

**MARYLIA GABRIELLA SILVA COSTA**

**RESISTÊNCIA DE NOGUEIRA-MACADÂMIA (*Macadamia integrifolia* Maiden e  
Betche) AOS NEMATOIDES-DAS-GALHAS**

**Botucatu**

**2018**



**MARYLIA GABRIELLA SILVA COSTA**

**RESISTÊNCIA DE NOGUEIRA-MACADÂMIA (*Macadamia integrifolia* Maiden e  
Betcher) AOS NEMATÓIDES-DAS-GALHAS**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Proteção de Plantas).

Orientadora: Profa. Dra. Silvia Renata Siciliano Wilcken

**Botucatu**

**2018**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Costa, Marylia Gabriella Silva, 1988-  
C837r Resistência de noqueira-macadâmia (*Macadamia integrifolia* Maiden e Betcher) aos nematoides-das-galhas / Marylia Gabriella Silva Costa. - Botucatu: [s.n.], 2018  
64 p.: grafs., tabs.

Tese (Doutorado)- Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2018  
Orientadora: Silvia Renata Siciliano Wilcken  
Inclui bibliografia

1. Macadâmia (Noz). 2. *Meloidogyne*. 3. Nematoides.  
4. Ciclo de vida. I. Wilcken, Silvia Renata Siciliano.  
II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: RESISTÊNCIA DE NOGUEIRA-MACADÂMIA (*Macadamia integrifolia* Maiden e Betche) AOS NEMATOIDES-DAS-GALHAS

AUTORA: MARYLIA GABRIELLA SILVA COSTA

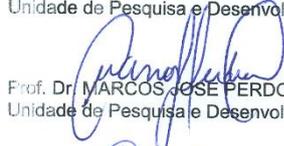
ORIENTADORA: SILVIA RENATA SICILIANO WILCKEN

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (PROTEÇÃO DE PLANTAS), pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dra. SILVIA RENATA SICILIANO WILCKEN  
Departamento de Produção Vegetal / FCA / UNESP - Botucatu/SP

  
Profa. Dra. SARITA LEONEL  
Depto de Horticultura / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu

  
DRa MARIA JOSÉ DE MARCHI GARCIA  
Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento de Bauru / APTA - REGIONAL CENTRO OESTE

  
Prof. Dr. MARCOS JOSÉ PERDONA  
Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento de Bauru / APTA - Pólo Regional Centro Oeste

  
Profa. Dra. ADRIANA ZANIN KRONKA  
Depto de Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP

Botucatu, 02 de abril de 2018.



## *Ofereço*

*A Deus por ser a minha fonte de força, fé e perseverança.*

## *Dedico*

*Aos meus amados pais, Vânia Bezerra Silva Costa e Luciano de Souza Costa, que são os meus maiores incentivadores, por todo apoio incondicional, amor e compreensão da minha ausência durante todos esses anos. Razões do meu viver!!!*

*Às minhas amadas irmãs, Mônica Bezerra e Marcella Costa, por serem minhas melhores amigas, pelo apoio e por vibrarem junto comigo a cada vitória.*

*Aos meus lindos e amados sobrinhos, Gabriella Costa, Eduardo Costa e Malu Costa, por me trazerem os sentimentos mais puros e a leveza da vida.*

*Ao meu querido Rodrigo Alves, por todo carinho, incentivo e por se fazer tão presente em toda a etapa da pós-graduação.*

*Amo vocês!*



## AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, professora Dra. Silvia Renata Siciliano Wilcken, pela oportunidade, paciência, confiança e por todos os ensinamentos passados durante todos esses anos.

À Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, em especial ao Programa de Pós Graduação em Agronomia- Proteção de Plantas, pela oportunidade.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Proteção de Plantas, pelos ensinamentos.

Agradeço aos membros da banca examinadora, pela disponibilidade.

Aos funcionários da biblioteca 'Paulo de Carvalho Mattos' da UNESP/FCA pela dedicação nos serviços prestados. Em todos esses anos, a biblioteca 'Paulo de Carvalho Mattos' foi o meu local favorito de estudos.

Aos funcionários da Seção de Pós-Graduação da UNESP/FCA.

A todos os funcionários do Departamento de Proteção Vegetal, em especial à Vanessa de Carvalho, pela sua dedicação e colaboração, e ao Srs. Paulo e Pereira, pela colaboração.

À querida Maria de Fátima Almeida, por todos os ensinamentos e convivência.

Ao colega Leonardo Barbosa e à Prof<sup>a</sup>. Dra. Edna Peixoto Amorim, por serem os meus primeiros incentivadores, ainda na graduação, a dar início à Iniciação Científica.

À amiga Ivana Paula Ferraz, pela amizade e pelo acolhimento no momento que mais precisei, que foi fundamental, no último ano da minha permanência em Botucatu.

A Ivana Fernandes, pela boa convivência e torcida. A Laís Cristina e Sthephany, pelo convívio durante tantos anos.

Às amigas Aline Fernanda, Amanda Rodrigues, Gleice Nunes, Patrícia Leite, pela amizade e carinho.

Às colegas do Laboratório de Nematologia Agrícola, Érika Cristina, pela ajuda em vários momentos. A Laís Fernanda, a Cintia da Silva e a todas que passaram pelo laboratório, pela convivência e contribuição. Aos novos integrantes do laboratório, Aixelhe Damasceno, Júlio César, Ana e Breno, pelos momentos de descontração, apoio e bom convívio.

A todos os colegas alagoanos, em especial ao Marcos e David pela ajuda dispensada.

Aos meus cunhados e à querida sogra, pelo carinho e incentivo de sempre.

Às minhas queridas e amadas avós Albanize e Clotilde, por todo o amor e carinho e aos meus avôs João e Ismar in memoriam.

A todos que contribuíram para realização deste trabalho.

**Muito Obrigada!**

## RESUMO

A noqueira-macadâmia pertence à família Proteaceae e é originária da Austrália. Sua noz é considerada a mais saborosa entre as nozes comercializadas. No Brasil, nos últimos anos, há uma expansão da macadamicultura e de seu plantio em cafezais. Além da sua consorciação com o cafeeiro, a macadâmia é uma opção de plantio em consórcio com outras culturas de ciclo curto e alternativa para o plantio em novas áreas. Embora haja um aumento da área plantada de macadâmia, as informações sobre danos causados por nematoides nessa cultura são escassas. Principalmente, aos nematoides-das-galhas, onde com frequência, as populações desses patógenos são altas em áreas cultivadas com café. No Brasil, a produção de mudas de macadâmia se dá quase que exclusivamente pelo método de enxertia, tendo como principal porta-enxerto a variedade 10-14 (Aloha). Portanto, o objetivo do trabalho foi avaliar a resistência da variedade 10-14 (Aloha) e das cultivares HAES-344, HAES-660, HAES 816, IAC 4-12B, IAC 9-20 e IAC 4-20 a *Meloidogyne incognita* raça 2, *M. paranaensis*, *M. exigua*, *M. enterolobii* e *M. javanica*, além de estudar o ciclo de vida dos nematoides-das-galhas na variedade 10-14 (Aloha) por ser a mais utilizada como porta-enxerto na produção de mudas. O substrato de cada parcela foi infestado com aproximadamente 5.000 ovos e eventuais juvenis dos nematoides estudados, separadamente, provenientes de populações puras, processadas segundo o método proposto por Hussey e Barker. Tomateiros 'Rutgers' foram utilizados como padrão de viabilidade do inóculo de *M. incognita* raça 2, de *M. enterolobii* e de *M. javanica*, plantas de café 'Mundo Novo' foram utilizadas para atestar a viabilidade de *M. paranaensis* e *M. exigua*. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, com cinco repetições. As avaliações foram feitas aos 120 dias após a inoculação. Os índices de galhas (IG) e índices de massas de ovos (IMO) foram obtidos de acordo com a escala de notas proposta por Taylor e Sasser. Para a obtenção do fator de reprodução ( $FR=PF/PI$ ), os sistemas radiculares foram processados separadamente de acordo com o método de Coolen e D'Herde. Os experimentos para a avaliação do ciclo de vida das espécies de *Meloidogyne* foram montados em câmaras incubadoras (BOD) sob temperatura e fotoperíodo controlados. As plântulas de macadâmia, após a germinação, foram transplantadas para copos de 210 mL com substrato autoclavado. Para a obtenção do juvenil de

segundo estágio (J2), os nematoides foram processados separadamente de acordo com a técnica proposta por Hussey e Barker, em seguida, as suspensões de cada espécie do nematoide foram colocadas em aparatos de Baermanns modificados para recipiente raso. Cinco dias após o transplante, cada plântula foi inoculada com 300 (J2) de *M. incognita*, *M. paranaensis*, *M. exígua*, *M. enterolobii* ou *M. javanica*. As avaliações foram aos 5, 15, 25 e 35 dias após a inoculação (DAI). Os sistemas radiculares das plantas foram lavados e coloridos com fucsina ácida para a classificação dos estádios de desenvolvimento do nematoide. Os resultados mostraram que todas as cultivares e a variedade 10-14 (Aloha) de macadâmia foram resistentes aos nematoides estudados, demonstrando a resistência. Os nematoides não completaram o ciclo de vida na variedade 10-14 (Aloha), podendo ser utilizada como porta-enxerto na produção de mudas.

**Palavras-chave:** *Meloidogyne incognita*. *M. paranaensis*. *M. exigua*. *M. enterolobii*. *M. javanica*. Ciclo de vida.

## ABSTRACT

The macadamia nut belongs to the Proteaceae family, is originally from Australia, and is considered one of the most flavorful nuts in the market. In Brazil, macadamia nuts have been increasingly planted alongside coffee. In addition to its consortium with this crop, macadamia can also be planted alongside other short cycle cultures, and is also an alternative to planting in new areas. Although an increase in planted macadamia areas has been observed, information on nematode damage to this crop is scarce, mainly regarding root-knot nematodes, which are frequently observed in high populations in coffee crop areas. In Brazil, the production of macadamia seedlings occurs almost exclusively by the grafting method, with the 10-14 (Aloha) variety as the rootstock. In this context, the aim of this research was to evaluate the resistance of macadamia variety 10-14 (Aloha) and macadamia cultivars, HAES-344, HAES-660, HAES 816, IAC 4-12B, IAC 9-20 and IAC 4-20 to *Meloidogyne incognita* race 2, *M. paranaensis*, *M. exigua*, *M. enterolobii* and *M. javanica*, and to study the life cycle of root-knot nematodes in the variety 10-14 (Aloha), as it is the most frequent rootstock for seedling production. The substrate of each plot was infested with approximately 5,000 nematode eggs, separately, from pure populations processed according to the Hussey and Barker method. 'Rutgers' tomatoes were used as the viability standard for the *M. incognita* race 2, *M. enterolobii* and *M. javanica* inocula. 'Mundo Novo' coffee plants were used to confirm *M. paranaensis* and *M. exigua* viability. The experimental design was completely randomized, with five replications and the evaluations were carried out at 120 days after inoculation. The Gall index (GI) and egg mass index (EMI) were obtained according to the scale proposed by Taylor and Sasser. To calculate the reproduction factor ( $RF = PF/PI$ ), the root systems were processed separately according to the Coolen and D'Herde method. The experiments carried out for the *Meloidogyne* species life cycle evaluation were mounted in incubators (BOD) under controlled temperature and photoperiod. After germination, Macadamia seedlings were transplanted into 210 mL bowls with autoclaved substrate. To obtain the juvenile second stage (J2), the nematodes were processed separately according to the technique proposed by Hussey and Barker. Suspensions of each nematode species were placed in a Baermanns apparatus, modified to a shallow container. Five days after transplantation, each seedling was inoculated with 300 (J2) *M. incognita*, *M.*

*paranaensis*, *M. exigua*, *M. enterolobii* or *M. javanica*. Evaluations were carried out at 5, 15, 25 and 35 days post-inoculation (DPI). The plant root systems were washed and stained with acid fuchsin for nematode development stage classification. The results indicate that all macadamia cultivars and variety 10-14 (Aloha) were resistant to the studied nematodes, demonstrating resistance. The nematodes did not complete their life cycle on the 10-14 (Aloha) variety, indicating that it may be used as the rootstock for seedlings.

**Keywords:** *Meloidogyne incognita*. *M. paranaensis*. *M. exigua*. *M. enterolobii*. *M. javanica*. Life cycle.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

Figura 1 - Número de indivíduos de *Meloidogyne incognita* raça 2 em diferentes estágios de desenvolvimento em macadâmia 10-14 (Aloha) (A) e em tomateiro (B), a 26 °C, avaliados aos 5, 15, 25 e 35 dias após a inoculação (DAI).....34

Figura 2 - Número de indivíduos de *Meloidogyne paranaensis* em diferentes estágios de desenvolvimento em macadâmia 10-14 (Aloha) (A) e em cafeeiro (B), a 26 °C, avaliados aos 5, 15, 25 e 35 dias após a inoculação (DAI).....36

Figura 3 - Número de indivíduos de *Meloidogyne exigua* em diferentes estágios de desenvolvimento em macadâmia 10-14 (Aloha) (A) e em cafeeiro (B), a 26 °C, avaliados aos 5, 15, 25 e 35 dias após a inoculação (DAI).....37

### CAPÍTULO 2

Figura 1 - Número de indivíduos de *Meloidogyne enterolobii* em diferentes estágios de desenvolvimento em macadâmia 10-14 (Aloha) (A) e em tomateiro (B), a 26 °C, avaliados aos 5, 15, 25 e 35 dias após a inoculação (DAI).....54

Figura 2 - Número de indivíduos de *Meloidogyne javanica* em diferentes estágios de desenvolvimento em macadâmia 10-14 (Aloha) (A) e em tomateiro (B), a 26 °C, avaliados aos 5, 15, 25 e 35 dias após a inoculação (DAI).....55



## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

Tabela 1 – Índice de galhas (IG), índice de massas de ovos (IMO), fator de reprodução (FR) e reação (R) de *Meloidogyne incognita* raça 2 em dois experimentos com variedade e cultivares de macadâmia .....31

Tabela 2 – Índice de galhas (IG), índice de massas de ovos (IMO), fator de reprodução (FR) e reação (R) de *Meloidogyne paranaensis* em dois experimentos com variedade e cultivares de macadâmia .....32

Tabela 3 – Índice de galhas (IG), índice de massas de ovos (IMO), fator de reprodução (FR) e reação (R) de *Meloidogyne exigua* em experimento com variedade e cultivares de macadâmia.....33

### CAPÍTULO 2

Tabela 1 - Índice de galhas (IG), índice de massas de ovos (IMO), fator de reprodução (FR) e reação (R) de *Meloidogyne enterolobii* em dois experimentos com variedade e cultivares de macadâmia .....51

Tabela 2 - Índice de galhas (IG) índice de massas de ovos (IMO), fator de reprodução (FR) e reação (R) de *Meloidogyne javanica* em dois experimentos com variedade e cultivares de macadâmia.....52



## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	19
<b>CAPÍTULO 1 - RESISTÊNCIA DE NOGUEIRA-MACADÂMIA</b> <i>(Macadamia integrifolia MAIDEN E BETCHE) A Meloidogyne incognita</i>	
<b>RAÇA 2, Meloidogyne paranaensis E A Meloidogyne</b> <i>exigua</i> .....	23
1.1 INTRODUÇÃO.....	26
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	27
1.3 RESULTADOS.....	30
1.4 DISCUSSÃO.....	38
1.5 CONCLUSÃO.....	41
REFERÊNCIAS.....	41
<b>CAPÍTULO 2 - RESISTÊNCIA DE NOGUEIRA-MACADÂMIA</b> <i>(Macadamia integrifolia MAIDEN E BETCHE) A Meloidogyne enterolobii</i>	
<b>E A Meloidogyne</b> <i>javanica</i> .....	44
2.1 INTRODUÇÃO.....	47
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	48
2.3 RESULTADOS.....	51
2.4 DISCUSSÃO.....	56
2.5 CONCLUSÃO.....	58
REFERÊNCIAS.....	58
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	62
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	63



## INTRODUÇÃO GERAL

A noqueira-macadâmia é uma frutífera nativa das florestas subtropicais australianas e pertence à família botânica Proteaceae (DIERBERGER; NETTO, 1985). São conhecidas mais de 10 espécies, dessas, as únicas que produzem frutos comestíveis são *Macadamia integrifolia* Maiden e Betche e a *Macadamia tetraphylla* L. Johnson (SILVA; CANTUARIAS-AVILÉS, 2010). A *M. integrifolia* é a mais cultivada no mundo, devido à qualidade de suas nozes (SACRAMENTO et al., 2009).

Essa cultura destaca-se no mercado internacional por meio da sua aceitação entre os consumidores devido ao sabor e potencial econômico. Também possui características nutricionais que favorecem boa saúde, longevidade e redução de doenças degenerativas. Dentre as nozes conhecidas, a macadâmia é a mais rica em óleo de alta qualidade nutricional (SILVA; CANTUARIAS-AVILÉS, 2010). Além do consumo *in natura*, a macadâmia é amplamente empregada na indústria com a extração do óleo, utilizado na fabricação de cosméticos e indústria farmacêutica (PIMENTEL, 2007).

Os principais países produtores são Austrália, Hawaii (EUA), África do Sul, Quênia, Malawi, Guatemala, Brasil, Costa Rica e Zimbábue. O alto valor de mercado das amêndoas e a necessidade de diversificar a agricultura levaram ao aumento da produção em alguns países em desenvolvimento e subdesenvolvidos (NAGAO, 2011).

As primeiras plantas de noz macadâmia cultivadas no Brasil foram em Limeira –SP, na fazenda Citra, em 1931. O Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) iniciou os estudos com essa cultura no país, desenvolvendo bases tecnológicas para dar suporte à produção comercial, que se iniciou na década de 1980. Porém, o impulso comercial se deu a partir da década de 1990 (DIERBERGER; NETTO, 1985; PIMENTEL, 2007). Em 2012, o Brasil foi o 7º maior produtor de macadâmia, responsável pela produção de 3% no mercado mundial (PIZA; MORIYA, 2014). Mesmo que sua participação ainda seja pequena no mercado internacional, o país possui potencial climático para a expansão dessa cultura (SCHNEIDER et al., 2012).

Nos últimos anos, a noqueira-macadâmia tem sido considerada uma alternativa de investimento e diversificação de renda em propriedades rurais, mediante a crescente demanda do mercado externo e a consolidação das processadoras e exportadoras brasileiras nesta atividade comercial (SILVA; CANTUARIAS-AVILÉS, 2010). Porém, uma das dificuldades para a consolidação dessa cultura é o

investimento a longo prazo, com um elevado período para a obtenção de retorno financeiro.

Com isso, uma das alternativas é a sua consorciação com culturas intercalares para amortização dos custos (DIERBERGER; NETTO, 1985). A consorciação com a cultura do café é uma prática que está sendo amplamente utilizada, principalmente, no estado de São Paulo e no sul de Minas Gerais, trazendo retornos significativos para as duas culturas (SACRAMENTO et al., 2009). Em estudo realizado no estado de São Paulo, observou-se que a intercalação da macadâmia com o café Arábica, junto com irrigação, proporcionou o maior crescimento da árvore de macadâmia e um aumento na produção das duas culturas (PERDONÁ; SORATTO, 2015), o que favoreceu uma maior rentabilidade e mais rápido retorno do investimento, tornando-se uma opção viável (PERDONÁ et al., 2015).

No entanto, um dos maiores problemas fitossanitários para a cultura do café é a sua suscetibilidade aos nematoides. Diversos gêneros e espécies desse patógeno são associados com café em vários países pelo mundo, incluindo nematoides muito prejudiciais, causando grandes perdas para os cafeicultores (CAMPOS; VILLAIN, 2005). Os nematoides do gênero *Meloidogyne* Goeldi 1892 são os mais comuns e mais danosos ao cafeeiro. As espécies mais nocivas para essa cultura são: *M. incognita*, *M. paranaensis* e *M. exigua* pelos danos que causam e pela ampla disseminação em áreas produtoras dessa cultura (SALGADO; CAMPOS, 2010).

*Meloidogyne exigua* ocorre em todos os principais países produtores de café da América do Sul e Central (CAMPOS; VILLAIN, 2005). Em trabalho realizado no Rio de Janeiro observou-se que em campo com alta infestação de *M. exigua* houve redução drástica no desenvolvimento vegetativo e na produtividade de todas as cultivares de café avaliadas (BARBOSA et al., 2010). Em levantamento realizado em Minas Gerais, foi detectada a presença de *M. paranaensis* em 100% das amostras coletadas em Alpinópolis e Coqueiral, *M. exigua* ocorreu em 92,95% do total de amostras coletadas na região sul do estado, importantes municípios produtores de café na região sul de Minas Gerais (SALGADO et al., 2015).

*Meloidogyne paranaensis* e *M. incognita* são as espécies mais danosas aos cafeeiros, podendo levar os cafezais à morte (SALGADO; CAMPOS, 2010). Embora *M. incognita* ocorra em muitas áreas de cultivo de café ao redor do mundo, foi no Brasil onde seus efeitos nas plantações de café se tornaram catastróficos (CAMPOS; VILLAIN, 2005).

Na implantação do pomar de macadâmia, outras opções de consórcio podem ser inseridas. Na Bahia e no Espírito Santo, por exemplo, a maioria dos pomares foi plantado em consórcio com o mamoeiro (SACRAMENTO et al., 2009). O feijão, olerícolas de maneira geral e outras culturas, de preferência que tenham ciclo curto e que tolerem bom sombreamento, são opções para a intercalação com a cultura da macadâmia. Além da opção consorciada, a macadâmia pode ser uma alternativa de investimento em áreas já saturadas com outras plantações ou com culturas com baixo retorno financeiro.

Dessa forma, é essencial considerar que quando a macadâmia for consorciada com outra cultura, é necessário observar as espécies de *Meloidogyne*, pois essas são relevantes para culturas de importância agrícola, como *M. enterolobii* e *M. javanica*.

A espécie *M. enterolobii* é de grande importância, devido a sua alta agressividade, apresenta virulência contra várias fontes de resistência aos nematoides-das-galhas e possui um alto potencial reprodutivo, comparada com outras espécies de *Meloidogyne* (KIEWNICK et al., 2009). No Brasil, *M. enterolobii* foi detectada dizimando pomares de goiabeira, em 2001, nos estados de Pernambuco e Bahia (CARNEIRO et al., 2001). Na China, foi observada a presença de *M. enterolobii* em plantas de pimenta que apresentavam folhas amareladas e crescimento retardado (WANG et al., 2015). *M. javanica* é outra espécie prejudicial às culturas de importância agrícola como soja (FORTI et al., 2015), batata (SCHAFER et al. 2017) e cana-de-açúcar (BELLÉ et al., 2017).

O primeiro relato de nematoide parasitando macadâmia foi no estado de São Paulo, em 2010, quando detectou-se *Pratylenchus brachyurus* em plantas dessa noqueira (BONFIM Jr et al., 2012). No entanto, estudos sobre nematoide-das-galhas em macadâmia são limitados.

Diante da importância desse patógeno para a agricultura mundial, bem como a expansão da macadamicultura, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a resistência de variedade e cultivares de macadâmia a *M. incognita* raça 2, *M. paranaensis*, *M. exigua*, *M. enterolobii* e *M. javanica*, como também, estudar o ciclo de vida de todas essas espécies de *Meloidogyne* na variedade 10-14 (Aloha), que é a mais utilizada como porta-enxerto na produção de muda no Brasil.

Para isso, a tese será apresentada em dois capítulos. O capítulo 1 “Resistência de noqueira-macadâmia (*Macadamia integrifolia* Maiden e Betche) a *Meloidogyne incognita* raça 2, *Meloidogyne paranaensis* e a *Meloidogyne exigua*” foi redigido

conforme normas da Revista Nematology, e objetivou analisar os nematoides de importância para a cultura do cafeeiro, considerando a possibilidade de consorciação com a noqueira-macadâmia. O capítulo 2, “Resistência de noqueira-macadâmia (*Macadamia integrifolia* Maiden e Betche) a *Meloidogyne enterolobii* e a *Meloidogyne javanica*” foi redigido de acordo com as normas da Revista Phytoparasitica, evidenciou o cultivo da noqueira consorciada com outras culturas e podendo também ser fonte de investimentos em novas áreas, para tal, estudaram-se os nematoides *Meloidogyne enterolobii* e *Meloidogyne javanica*.

**CAPÍTULO 1 - Resistência de noqueira-macadâmia (*Macadamia integrifolia* Maiden e Betche) a *Meloidogyne incognita* raça 2, *Meloidogyne paranaensis* e a *Meloidogyne exigua***

(Artigo redigido conforme normas da Revista Nematology)

Resistência de noqueira-macadâmia (*Macadamia integrifolia* Maiden e Betche) a *Meloidogyne incognita* raça 2, *Meloidogyne paranaensis* e a *Meloidogyne exigua*

## Resumo

A noqueira-macadâmia produz nozes de alta qualidade, muitas regiões do Brasil apresentam condições ideais para o seu cultivo. Visando um retorno financeiro durante os primeiros anos da cultura, a noqueira-macadâmia tem sido consorciada com a cultura do café. Algumas espécies de *Meloidogyne* são agressivas ao cafeeiro, contudo, informações sobre o parasitismo desses nematoides na macadâmia são escassas. O objetivo do trabalho foi avaliar a reação da variedade 10-14 (Aloha) e de cultivares de macadâmia, HAES-344, HAES-660, HAES 816, IAC 4-12B, IAC 9-20 e IAC 4-20 a *M. incognita* raça 2, *M. paranaensis* e *M. exigua* e analisar o ciclo de vida desses nematoides na variedade 10-14 (Aloha). Para o ensaio de resistência em casa de vegetação, o substrato de cada planta foi infestado com 5.000 ovos e eventuais juvenis de cada espécie de *Meloidogyne*. As avaliações foram feitas aos 120 dias após a inoculação. Tomateiros 'Rutgers' foram utilizados como padrão de viabilidade do inóculo de *M. incognita* e plantas de cafeeiro 'Mundo Novo' foram utilizadas para atestar a viabilidade de *M. paranaensis* e de *M. exigua*. As variáveis analisadas foram: índices de galhas (IG), índices de massas de ovos (IMO) e fator de reprodução (FR). Para o ciclo biológico das espécies de *Meloidogyne* em 10-14 (Aloha), a variedade foi infestada com aproximadamente 300 juvenis de cada espécie. As avaliações foram feitas aos 5, 15, 25 e 35 dias após a inoculação. A variedade 10-14 (Aloha) e todas as cultivares estudadas foram resistentes às espécies de nematoides. O ciclo biológico dos nematoides não se completou em 10-14 (Aloha), mesmo aos 35 dias após a inoculação.

Palavras-chaves: *Macadamia integrifolia*, *M. incognita*, *M. paranensis*, *M. exigua*, cafeeiro.

## Abstract

The macadamia tree produces high quality nuts, and many Brazilian regions present ideal conditions for their cultivation. Aiming for financial returns during the first years of cultivation, macadamia walnuts have been grown as a consortium with coffee crops. Some *Meloidogyne* species are aggressive to coffee trees, although, information about the parasitism of these nematodes in macadamia nuts is scarce. In this context, the aim of this study was to evaluate the reaction of macadamia variety 10-14 (Aloha) and macadamia cultivars HAES-344, HAES-660, HAES 816, IAC 4-12B, IAC 9-20 and IAC 4-20 to *M. incognita* race 2, *M. paranaensis* and *M. exigua* and to analyze the life cycle of these nematodes in the cultivar 10-14 (Aloha). For the resistance test, plants were infested with 5,000 eggs and the occasional juvenile of each *Meloidogyne* species. Evaluations were carried out at 120 days after inoculation. 'Rutgers' tomatoes were used as the viability standard for the *M. incognita* inoculum, and 'Mundo Novo' coffee plants were used to attest *M. paranaensis* and *M. exigua* viability. The analyzed variables were the Gall index (GI), egg mass index (EMI) and reproduction factor (RF). To evaluate the biological cycle of the *Meloidogyne* species in the 10-14 (Aloha), this variety was infested with approximately 300 juveniles of each species. Evaluations were carried out at 5, 15, 25 and 35 days post-inoculation. All studied cultivars and variety were resistant to the evaluated nematode species. The nematode biological cycle was not completed in the 10-14 (Aloha) variety, even at 35 days post-inoculation.

**Keywords:** *Macadamia integrifolia*, *M. incognita*, *M. parananensis*, *M. exigua*, cafeeiro.

## 1.1 Introdução

A noqueira-macadâmia produz nozes de alta qualidade com potencial de mercado. Pertence à família Proteaceae e é originária da Austrália (Dierberger & Netto, 1985). Diferentes espécies ocorrem naturalmente nas florestas tropicais australianas. As variedades importantes comercialmente são *Macadamia integrifolia* Maiden & Betche e *Macadamia tetraphylla* L. Johnson, por possuírem nozes comestíveis. Algumas áreas de produção ocorrem, principalmente, na Austrália, nos EUA (Hawaii & California) e na África do Sul. Existem também outras áreas em expansão no Quênia, Malawi, Guatemala, Brasil, Costa Rica e Zimbábue (Nagao, 2011; Walton & Wallace, 2010).

No Brasil, o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), em 1940, iniciou os estudos de melhoramento genético para a adaptabilidade da macadâmia às condições climáticas e lançou as cultivares que atualmente são plantadas no país. Porém, o cultivo de macadâmia só expandiu no Brasil, a partir do início da década de 1990 (Piza & Moriya, 2014; Perdoná *et al.*, 2012). Estudo agroclimático realizado no país mostrou que os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo, e as regiões: do sul de Minas Gerais, leste de Mato Grosso do Sul e oeste do Paraná apresentam condições ideais para a expansão dessa cultura (Schneider *et al.*, 2012).

A noqueira-macadâmia pode ser consorciada com outra cultura visando um retorno financeiro durante os primeiros anos até o estabelecimento das plantas (Dierberger & Netto, 1985). Sobretudo com a cultura do café, pois há uma expansão dessa consorciação no estado de São Paulo, onde resultados de pesquisa apontam que a produtividade da noqueira-macadâmia aumentou em 51% com esse método de cultivo em relação ao cultivo solteiro (Perdoná & Soratto, 2015).

Experimento realizado em Dois Córregos, São Paulo, durante 8 anos, constatou que o uso da irrigação e a consorciação de cafeeiro com macadâmia aumentou o rendimento das duas culturas e reduziu o período de recuperação do investimento da noqueira, já que aumentou a eficiência do uso da terra em cinco vezes (Perdoná *et al.*, 2015). Isso ocorre porque, em consórcio com o cafeeiro, a macadâmia é beneficiada pelas condições do sombreamento do café no solo e pela fertilidade proporcionada pela adubação do cafezal, implicando em maior exploração e desenvolvimento do sistema radicular da macadâmia (Perdoná *et al.*, 2012).

Os nematoides do gênero *Meloidogyne* Goeldi 1892, são prejudiciais e agressivos à cultura do café. No Brasil, as principais espécies são: *M. exigua*, *M. incognita* e *M. paranaensis* devido aos danos causados e pela sua alta disseminação em quase todos os estados produtores de café (Salgado & Campos, 2010). Os prejuízos que esses nematoides causam aos cafezais são tão sérios que, uma vez detectada a presença de *M. incognita* ou *M. paranaensis* nas raízes da planta a recomendação é a erradicação das plantas doentes que ocorrem nas reboleiras (Zambolim, 2015). Em levantamento recente, em três municípios no sul de Minas Gerais, foram detectadas mistura de populações de *M. exigua*, *M. incognita* e *M. paranaensis* em 4,4% das amostras de café. *Meloidogyne exigua* foi a espécie mais predominante e ocorreu na maioria dos municípios (Santos *et al.*, 2017).

O primeiro relato de nematoide em macadâmia no Brasil foi em 2010, no estado de São Paulo, quando detectou-se a presença de *Pratylenhus brachyurus* parasitando plantas de macadâmia (Bonfim Jr *et al.*, 2012). Porém, até então, não há estudos de resistência e suscetibilidade de *M. incognita* raça 2, *M. exigua* e *M. paranaensis* em macadâmia. Desse modo, o objetivo do trabalho foi avaliar a reação da variedade 10-14 (Aloha) e de seis cultivares de macadâmia a essas três espécies de *Meloidogyne* e analisar o ciclo de vida desses nematoides na variedade 10-14 (Aloha), por ser a utilizada como porta-enxerto.

## 1.2 Material e Métodos

### **Resistência de noqueira-macadâmia a *Meloidogyne incognita* raça 2, *M. paranaensis* e *M. exigua***

O experimento foi instalado em casa de vegetação do Departamento de Proteção Vegetal da Faculdade de Ciências Agrônômicas, FCA/UNESP, Câmpus de Botucatu-SP.

Foram avaliadas a variedade 10-14 (Aloha) e seis cultivares de macadâmia, HAES-344, HAES-660, HAES 816, IAC 4-12B, IAC 9-20 e IAC 4-20, a *M. incognita* raça 2, *M. paranaensis* e *M. exigua*. Para a testemunha foram utilizadas mudas de tomateiros 'Rutgers' para *M. incognita* e mudas de café 'Mundo Novo' para *M. paranaensis* e *M. exigua*.

As sementes de macadâmia foram colocadas para a germinação em bandeja de madeira contendo areia autoclavada. Após a germinação, as plântulas de

macadâmias foram transplantadas para vasos contendo 2L de substrato autoclavado, composto por solo, areia e matéria orgânica (1:2:1).

Populações puras de *M. incognita* foram obtidas de raízes de cafeeiro coletadas no município de Osvaldo Cruz, SP. As fêmeas foram identificadas através do padrão perineal, posteriormente, os nematoides foram confirmados através de análise molecular e inoculados em plantas de tomateiros 'Rutgers' mantidos em casa de vegetação. Os inóculos de *M. paranaensis* e *M. exigua* foram obtidos de raízes de cafeeiro 'Mundo Novo', confirmados com análise molecular, cedidas pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG).

Os sistemas radiculares infectados com cada uma das espécies de nematoides avaliadas foram processados separadamente conforme a metodologia proposta por Hussey e Barker (1973), que consiste na trituração das raízes infectadas em liquidificador com solução de hipoclorito de sódio, seguida de peneiramento. Os ovos e os eventuais juvenis foram contados em lâmina de Peters, sob microscópio de luz.

O substrato de cada planta de macadâmia foi inoculado com 5.000 ovos e eventuais juvenis de *M. incognita*, ou *M. paranaensis* ou *M. exigua*. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, com cinco repetições, sendo cada parcela constituída por uma planta por vaso. Tomateiros 'Rutgers' foram utilizados como padrão de viabilidade do inóculo de *M. incognita* e plantas de café 'Mundo Novo' foram utilizadas para atestar a viabilidade de *M. paranaensis* e *M. exigua*. Os tomateiros foram avaliados aos 60 dias, em virtude do ciclo curto da cultura.

Quatro meses após a inoculação, o sistema radicular de cada planta foi lavado em água corrente e submetido à coloração com Floxina B para a obtenção dos índices de galhas (IG) e índices de massas de ovos (IMO) de acordo com a escala de notas proposta por Taylor e Sasser (1978), em que: nota 0 = sem galhas ou massas de ovos; nota 1 = 1 a 2 galhas ou massas de ovos; nota 2 = 3 a 10 galhas ou massas de ovos; nota 3 = 11 a 30 galhas ou massas de ovos; nota 4 = 31 a 100 galhas ou massas de ovos e nota 5 = mais de 100 galhas ou massas de ovos por raiz.

Para a extração dos ovos de cada planta, os sistemas radiculares foram processados separadamente utilizando o método de Coolen e D'Herde (1972). O número total de ovos por sistema radicular foi quantificado com o auxílio de um microscópio de luz e de lâminas de Peters. O fator de reprodução foi calculado através da fórmula  $FR = PF / PI$ , onde PF = população final do nematoide e PI = população inicial do nematoide (PI = 5.000 ovos). As plantas com  $FR < 1$  foram consideradas

resistentes e  $FR \geq 1$  suscetíveis (Oostenbrink 1966). Para maior confiabilidade dos dados, os experimentos foram conduzidos duas vezes, exceto para *M. exigua*, devido à ausência de inóculo para a execução do segundo experimento.

### **Ciclo de vida de *Meloidogyne incognita*, *M. paranaensis* e *M. exigua* em nogueira-macadâmia 10-14 (Aloha)**

Os experimentos foram desenvolvidos em câmaras incubadoras (BOD) do laboratório de Nematologia Agrícola do Departamento de Proteção Vegetal da Faculdade de Ciências Agrônômicas na Universidade Estadual Paulista - Júlio de Mesquita Filho, Botucatu-SP.

A população pura de *M. incognita* utilizada para a montagem do experimento foi obtida a partir de plantas de tomateiros mantidas em casa de vegetação. A espécie *M. paranaensis* foi cedida pela EPAMIG para a montagem do experimento de resistência, mencionado acima e, posteriormente, foi mantida em plantas de café 'Mundo Novo' para a montagem desse experimento. O inóculo de *M. exigua*, mantido em planta de café cv. Mundo Novo, foi cedido pelo Instituto Biológico (IB).

Para a obtenção das plântulas da variedade 10-14 (Aloha), utilizada por ser a mais empregada como porta-enxerto na produção de mudas, as sementes foram postas para germinar em bandejas de madeira com areia autoclavada. Após a germinação, as plântulas foram transplantadas para copos plásticos de 210 mL com substrato composto por solo, areia e matéria orgânica na proporção (1:1:1), previamente autoclavado.

Para a obtenção dos juvenis de segundo estágio (J2) utilizados nas montagens dos experimentos, os nematoides foram processados separadamente de acordo com a técnica proposta por Hussey e Barker (1973). Em seguida, as suspensões de cada espécie do nematoide foram colocadas em aparatos de Baermanns modificados para recipientes rasos conforme Southey (1986). Cinco dias após o transplante, cada plântula foi inoculada com cerca de 300 (J2) de *M. incognita*, ou *M. paranaensis* ou *M. exigua*. As plântulas foram mantidas em câmaras incubadoras na temperatura de 26 °C e fotoperíodo de 12 horas.

Os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições e cada parcela constituída, por uma planta por copo. Tomateiros 'Rutgers' foram utilizados como testemunha para *M. incognita*. Plântulas

de café 'Mundo Novo' foram utilizadas para confirmarem viabilidade de *M. paranaensis* e *M. exigua*.

Aos 5, 15, 25 e 35 dias após a inoculação (DAI), as avaliações foram feitas. Para cada experimento foram coletadas aleatoriamente quatro plantas do tratamento e quatro da testemunha. Os sistemas radiculares das plantas foram lavados com cuidado sob água corrente, colocados em papel absorvente para a retirada do excesso de água e submetidos à coloração com fucsina ácida e lactoglicerol (em substituição ao lactofenol) (McBeth et al. 1941 apud Daykin e Hussey 1985). Após a coloração, os sistemas radiculares foram dissecados em lupa para a contagem e classificação dos estádios de desenvolvimento do nematoide segundo Triantaphyllou e Hirschmann (1960): (J2a) – juvenil infectivo de segundo estágio que não induziu as células de alimentação; (J2b) – juvenil parasítico de segundo estágio que induziu a célula de alimentação; (J3) – juvenil de terceiro estágio que se formou após a segunda ecdise e é desprovido do estilete; (J4) – juvenil de quarto estágio que se formou após a terceira ecdise e é desprovido de estilete, devido a semelhança morfológica entre os estágios (J3) e (J4), foi considerado (J3)/(J4); fêmea sem ovos e fêmea com ovos.

### 1.3 Resultados

#### **Resistência de noqueira-macadâmia a *Meloidogyne incognita* raça 2, *M. paranaensis* e *M. exigua***

As plantas de macadâmia não permitiram a multiplicação de *M. incognita*, *M. paranaensis* e *M. exigua*, comprovando resistência a essas espécies (Tabelas 1, 2 e 3).

Os índices de galhas (IG) na variedade e nas cultivares de macadâmia inoculadas com *M. incognita* foi 0,4 para 10-14 (Aloha) e zero para as cultivares. Os índices de massas de ovos (IMO) e o fator de reprodução (FR) foram zero e menor que 1 na variedade e cultivares estudadas. A viabilidade do inóculo foi confirmada, nos dois experimentos, com FR=16,2 e 10,6, respectivamente (Tabela 1).

**Tabela 1** Índice de galhas (IG), índice de massas de ovos (IMO), fator de reprodução (FR) e reação (R) de *Meloidogyne incognita* raça 2 em dois experimentos com variedade e cultivares de macadâmia

Cultivares	Experimento 1				Experimento 2			
	IG <sup>a</sup>	IMO <sup>a</sup>	FR <sup>b</sup>	R <sup>c</sup>	IG	IMO	FR	R
Tomateiro	4,0	4,2	16,2	S <sup>d</sup>	4,6	4,2	10,6	S
10-14 (Aloha)	0,4	0,0	0,0	R	0,4	0,0	0,0	R
IAC 9-20	0,0	0,0	0,0	R	0,0	0,0	0,0	R
IAC 4- 20	0,0	0,0	0,0	R	0,0	0,0	0,0	R
IAC 4-12B	0,0	0,0	0,0	R	0,0	0,0	0,0	R
HAES 660	0,0	0,0	0,0	R	0,0	0,0	0,0	R
HAES 344	0,0	0,0	0,0	R	0,0	0,0	0,0	R
HAES 816	0,0	0,0	0,0	R	0,0	0,0	0,0	R

<sup>a</sup>Escala de notas: nota 0 (sem galha/massa de ovo); nota1 (1 a 2 galhas/massa de ovo); nota 2 (3 a 10 galhas/massa de ovo); nota 3 (11 a 30 galhas/massa de ovo); nota 4 (31 a 100 galhas/massa de ovo); nota 5 (mais de100 galhas/massa de ovo).<sup>b</sup>FR= População final (Pf)/População inicial (Pi). <sup>c</sup>R= resistente (RF < 1,0); <sup>d</sup>S= suscetível (RF ≥ 1,0) (Oostenbrink, 1966). Tomateiros 'Rutgers' padrão de suscetibilidade

Comportamento semelhante foi encontrado para a variedade e cultivares de macadâmia inoculadas com *M. paranaensis*. Os índices de galhas e de massas de ovos foram iguais a zero para todas e o FR < 1 nos dois experimentos, mostrando a consistência dos resultados. O FR do café 'Mundo Novo' usado como testemunha foi maior que um nos dois experimentos, 4 e 3,5, respectivamente, comprovando a viabilidade de *M. paranaensis* (Tabela 2).

**Tabela 2** Índice de galhas (IG), índice de massas de ovos (IMO), fator de reprodução (FR) e reação (R) de *Meloidogyne paranaensis* em dois experimentos com variedade e cultivares de macadâmia

Cultivares	Experimento 1				Experimento 2			
	IG <sup>a</sup>	IMO <sup>a</sup>	FR <sup>b</sup>	R <sup>c</sup>	IG	IMO	FR	R
Cafeeiro	2,4	3,2	4,0	S <sup>d</sup>	2,0	3,6	3,5	S
10-14 (Aloha)	0,0	0,0	0,0	R	0,0	0,0	0,0	R
IAC 9-20	0,0	0,0	0,0	R	0,0	0,0	0,0	R
IAC 4- 20	0,0	0,0	0,0	R	0,0	0,0	0,0	R
IAC 4-12B	0,0	0,0	0,0	R	0,0	0,0	0,0	R
HAES 660	0,0	0,0	0,0	R	0,0	0,0	0,0	R
HAES 344	0,0	0,0	0,0	R	0,0	0,0	0,0	R
HAES 816	0,0	0,0	0,0	R	0,0	0,0	0,0	R

<sup>a</sup>Escala de notas: nota 0 (sem galha/massa de ovo); nota 1 (1 a 2 galhas/massa de ovo); nota 2 (3 a 10 galhas/massa de ovo); nota 3 (11 a 30 galhas/massa de ovo); nota 4 (31 a 100 galhas/massa de ovo); nota 5 (mais de 100 galhas/massa de ovo). <sup>b</sup>FR= População final (Pf)/População inicial (Pi). <sup>c</sup>R= resistente (RF < 1,0); <sup>d</sup>S= suscetível (RF ≥ 1,0) (Oostenbrink, 1966). Cafeeiro 'Mundo Novo' padrão de suscetibilidade

Para *M. exigua*, a variedade e as cultivares de macadâmia apresentaram IG e IMO zero, com FR<1. A viabilidade do inóculo foi confirmada através do cafeeiro 'Mundo Novo' com FR>1 (Tabela 3).

**Tabela 3** Índice de galhas (IG), índice de massas de ovos (IMO), fator de reprodução (FR) e reação (R) de *Meloidogyne exigua* em experimento com variedade e cultivares de macadâmia

Cultivares	Experimento			
	IG <sup>a</sup>	IMO <sup>a</sup>	FR <sup>b</sup>	R <sup>c</sup>
Cafeeiro	2,0	2,0	3,0	S <sup>d</sup>
10-14 (Aloha)	0,0	0,0	0,0	R
IAC 9-20	0,0	0,0	0,0	R
IAC 4- 20	0,0	0,0	0,0	R
IAC 4-12B	0,0	0,0	0,0	R
HAES 660	0,0	0,0	0,0	R
HAES 344	0,0	0,0	0,0	R
HAES 816	0,0	0,0	0,0	R

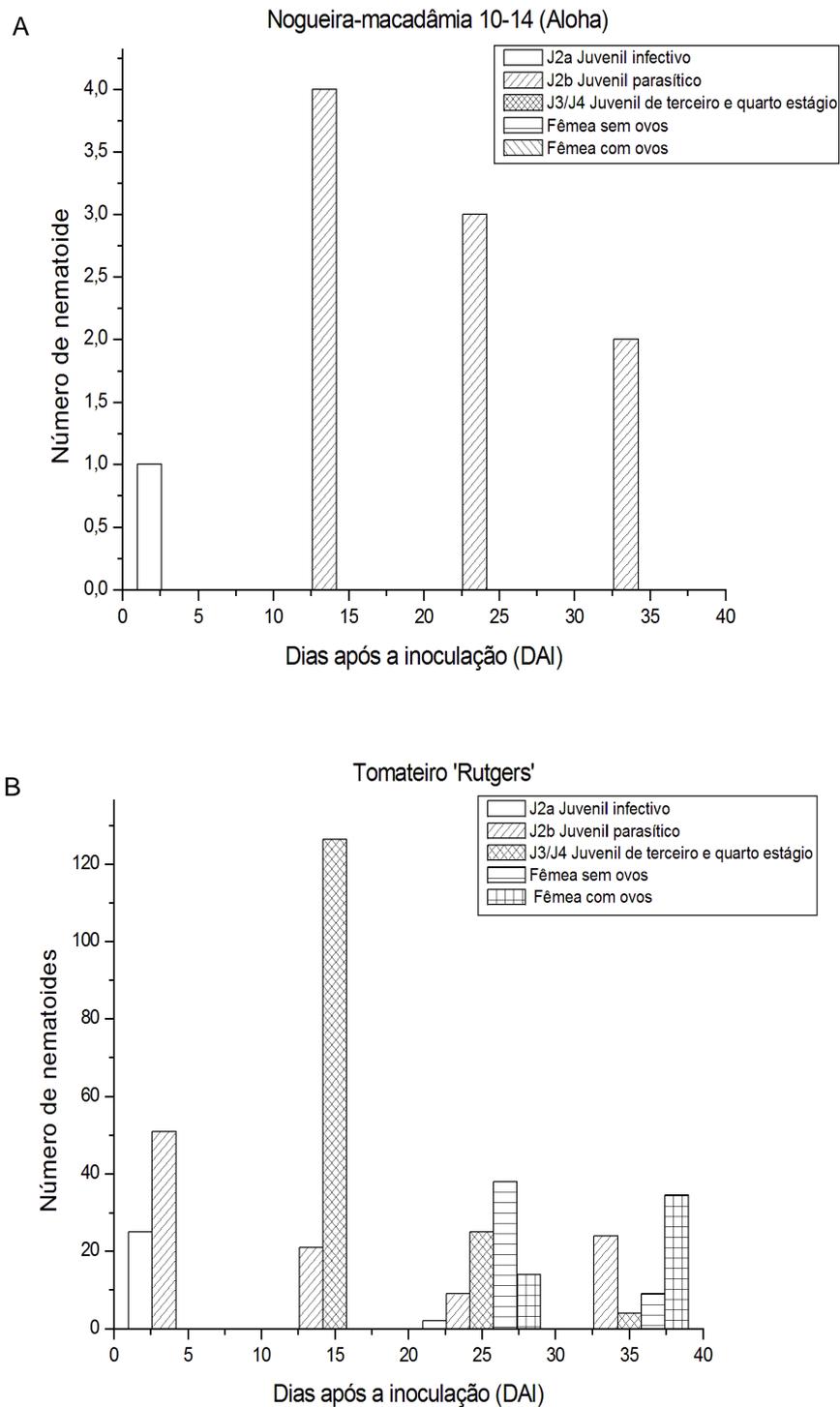
<sup>a</sup>Escala de notas: nota 0 (sem galha/massa de ovo); nota 1 (1 a 2 galhas/massa de ovo); nota 2 (3 a 10 galhas/massa de ovo); nota 3 (11 a 30 galhas/massa de ovo); nota 4 (31 a 100 galhas/massa de ovo); nota 5 (mais de 100 galhas/massa de ovo). <sup>b</sup>FR= População final (Pf)/População inicial (Pi). <sup>c</sup>R= resistente (RF < 1,0); <sup>d</sup>S= suscetível (RF ≥ 1,0) (Oostenbrink, 1966). Cafeeiro 'Mundo Novo' padrão de suscetibilidade

### **Ciclo de vida de *Meloidogyne incognita* raça 2, *M. paranaensis* e *M. exigua* em noqueira-macadâmia 10-14 (Aloha)**

Em todos os experimentos avaliados foram observados que houve penetração de *M. incognita* raça 2, *M. exigua* e *M. paranaensis* na variedade 10-14 (Aloha). Porém, nenhuma das espécies de *Meloidogyne* completou seu ciclo de vida na macadâmia aos 35 dias após a inoculação (DAI) (Figuras 1, 2 e 3).

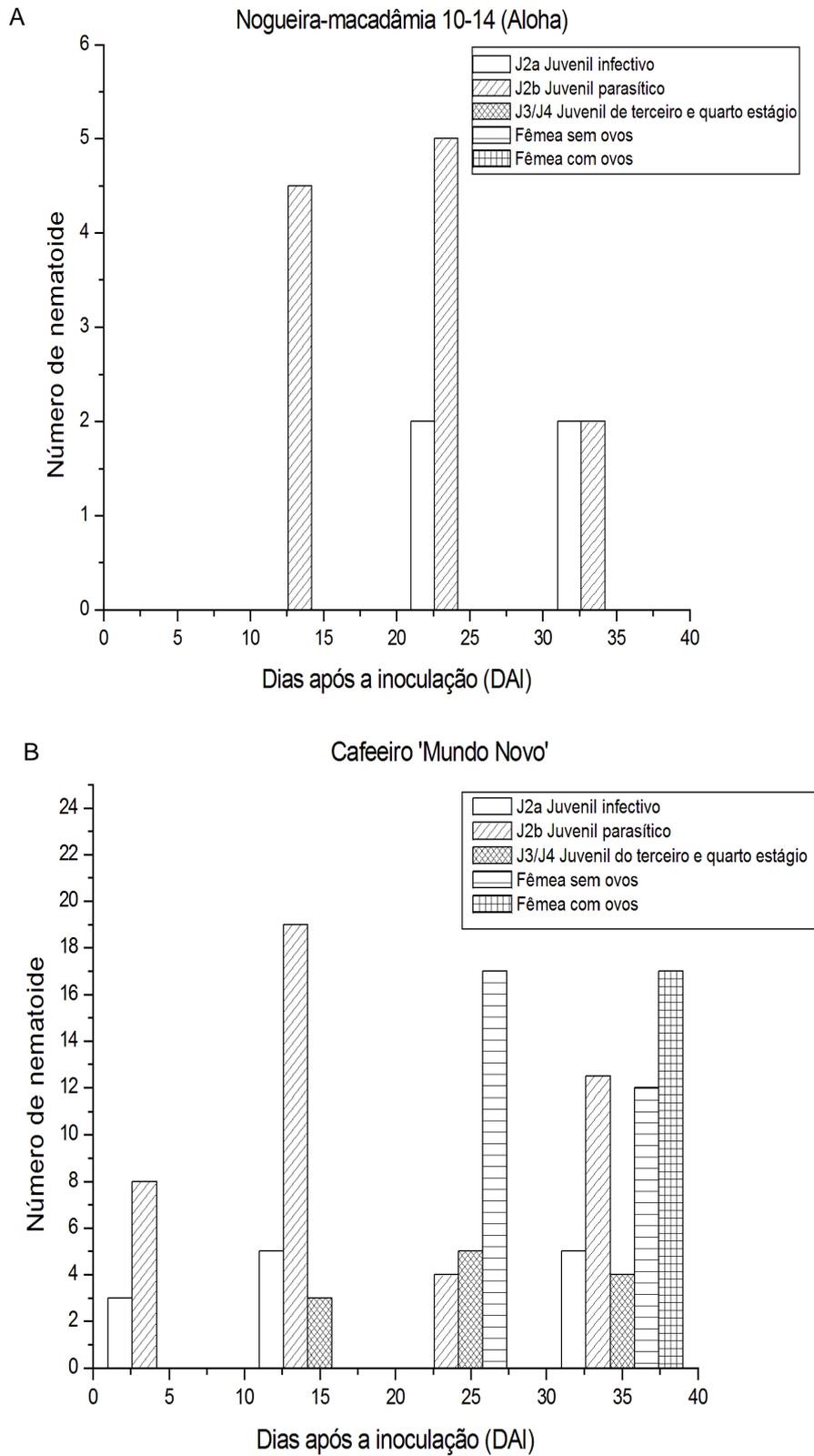
Em todas as avaliações foram observadas juvenis de *M. incognita* em 10-14 (Aloha). Contudo, os juvenis que penetraram não induziram o parasitismo (Figura 1 A). No tomateiro, aos 25 DAI, foi possível observar fêmeas com ovos (Figura 1 B).

**Figura 1** Número de indivíduos de *Meloidogyne incognita* raça 2 em diferentes estágios de desenvolvimento em macadâmia 10-14 (Aloha) (A) e em tomateiro (B), a 26 °C, avaliados aos 5, 15, 25 e 35 dias após a inoculação (DAI)



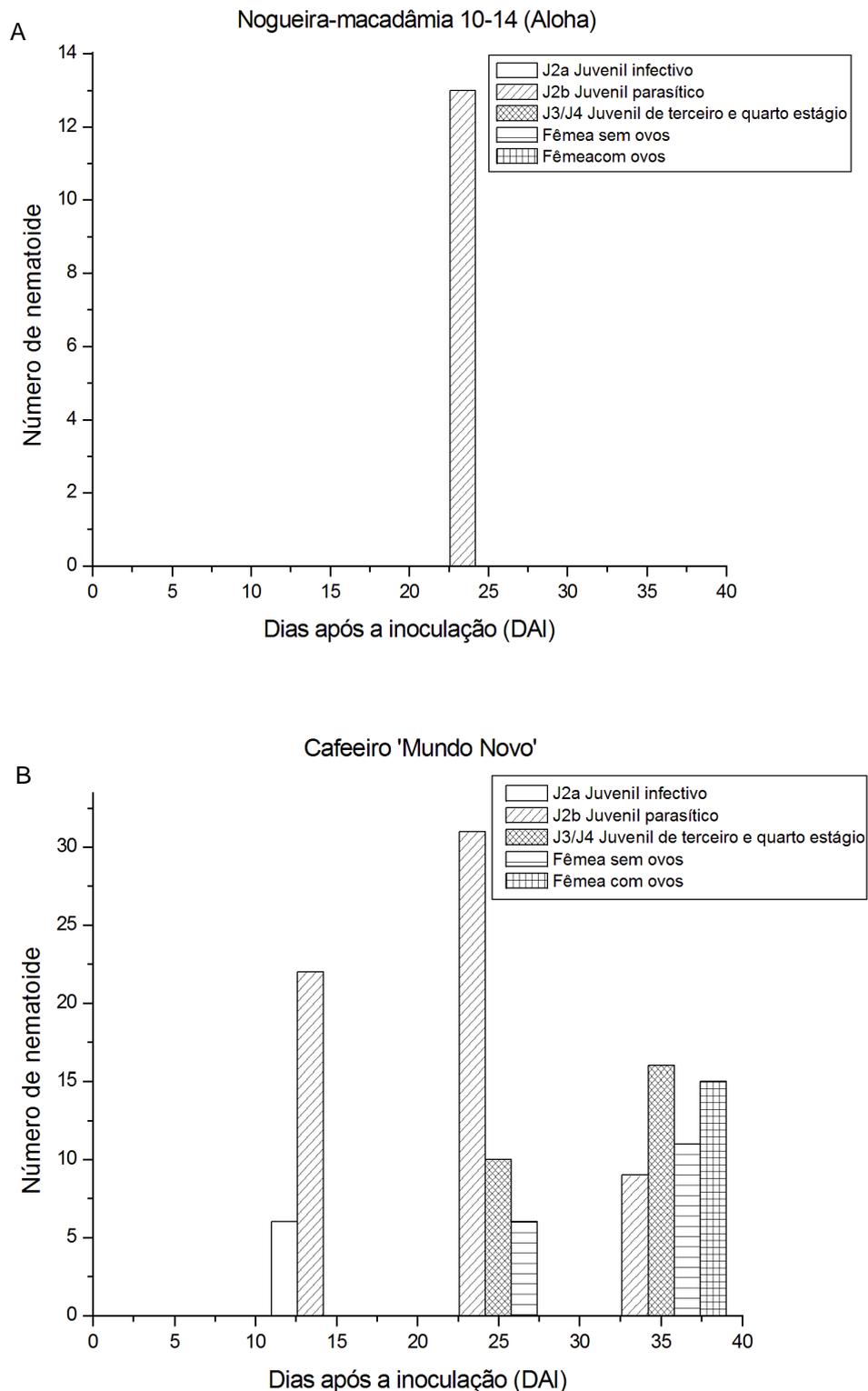
Não foram observados indivíduos de *M. paranaensis* nas raízes da macadâmia aos 5 DAI. No entanto, aos 15, 25 e 35 DAI foram verificados juvenis de segundo estágio nas raízes, mesmo que em pequena quantidade (Figura 2 A). No cafeeiro, foi constatada a presença de fêmeas com ovos e de indivíduos da segunda geração aos 35 DAI (Figura 2 B).

**Figura 2** Número de indivíduos de *Meloidogyne paranaensis* em diferentes estágios de desenvolvimento em macadâmia 10-14 Aloha (A) e em cafeeiro (B), a 26 °C, avaliados aos 5, 15, 25 e 35 dias após a inoculação (DAI)



Em contrapartida, só foi verificado *M. exigua* em macadâmia apenas aos 25 DAI (Figura 3 A). Nas testemunhas, foram observadas fêmeas sem ovos e fêmeas com ovos aos 25 e 35 DAI, respectivamente (Figura 3 B).

**Figura 3** Número de indivíduos de *Meloidogyne exigua* em diferentes estágios de desenvolvimento em macadâmia 10-14 (Aloha) (A) e em cafeeiro (B), a 26 °C, avaliados aos 5, 15, 25 e 35 dias após a inoculação (DAI)



## 1.4 Discussão

A consorciação da noqueira-macadâmia com a cultura do café vem sendo utilizada pelos produtores em muitas regiões cafeeiras e tem demonstrado benefícios para as duas culturas (Pezzopane *et al.*, 2010; Perdoná *et al.*, 2012; Perdoná & Soratto; Perdoná *et al.*, 2015). Apesar dessa consorciação e da expansão da macadâmia, não há estudos sobre a associação de nematoides-das-galhas nessa cultura (El-Borai & Duncan 2005).

*Meloidogyne incognita*, *M. paranaensis* e *M. exigua* são as espécies do gênero *Meloidogyne* de maior importância econômica para cultura do café no Brasil e estão distribuídas em quase todas as regiões produtoras (Salgado & Campos, 2010).

*M. incognita* possui uma grande gama de hospedeiros, incluindo culturas de importância agrícola, e está disseminada em todo o mundo (Karssen & Moens, 2006). A macadâmia não permitiu a multiplicação de *M. incognita* raça 2, podendo ser utilizada em áreas infestadas com esse nematoide que não irá incrementar a população. Essa noqueira torna-se uma opção para a consorciação com a cultura do café em cafezal infestado com essa espécie de nematoide. Ela atuaria como planta antagonista, não permitindo a reprodução do nematoide, assim, diminuindo sua população. Além disso, o cultivo consorciado da noqueira-macadâmia com o cafeeiro arábica, sob irrigação, permite maior rentabilidade e mais rápido retorno do investimento (Perdoná *et al.*, 2015).

A mesma tendência ocorreu para *M. paranaensis*, pois não houve a multiplicação desse nematoide na variedade e nas cultivares de macadâmia em nenhum dos experimentos, com  $FR < 1$ , IG e IMO iguais a zero. As informações na literatura acerca do FR dessas plantas de macadâmia não existem, confirmando a importância desse trabalho. Visto que *M. paranaensis* representa uma grande ameaça para a cafeicultura, em virtude da agressividade do seu parasitismo (Salgado & Campos, 2010). Em consequência de sua alimentação, os tecidos localizados ao redor das células gigantes morrem, podendo resultar em crescimento reduzido e, muitas vezes, a morte da planta. No Brasil, grandes plantações de café foram severamente prejudicadas por este nematoide (Carneiro *et al.*, 1996). A variedade e todas as cultivares avaliadas de macadâmia podem ser plantadas intercaladas com o cafeeiro em áreas infestadas com *M. paranaensis*.

A não reprodução de *M. exigua* nas cultivares de noqueira-macadâmia mostrou que essas plantas também podem ser cultivadas em áreas infestadas com esse nematoide, que é uma situação comum em cafezais. No Brasil, a população de *M. exigua* reduziu drasticamente o desenvolvimento vegetativo e a produtividade de todas as cultivares de café (Barbosa, *et al.*, 2010). *Meloidogyne exigua* foi detectado em 92,95% das amostras coletadas em lavouras de *Coffea arabica* de alguns municípios produtores de café do sul de Minas Gerais (Salgado *et al.*, 2015).

Os resultados obtidos demonstraram que a noqueira-macadâmia é uma alternativa de planta antagonista, para todas as espécies de nematoides estudadas, pois não irá favorecer a multiplicação dos nematoides, e sim diminuir essa população. Há outras culturas como crotalária e mucuna que reduzem drasticamente a população de nematoides e são usadas em áreas com alta infestação desse patógeno. Porém, essas não possuem valor comercial para o produtor (Ferraz *et al.*, 2012). Em contrapartida, a macadâmia agrega retorno financeiro para o produtor, já que é uma cultura de alto valor agregado.

Os estudos dos ciclos de vidas de *M. incognita* raça 2, *M. paranaensis* e *M. exigua* em 10-14 (Aloha) complementaram os resultados obtidos no estudo de resistência, uma vez que a metodologia utilizada é mais específica, permitindo observar o nematoide no interior do sistema radicular.

Constatou-se que 10-14 (Aloha) não permitiu a reprodução de *M. incognita* raça 2, *M. paranaensis* e *M. exigua*. Isso indica que essa variedade pode ser plantada em áreas infestadas com essas espécies, proporcionando uma diminuição nas populações desses patógenos.

Todas as espécies de nematoide penetraram em 10-14 (Aloha), mesmo que em baixa quantidade. Isso pode ser relacionado à resposta de invasão dos nematoides-das-galhas, pois as plantas geralmente são capazes de reconhecer e reagir ativando mecanismos de defesa. Estes incluem a produção de radicais de oxigênio tóxicos e compostos de sinalização sistêmica, bem como a ativação de genes de defesa que levam à produção de barreiras estruturais ou outras toxinas destinadas a prejudicar o patógeno. Quando a resposta da planta é muito fraca ou muito tardia, resultará em uma infecção bem-sucedida. Uma resposta de defesa rápida e forte resultará em uma reação resistente (Gheysen & Jones 2006).

Resultados semelhantes foram encontrados para cultivar resistente de café lapar 59, que apresentou baixa penetração de *M. exigua*, uma resposta de defesa à

infecção e um desenvolvimento do J2 limitado, quando comparada com a cultivar suscetível. Os autores atribuem que a baixa penetração de J2 na cv. Iapar 59 indica a presença de barreiras físicas e/ ou químicas na planta (Anthony *et al.*, 2005). A baixa penetração dos juvenis de *Meloidogyne* em 10-14 (Aloha) pode ser devido, possivelmente, a mecanismos de resistência pré-infectivo.

Os juvenis de segundo estágio de *Meloidogyne* que penetraram em 10-14 (Aloha) não ultrapassaram do estágio J2b, diferente do observado nas testemunhas, que, aos 25 DAI, já haviam fêmeas sem ovos, e no caso de *M. incognita* encontraram-se fêmeas com ovos nessa época de avaliação. A ausência dos estágios J3/J4, fêmea sem ovos e de fêmeas com ovos, indica que os juvenis que penetraram não foram capazes de formar o sítio de alimentação. Uma vez que, após a penetração do J2 no interior do sistema radicular, ele migra intercelularmente até a proximidade do tecido vascular para iniciar o sítio de alimentação, que é o responsável por fornecer os nutrientes aos nematoides até a sua reprodução (Abad *et al.*, 2009).

Uma resposta de resistência semelhante foi observada com *M. enterolobii* inoculado em maracujazeiro, em que os J2 penetraram em 'FB200', mas não induziram parasitismo (Costa *et al.*, 2017), assim como em genótipos de arroz africano resistente a *M. graminicola* (Cabasan *et al.*, 2012). Em trabalho desenvolvido com tomateiros suscetíveis e resistentes inoculados com *M. incognita*, observou-se que os nematoides que penetraram no tomateiro suscetível migraram para o cilindro vascular, enquanto que, no tomateiro resistente, nenhum J2 foi observado entrando no cilindro vascular, além de mostrarem-se desorientados (Potenza *et al.*, 1996).

Através dos resultados obtidos nesse estudo, observou-se que a variedade 10-14 (Aloha) e todas as cultivares de macadâmia foram resistentes a *M. incognita* raça 2, *M. paranaensis* e *M. exigua*. De acordo com os resultados dos experimentos do ciclo de vida dos nematoides em 10-14 (Aloha) supõe-se que a macadâmia possui fatores de resistência pré-infectivo e pós-infectivo, já que houve baixa penetração nas raízes, e os juvenis que penetraram não induziram o parasitismo, nenhum nematoide completou o seu ciclo de vida.

## 1.5 Conclusão

A variedade de macadâmia 10-14 (Aloha) e as cultivares HAES-344, HAES-660, HAES 816, IAC 4-12B, IAC 9-20 e IAC 4-20 não permitiram a multiplicação de *M. incognita* raça 2, *M. paranaensis* e *M. exigua*, demonstrando a resistência, podendo ser utilizadas em áreas infestadas com esses nematoides.

*Meloidogyne incognita* raça 2, *M. paranaensis* e *M. exigua* não completaram o seu ciclo de vida em 10-14 (Aloha).

## Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela bolsa de doutorado concedida ao primeiro autor. À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), pelo inóculo de *M. paranaensis* e *M. exigua* utilizados no primeiro experimento. Ao Instituto Biológico (IB), por ceder o inóculo *M. exigua* para o experimento do ciclo de vida.

## Referências

- Abad, P., Castagnose-Sereno, P., Rosso, M.N., Engler, J.A. & Favery, B. (2009). Invasion, feeding and development. In: Perry, R.N., Moens, M. & Starr, J.L. (Eds). Root-Knot nematodes. Wallingford, UK, CABI Publishing, pp.163-176.
- Anthony, F., Topart, P., Martinez, A., Silva, M. & Nicole, M. (2005). Hypersensitive-like reaction conferred by the Mex-1 resistance gene against *Meloidogyne exigua* in coffee. *Plant Pathology* 54, 476-482.
- Barbosa, D.H.S.G., Souza, R.M. & Vieira, H.D. (2010). Field assessment of coffee (*Coffea arabica* L.) cultivars in *Meloidogyne exigua*-infested or -free fields in Rio de Janeiro State, Brazil. *Crop Protection* 29, 175-177.
- Bonfim Jr, M. F., Machado, A.C.Z., & Araújo Filho, J.V. (2012). *Pratylenchus brachyurus* (Nematoda: Pratylenchidae) on macadamia in Brazil. *Australasian Plant Disease Notes*, DOI 10.1007/s13314-011-0032-8.
- Cabasan, M.T.N., Kumar, A., & Waele, D.W. (2012). Comparison of migration, penetration, development and reproduction of *Meloidogyne graminicola* on susceptible and resistant rice genotypes. *Nematology* 14, 405-415.
- Carneiro, R.M.D.G., Carneiro, R. G., Abrantes, I.M.O., Santos, M.S.N.A., Almeida, M.R.A. (1996). *Meloidogyne paranaensis* n. sp. (Nemata: Meloidogynidae), a Root Knot Nematode Parasitizing Coffee in Brazil. *Journal of Nematology* 28, 177-189.

Coolen, W.A., D'Herde, C.J. (1972). A method for quantitative extraction of nematodes from plant tissue. State Nematology and Entomology Research Station.

Costa, M.G.S., Correia, E.C.S.S., Garcia, M.J.D.M., & Wilcken, S.R.S. (2017). Resistance to root-knot nematodes on passion fruit genotypes in Brazil. *Phytoparasitica* 45, 325–331.

Daykin, M.E. & Hussey, R.S. Staining and histopathological techniques in nematology. (1985). In: Barker, K.R., Carter, C.C & Sasser, J.N. (Eds.), *An advanced treatise on Meloidogyne*. Raleigh: North Carolina State University Graphics, pp.39-48.

Dierberger, J.E. & Netto, L.M. (1985). Noz macadâmia: uma nova opção para a fruticultura brasileira. São Paulo, Nobel.

El-Borai, F.E. & Duncan, L.W. (2005). Nematode parasites of subtropical and tropical fruit tree crops. In: Luc, M. Sikora, R.A & Bridge, J. (Eds.), *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture*. Wallingford: CAB International, pp. 467–492.

Ferraz, S., Freita, L.G., Lopes, E.A. & Dias-Arieira, C.R. (2012). Manejo sustentável de fitonematoides. Viçosa, Minas Gerais, UFV.

Gheysen, G. Jones, J.T. (2006). Molecular aspects of plant–nematode interactions. In: Perry, R.N., Moens, M. (Eds.), *Plant nematology*. Wallingford: CAB International. (pp. 234-252).

Hussey, R.S. & Barker, K.R. (1973). A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp., including a new technique. *Plant Disease Reporter* 57, 1025 –1028.

Karssen, G. & Moens, M. (2006). Root-knot nematodes. In: Perry, R.N. & Moens, M. (Eds.), *Plant nematology*. Wallingford, UK, CAB Publishing, pp. 59–90.

Nagao, M.A. (2011). Farm and forestry production and marketing profile for macadamia nut (*Macadamia integrifolia* and *M. tetraphylla*). In: Elevitch, C.R. (ed.).

Oostenbrink, M. (1966). Major characteristics of the relation between nematodes and plants. *Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen*, 66, 1 - 46.

Perdoná, M.J., Martins, A.N., Suguino, E. & Soratto, R.P. (2012). Crescimento e produtividade de noqueira-macadâmia em consórcio com cafeeiro arábica irrigado. *Pesquisa agropecuária brasileira* 47, 1613-1620.

Perdoná, M.J. & Soratto, R.P. (2015). Higher yield and economic benefits are achieved in the macadamia crop by irrigation and intercropping with coffee. *Scientia Horticulturae*, 185, 59–67.

Perdoná, M.J., Soratto, R.P. & Esperancini, M.S.T. (2015). Desempenho produtivo e econômico do consórcio de cafeeiro arábica e noqueira-macadâmia. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 50, 12-23.

- Pezzopane, J.R.M., Marsetti, M.M.S., Souza, J.M., & Pezzopane, J.E.M. (2010). Condições microclimáticas em cultivo de café conilon a pleno sol e arborizado com noqueira-macadâmia. *Ciência Rural* 40, 1257-1263. DOI: 10.1590/S0103-84782010005000098.
- Piza, P.L. B.T., Moriya, L.M. (2014). Cultivo da macadâmia no Brasil. *Revista Brasileira de Fruticultura* 36, 39-45.
- Potenza, C., Thomas, S. H., Higgins, E.A. & Sengupta-Gopalan, C. (1996). Early root response to *Meloidogyne incognita* in resistant and susceptible alfalfa cultivars. *Journal of Nematology* 28, 475-484.
- Salgado, S.M.L. & Campos, V.P. (2010). Sintomas do parasitismo de fitonematoides em cafeeiro. In: Guimarães, R.J., Mendes, A.N.G. & Baliza, D.P. (Eds.). *Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas*. Lavras: UFLA, pp. 145-168.
- Salgado, S.M.L., Guimarães, N.M.R.B., Botelho, C.E., Guilherme A. T., Marcelo, A.L., Souza, S.R., Oliveira, R.D.L. & Ferreira, D.F. (2015). *Meloidogyne paranaensis* e *Meloidogyne exigua* em lavouras cafeeiras na região sul de Minas Gerais. *Coffee Science* 10, 475-481.
- Santos, M. F. A., Salgado, S. M. L., Silva, J. G. P., Correa, V. R., Mendonça, J. S. F., & Carneiro, R. M. D. G. (2017). *Meloidogyne incognita* parasitizing coffee plants in southern Minas Gerais, Brazil. *Tropical plant pathology*, <https://doi.org/10.1007/s40858-017-0178-9>.
- Schneider, L.M., Rolim, G.S., Sobierajski, G.R., Praela-Pantano, A., & Perdoná, M.J. (2012). Zoneamento agroclimático de noqueira-macadâmia para o Brasil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 34, 515-524.
- Southey, J.F. (1986). *Principles of sampling for nematodes: laboratory methods for work with plant and soil nematodes*. London: Ministry of Agriculture, Fisheries and Food.
- Taylor, A.L. & Sasser, J.N. (1978). *Biology, identification and control of root-knot nematodes (Meloidogyne species)*. Raleigh: North Caroline State University.
- Triantaphyllou, A.C. & Hirschmann, H. (1960). Post infection development of *Meloidogyne incognita* Chitwood 1949 (Nematoda: Heteroderidae). *Annales de L'Institut Phytopathologique Benaki* 3, 1 –11.
- Walton, D. & Wallace, H.M. (2010). Quality changes in macadamia kernel between harvest and farm-gate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91, 480-484. DOI10.1002/jsfa.4209.
- Zambolim, L. (2015). Manejo de doenças. In: Fonseca, A., Sakiyama, N. & Borém, A. (Eds.). *Café Conilon do plantio à colheita*. Viçosa, Minas Gerais: UFV, pp. 114-137.

**CAPÍTULO 2 - Resistência de noqueira-macadâmia (*Macadamia integrifolia* Maiden e Betche) a *Meloidogyne enterolobii* e a *Meloidogyne javanica***

(Artigo redigido conforme normas da Revista Phytoparasitica)

Resistência de noqueira-macadâmia (*Macadamia integrifolia* Maiden e Betche) a *Meloidogyne enterolobii* e a *Meloidogyne javanica*

## Resumo

Os nematoides do gênero *Meloidogyne* são um dos principais patógenos das culturas economicamente cultivadas. Estudos são escassos sobre o parasitismo desses patógenos em noqueira-macadâmia. O objetivo do trabalho foi avaliar a variedade 10-14 (Aloha) e seis cultivares de macadâmia HAES-344, HAES-660, HAES 816, IAC 4-12B, IAC 9-20 e IAC 4-20, a *Meloidogyne enterolobii* e a *M. javanica* e estudar o ciclo de vida dessas espécies na variedade 10-14 (Aloha), que, no Brasil, é a mais utilizada como porta-enxerto. Para o experimento de reação, cada planta de macadâmia foi inoculada com aproximadamente 5.000 ovos e eventuais juvenis de cada espécie do nematoide. Tomateiros 'Rutgers' foram utilizados para atestar a viabilidade do inóculo. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. As avaliações do índice de galhas, índice de massas de ovos e fator de reprodução do nematoide foram realizadas aos 120 dias após a inoculação. Para o estudo do ciclo de vida de *M. enterolobii* e de *M. javanica* em 10-14 (Aloha), cada substrato foi infestado separadamente com 300 juvenis da espécie do nematoide. O experimento foi conduzido em câmara BOD na temperatura de 26 °C. As avaliações foram realizadas aos 5, 15, 25 e 35 dias após a inoculação (DAI). A variedade 10-14 (Aloha) e todas as cultivares de macadâmia estudadas foram resistentes a *M. enterolobii* e a *M. javanica*, os tomateiros foram suscetíveis afirmando a viabilidade dos inóculos. Não houve descendente dos nematoides em 10-14 (Aloha), comprovando a sua resistência. Nos tomateiros, aos 35 DAI tinham fêmeas com ovos, comprovando a viabilidade dos inóculos.

**Palavras-chave:** Nematoide-das-galhas, *Macadamia integrifolia*, reação, ciclo de vida.

**Abstract**

Nematodes belonging to the *Meloidogyne* genus are one of the main pathogens of economically cultivated crops. Studies are scarce on the parasitism of these pathogens in macadamia walnuts. In this context, the aim of this study was to evaluate variety of macadamia 10-14 (Aloha) and six macadamia cultivars, HAES-344, HAES-660, HAES 816, IAC 4-12B, IAC 9-20 and IAC 4-20 regarding resistance to *Meloidogyne enterolobii* and *M. javanica* and to study the life cycle of these species in the 10-14 (Aloha). For the cultivar reaction experiment, each macadamia plant was inoculated with approximately 5,000 eggs and some juveniles of each nematode species. 'Rutgers' tomatoes were used to certify the viability of the inocula. The experimental design was completely randomized. The Gill index, egg mass index and nematode reproduction factor were evaluated at 120 days after inoculation. The 10-14 (Aloha) variety was infested with approximately 300 *M. enterolobii* and *M. javanica* juveniles to study their life cycles in this variety. The experiment was conducted in BOD incubators at 26 °C. Evaluations were performed at 5, 15, 25 and 35 days post-inoculation (DPI). The 10-14 (Aloha) variety and all the evaluated macadamia cultivars were resistant to *M. enterolobii* and *M. javanica*, and tomato plants were susceptible, confirming, inocula viability. No nematode descendants were observed in the 10-14 (Aloha) variety, while tomato plants at 35 (DPI) presented females with eggs, thus proving inocula viability.

**Keywords:** Root-knot nematodes, *Macadamia integrifolia*, reaction, life cycle

## 2.1 Introdução

Os nematoides do gênero *Meloidogyne* Goldi, 1892, conhecidos também como nematoides-das-galhas, compõem um dos grupos de fitopatógenos mais importantes no mundo, são polípagos, parasitas obrigatórios e altamente adaptados (Moens et al. 2009; Karssen e Moens 2006). São descritas mais de 90 espécies. Destas, *M. incognita*, *M. arenaria*, *M. javanica* e *M. hapla* destacam-se pelo alto grau de polifagia e ampla distribuição geográfica no mundo (Moens et al. 2009).

Em países tropicais, como no Brasil, *M. enterolobii* foi assinalada apresentando importância econômica pela sua agressividade e capacidade de parasitar genótipos com resistência a outras espécies de nematoides-das-galhas (Carneiro et al. 2001; Kiewnick et al. 2009; Castagnose-Sereno 2012). Além de ter sido detectada em países tropicais, *M. enterolobii* foi encontrada parasitando porta-enxerto de tomate e pepino em cultivo protegido no norte da Suíça (Kiewnick et al. 2008).

Devido ao seu potencial agressivo, *M. enterolobii* foi colocada na Organização Europeia e Mediterrânea de Proteção de Plantas (EPPO). Esta espécie de nematoide foi interceptada pela Organização Nacional de Proteção de Plantas (NPPO) holandesa em várias commodities importadas de diferentes partes do mundo (EPPO 2008). *M. enterolobii*, além de ter uma grande gama de hospedeiros, é capaz de superar a resistência de muitas culturas importantes, como em tomate, por exemplo (Kiewnick et al. 2009). *Meloidogyne javanica* é outra espécie prejudicial às culturas de importância agrícola como batata (Schafer et al. 2017), cana-de-açúcar (Bellé et al. 2017) e soja, que além de afetar negativamente a produção e a qualidade das sementes, aumentou a ocorrência de sementes verdes e reduziu o potencial fisiológico nessa cultura (Forti et al. 2015).

Os nematoides-das-galhas penetram nas raízes das plantas e migram intercelularmente para o córtex na região de diferenciação celular e estabelecem uma relação íntima com as plantas hospedeiras através de um processo altamente especializado (Karssen e Moens 2006; Williamson e Hussey 1996). As plantas suscetíveis reagem à alimentação dos juvenis e sofrem mudanças morfológicas e fisiológicas pronunciadas (Karssen e Moens 2006).

A noqueira-macadâmia é nativa de florestas subtropicais australianas, suas principais áreas de produção ocorrem na Austrália, Hawaii, África do Sul, Quênia, Malawi, Guatemala, Brasil, Costa Rica e Zimbábue (Nagao 2011). No Brasil, o cultivo

da macadâmia tomou força nos anos 1990. Até 2013, o país já possuía 6.500 hectares plantados dessa cultura (Piza e Moriya 2014). Embora o cultivo ainda apresente uma pequena área de produção a região sul e sudeste do Brasil apresentam condições climáticas potenciais para a expansão dessa cultura (Schneider et al. 2012). Apesar da expansão da cultura da macadâmia nas principais áreas produtoras, no mundo, os estudos com nematoides são escassos (El-Borai e Duncan 2005).

Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar a resistência da variedade de macadâmia 10-14 (Aloha) e de seis cultivares de macadâmia a *M. enterolobii* e a *M. javanica* e estudar o ciclo de vida dessas espécies na principal variedade utilizada como porta-enxerto em cultivos no Brasil, 10-14 (Aloha).

## 2.2 Material e Métodos

### Reação de noqueira-macadâmia a *Meloidogyne enterolobii* e a *M. javanica*

O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente ao Laboratório de Nematologia Agrícola do Departamento de Proteção Vegetal da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista - Júlio de Mesquita Filho, campus Botucatu- SP.

A variedade 10-14 (Aloha) e as cultivares HAES-344, HAES-660, HAES 816, IAC 4-12B, IAC 9-20 e IAC 4-20, foram avaliadas quanto à resistência a *M. enterolobii* e a *M. javanica*. As sementes de 10-14 (Aloha) e de cada cultivar foram semeadas em bandejas de madeira com areia autoclavada. Após a germinação, as sementes foram transplantadas para vasos contendo 2 L de substrato autoclavado composto por uma mistura de solo, areia e matéria orgânica (1: 2: 1).

Populações puras de *M. enterolobii* foram obtidas de raízes de pimentão 'Silver' coletadas em Campos Novos Paulista, SP. A população de *M. javanica* foi obtida de raízes de tomateiro 'Magali', proveniente do município de Santa Rosa, RS. As fêmeas foram identificadas através do padrão perineal. Posteriormente, as espécies foram confirmadas através de análise molecular. Os nematoides foram inoculados em plantas de tomateiros 'Rutgers' e, em seguida, mantidos em casa de vegetação.

O substrato de cada planta foi inoculado com 5.000 ovos e eventuais juvenis da população pura de cada espécie de *Meloidogyne*. Para a obtenção da suspensão, as raízes de tomateiros infestadas com cada uma das espécies foram processadas isoladamente seguindo a metodologia seguida por Hussey e Barker (1973), que

baseia-se na trituração das raízes em liquidificador com solução de hipoclorito de sódio a 0,5%, seguida de peneiramento. A suspensão obtida foi quantificada em lâmina de Peters, sob microscópio de luz e calibrada para 2.500 ovos/mL.

O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, com sete tratamentos e cinco repetições, sendo cada parcela composta por uma planta. Plantas de tomateiros 'Rutgers' foram utilizadas como testemunha para atestar a viabilidade do inóculo para as duas espécies de *Meloidogyne*. Entretanto, foram avaliadas aos 60 dias, antes da finalização do experimento em virtude do ciclo curto da planta.

As avaliações das populações dos nematoides nas plantas de macadâmia foram realizadas aos 120 dias após a inoculação do nematoide. Para a coloração das massas de ovos externas dos nematoides, os sistemas radiculares foram lavados e submetidos à coloração com Floxina B, em seguida, os índices de galhas (IG) e índices de massas de ovos (IMO) foram obtidos de acordo com a escala de notas proposta por Taylor e Sasser (1978), em que: nota 0 = sem galhas ou massas de ovos; nota 1 = 1 a 2 galhas/massas de ovos; nota 2 = 3 a 10 galhas/massas de ovos; nota 3 = 11 a 30 galhas/massas de ovos; nota 4 = 31 a 100 galhas/massas de ovos e nota 5 = mais de 100 galhas ou massas de ovos por raiz. Para a extração dos ovos, os sistemas radiculares foram processados separadamente de acordo com o método de Coolen e D'Herde (1972).

A determinação da população final dos ovos na suspensão (Pf) foi realizada com o auxílio da lâmina de Peters, em microscópio de luz. O valor encontrado foi utilizado para a obtenção do fator de reprodução ( $FR = \text{população final (Pf)} / \text{população inicial (Pi)}$ ) de cada nematoide, em cada variedade e cultivar estudada. As plantas com  $FR < 1$  são consideradas resistentes e  $FR \geq 1$  suscetíveis (Oostenbrink 1966). Para maior representatividade dos dados, os experimentos foram conduzidos duas vezes.

### **Ciclo de vida de *Meloidogyne enterolobii* e *M. javanica* em noqueira-macadâmia 10-14 (Aloha)**

Os experimentos foram conduzidos em câmara incubadora (BOD) no laboratório de Nematologia Agrícola do Departamento de Proteção Vegetal da Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista - Júlio de Mesquita Filho, Câmpus Botucatu- SP.

As sementes da variedade 10-14 (Aloha), que é a mais utilizada como porta-enxerto no Brasil, foram semeadas em bandeja de madeira contendo areia autoclavada. Após a germinação, as plântulas foram transplantadas para copos plásticos de 210 mL contendo substrato composto autoclavado por terra, areia e matéria orgânica (1: 2: 1).

Os inóculos de *M. enterolobii* e *M. javanica* foram obtidos a partir de populações puras mantidas em raízes de tomateiros processadas de acordo com a técnica proposta por Hussey e Barker (1973), como já mencionado no experimento 1. A suspensão resultante de cada uma das espécies foi vertida em aparato de Baermann modificado para recipiente raso conforme Southey (1986) para obtenção dos juvenis de segundo estágio (J2). Após cinco dias do transplante, inocularam-se aproximadamente 300 J2 por planta de *M. enterolobii* ou *M. javanica*. As plantas foram mantidas em câmara incubadora (BOD), com a temperatura de 26 °C e fotoperíodo de 12 horas.

Os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado com dois tratamentos e quatro repetições, sendo cada parcela constituída por uma planta por copo. Tomateiros 'Rutgers' foram utilizados como controle para confirmar o padrão da viabilidade do inóculo, nos dois experimentos.

As avaliações foram realizadas aos 5, 15, 25 e 35 dias após a inoculação (DAI). Em cada avaliação, foram coletadas quatro plantas do tratamento e quatro do controle para cada experimento. As raízes foram lavadas cuidadosamente e coradas com fucsina ácida, no lugar do lactofenol utilizou-se o lactoglicerol (McBeth et al. 1941 apud Daykin e Hussey 1985). Todos os sistemas radiculares foram observados e dissecados sob lupa para a contagem e classificação dos estádios de desenvolvimento do nematoide segundo Triantaphyllou e Hirschmann (1960): (J2a) – juvenis infectivos de segundo estágio que não induziram as células de alimentação; (J2b) – juvenil parasítico de segundo estágio que induziu a célula de alimentação; (J3)

– juvenil de terceiro estágio que se formou após a segunda ecdise e é desprovido do estilete; (J4) – juvenil de quarto estágio que se formou após a terceira ecdise e é desprovido de estilete, pela semelhança foi considerado (J3)/(J4); fêmea sem ovos e fêmea com ovos.

## 2.3 Resultados

### Reação de noqueira-macadâmia a *Meloidogyne enterolobii* e *M. javanica*

Para *M. enterolobii* no experimento 1, a variedade 10-14 (Aloha) e todas as cultivares avaliadas foram consideradas resistentes por apresentarem  $FR < 1$ , com base na classificação proposta por Oostenbrink (1966), em que se utiliza o fator de reprodução para determinar a resistência ao nematoide. No experimento 2 observou-se a mesma tendência, mostrando-se a uniformidade dos resultados. Os tomateiros ‘Rutgers’ confirmaram a viabilidade de *M. enterolobii*, no experimento 1 com  $IG = 4,4$ ;  $IMO = 4,2$  e  $FR = 11,27$  e no experimento 2 o  $IG$  e  $IMO = 5,0$  e  $FR = 13,32$  (Tabela 1).

**Tabela 1** Índice de galhas (IG), índice de massas de ovos (IMO), fator de reprodução (FR) e reação (R) de *Meloidogyne enterolobii* em dois experimentos com variedade e cultivares de macadâmia

Cultivares	Experimento 1				Experimento 2			
	IG <sup>a</sup>	IMO <sup>a</sup>	FR <sup>b</sup>	R <sup>c</sup>	IG	IMO	FR	R
Tomateiro	4,4	4,2	11,2	S <sup>d</sup>	5,0	5,0	13,3	S
10-14 (Aloha)	0,4	0,0	0,0	R	0,0	0,0	0,0	R
IAC 9-20	0,0	0,0	0,0	R	0,0	0,0	0,0	R
IAC 4- 20	0,0	0,0	0,0	R	0,0	0,0	0,0	R
IAC 4-12B	0,0	0,0	0,0	R	0,0	0,0	0,0	R
HAES 660	0,0	0,0	0,0	R	0,0	0,0	0,0	R
HAES 344	0,0	0,0	0,0	R	0,0	0,0	0,0	R
HAES 816	0,0	0,0	0,0	R	0,0	0,0	0,4	R

<sup>a</sup>Escala de notas: nota 0 (sem galha/massa de ovo); nota 1 (1 a 2 galhas/massa de ovo); nota 2 (3 a 10 galhas/massa de ovo); nota 3 (11 a 30 galhas/massa de ovo); nota 4 (31 a 100 galhas/massa de ovo); nota 5 (mais de 100 galhas/massa de ovo). <sup>b</sup>FR= População final (Pf)/População inicial (Pi). <sup>c</sup>R= resistente ( $RF < 1,0$ ); <sup>d</sup>S= suscetível ( $RF \geq 1,0$ ) (Oostenbrink, 1966). Tomateiro ‘Rutgers’ padrão de suscetibilidade

A variedade 10-14 (Aloha) e as cultivares de macadâmia inoculadas com *M. javanica*, nos experimentos 1 e 2, apresentaram IG, IMO e FR iguais a zero. Os tomateiros 'Rutgers', nos experimentos 1 e 2, apresentaram FR de 30 e 50, respectivamente, comprovando a viabilidade do inóculo (Tabela 2).

**Tabela 2** Índice de galhas (IG), índice de massas de ovos (IMO), fator de reprodução (FR) e reação (R) de *Meloidogyne javanica* em dois experimentos com variedade e cultivares de macadâmia

Cultivares	Experimento 1				Experimento 2			
	IG <sup>a</sup>	IMO <sup>a</sup>	FR <sup>b</sup>	R <sup>c</sup>	IG	IMO	FR	R
Tomateiro	4,8	4,8	30,0	S <sup>d</sup>	5,0	5,0	50,00	S
10-14 (Aloha)	0,0	0,0	0,09	R	0,0	,00	0,00	R
IAC 9-20	0,0	0,0	0,00	R	0,0	0,0	0,00	R
IAC 4- 20	0,0	0,0	0,00	R	0,0	0,0	0,00	R
IAC 4-12B	0,0	0,0	0,01	R	0,0	0,0	0,00	R
HAES 660	0,0	0,0	0,01	R	0,0	0,0	0,00	R
HAES 344	0,0	0,0	0,00	R	0,0	0,0	0,00	R
HAES 816	0,0	0,0	0,02	R	0,0	0,0	0,02	R

<sup>a</sup>Escala de notas: nota 0 (sem galha/massa de ovo); nota 1 (1 a 2 galhas/massa de ovo); nota 2 (3 a 10 galhas/massa de ovo); nota 3 (11 a 30 galhas/massa de ovo); nota 4 (31 a 100 galhas/massa de ovo); nota 5 (mais de 100 galhas/massa de ovo). <sup>b</sup>FR= População final (Pf)/População inicial (Pi). <sup>c</sup>R= resistente (RF < 1,0); <sup>d</sup>S= suscetível (RF ≥ 1,0) (Oostenbrink, 1966). Tomato 'Rutgers' padrão de suscetibilidade

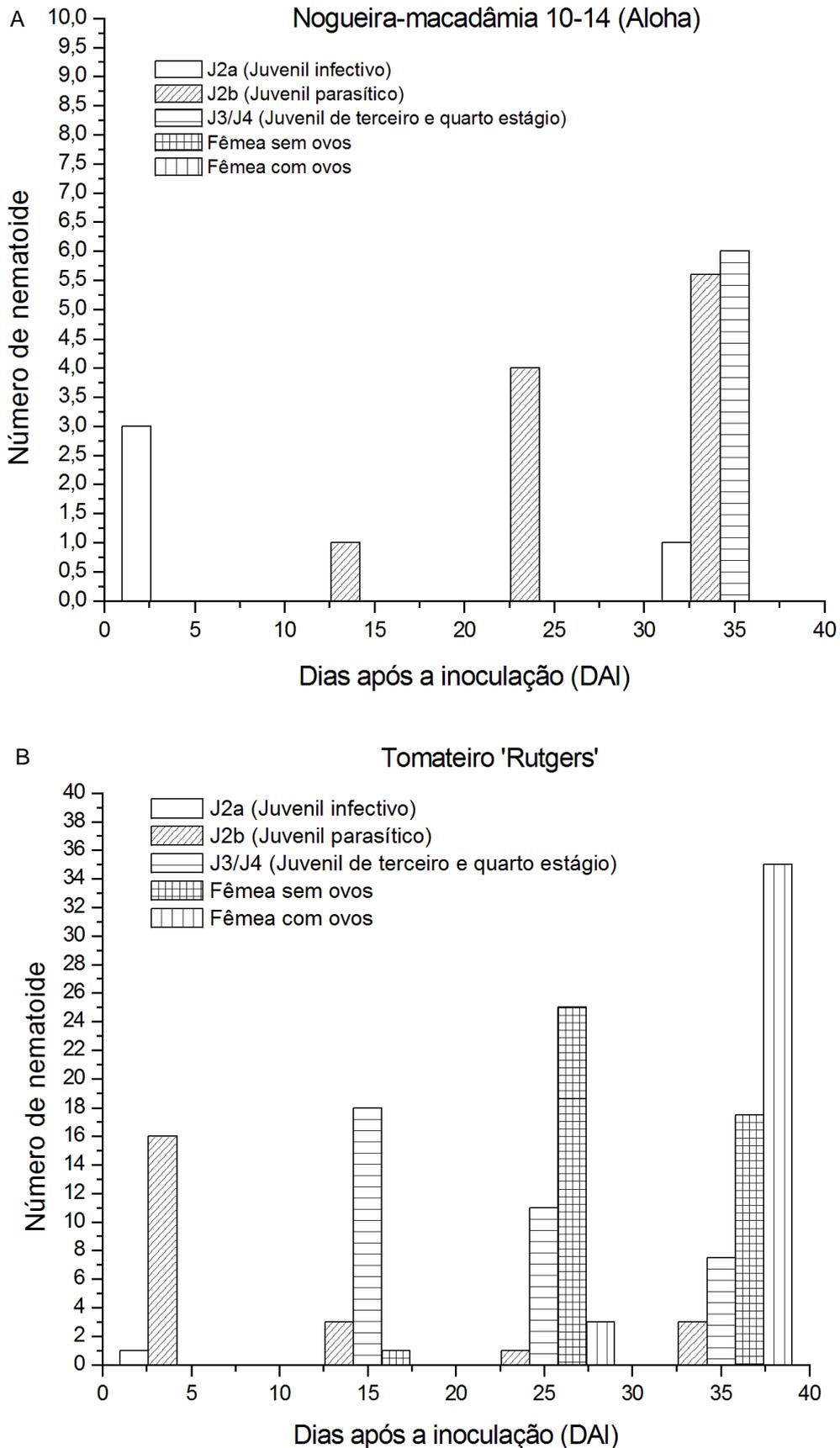
A variedade 10-14 (Aloha) e todas as cultivares avaliadas foram resistentes às duas espécies de *Meloidogyne* estudadas, uma vez que os nematoides não foram capazes de se reproduzirem.

### Ciclo de vida de *Meloidogyne enterolobii* e *M. javanica* em nogueira-macadâmia 10-14 (Aloha)

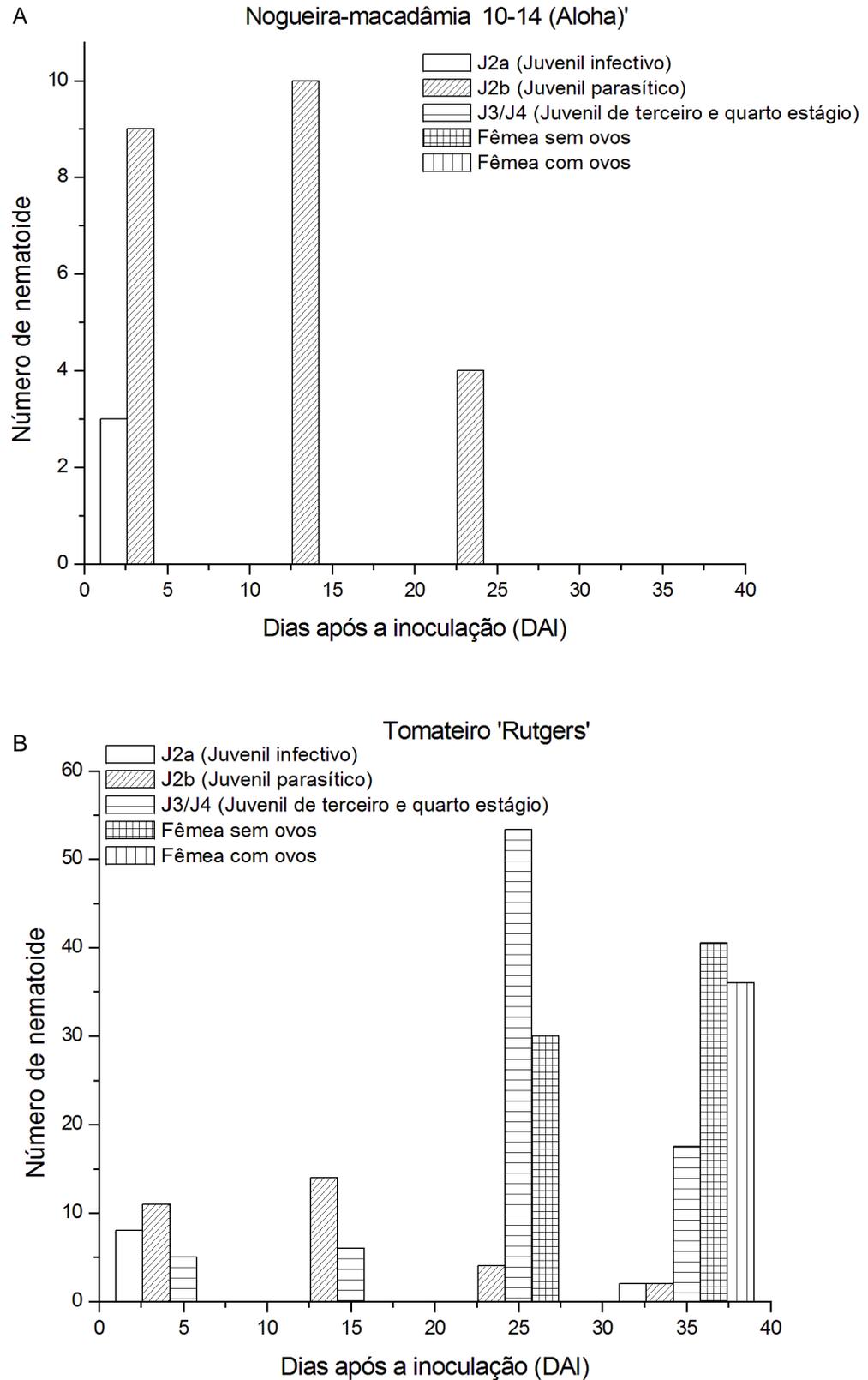
Constatou-se que os juvenis de *M. enterolobii* penetraram na variedade 10-14 (Aloha), mas não conseguiram atingir a fase reprodutiva, nem mesmo na última avaliação, aos 35 DAI. Nessa avaliação, foram encontrados apenas nematoides nos estágios J2a, J2b e J3/J4 (Figura 1 A). No tomateiro, aos 35 DAI, verificaram-se indivíduos provenientes da segunda geração (J2b), J3/J4, fêmeas sem ovos e com ovos de *M. enterolobii*, demonstrando a viabilidade do inóculo (Figura 1 B).

*Meloidogyne javanica* penetrou nas raízes de Aloha. Aos 5 DAI, além de J2a, foi observada a presença de J2b (Figura 2 A). No tomateiro, nessa mesma época de avaliação, foi possível observar, além desses estágios, a presença de J3/J4 (Figura 2 B). Aos 25 DAI, ainda haviam J2b e aos 35 DAI não verificou-se a presença de nematoides na macadâmia (Figura 2 A). No tomateiro, aos 35 DAI, observaram-se todos os estágios juvenis e a segunda geração de *M. javanica*, comprovando que o inóculo estava viável (Figura 2 B).

**Figura 1** Número de indivíduos de *Meloidogyne enterolobii* em diferentes estágios de desenvolvimento em macadâmia 10-14 (Aloha) (A) e em tomateiro (B), a 26 °C, avaliados aos 5, 15, 25 e 35 dias após a inoculação (DAI)



**Figura 2** Número de indivíduos de *Meloidogyne javanica* em diferentes estágios de desenvolvimento em macadâmia 10-14 Aloha (A) e em tomateiro (B), a 26 °C, avaliados aos 5, 15, 25 e 35 dias após a inoculação (DAI)



## 2.4 Discussão

A variedade 10-14 (Aloha) e todas as cultivares de macadâmia avaliadas mostraram-se resistentes a *M. enterolobii* e a *M. javanica* por exibirem  $FR < 1$ . O investimento da macadâmia em áreas improdutivas devido à alta população de *M. enterolobii* e *M. javanica* é viável, uma vez que essa cultura tem grande potencial de mercado (Martin 1991). Uma outra alternativa seria a consorciação da macadâmia com outras espécies, que tolerem bom sombreamento, suscetíveis a esses nematoides, nesse caso, ela atuaria como planta antagonista.

O fator de reprodução zero ou próximo a zero encontrado na variedade 10-14 (Aloha) e em todas as cultivares estudadas é um dado fundamental, o qual atesta que não houve reprodução de *M. enterolobii* e de *M. javanica* nas plantas estudadas. O FR mede o potencial de reprodução do nematoide e revelando a resistência ou suscetibilidade do hospedeiro a uma planta. Diversos trabalhos atestam o nível de resistência através do FR. Genótipos de sorgo e de trigo comportaram-se como resistentes a *M. incognita* e a *M. javanica* com  $FR < 1$  (Brida et al. 2017). Valores dos FR de Brassicaceae inoculadas com *M. incognita* e *M. javanica* foram menores que um, indicando resistência (Daneel et al. 2017).

A resistência de *M. enterolobii* e de *M. javanica* nas macadâmias pode estar associada à prevenção do desenvolvimento juvenil para além do J2, e do desenvolvimento lento de juvenis para adultos. Uma resposta de resistência semelhante foi observada com *M. incognita* em *Cucumis africanus*, em que o  $FR < 1$  e não foram observadas galhas e nem massas de ovos (Pofu et al. 2009), assim como na variedade 10-14 (Aloha) e nas cultivares de macadâmia, sugerindo alto grau de resistência.

Em relação ao ciclo biológico, os resultados mostraram que *M. enterolobii* e *M. javanica* penetraram em 10-14 (Aloha), em baixa quantidade em relação à testemunha, porém não completaram o seu ciclo biológico aos 35 DAI, diferente do tomateiro. Resultado semelhante foi observado em maracujazeiro inoculado com *M. enterolobii*, quando J2 penetrou nas raízes 'FB 200', porém, não houve o desenvolvimento de fêmeas com ovos, mesmo aos 45 DAI (Costa et al. 2017).

O juvenil dos nematoides estudados, aos 5 DAI, penetraram em baixa quantidade em 10-14 (Aloha). As plantas são capazes de reconhecer e reagir aos nematoides e podem ativar diversas respostas de defesa (Williamson e Hussey 1996).

O grau de resistência do hospedeiro pode resultar de vários mecanismos, um deles pode ocorrer quando a resistência é expressa antes de os nematoides penetrarem nas raízes (resistência pré-infecciosa, como uma superfície radicular impenetrável) (Gheysen e Jones 2006). A baixa penetração encontrada em 10-14 (Aloha) sugere que o mecanismo de resistência pode ser pré-infeccioso. Resultados semelhantes ocorreram em genótipos de arroz africano resistente a *M. graminicola*, onde foi observado que houve uma penetração reduzida de J2. Os autores sugerem que as plantas expressam resistência pré-infecciosa na superfície radicular (Cabasan et al. 2012).

Em outros casos, a resistência envolve mecanismos que limitam o estabelecimento de locais de alimentação dos nematoides nas raízes, em algumas plantas os locais de alimentação são induzidos, mas essas células hospedeiras especializadas morrem posteriormente (Gheysen e Jones 2006). Os poucos nematoides que penetraram na macadâmia não chegaram ao estágio de fêmea com ovos. *Meloidogyne enterolobii* chegou no estágio J3/J4 e *M. javanica* no J2b, isso indica que os nematoides não foram capazes de induzir o sítio de alimentação, por isso não conseguiram se desenvolver até o estágio de reprodução. O juvenil, dos nematoides-das-galhas, ao penetrar na raiz da planta, situa-se no cilindro vascular para estabelecer o parasitismo, incitando a formação de células nutritoras, essenciais à alimentação e ao desenvolvimento do nematoide (Karssen e Moens 2006).

Situação semelhante foi encontrada em abóbora, quando J2 de *M. incognita* penetrou na cv. Amalthee, estes passaram para os estágios J3 e J4, porém, não progrediram para fêmeas com ovos. Os autores acreditam que os J4 podem ter morrido ou pararam de se desenvolver devido ao desenvolvimento inadequado do sítio de alimentação que foi incapaz de fornecer nutrientes suficientes para o desenvolvimento do nematoide (López-Gómez e Verdejo-Lucas 2014). Ocorreu também em *Pisidium friedrichstalianum* e *P. guineense*, que apresentaram resistência a *M. enterolobii*, caracterizada principalmente por um atraso no desenvolvimento e extensão do ciclo de vida do nematoide (Sousa et al. 2016).

De acordo com os resultados obtidos nesse estudo, a variedade 10-14 (Aloha) e todas as cultivares de macadâmia foram resistentes a *M. enterolobii* e a *M. javanica*. Portanto, podem ser recomendadas em áreas infestadas com esses nematoides, com a finalidade de limitar a sua reprodução.

## 2.5 Conclusão

A variedade 10-14 (Aloha) e as cultivares de macadâmia analisadas não permitiram o desenvolvimento de *M. enterolobii* e de *M. javanica* podendo ser plantadas em áreas infectadas com esses nematoides.

*M. enterolobii* e *M. javanica* não se reproduziram em 10-14 (Aloha), mostrando que a variedade é resistente.

## Referências

Bellé, C., Kulczynski, S. M., Kuhn, P. R., Donini, L. P., Gomes, C. B. (2017). Reaction of sugarcane genotypes to parasitism of *Meloidogyne javanica* and *Pratylenchus zaei*. *Revista Caatinga*, 30(2), 530 - 535.

Brida, A. L., Correia, E. C. S. S., Castro, B. M. C., J.C. Zanuncio, J. C. & Wilcken, S. R. S. (2017). Oat, wheat and sorghum genotypes reactions to *Meloidogyne incognita* and *Meloidogyne javanica*. *Journal of Nematology*, 49(4), 386–389.

Cabasan, M. T. N., Kumar, A., & Waele, D. W. (2012). Comparison of migration, penetration, development and reproduction of *Meloidogyne graminicola* on susceptible and resistant rice genotypes. *Nematology*, 14(4), 405-415.

Carneiro, R. M. D. G., Moreira, W. A., Almeida, M. R. A., & Gomes, A. C. M. M. (2001). Primeiro registro de *Meloidogyne mayaguensis* em goiabeira no Brasil. *Nematologia Brasileira*, 25(2), 223-228.

Castagnone-Sereno, P. (2012). *Meloidogyne enterolobii* (= *M. mayaguensis*): profile of an emerging, highly pathogenic, root-knot nematode species. *Nematology*, 4(2), 133-138.

Coolen, W. A., D'Herde, C. J. (1972). A method for quantitative extraction of nematodes from plant tissue. State Nematology and Entomology Research Station.

Costa, M. G. S., Correia, E. C. S. S., Garcia, M. J. D. M., & Wilcken, S. R. S. (2017). Resistance to root-knot nematodes on passion fruit genotypes in Brazil. *Phytoparasitica*, 45, 325–331.

Daneel, M., Engelbrecht, E., Fourie, H. & Ahuja, P. (2017). The host status of Brassicaceae to *Meloidogyne* and their effects as cover and biofumigant crops on root-knot nematode populations associated with potato and tomato under South African field conditions. *Crop Protection*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2017.09.001>

- Daykin, M. E., & Hussey, R. S. Staining and histopathological techniques in nematology. (1985). In K. R. Barker, C. C. Carter, & J. N. Sasser (Eds.), *An advanced treatise on Meloidogyne* (pp.39-48). Raleigh: North Carolina State University Graphics.
- El-Borai, F. E., & Duncan, L. W. (2005). Nematode parasites of subtropical and tropical fruit tree crops. In M. Luc, R. A. Sikora, & J. Bridge (Eds.), *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture* (pp. 467-492). Wallingford: CAB International.
- EPPO. (2008). An emerging root-knot nematode, *Meloidogyne enterolobii*: addition to the EPPO Alert List. EPPO Reporting Service, 2008/105.
- Forti, V. A., Cicero, S. M., Inomoto, M. M., Sliwiska, E., Van Der Schoor., R., & Jalink, H. (2015). *Meloidogyne javanica* infection of soybean plants: plant response, seed quality and green seeds occurrence. *Seed Science and Technology*, 43(3), 409 - 420.
- Gheysen, G. Jones, J. T. (2006). Molecular aspects of plant–nematode interactions. In: R.N. Perry; M. Moens (Eds.), *Plant nematology* (pp. 234-252). Wallingford: CAB International.
- Hussey, R. S., & Barker, K. R. (1973). A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp., including a new technique. *Plant Disease Reporter*, 57(7), 1025–1028.
- Karssen, G., & Moens, M. (2006). Root-knotnematodes. In R.N. Perry & M. Moens (Eds.), *Plant nematology* (pp. 59-90). Wallingford: CAB International.
- Kiewnick, S., Dessimoz, M., Franck, L. (2009). Effects of the *Mi-1* and the *N* root-knot nematode-resistance gene on infection and reproduction of *Meloidogyne enterolobii* on tomato and pepper cultivars. *Journal of Nematology*, 41(2), 134–139.
- Kiewnick, S., Karssen, G., Brito, J. A., Oggenfuss, M. & Frey, J. E. (2008). First Report of Root-Knot Nematode *Meloidogyne enterolobii* on Tomato and Cucumber in Switzerland. *Plant disease*, 92(9), 1370.
- López-Gómez, M., & Verdejo-Lucas, S. (2014). Penetration and reproduction of root-knot nematodes on cucurbit species. *European Journal of Plant Pathology*, 138(4), 863–87.
- Martin, N. B. (1992). Viabilidade econômica da produção da noz macadâmia no estado de São Paulo. *Informações Econômicas*, 22(10), 9-53.
- Moens, M., Perry, R. N., & Starr, J. L. (2009). *Meloidogyne* Species – a diverse group of novel and important plant parasites. In R. N. PERRY, M. MOENS, & J. L. STARR (Eds), *Root knot nematodes* (pp. 1-17). Wallingford: CAB International.
- Nagao, M. A. (2011). Farm and forestry production and marketing profile for macadamia nut (*Macadamia integrifolia* and *M. tetraphylla*). In: Elevitch, C.R. (ed.).

Specialty Crops for Pacific Island Agroforestry. Permanent Agriculture Resources (PAR), Holualoa, Hawai'i. <http://agroforestry.net/scps>. Acessado 3 de janeiro de 2018.

Oostenbrink, M. (1966). Major characteristics of the relation between nematodes and plants. Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen, 66(4), 1-46.

Piza, P. L. B. T., Moriya, L. M. (2014). Cultivo da macadâmia no Brasil. Revista Brasileira de Fruticultura, 36(1), 39-45.

Pofu, K. M., Mafeo, T. P. & Mashela, P. W. (2009). Response of *Cucumis Africanus* to *Meloidogyne incognita* race 2 infections. African Crop Science Conference Proceedings, 9, 659 – 661.

Schafer, J. T., Gomes, C. B., Silva Pereira, A. S., Cruz, F. F., & Danielle Barros, D. R. (2017). Resistance of potato genotypes to *Meloidogyne javanica*. Revista Caatinga, 30(2), 536 - 540.

Schneider, L. M., Rolim, G. S., Sobierajski, G. R., Praela-Pantano, A., & Perdoná, M. J. (2012). Zoneamento agroclimático de noqueira-macadâmia para o Brasil. Revista Brasileira de Fruticultura, 34(2), 515-524.

Sousa, A. D., Pedrosa, E. M. R., Ulisses, C., Castro, J. M. C. & Ribeiro, J. M. (2016). Penetration, development, and reproduction of *Meloidogyne enterolobii* on psidium species and induced cellular responses in the roots. Revista Brasileira de Fruticultura, 39(2), 1-10.

Southey, J. F. (1986). Principles of sampling for nematodes: laboratory methods for work with plant and soil nematodes. London: Ministry of Agriculture, Fisheries and Food.

Taylor, A. L., Sasser, J. N. (1978). Biology, identification and control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* species). Raleigh: North Caroline State University.

Triantaphyllou, A. C., & Hirschmann, H. (1960). Post infection development of *Meloidogyne incognita* Chitwood 1949 (Nematoda: Heteroderidae). Annales de L'Institut Phytopathologique Benaki, 3(1), 1 –11.

Williamson, V. M., & Hussey, R. S. (1996). Nematode Pathogenesis and Resistance in Plants. The Plant Cell, 8,1735-1745.

Zijlstra C., Donkers-Venne, D.T.H.M., Fargette M. (2000). Identification of *Meloidogyne incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria* using sequence characterised amplified region (SCAR) based PCR assays. Nematology, 2(8), 847-853.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados nesta tese contribuem de maneira significativa no que se refere a nematologia e ao cultivo da macadâmia, já que existe uma escassez de pesquisas nessa área de estudo.

A variedade e as cultivares de macadâmia avaliadas mostraram-se resistentes às cinco espécies de *Meloidogyne*. Esses resultados confirmaram-se quando os ciclos de vida de *Meloidogyne incognita* raça 2, *M. paranaensis*, *M. exigua*, *M. enterolobii* e *M. javanica*, na variedade 10-14 (Aloha) foram avaliados e resultaram na não reprodução. Isso indica que as plantas não permitem a multiplicação das espécies de *Meloidogyne*, podendo ser utilizadas em áreas infestadas com esses nematoides sem incrementarem as populações desses patógenos. Além disso, a variedade e as cultivares de macadâmia podem agir como culturas antagonistas, diminuindo a população desses nematoides.

Para os produtores de macadâmia e os que almejam iniciar essa atividade, esses resultados são de grande relevância e promissores, já que há uma perspectiva de expansão da cultura da macadâmia no Brasil.

## REFERÊNCIAS

- BARBOSA, D. H. S. G.; SOUZA, R. M.; VIEIRA, H. D. Field assessment of coffee (*Coffea arabica* L.) cultivars in *Meloidogyne exigua*-infested or-free fields in Rio de Janeiro State, Brazil. **Crop Protection**, v. 29, p. 175–177, 2010.
- BELLÉ, C. et al. Reaction of sugarcane genotypes to parasitism of *Meloidogyne javanica* and *Pratylenchus zaei*. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 2, p. 530-535, 2017.
- BONFIM Jr, M. F.; MACHADO, A. C. Z.; ARAÚJO FILHO, J. V. *Pratylenchus brachyurus* (Nematoda: Pratylenchidae) on macadamia in Brazil. **Australasian Plant Disease Notes**, v.7, p. 5-6, 2012.
- CAMPOS, V. P.; VILLAIN, L. Nematode parasites of coffee and cocoa. In: LUC, M. et al. (Eds.). **Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture**. Wallingford: CAB International, 2005. cap. 14, p. 531.
- CARNEIRO, R. M. D. G. et al. Primeiro registro de *Meloidogyne mayaguensis* em goiabeira no Brasil. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v.25, n. 2, p. 223-228, 2001.
- DIERBERGER, J. E.; NETTO, L. M. **Noz macadâmia: uma nova opção para a fruticultura brasileira**. São Paulo: Nobel, 1985. 117 p.
- FORTI, V. A. et al. *Meloidogyne javanica* infection of soybean plants: plant response, seed quality and green seeds occurrence. **Seed Science and Technology**, v. 43, n. 3, p. 409 – 420, 2015.
- KIEWNICK, S.; DESSIMOZ, M.; FRANCK, L. Effects of the Mi-1 and the N root-knot nematode-resistance gene on infection and reproduction of *Meloidogyne enterolobii* on tomato and pepper cultivars. **Journal of Nematology**, v. 41, n. 2, p. 134–139, jun. 2009.
- NAGAO, M. A. Farm and forestry production and marketing profile fo macadamia nut (*Macadamia integrifolia* and *M. tetraphylla*). In: Elevitch, C.R. (ed.). *Specialty Crops for Pacific Island Agroforestry*. Permanent Agriculture Resources (PAR), Holualoa, Hawai'i. 2011. Disponível em: <<http://agroforestry.net/scps>>. Acesso: 3 jan. 2018.
- PERDONÁ, M. J.; SORATTO, R. P.; ESPERANCINI, M. S T. Desempenho produtivo e econômico do consórcio de cafeeiro arábica e noqueira-macadâmia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 1, p.12-23, jan. 2015.
- PERDONÁ, M. J.; SORATTO, R. P. Higher yield and economic benefits are achieved in the macadamia crop by irrigation and intercropping with coffee. **Scientia Horticulturae**, v. 185, p. 59-67. 2015.

PIMENTEL, L. D. A cultura da macadâmia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.29, n.3, p.414, 2007.

PIZA, P. L. B. T., MORIYA, L. M. (2014). Cultivo da macadâmia no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, SP, v. 36, n. 1, p. 39-45, mar. 2014.

SACRAMENTO, C. K. et al. Macadâmia. In: SANTOS-SEREJO, J. A. et al. **Fruticultura tropical: espécies regionais e exóticas**. Brasília: Embrapa informação tecnológica, 2009. cap. 14, p. 295-317.

SALGADO, S. M. L. et al. *Meloidogyne paranaensis* e *Meloidogyne exigua* em lavouras cafeeiras na região sul de minas gerais. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 4, p. 475 - 481, out./dez. 2015.

SALGADO, S. M. L.; CAMPOS, V. P. Sintomas do parasitismo de fitonematoides em cafeeiro. In: Guimarães, R. J., Mendes, A. N. G.; Baliza, D. P. (Eds.). **Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas**. Lavras: UFLA, 2010. cap. 4, p. 145-168.

SCHAFER, J. T. et al. Resistance of potato genotypes to *Meloidogyne javanica*. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 2, p. 536 – 540, 2017.

SCHNEIDER, L. M., et al. Zoneamento agroclimático de noqueira-macadâmia para o Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, SP, v. 34, n. 2, p. 515-524, jun. 2012.

SILVA, S. R.; CANTUARIAS-AVILÉS, T. In: DONADIO, L. C. (Org.). **História da fruticultura paulista**. Jaboticabal: Maria de Lurdes Brandel, 2010. cap. 11, p. 197-208.

WANG, Y. et al. First Report of *Meloidogyne enterolobii* on hot pepper in China. **Plant disease**, v. 99, n. 7, p. 557, abr. 2015.