolobii*. **Bragantia**, v. 71, p. 52-58, 2012.

MOTA, A. P. Z.; VIDIGAL, B.; DANCHIN, E. G. J.; TOGAWA, R. C.; LEAL-BERTIOLI, S. C. M.; BERTIOLI, D. J.; ARAUJO, A. C. G.; BRASILEIRO, A. C. M.; GUIMARÃES, P. M. Comparative root transcriptome of wild *Arachis* reveals NBS-LRR genes related to nematode resistance. **BMC Plant Biology**, v. 18, p. 159, 2018.

MUNIZ M. F. S.; CAMPOS, V. P.; MOITA, A. W.; GONÇALVES, W.; ALMEIDA, M. R. A.; SOUSA, F. R. D.; CARNEIRO, R. M. D. G. 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.

OLIVEIRA, P. G.; QUEIROZ, M. A.; CASTRO, J. M. C. e; RIBEIRO, J. M.; OLIVEIRA, R. S.; SILVA, M. J. L. Reaction of *Psidium* spp accessions to different levels of inoculation with *Meloidogyne enterolobii*. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 2, p. 419-428, 2019.

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

ROBERTS, P. A. Concepts and consequences of resistance. In: STARR, J. L.; COOK, R.; BRIDGE, J. (Eds.). **Plant resistance to parasitic nematodes**. Wallingford, Reino Unido: CAB International, 2002. p. 23-41.

RUTTER, W. B.; WADL, P. A.; MUELLER, J. D.; AGUDELO, P. Identification of sweet potato germplasm resistant to pathotypically distinct isolates of *Meloidogyne enterolobii* from the Carolinas. **Plant Disease**, v. 105, p. 3147-3153, 2021.

SANTOS, M. F. A.; CORREA, V. R.; PEIXOTO, J. R.; MATTOS, V. S.; SILVA, S. J. P.; MOITA, A. W.; SALGADO, S. M. L.; CASTAGNONE-SERENO, P.; CARNEIRO, R. M. D. G. Genetic variability of *Meloidogyne paranaensis* populations and their aggressiveness to susceptible coffee genotypes. **Plant Pathology**, v. 67, p. 193-201, 2018.

SANTOS, C. A. F.; COSTA, S. R.; BOITEUX, L. S.; GRATTAPAGLIA, D.; SILVA-JUNIOR, O. B. Genetic associations with resistance to *Meloidogyne enterolobii* in guava (*Psidium* sp.) using cross-genera SNPs and comparative genomics to *Eucalyptus* highlight evolutionary conservation across the Myrtaceae (Z Han, Ed.). **Plos One**, v. 17, e0273959, 2022.

SCHWARZ, T. **Distribution, virulence, and sweetpotato resistance to *Meloidogyne enterolobii* in North Carolina**. (Dissertação de Mestrado). North Carolina State University. 2019.

SIKANDAR, A.; JIA, L.; WU, H.; YANG, S. *Meloidogyne enterolobii* risk to agriculture, its present status and future prospective for management. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, n. 1093657, 2023.

SOUZA, C. F. B.; GALBIERI, R.; BELOT, J-L.; NEGRI, B. F.; PERINA, F. J.; CARES, J. E.; CARNEIRO, R. M. D. G. Occurrence of a new race of *Meloidogyne enterolobii* and avirulent *M. incognita* populations parasitizing cotton in western Bahia state, Brazil. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 121, n. 101874, 2022.

SOUZA, R. R. C.; SANTOS, C. A. F.; COSTA, S. R. Field resistance to *Meloidogyne enterolobii* in a *Psidium guajava* × *P. guineense* hybrid and its compatibility as guava rootstock. **Fruits**, v. 73, p. 118-124, 2018.

SREEKAVYA, G.; MUTHUVEL, I.; RAJANGAM, J.; PRABHU, S. Comparative study on histopathological changes caused by *Meloidogyne enterolobii* in *Psidium guajava* and *Psidium cattleianum* guava species. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 8, p. 2198-2203, 2019.

VELOSO, J. S.; CÂMARA, M. P. S.; SOUZA, R. M. Guava decline: updating its etiology from '*Fusarium solani*' to *Neocosmospora falciformis*. **European Journal of Plant Pathology**, v. 159, p. 455-460, 2021.

VILLOTA, B. J. V.; AGUDELO, F. V. Evaluation of guava material (*Psidium guajava* L.) for the damage behaviour of *Meloidogyne incognita*. **Fitopatologia Colombiana**, v. 21, p. 31-38, 1997.

ZHANG, J.; ZHOU, J-M.; Plant immunity triggered by microbial molecular signatures. **Molecular Plant**, v. 3, p. 783-793, 2010.