



**SINDYNARA FERREIRA**

**CONTROLE GENÉTICO DA RESISTÊNCIA A**  
***Meloidogyne incognita* RAÇA 1 EM *Phaseolus***  
***vulgaris* L.**

**LAVRAS – MG**

**2010**

**SINDYNARA FERREIRA**

**CONTROLE GENÉTICO DA RESISTÊNCIA A *Meloidogyne incognita*  
RAÇA 1 EM *Phaseolus vulgaris* L.**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Luiz Antonio Augusto Gomes

**LAVRAS – MG**

**2010**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Ferreira, Sindynara.

Controle genético da resistência a *Meloidogyne incognita* raça 1 em *Phaseolus vulgaris* L. / Sindynara Ferreira. – Lavras : UFLA, 2010.

44 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.

Orientador: Luiz Antonio Augusto Gomes.

Bibliografia.

1. Feijão comum (dry bean). 2. Feijão-vagem (snap bean). 3. Nematoides de galhas (root-knot nematode). 4. Herança (inheritance) e herdabilidade (heritability). I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 635.652965182

**SINDYNARA FERREIRA**

**CONTROLE GENÉTICO DA RESISTÊNCIA A *Meloidogyne incognita*  
RAÇA 1 EM *Phaseolus vulgaris* L.**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 28 de dezembro de 2010.

Dr. Luciano Donizete Gonçalves	IFMG - Campus Bambuí
PhD. Vicente Paulo Campos	UFLA
PhD. Wilson Roberto Maluf	UFLA
Dr. Rovilson José de Souza	UFLA

Dr. Luiz Antonio Augusto Gomes  
Orientador

**LAVRAS – MG**

**2010**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, saúde, proteção, sem O qual nada seria.

A Jesus Cristo, fonte imensurável de amor e inspiração, a quem devo tudo o que sou.

A Nossa Senhora Aparecida, Mãe em todos os momentos de minha vida.

*Você pode controlar seus esforços, não os resultados. Faça o melhor que puder e deixe que DEUS faça o resto.*

*(Autor desconhecido)*

À minha família:

João Bosco Ferreira e Vera Lucia Zanin Ferreira – pais.

Viviane, Josimara, Aisi Anne e Gabriely – irmãs.

Susanne, Cinthia, Alice\*, Samantha e Luiz Felipe\* – sobrinhos e

\*sobrinhos afillhados.

Hercílio Junior – noivo.

*Os estabelecimentos de ensino, propriamente do mundo, podem instruir, mas só o instituto da família pode educar. É por essa razão que a universidade poderá fazer o cidadão, mas somente o lar pode edificar o homem.*

*(O Consolador)*

Aos meus amigos:

Em resumo: Daniela, Andrea, Cláudio, Ronaldo, Verônica, Zezinho, Rodrigo, Rafael, Simone, Fabiana, D. Nilza, D. Neuza, Tia Ieda, Marli, Túlio, Cibelle, Simone Asmar, Alexana, Álvaro, Heloisa, Thiago, Marcela, Júlio, Wantuir, Tiago, Silas, Cibele...

Elaine, Décio, Patrícia, Helton, Douglas, Aristides Tiago, Adenice, Stefânia, Totonho, Consuelo, Antônio Henrique, Jackeline, João, Suelen, Ádria, Iara, Álysson, Clayton e Jéssica, Jocione e Daiana, Branco e Andreza, Joyce e Boreska, Luciano e Mayra.

Aos meus primos(as) e tios(as) porque, muitas vezes, passamos anos sem nos encontrar, mas vocês moram em meu coração.

Aos colegas da EAFI (1999-2001) e da cidade de Inconfidentes/MG que irei resumir em poucos nomes: professor Gabriel (na época diretor geral), professora Carla (Carlinha), professores Ivoneide (Neidinha) e Claudino, colega de sala Benedita (Ditinha) e às minhas mães da época, D. Nica (*in memoriam*) e D. Mariana.

Aos colegas do curso de graduação em Agronomia da UNINCOR (2002-2004/I) e da cidade de Três Corações/MG que, novamente, resumirei: professora Josy, colega de sala Jussilene (Jussi), e minha mãe na época, D. Odete Sales.

À turma da Uptime Consultants/Lavras, juntamente com os professores e diretores representados aqui pela Maria, Viviane e Renata.

Aos funcionários da Cantina Central da UFLA (Cantina do Saulo), em especial, à Angélica, ao Saulo e ao Gege.

Aos responsáveis pelo Setor de Olericultura da UFLA – Sr. Pedro, Sr. Miltinho, Josimar, Leandro.

Aos funcionários da empresa HortAgro Sementes Ltda. resumidos em: Vicente, Paulo, Ná, Delei, Naldo, Carijó, Coelho, Marcão, Dinho, Rafael, Flaviano – alguns já não trabalham nesta empresa, mas deixo registrado aqui os meus agradecimentos e carinho.

Ao pessoal do Departamento de Fitopatologia/Nematologia da UFLA, aqui representados pelo professor Vicente, Tarley (que, tantas vezes, aturou e ajudou-me), Cleber, Eduardo e Renata.

Ao pessoal do Departamento de Biologia (Genética e Melhoramento de Plantas) representados aqui pelo professor Magno, professor Bosco, Lamartine e colegas Isabela e Rafaela.

Aos integrantes do Núcleo de Estudos em Olericultura (NEO): Alexandre, Álvaro, Daniela Santos, Daniele Oliveira, Diego, Douglas, Eduardo,

Emi, Flávia, Henrique, Isabela, Isadora, Júlio César, Lauro Luís, Lidia, Luis Felipe, Marcela, Marco Túlio, Marta, Miryan, Pedro César, Rafael, Regis, Rodrigo, Ronaldo, Silas, Thiago, Vauvernargues e Wantuir – com quem passei momentos felizes...

*E eu poderia suportar, embora não sem dor, que tivessem morrido todos os meus amores, mas enlouqueceria se morressem todos os meus amigos!*  
(Vinicius de Moraes)

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), Pró-Reitoria de Pós-Graduação (PRPG), Departamento de Agricultura (DAG), aos professores do curso de Agronomia/Fitotecnia, Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior (CAPES), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação de Apoio ao Ensino Pesquisa e Extensão (FAEPE) e à empresa HortiAgro Sementes Ltda., por viabilizarem a execução deste trabalho.

*“Nenhuma mente que se abre para uma nova ideia voltará a ter o tamanho original”.*  
(Albert Einstein)

Aos professores Luiz Antonio Augusto Gomes, Wilson Roberto Maluf e Rovilson José de Souza - agradeço o apoio, amizade e orientação sempre que precisei.

*“Os grandes navegadores devem sua reputação aos temporais e tempestades”.*  
(Epicuro)

*“Você não sabe o quanto eu caminhei  
Prá chegar até aqui  
Percorri milhas e milhas antes de dormir  
Eu nem cochilei  
Os mais belos montes escalei  
Nas noites escuras de frio chorei, ei , ei...  
...A vida ensina e o tempo traz o tom  
Prá nascer uma canção  
Com a fé do dia-a-dia encontro a solução  
Encontro a solução...”*

*(Parte da música “A Estrada” - Cidade Negra,  
Composição: Toni Garrido / Lazão / Da Gama / Bino).*

*Agradeço a todas as dificuldades que enfrentei, não fosse por elas,  
eu não teria saído do lugar.*

*(Chico Xavier)*



## RESUMO

O uso de cultivares resistentes é um dos métodos mais eficientes para o controle de nematoides e redução de perdas econômicas causadas por estes fitopatógenos. Estudos de herança da resistência aos nematoides de galhas em *Phaseolus vulgaris* L., no entanto são escassos. O presente trabalho foi realizado com o objetivo de estimar os parâmetros genéticos que explicam a herança da resistência aos nematoides de galhas *Meloidogyne incognita* raça 1 em *P. vulgaris* L. Duas cultivares contrastantes, Aporé ( $P_1$  = resistente, feijão comum) e Macarrão Rasteiro Conquista ( $P_2$  = suscetível, feijão-vagem), e as gerações  $F_1$  ( $P_1 \times P_2$ ),  $F_2$  ( $P_1 \times P_2$ ),  $RC_{11}$  ( $F_1 \times P_1$ ) e  $RC_{12}$  ( $F_1 \times P_2$ ), foram avaliadas 45 dias após a inoculação do nematoide, por meio de uma escala de categorias relacionada ao número de ovos por grama de raiz. Efeitos genéticos dominantes foram inferiores em magnitude aos efeitos aditivos, indicando dominância incompleta para resistência aos nematoides (menor número de ovos por grama de raiz). O controle genético da resistência a *Meloidogyne incognita* raça 1 em *Phaseolus vulgaris* L., é controlada por um loco gênico com dominância incompleta do alelo de resistência, com a possível presença de genes modificadores.

Palavras-chave: Feijão comum. Feijão-vagem. Nematoides de galhas. Herança. Herdabilidade.

## ABSTRACT

The use of resistant cultivars is one of the best methods for nematode control and reduction of economic losses caused by these pathogens. Studies of inheritance of nematode resistance in *Phaseolus vulgaris* L. are nonetheless scarce. The present paper reports on the estimation of genetic parameters associated with resistance to the root nematode *Meloidogyne incognita* race 1 in beans *P. vulgaris* L. Two contrasting lines, 'Aporé' ( $P_1$  = nematode resistant, dry bean) and 'Macarrão Rasteiro Conquista' ( $P_2$  = susceptible, snap bean), and the generations  $F_1$  ( $P_1 \times P_2$ ),  $F_2$  ( $P_1 \times P_2$ ),  $BC_{11}$  ( $F_1 \times P_1$ ) and  $BC_{12}$  ( $F_1 \times P_2$ ), were assessed 45 days after nematode inoculation, through a scale related to the number of eggs per gram of root tissue. Dominant genetic effects were inferior in magnitude to additive effects, indicating incomplete dominance of nematode resistance. Dominance was in the direction of increased nematode resistance (i.e., lower number of eggs per g root). The genetic control of resistance to *Meloidogyne incognita* race 1 in *Phaseolus vulgaris* L., is controlled by a gene locus with incomplete dominance of resistance allele, with the possible presence of modifier genes.

Keywords: Dry bean. Snap bean. Root-knot nematode. Inheritance. Heritability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Gráfico 1 Distribuições de frequências das médias da escala de categorias para número de ovos de *Meloidogyne incognita* raça 1, por grama de raiz, nas cultivares de feijão Aporé (P<sub>1</sub>), feijão-vagem Macarrão Rasteiro Conquista (P<sub>2</sub>), e nas gerações F<sub>1</sub> (P<sub>1</sub> x P<sub>2</sub>), F<sub>2</sub> (P<sub>1</sub> x P<sub>2</sub>), RC<sub>11</sub> (F<sub>1</sub> x P<sub>1</sub>) e RC<sub>12</sub> (F<sub>1</sub> x P<sub>2</sub>). UFLA, Ijaci/MG. 2010 33
- Tabela 1 Número de plantas utilizadas por geração e médias da escala de categorias para números de ovos por grama de raiz, em um ensaio com *Phaseolus vulgaris* L. inoculadas com *Meloidogyne incognita* raça 1. UFLA, Ijaci/MG. 2010. .... 29
- Tabela 2 Componentes de médias das gerações ( $\hat{m}$  = média dos genitores;  $\hat{a}$  = efeitos genéticos aditivos;  $\hat{d}$  = efeitos de dominância) para os valores da escala de categorias, em populações de *Phaseolus vulgaris* L. inoculadas com *Meloidogyne incognita* raça 1. UFLA, Ijaci/MG. 2010. .... 30
- Tabela 3 Ajuste da hipótese de herança monogênica da resistência a *Meloidogyne incognita* raça 1 em *Phaseolus vulgaris* L: frequências observadas e esperadas de plantas resistentes e suscetíveis. UFLA, Ijaci/MG. 2010..... 33

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	14
<b>2.1</b>	<b>A cultura do <i>Phaseolus vulgaris</i> L.</b> .....	14
<b>2.2</b>	<b>Nematoides de galhas</b> .....	18
<b>2.3</b>	<b>Controle genético da resistência em <i>Phaseolus vulgaris</i> L.</b> .....	22
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	25
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	29
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	36
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	37

## 1 INTRODUÇÃO

O feijão comum é um alimento rico em nutrientes essenciais, com teores protéicos médios em torno de 20% e de carboidratos, próximos a 65%, além de ser rico em vitaminas e minerais, como o ferro. O feijão-vagem difere-se do feijão comum pelas características das vagens, que são maiores e com reduzido teor de fibras. Sua produção destina-se ao consumo *in natura* e, pequenas quantidades, são destinadas à industrialização e exportação. Uma característica predominante nas propriedades que cultivam esta leguminosa é o uso intensivo do solo, que se torna propício à contaminação por diversos patógenos, destacando-se entre eles os nematoides de galhas. Estes fitonematoides causam perdas expressivas em diversas culturas e são de difícil controle. A conscientização do homem, no que diz respeito à relação com o ambiente em que vive, tem levado o mesmo à procura por evitar o uso de insumos nocivos a este ambiente e a si próprio. Isto tem sido um dos grandes desafios para que o agricultor possa desenvolver, efetivamente, uma agricultura sustentável, que se torna mais evidente quando se trata da produção de hortaliças, atividade na qual os produtos químicos têm sido largamente utilizados.

A resistência aos nematoides de galhas é conhecida e utilizada para diversas espécies de plantas cultivadas, sendo um método eficiente e de baixo custo no controle deste fitopatógeno. Este conhecimento é de suma importância para o estabelecimento de métodos de melhoramento que visam à introgressão do(s) gene(s) responsável(eis) em cultivares comerciais. Neste contexto, o estudo do controle genético da resistência pode, efetivamente, contribuir para uma mudança no sistema de produção, considerando o momento em que é capaz de permitir a obtenção de novas cultivares mais adaptadas, dispensando o uso de produtos químicos. Assim, a avaliação da natureza e magnitude dos efeitos gênicos que controlam um determinado caráter é de reconhecida importância no

processo de seleção e predição do comportamento de gerações híbridas e segregantes. Desta forma, este trabalho foi realizado com o objetivo de estudar o controle genético da resistência aos nematoides de galhas *Meloidogyne incognita* raça 1 em *Phaseolus vulgaris* L. mediante a cultivar resistente Aporé.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O feijão é um dos alimentos mais importantes para a maioria das populações dos países em desenvolvimento por ser a principal fonte de proteína e de valor mais acessível. É a leguminosa mais consumida, sendo considerado o ingrediente-símbolo da gastronomia nacional. Junto com o arroz, forma a base da alimentação brasileira e contribui significativamente como fonte de proteína e caloria (RG NUTRI IDENTIDADE NUTRIÇÃO, 2010).

Os fitonematoides causam perdas na produção, desde um por cento até perda total, dependendo da densidade populacional, da suscetibilidade da cultivar e das condições ambientais (TIHOHOD, 2000).

A produção economicamente viável de alimentos tem sido possível em função da disponibilidade de diversas táticas de controle, em que o uso de cultivares resistentes se destaca, uma vez que esta tática não onera o custo de produção, não provoca danos ao meio ambiente e nem à saúde humana.

### 2.1 A cultura do *Phaseolus vulgaris* L.

Os feijões pertencem ao gênero *Phaseolus* que possui 55 espécies, das quais cinco são cultivadas: *P. vulgaris* L., *P. lunatus* L., *P. coccineus* L., *P. acutifolius* A. Gray var. *latifolius* Freeman e *P. polyanthus* Greenman (DEBOUCK, 1999). Entre estas espécies, *P. vulgaris* L. é a mais difundida, sendo responsável por 85% da área plantada no mundo (SINGH, 2001). Este gênero apresenta dois centros de origem, sendo o primeiro localizado na América Central, nos altiplanos do México e Guatemala e o outro na Ásia Tropical (LEITÃO FILHO, 1972). A espécie *P. vulgaris* L. era cultivada pelos indígenas desde o Canadá até o Chile e Argentina (CÁSSERES, 1981) e sua

domesticação ocorreu há mais de 7.000 anos (KAPLAN, 1956). O feijão-vagem é da mesma espécie do feijão comum, porém, assume-se que seja originário da Europa e da América do Norte, onde, inicialmente, inúmeros genótipos eram cultivados em pequenas hortas, para consumo familiar (SILBERNAGEL et al., 1991).

Grande parte das características que distinguem o feijão-vagem do feijoeiro comum está relacionada a ocorrências de mutações em locos que controlam características de qualidade das vagens, as quais foram selecionadas e recombinadas em hibridações na Europa e/ou Estados Unidos há mais de 150 anos e, possivelmente, também, na China (SILBERNAGEL, 1986). É propriamente uma forma melhorada do feijão comum, que apresenta características de vagens sem fibras e textura carnosa, aliadas à coloração verde-claro, forma plana com 15 a 18 cm de comprimento, possuindo um mesocarpo espesso e suculento (CARPENTIERI-PÍPOLO; VIZONI; GIROTO, 2001; SILBERNAGEL, 1986), sendo considerado um alimento saudável, de fácil digestão e valor alimentar bastante elevado.

O Brasil é o maior produtor mundial de feijão comum, com produção estimada em 3.334,7 mil toneladas na safra 2009/2010, numa área de 3.692 mil hectares e produtividade de 903 kg.ha<sup>-1</sup> (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2010). Já o feijão-vagem é a décima terceira hortaliça, em termos de importância econômica e a sexta, em volume produzido, no Brasil. É a principal leguminosa hortícola e tem importância mundial, destacando-se na alimentação humana como excelente fonte de fibra e proteínas (PRELA; RIBEIRO, 2002 apud COSTA, 2007). No ano de 2008, foram comercializadas, até o mês de julho, 1.385 toneladas de vagem pela CEAGESP-SP, podendo ser verificado um incremento na produção de 73 toneladas, quando se compara o mesmo período, ao ano anterior (AGRIANUAL, 2009).



O feijão é uma cultura de ampla adaptação a climas quentes e amenos, dentro de uma faixa térmica de 18 a 30 °C (FILGUEIRA, 2000), no entanto, é intolerante a fatores extremos do ambiente. Cermeño (1977) apresenta os limites de temperatura do ar para o crescimento e desenvolvimento do feijão de acordo com a fase fenológica, em que na germinação, a mínima é de 12 °C, ótima de 15 a 25 °C e máxima de 30 °C; no desenvolvimento vegetativo, a mínima é de 10 a 12 °C, ótima de 18 a 30 °C e a máxima de 35 a 40 °C; na floração, a mínima é de 12 a 15 °C, ótima de 15 a 25 °C e a máxima 30 a 40 °C.

Temperaturas elevadas ocasionam significativa redução da produtividade na fase vegetativa inicial, podendo causar morte das plântulas e, conseqüentemente, redução do estande (PEREIRA; OTTO; REGHIN, 2003). Na fase de intenso crescimento vegetativo, o calor excessivo aumenta a fotorespiração, reduzindo a taxa de crescimento das plantas (MARIOT, 2000). Já, durante a fase reprodutiva, altas temperaturas exercem influência sobre o aborto de flores, vingamento e retenção final das vagens (PORTES, 1988 apud ANDRADE, 1998). No período entre a diferenciação dos botões florais até o enchimento dos grãos nas vagens, altas temperaturas reduzem o número de vagens por planta, por causa da esterilização do grão de pólen que, conseqüentemente, leva à queda das flores (MARIOT, 2000).

Baixas temperaturas, quando ocorrem logo após a sementeira, podem impedir, reduzir ou atrasar a germinação das sementes e a emergência das plântulas, resultando em baixa população e baixa produtividade. Durante o crescimento vegetativo, reduzem a altura das plantas e ramos, diminuindo a produção de vagens por planta (PORTES, 1996 apud ANDRADE, 1998). Temperaturas inferiores a 15 °C e/ou baixa luminosidade ocasionam a diminuição da formação de ramos laterais ou axilares, contribuindo para a redução da área foliar (CROOKSTON et al., 1975), bem como acentuam falhas na formação e fisiologia das estruturas reprodutivas (FARLOW; BYTH;

KRUGER, 1979) além de inviabilizarem o funcionamento normal dos órgãos reprodutivos (PEREIRA; OTTO; REGHIN, 2003). Na faixa de 2 a 10 °C, as plantas reduzem a produção de biomassa e retardam o desenvolvimento, em virtude das alterações metabólicas provocadas pelo esfriamento. O esfriamento do solo, também, pode facilitar o apodrecimento das sementes promovendo queda no estande (FILGUEIRA, 2000). A ocorrência de geadas causa injúrias por congelamento nos tecidos, sendo prejudicial em qualquer estágio de desenvolvimento das plantas (MARIOT, 2000). Plantas de feijão, expostas a temperaturas noturnas entre 5 a 10 °C, podem evidenciar no dia seguinte severa redução na taxa fotossintética, alteração no ponto de compensação, acompanhado de menor potencial hídrico, menor absorção de CO<sub>2</sub> e menor taxa transpiratória (CROOKSTON et al., 1975).

O feijão é uma planta autógama, dada a estrutura de sua flor, cujos órgãos masculinos e femininos são bem protegidos pelas pétalas e, também, pelo fato de os grãos de pólen começarem a cair sobre o estigma antes da flor se abrir (VIEIRA, 1960). Weinsten (1926) verificou que, em ambiente protegido, a polinização ocorre quase na ocasião da antese, dando-se a fertilização oito a nove horas depois. Geralmente as plantas apresentam menos de 5% de fecundação cruzada (MARQUES JÚNIOR; RAMALHO, 1995). Sua folha é composta de três folíolos grandes, em formato de coração, sendo dois laterais e um no centro; as raízes são superficiais no solo e têm a capacidade de fixar o nitrogênio do ar, graças à formação de nódulos, provocada pela ação de uma bactéria do gênero *Rhizobium* (KUROZAWA, 2010). Constitui-se de flores com cálice gamossépalo, com duas bractéolas verdes na base. Apresenta corola pentâmera e papilionácea, com três pétalas livres e duas concrecidas. No androceu apresenta dez estames, sendo nove unidos e um livre ou unido aos demais no terço apical. As anteras são todas férteis e situadas abaixo do estigma. É uma espécie diplóide, com  $2n = 2x = 22$  (MALUF, 1994).

O aumento de produtividade das espécies cultivadas mais importantes, como o feijoeiro, tem sido o principal responsável por atender à demanda crescente de alimentos e outros produtos agrícolas no mundo. Vários fatores contribuíram para esse aumento, com destaque para o melhoramento genético (VENCOVSKY; RAMALHO, 2000).

## **2.2 Nematoides de galhas**

A palavra nematoide deriva do grego *nema* (uhma), que quer dizer fio, mais o sufixo *oid* (eidoz), que significa semelhante, em forma de fio. São, provavelmente, uma das formas mais antigas de vida existentes, datando de milhões de anos (TIHOHOD, 1993). São vermes microscópicos, alongados, finos nas extremidades, medindo de 0,5 a 4,0 mm de comprimento. Podem ser endoparasitas, quando penetram no tecido da planta e passam parte do seu ciclo de vida dentro dos tecidos da hospedeira, ou ectoparasitas, quando estão sempre em contato com o solo, introduzindo somente o seu estilete nas células da raiz.

Muitas espécies de nematoides são importantes na agricultura, algumas pelos danos causados à produção, e outras, de vida livre, pelo efeito benéfico. Os nematoides fitoparasitas promovem distúrbios no sistema radicular, induzindo a formação de alterações morfofisiológicas, prejudicando a absorção e translocação de água e nutrientes (RITZINGER; FANCELLI, 2006). Ainda, segundo estes autores, as perdas na produção variam de suaves até a destruição total. A quantificação destas no Brasil, não é precisa, em virtude, principalmente, das interações com danos provocados por pragas e outras doenças, condições climáticas adversas, presença de plantas invasoras e inadequação de tratamentos culturais.

Grande parte dos solos cultivados com hortaliças, especialmente nas pequenas propriedades, onde seu uso é mais intensivo, vem sendo contaminados por estes fitonematoides que, ao infectar diversas espécies olerícolas, levam a perdas que podem, na maioria das vezes, comprometer a renda do agricultor. Geralmente provocam sintomas similares aos da deficiência mineral, uma vez que a absorção de nutrientes fica dificultada em razão dos danos no sistema radicular (LOPES; ÁVILA, 2003).

Entre os fitonematoides, destacam-se os do gênero *Meloidogyne*, causadores de galhas nas raízes. Segundo Ferraz e Mendes (1992), em um relatório sobre a posição, o progresso e a necessidade de pesquisa para nematoides de galhas no Brasil, no Projeto Internacional de Meloidogyne (IMP), 70% de todos os trabalhos brasileiros, publicados na área nematológica, são direcionados para este gênero, que dá uma indicação de sua importância. Assim, o gênero *Meloidogyne* se destaca entre os patógenos mais importantes em plantas cultivadas, em virtude de sua ocorrência em quase todos os países do mundo (cosmopolitas), pelo elevado número de plantas hospedeiras que possui, pelas grandes dificuldades conferidas às práticas de seu controle, pela produção de grande quantidade de ovos e capacidade de sobrevivência em diferentes ambientes (COSTA; CAMPOS, 2001; LAMBERT; TAYLOR, 1979; LORDELLO, 1976, 1982; SASSER, 1977, 1989). Dentre as espécies reconhecidas neste gênero, quatro delas, *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria* e *M. hapla*, possuem maior destaque pela sua grande distribuição nos países tropicais e alta disseminação nas regiões olerícolas (TAYLOR; SASSER, 1978), com grandes prejuízos econômicos em todo o mundo, acometendo 95% de todas as infestações de nematoide em raízes (SASSER; TRIANTAPHYLLOU, 1977). Destas espécies, *M. incognita* é considerada como sendo, economicamente, a mais importante (EISENBACK; TRIANTAPHYLLOU, 1991), estando associada a 87% das plantas catalogadas (FREIRE; FREIRE, 1978). Possuem

maior ocorrência nos países tropicais e subtropicais por causa da temperatura e umidade adequadas para seu desenvolvimento, além da vasta gama de hospedeiros (LUC; SIKORA; BRIDGE, 1990). O fato de a mesma espécie de nematoide atacar mais de uma espécie de plantas cultivadas sugere que os parasitas apresentam grande variabilidade genética e alta capacidade de adaptação. Seu ciclo de vida compreende de 22 a 25 dias, porém, em razão de uma série de fatores, dentre os mais importantes temperatura e hospedabilidade da planta, este pode variar de três semanas a vários meses (DAVID; TRIANTAPHYLLOU, 1967; DROPKIN, 1989; PEDROSA; HUSSEY; BOERMA, 1996).

Uma vez que a resistência às raças de nematoides do gênero *Meloidogyne* pode ser específica (FASSULIOTIS, 1979), o reconhecimento, principalmente, das existentes em *M. incognita*, torna-se fundamental. Taylor e Sasser (1978) definiram quatro raças para *M. incognita*, baseando-se em reações nas seguintes espécies vegetais: fumo 'NC-95', algodão 'Deltapine 16', pimentão 'Califórnia Wonder', melancia 'Charleston Gray', amendoim 'Florunner' e tomate 'Rutgers', tidos como hospedeiros diferenciais. Dessa forma, a raça 1 de *M. incognita* não se reproduz em fumo e algodão; a raça 2 reproduz-se apenas em fumo; a raça 3 reproduz-se apenas em algodão e, finalmente, a raça 4 que se reproduz em ambos, fumo e algodão.

Estes fitonematoides são de difícil controle, em razão de seus largos círculos de hospedeiros (polífagos) e, sobrevivem no solo, que tem um grande efeito tamponante, ou dentro de raízes ou outros órgãos das plantas. Alguns possuem estrutura de resistência, outros entram em dormência e outros reproduzem rapidamente e em grande número, além de serem facilmente disseminados (FREITAS, 2003). O controle desses fitonematoides deve ser primeiramente preventivo, mediante a utilização de práticas sanitárias, para que não haja infestação de novas áreas de plantio, incluindo o uso de mudas livres de

nematoides e limpeza de equipamentos que possam ser utilizados em diferentes locais. Deve-se, também, considerar o histórico da área, a qualidade da água de irrigação e o tipo de solo.

Normalmente tenta-se fazer o controle deste patógeno por meio de práticas culturais como revolvimento do solo (DIAS; ASMUS; CARNEIRO, 2003; DUTRA; CAMPOS, 1998), irrigação após revolvimento (DUTRA; CAMPOS, 2003; DUTRA et al., 2006), alqueive ou pousio (CAMPOS, 1987; DIVITO; GREGO; CARELLA, 1985) solarização (TRIMAN; MULYADI, 2001), inundação, adubação verde (ACOSTA et al., 1995) e rotação de cultura (IJANI; MABAGALA; NICHIMBI-MSOLLA, 2000; PAULA JÚNIOR; ZAMBOLIM, 1998; VIEIRA, 1993). O uso do controle químico, com nematicidas, aplicados diretamente no solo, também, constitui tática economicamente viável. Porém, seu emprego deve ser evitado, uma vez que traz riscos ao meio ambiente, tanto pela contaminação das águas como pelos resíduos que deixam no próprio solo. Eles podem eliminar não só os nematoides, mas também outros microorganismos benéficos, que constituem a fauna microbiana do solo. Além disso, não respeitando o período de carência e dependendo do ciclo da cultura, resíduos podem ser encontrados no produto final. Neste cenário, o uso de cultivares resistentes ou tolerantes é o método de controle mais eficiente, prático e econômico, além de não poluente. O desenvolvimento dessas cultivares torna-se de suma importância para a prática de uma agricultura sustentável, de baixo custo e que seja capaz de produzir alimentos com maior segurança alimentar e ambiental.

A resistência e a suscetibilidade de plantas referem-se à habilidade evidenciada na supressão do desenvolvimento e da reprodução de determinadas espécies de nematoides. Plantas altamente resistentes possibilitam taxas de reprodução muito restritas dos parasitos, ao passo que as suscetíveis (não resistentes, hospedeiras) permitem abundante reprodução. Na espécie *P. vulgaris*

L., existe um gradiente em relação a essas duas características, com genótipos apresentando reações intermediárias (moderadas) entre os extremos (FERREIRA et al., 2010).

A resistência, também, pode ser caracterizada pelo número de genes que controlam a característica, podendo ser monogênica (um único gene – *M. incognita* em tomate e alface), oligogênica (dois a três genes – *Heterodera glycines* em soja) ou poligênica (vários genes). O modo como a resistência a nematoides é herdada é importante na definição da estratégia a ser adotada para incorporá-la em cultivares comerciais de feijão.

### **2.3 Controle genético da resistência em *Phaseolus vulgaris* L.**

A maioria dos trabalhos disponíveis sobre a natureza da herança da resistência a nematoides tem tratado de poucos genes de efeitos maiores. Há, ainda, efeitos de genes menores, os quais, também, operam, de acordo com a teoria ‘gene a gene’, como foi inicialmente sugerido por Parlevliet e Zadoks (1977) para patógenos vegetais. Tal cenário, de vários genes menores independentes com pequeno efeito aditivo, dificulta a transferência e manutenção de genes de resistência em variedades superiores.

O conhecimento da natureza e da magnitude dos efeitos gênicos que controlam um caráter é primordial para o processo da seleção e a predição do comportamento das gerações segregantes (CRUZ; REGAZZI, 1997). As informações sobre o controle genético de caracteres ligados à resistência de feijão a nematoides são escassas na literatura. Sua importância está na tomada de decisões quanto aos métodos a serem seguidos ou ao tamanho de população a ser conduzida durante a execução do programa de melhoramento.

A ampliação da base genética da espécie, por meio de hibridações, é alternativa viável, principalmente, em autógamas, como é o caso do feijão, em que a diversidade intrapopulacional é inexpressiva, em razão do inerente sistema de autofecundação (COSTA; ZIMMERMANN, 1988). Já o método do retrocruzamento é muito utilizado em introgressão de alelos de interesse de germoplasma exótico, onde características com alta herdabilidade, controladas por um ou poucos genes, são mais facilmente transferidas. Na ausência de seleção e ligação, a porcentagem média de alelos do parental recorrente cresce a cada retrocruzamento, em metade da porcentagem do germoplasma do parental não recorrente, que estava presente na geração anterior ao retrocruzamento (HAGIWARA; SANTOS; CARMO, 2001).

Embora, ainda, haja dúvidas a respeito do controle genético da resistência em feijão comum, ao que tudo indica o caráter é controlado por dois (BARRONS, 1940) ou três (HARTMANN, 1971) genes recessivos ou, ainda, um gene dominante (OMWEGA; THOMASON; ROBERTS, 1990) com dominância do alelo que condiciona a resistência.

Blazey et al. (1964) em cruzamentos com cultivares de feijão Contender e Cherokee Wax (suscetíveis) com Wingard Wonder e Springwater Half Runner (resistentes) verificaram que a resistência a *M. incognita* estava sob controle de dois genes com alelos recessivos. Barrons (1940), também, relatou herança recessiva digênica quanto à resistência a *M. incognita* utilizando as cultivares de feijão Alabama Nº 1 (resistente) e Kentucky Wonder (suscetível). No entanto, Hartmann (1971), relatou três genes recessivos, com efeitos iguais para explicar a resistência a este nematoide.

Omweaga e Roberts (1992) relataram que a resistência, em linhagens de feijão comum PI 165426, está sob o controle de um gene dominante e um gene recessivo, enquanto a resistência de PI 165435 e Alabama Nº 1 estavam sob controle de um único gene recessivo. Essas resistências foram eficazes contra *M.*



*incognita* raças 2, 3 e 4, mas não contra a raça 1 (OMWEGA et al., 1989). Resistência em PI 165426 foi estável em uma temperatura mais elevada do que em PI 165435 e Alabama N° 1 (OMWEGA; THOMASON; ROBERTS, 1990). Em contraste, a resistência em linhagens de feijoeiro A315 e A445 foi controlada por um único gene dominante, para isolados de *Meloidogyne* (*M. javanica*, *M. incognita* raça 1 e *M. arenaria*), tendo sido sugerido a denominação *Me1* (OMWEGA; THOMASON; ROBERTS, 1990).

Freitas, Ramalho e Silva (2002) estudaram a herança da resistência a *M. incognita* raça 3, no cruzamento entre as cultivares de feijão Aporé (resistente) x ESAL 686 (suscetível). Em um breve relato, os autores indicaram uma proporção de três plantas resistentes: uma planta suscetível na geração F<sub>2</sub> do cruzamento, indicando que a característica está sob controle de um único loco, com dominância para o alelo que confere resistência ao nematoide. A cultivar Aporé, também, foi relatada como resistente à raça 3 de *M. incognita* (FERREIRA et al., 2010), mas se a resistência a esta raça é controlada pelo mesmo gene responsável pela resistência à raça 1, ainda, não é conhecido.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizadas duas cultivares de feijão, cultivadas no Brasil, Aporé (P<sub>1</sub>) e Macarrão Rasteiro Conquista (P<sub>2</sub>) para realização dos cruzamentos. A cultivar de feijão Aporé caracteriza-se por ser resistente aos nematoides de galhas *Meloidogyne incognita* raças 1 e 3 e a *M. javanica* (CARNEIRO et al., 2003; FERREIRA et al., 2010; FREITAS; RAMALHO; SILVA, 2002; SILVA; RAMALHO; ABREU, 2005), possui grão do tipo carioca, hábito de crescimento tipo III, ciclo normal e apresenta resistência à mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola*), antracnose (*Glomerella cingulata* f. sp. *phaseoli*) e ferrugem (*Uromyces phaseoli*) (VALÉRIO; ANDRADE; FERREIRA, 1999). Já a cultivar de feijão-vagem Macarrão Rasteiro Conquista possui excelente aceitação comercial, possui tolerância ferrugem (*Uromyces phaseoli*) e antracnose (*Glomerella cingulata* f. sp. *phaseoli*) (HORTEC, 2010), mas é suscetível aos nematoides de galhas *Meloidogyne incognita* raças 1 e 3 e a *M. javanica* (FERREIRA et al., 2010). Cruzamentos foram realizados nas dependências da empresa HortiAgro Sementes Ltda., em Ijaci/MG, em ambiente protegido, a fim de obter as gerações [F<sub>1</sub> (P<sub>1</sub> x P<sub>2</sub>)] entre ‘Aporé’ (P<sub>1</sub>) e ‘Macarrão Rasteiro Conquista’ (P<sub>2</sub>). Uma parte das sementes F<sub>1</sub> obtidas foi semeada para obtenção das sementes F<sub>2</sub> [autofecundação da F<sub>1</sub> (P<sub>1</sub> x P<sub>2</sub>)]. Outra parte foi utilizada para realização dos retrocruzamentos [RC<sub>11</sub> = F<sub>1</sub> x P<sub>1</sub>] e [RC<sub>12</sub> = F<sub>1</sub> x P<sub>2</sub>]. Foi adotada a técnica de hibridação artificial descrita por Nucci (1940), envolvendo a emasculação, isto é, retirada das anteras com pinça do genitor feminino, seguida de polinização com pólen da flor doadora ou parental masculino. Para a preparação da flor feminina, adotou-se a técnica de retirada total da corola (estandarte e quilha) para a polinização, ao invés de somente pincelar o estigma com o parental masculino. Optou-se por deixar preso ao estigma feminino uma antera ou um grupo de anteras do parental masculino. Foi utilizada essa

metodologia, porque, em alguns horários, não foi observada a deiscência suficiente das anteras, devido à alta umidade no ambiente.

Posteriormente foi realizada avaliação quanto ao nematoide *M. incognita* raça 1, no período de 06/11/2008 a 07/01/2009, tendo sido avaliadas 39 plantas do P<sub>1</sub>, 32 plantas do P<sub>2</sub>, 40 plantas de F<sub>1</sub>, 339 plantas de F<sub>2</sub>, 32 plantas do RC<sub>11</sub> e 36 plantas do RC<sub>12</sub>.

As sementes foram semeadas em vasos plásticos de 3 litros contendo uma mistura de terra, areia e composto orgânico na proporção de 2:1:1, sendo esta mistura utilizada como substrato. Foram colocadas três sementes por vaso, onde após germinação e emergência, foram feitos desbastes deixando uma planta por vaso.

Quinze dias após a semeadura, o substrato foi infestado com ovos de *M. incognita* raça 1. Os inóculos foram obtidos de plantas de tomate cultivar Santa Clara infestadas com o isolado da espécie de nematoides em estudo e mantidos em vasos de 10 L em ambiente protegido, na estação experimental da empresa HortiAgro Sementes Ltda., em Ijaci/MG.

O inóculo foi preparado, de acordo com a metodologia de Hussey e Barker (1973), modificada por Boneti e Ferraz (1981). Os ovos foram contados considerando uma alíquota de 1 ml em câmara de Peter (SOUTHEY, 1970) com o auxílio de um microscópio estereoscópico. Uma alíquota de 5 mL de uma suspensão, contendo 2.000 ovos.mL<sup>-1</sup> (totalizando 10.000 ovos de *M. incognita* raça 1), foi utilizado para infestar cada vaso de 3 L. A suspensão foi distribuída com uma seringa, diretamente sobre o substrato, em dois furos de 3 cm de profundidade x 0,5 cm de largura, localizados próximos ao caule. Vasos contendo mudas suscetíveis de tomate (*Solanum lycopersicum*), cultivar Santa Clara, foram inoculados da mesma forma, a fim de verificar a viabilidade do inóculo.

Quarenta e cinco dias, após a inoculação (antes da conclusão do segundo ciclo de reprodução do nematoide), quando foi verificada a formação de galhas e massas de ovos nas plantas de tomate, foi avaliada a reprodução do nematoide para todos os genótipos. As plantas foram retiradas dos vasos e as raízes foram lavadas, cuidadosamente, para remover qualquer substrato aderido. Posteriormente elas foram colocadas sobre papel absorvente para absorção da umidade livre e foram pesadas para determinar a massa fresca de raízes (em gramas). O sistema radicular foi cortado e os ovos foram extraídos, conforme metodologia de Hussey e Barker (1973), modificada por Boneti e Ferraz (1981). O número de ovos no sistema radicular foi contado com o auxílio de um microscópio estereoscópico e o número final de ovos de nematoides por grama de raiz foi estimado.

Uma escala denominando categorias de 1 a 10 foi estabelecida com base no número de ovos por grama de raízes frescas. Determinou-se, inicialmente, a amplitude do número de ovos por grama de raiz, para isto calculou-se a diferença entre o maior valor (35101 ovos/grama de raiz) e o menor valor (310 ovos/grama de raiz), obtendo-se a amplitude de 34481. Como fora estabelecido 10 categorias, dividiu-se a amplitude por 10, obtendo-se o valor de 3488 ovos, estabelecendo-se, então, a escala de categorias, a saber: nota 1 = correspondente ao número de ovos por grama de raiz  $\leq 3488$ ; nota 2 = entre 3489 e 6976 ovos/grama de raiz; nota 3 = entre 6977 e 10464; nota 4 = entre 10465 e 13952; nota 5 = entre 13953 e 17440; nota 6 = entre 17441 e 20928; nota 7 = entre 20929 e 24416; nota 8 = entre 24417 e 27904; nota 9 = entre 27905 e 31392; nota 10 = número de ovos por grama de raiz  $\geq 31393$ .

Foi adotado um ponto de truncagem, abaixo do qual se encontravam a maioria das plantas do genitor P<sub>1</sub> (resistentes) e acima do qual, a maioria das plantas do genitor P<sub>2</sub> (suscetíveis). No presente experimento, a nota 3 foi escolhida como ponto de truncagem. A escolha da nota 3, como ponto de

truncagem, indica que são consideradas resistentes plantas com número de ovos por grama de raiz equivalentes a 30% (ou menos) dos encontrados nas plantas suscetíveis. Este critério se justifica pelo fato de que a cultivar de feijão comum Aporé apresentava, em ensaios de Ferreira et al. (2010), um índice de reprodução medindo cerca de 30% menor do apresentado pela cultivar de feijão-vagem suscetível Macarrão Rasteiro Conquista.

Os componentes de média foram estimados, usando metodologia semelhante à proposta por Mather e Jinks (1974), com auxílio computacional, procedimento PROC IML (Procedure of Interactive Matrix Language) do pacote SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE - SAS INSTITUTE, 1999).

As distribuições de frequência para as escalas de número de ovos por grama de raiz foram estabelecidas para cada uma das gerações estudadas ( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $RC_{11}$  e  $RC_{12}$ ). Foi realizado teste do qui-quadrado nas gerações segregantes para testar a hipótese de herança monogênica da resistência a *M. incognita* raça 1.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias da escala de categorias do número de ovos por grama de raiz para as cultivares parentais foram claramente contrastantes: a resistência da cultivar Aporé pode ser caracterizada por médias, significativamente, menores (Tabela 1) do que aqueles encontrados na cultivar de feijão-vagem Macarrão Rasteiro Conquista, indicando que a reprodução de *M. incognita* raça 1 no parental resistente é, substancialmente, reduzida.

Tabela 1 Número de plantas utilizadas por geração e médias da escala de categorias para números de ovos por grama de raiz, em um ensaio com *Phaseolus vulgaris* L. inoculadas com *Meloidogyne incognita* raça 1. UFLA, Ijaci/MG. 2010

População	Número de plantas	Médias da escala de categorias <sup>(1)</sup>
P <sub>1</sub> <sup>(a)</sup>	39	1.00
P <sub>2</sub> <sup>(b)</sup>	32	5.47
F <sub>1</sub> (= P <sub>1</sub> x P <sub>2</sub> )	40	1.55
F <sub>2</sub>	339	2.65
RC <sub>11</sub> (= F <sub>1</sub> x P <sub>1</sub> )	32	1.47
RC <sub>12</sub> (= F <sub>1</sub> x P <sub>2</sub> )	36	4.00

<sup>(1)</sup> Valores mais baixos indicam maiores níveis de resistência a *M. incognita* raça 1

<sup>(a)</sup> Aporé (feijão comum – resistente)

<sup>(b)</sup> Macarrão Rasteiro Conquista (feijão-vagem – suscetível)

Pode ser observado na média dos parentais (3,23) que esta foi, substancialmente, superior à média da geração F<sub>1</sub> (1,55). A média da geração F<sub>2</sub>

observada (2,65) foi menor que a média dos parentais, porém, superior à média da F<sub>1</sub> (Tabela 1). Estes resultados indicam que existe certo grau de dominância do(s) alelo(s) que conferem resistência a este nematoide.

Um modelo aditivo-dominante foi adequado para explicar os dados (Tabela 2), porque a correlação entre as médias estimadas pelo modelo e as médias obtidas nas gerações foi alta ( $R^2 = 0,9881$ ).

Tabela 2 Componentes de médias das gerações ( $\hat{m}$  = média dos genitores;  $\hat{a}$  = efeitos genéticos aditivos;  $\hat{d}$  = efeitos de dominância) para os valores da escala de categorias, em populações de *Phaseolus vulgaris* L. inoculadas com *Meloidogyne incognita* raça 1. UFLA, Ijaci/MG. 2010

Componente de médias	Valores da escala de categorias
$\hat{m}$	3.35** ( $\pm 0.1$ )
$\hat{a}$	2.29** ( $\pm 0.1$ )
$\hat{d}$	-1.57** ( $\pm 0.2$ )
[d]/[a]	-0.69
$R^2$	0.9881

\*\* Significativo a  $P \leq 0,01$

[d]/[a] = grau médio de dominância

$R^2$  = relação entre as médias das gerações observadas e médias estimadas pelo modelo aditivo-dominante

Os efeitos genéticos aditivos foram detectados como altamente significativos ( $P \leq 0,01$ ) (Tabela 2). Sua magnitude ( $\hat{a} = 2,29$ ) foi de 1,46 vezes maiores do que os efeitos de dominância ( $\hat{d} = -1,57$ ). Os efeitos de dominância

foram, contudo, significativamente, diferentes de zero pelo teste t (Tabela 2) e foi negativo, indicando que a dominância é no sentido de uma maior resistência a *M. incognita* raça 1, ou seja, menores valores para número de ovos por grama de raiz. O grau médio de dominância foi de -0,69, indicando dominância incompleta do alelo(s) que confere a resistência na cultivar Aporé (Tabela 2). As distribuições de frequência encontradas para P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, RC<sub>11</sub> e RC<sub>12</sub> também refletem a dominância incompleta do(s) alelo(s) envolvido(s) na resistência a este nematoide na cultivar de feijão Aporé (Gráfico 1).



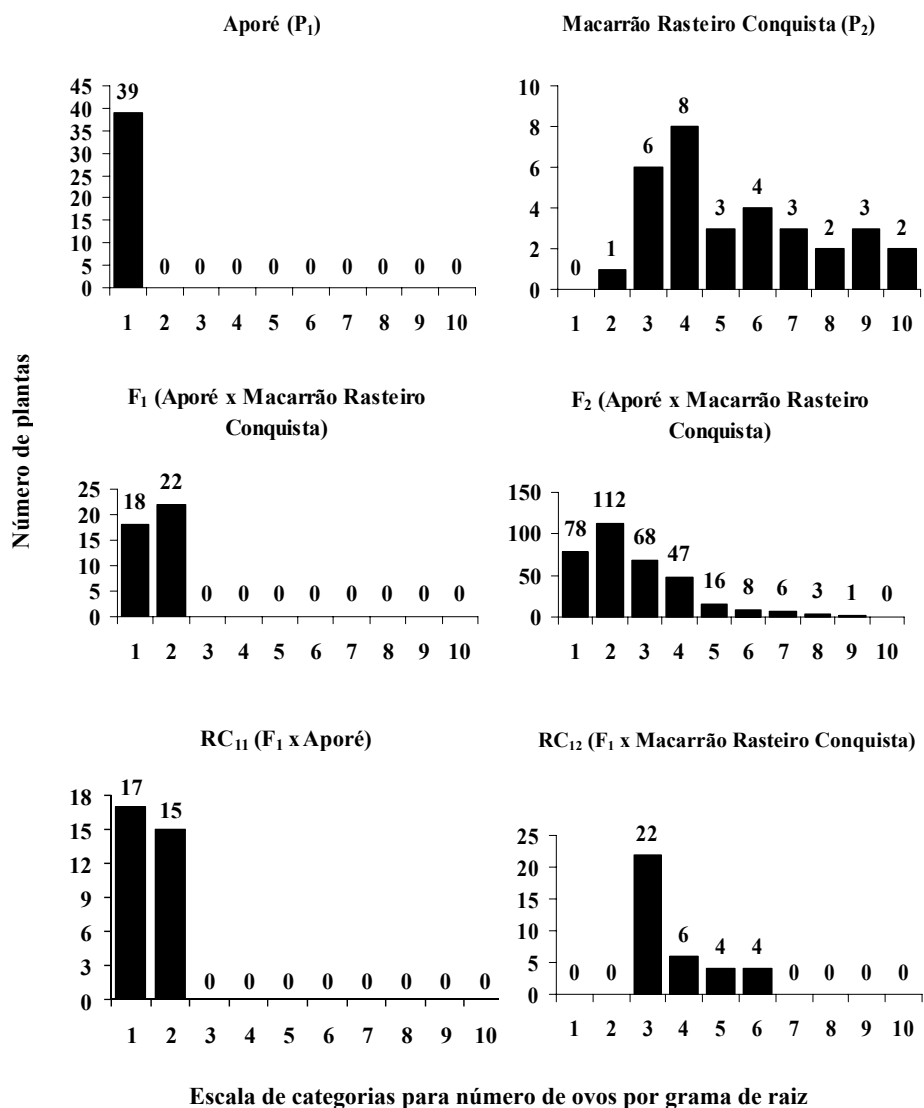


Gráfico 1 Distribuições de frequências das médias da escala de categorias para número de ovos de *Meloidogyne incognita* raça 1, por grama de raiz, nas cultivares de feijão Aporé (P<sub>1</sub>), feijão-vagem Macarrão Rasteiro Conquista (P<sub>2</sub>), e nas gerações F<sub>1</sub> (P<sub>1</sub> x P<sub>2</sub>), F<sub>2</sub> (P<sub>1</sub> x P<sub>2</sub>), RC<sub>11</sub> (F<sub>1</sub> x P<sub>1</sub>) e RC<sub>12</sub> (F<sub>1</sub> x P<sub>2</sub>). UFLA, Ijaci/MG. 2010

O teste da hipótese de herança monogênica (Tabela 3) indicou que o número de plantas resistentes (R) para o número de plantas suscetíveis (S) não diferiu de 3R:1S, 1R:0S e 1R:1S, respectivamente, nas gerações F<sub>2</sub>, RC<sub>11</sub> e RC<sub>12</sub>.

Tabela 3 Ajuste da hipótese de herança monogênica da resistência a *Meloidogyne incognita* raça 1 em *Phaseolus vulgaris* L.: frequências observadas e esperadas de plantas resistentes e suscetíveis. UFLA, Ijaci/MG. 2010

População	Frequências observadas <sup>(a)</sup>		Frequências esperadas <sup>(a)</sup>		$\chi^2$
	R	S	R	S	
<sup>(1)</sup> F <sub>2</sub>	258	81	254	85	0.221 <sup>ns</sup>
<sup>(2)</sup> RC <sub>11</sub> (= F <sub>1</sub> x P <sub>1</sub> )	32	0	32	0	-
<sup>(3)</sup> RC <sub>12</sub> (= F <sub>1</sub> x P <sub>2</sub> )	22	14	18	18	1.778 <sup>ns</sup>

<sup>(a)</sup> R = plantas resistentes; S = plantas suscetíveis

<sup>(1)</sup> relações esperadas de 3/4R: 1/4S

<sup>(2)</sup> proporções esperadas de 100% R: 0% S

<sup>(3)</sup> relações esperado de 1/2 R: 1/2 S

<sup>ns</sup> valores do qui-quadrado não significativo a 5% de probabilidade

A resistência a *M. incognita* raça 1 em cultivares de feijão Aporé, portanto, é controlada por um único loco gênico (Tabela 3), com ação gênica dominante incompleta do alelo de resistência (Tabela 2). A presença de genes modificadores não pode, contudo, ser descartada, porque até mesmo a cultivar de feijão-vagem parental, Macarrão Rasteiro Conquista, uma linhagem pura, mostrou, dentro da escala adotada para resistência ( $\leq 3$ ), sete plantas classificadas como resistentes, em um total de 32 plantas avaliadas (Gráfico 1).

Os resultados encontrados são, aparentemente, diferentes daqueles encontrados por Freitas, Ramalho e Silva (2002), em uma população  $F_2$  do cruzamento entre linhagens de feijão Aporé (resistente) x ESAL 686 (suscetível). Em um breve relato, os autores encontraram uma proporção de plantas para a geração  $F_2$  de  $\frac{3}{4}R: \frac{1}{4}s$ , indicando um efeito de dominância completa do alelo que confere resistência a *M. incognita* raça 3. Deve-se relatar, no entanto, que os seus dados se referem a inoculações com a raça 3, em vez da raça 1 de *M. incognita*, um fato que poderia explicar as discrepâncias. Outro fator que poderia explicar as diferenças nos resultados foi o critério utilizado para diferentes escalas de resistência: Freitas, Ramalho e Silva (2002) utilizaram uma escala baseada em números de galhas, em que os valores se encontravam entre 1 (ausência de galhas) a 5 (número máximo de galhas), e plantas com valores  $\leq 3$  foram consideradas resistentes ao nematoide enquanto usamos a característica de número de ovos por grama de raiz.

A hipótese de herança monogênica da resistência para a cultivar de feijão Aporé ao nematoide *M. incognita* raça 1 leva a duas outras hipóteses, porém, nenhuma delas pode ser descartada neste momento. A primeira hipótese (alelismo) seria que o gene que controla a resistência à raça 1 de *M. incognita*, é o mesmo gene, que controla a resistência à raça 3, mas com uma diferença na expressão da resistência, já que relatos na literatura (FERREIRA et al., 2010) indicam que a resistência na cultivar de feijão Aporé à raça 3 é de grau mais elevado do que a sua resistência à raça 1, moderadamente resistente e levemente resistente, respectivamente. A segunda hipótese (não-alelismo) seria que a resistência à raça 1 de *M. incognita* na cultivar de feijão Aporé, é monogênica, mas sob controle de um loco que é distinto do que controla a resistência a raça 3. Estudos adicionais se fazem necessários para determinar qual hipótese seria considerada verdadeira.

Os resultados deste estudo são complementares aos encontrados por vários autores (BLAZEY et al., 1964; HARTMANN, 1971; OMWEGA; ROBERTS, 1992; OMWEGA; THOMASON; ROBERTS, 1990), nos quais a resistência aos nematoides de galhas parece estar sob controle de poucos genes (1 a 3). No entanto, nenhum destes autores relataram a presença de genes modificadores que afetam a ação de um gene principal, ao contrário do que sugere o presente estudo.

## 5 CONCLUSÃO

O controle genético da resistência a *Meloidogyne incognita* raça 1 em *Phaseolus vulgaris* L., é controlada por um loco gênico com dominância incompleta do alelo de resistência, com a possível presença de genes modificadores.

## REFERÊNCIAS

ACOSTA, N. et al. *Mucuna deeringiana* soil incorporated vs non-incorporated and yield in subsequent plantings of tomato, beans or corn. **Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico**, San José, v. 79, n. 1/2, p. 65-74, 1995.

AGRIANUAL. **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria e Agroinformativos, 2009. 496 p.

ANDRADE, M. J. B. Clima e solo. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão: aspectos gerais e cultura no estado de Minas**. Viçosa, MG: UFV, 1998. p. 83-97.

BARRONS, K. C. Root-knot resistance in beans. **Journal of Heredity**, Washington, v. 31, p. 35-38, 1940.

BLAZEY, D. A. et al. Nematode resistance in common bean. **Journal of Heredity**, Washington, v. 55, n. 1, p. 20-22, 1964.

BONETTI, J. I. S.; FERRAZ, S. Modificação do método de Hussey & Barker para extração de ovos de *Meloidogyne exigua* de raízes de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 6, n. 3, p. 553-555, set. 1981.

CAMPOS, V. P. Sobrevivência de *Meloidogyne javanica* no solo e em raízes de tomateiro. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 13, n. 3/4, p. 191-196, 1987.

CARNEIRO, G. E. S. et al. Avaliação da resistência de linhagens de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) a *Meloidogyne javanica*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 24., 2003, Petrolina. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Nematologia, 2003. p. 105.

CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; VIZONI, E.; GIROTO, J. C. M. Determinação do melhor período para realização de cruzamento artificial em feijão-vagem, *Phaseolus vulgaris* L., em Londrina, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1191-1193, set./out. 2001.

CÁSSERES, E. **Produccion de hortalizas**. San José: IICA, 1981. 387 p.

CERMEÑO, Z. S. **Cultivo de plantas hortícolas em estufa**. Lisboa: Litexa, 1977. 368 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Disponível em:  
<[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/9graos\\_8.6.10.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/9graos_8.6.10.pdf)>.  
Acesso em: 28 jul. 2010.

COSTA, C. C. da. **Avaliação de sistema anaeróbio (RACUASB) no tratamento de água residuária de suinocultura e aplicação via fertirrigação, em feijão-vagem cultivado em ambiente protegido**. 2007. 174 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

COSTA, J. G.; ZIMMERMANN, M. J. O. Melhoramento genético do feijoeiro. In: ZIMMERMANN, M. J. O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1988. p. 229-248.

COSTA, M. J. N.; CAMPOS, V. P. Aspectos da sobrevivência de *Meloidogyne incognita*. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 2, p. 163-170, abr./jun. 2001.

CROOKSTON, R. K. et al. Response of beans to shading. **Crop Science**, Madison, v. 15, n. 6, p. 412-416, 1975.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 1997. 394 p.

DAVID, R. G.; TRIANTAPHYLLOU, A. C. Influence of the environment and sex differentiation of root-knot nematodes: I., effect of infection density, ages of the host plant and soil temperature. **Nematologica**, Leiden, v. 13, p. 102-110, 1967.

DEBOUCK, D. G. Diversity in *Phaseolus* species in relation to the common bean. In: SINGH, S. P. (Ed.). **Common bean improvement in the twenty-first century**. Dordrecht: Kluwer, 1999. p. 25-52.

DI VITO, M.; GREGO, N.; CARELLA, A. Population densities of *Meloidogyne incognita* and yield of *Capsicum annuum*. **Journal of Nematology**, College Park, v. 17, n. 1, p. 45-49, Feb. 1985.

DIAS, W. P.; ASMUS, G. L.; CARNEIRO, G. E. S. Manejo integrado de nematoides na cultura da soja. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, p. 30-33, 2003. Suplemento.

DROPKIN, V. H. **Introduction to plant nematology**. New York: J. Wiley, 1989. 424 p.

DUTRA, M. R.; CAMPOS, V. P. Efeito do preparo do solo na população dos fitonematoides das galhas (*Meloidogyne* spp.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 21., 1998, Maringá. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Nematologia, 1998. p. 45.

\_\_\_\_\_. Manejo do solo e da irrigação como nova tática de controle de *Meloidogyne incognita* em feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 2, p. 608-614, nov./dez. 2003.

DUTRA, M. R. et al. Manejo do solo e da irrigação no controle de *Meloidogyne incognita* em cultivo protegido. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 4, p. 405-407, jul./ago. 2006.

EISENBACK, J. D.; TRIANTAPHYLLOU, H. H. Root-knot nematodes: *Meloidogyne* species and races. In: NICKLE, W. R. (Ed.). **Manual of agricultural nematology**. New York: M. Kekker, 1991. p. 191-274.

FARLOW, P. J.; BYTH, D. E.; KRUGER, N. S. Effect of temperature on seed set and in vitro pollen germination in fresh beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, Melbourne, v. 19, p. 725-731, 1979.

FASSULIOTIS, G. Plant breeding for root-knot nematode resistance. In: LAMBERTI, F.; TAYLOR, C. E. (Ed.). **Root-knot nematodes (*Meloidogyne* species): systematics, biology and control**. New York: Academic, 1979. p. 425-452.

FERRAZ, S.; MENDES, M. de L. O nematóide de galhas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 16, n. 172, p. 43-45, 1992.

FERREIRA, S. et al. Resistance of common bean and snap bean cultivars to root-knot nematodes. **HortScience**, Alexandria, v. 45, n. 2, p. 320-322, Feb. 2010.



FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa, MG: UFV, 2000. 402 p.

FREIRE, F.; FREIRE, T. de A. Nematóides das galhas *Meloidogyne* spp., associados ao parasitismo de plantas na região Amazônica II, no estado do Pará. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 8, n. 4, p. 557-560, dez. 1978.

FREITAS, L. G. O controle biológico dentro do contexto de manejo integrado de nematóides. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 28., 2003, Brasília. **Anais...** Brasília: SBF, 2003. p. 24-30.

FREITAS, L. C.; RAMALHO, M. A. P.; SILVA, F. B. Controle genético da resistência aos nematoides de galhas em feijoeiro. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 7., 2002, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, 2002. p. 361-362.

HAGIWARA, W. E.; SANTOS, J. B. dos; CARMO, S. L. M. do. Use of RAPD to aid selection in common bean backcross breeding programs. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 1, n. 4, p. 335-362, Oct./Dec. 2001.

HARTMANN, R. W. Inheritance of a resistance to root-knot nematodes (*Meloidogyne incognita*) in beans (*Phaseolus vulgaris*). **Journal of American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 96, n. 3, p. 344-347, 1971.

HORTEC. **Feijão-vagem Macarrão Rasteiro Conquista**. Disponível em: <<http://www.hortec.com.br/feijaovagem-rasteiro1.htm>>. Acesso em: 3 Jun 2010.

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

IJANI, A. S. M.; MABAGALA, R. B.; NICHIMBI-MSOLLA, S. Efficacy of different control methods applied separately and in combination in managing root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in common beans. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 106, n. 1, p. 1-10, Jan. 2000.

KAPLAN, L. The cultivated beans of the prehistoric southwest. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, Saint Louis, v. 43, p. 189-251, 1956.

KUROZAWA, C. **Feijão-vagem**. Disponível em: <<http://globoruraltv.globo.com/GRural/0,27062,LTP0-4373-0-L-F,00.html>>. Acesso em: 2 jul. 2010.

- LAMERT, F.; TAYLOR, C. E. **Root-knot nematodes (*Meloidogyne* species), systematics, biology and control**. London: Academic, 1979. 477 p.
- LEITAO FILHO, H. F. Botânica do feijoeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FEIJÃO, 1., 1971, Campinas. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, 1972. p. 145-154.
- LOPES, C. A.; ÁVILA, A. C. de. **Doenças do pimentão: diagnose e controle**. Brasília: EMBRAPA Hortaliças, 2003. 96 p.
- LORDELLO, L. G. E. **Nematóides das plantas cultivadas**. 7. ed. São Paulo: Nobel, 1982. 314 p.
- \_\_\_\_\_. Perdas causadas por nematóides. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 51, p. 3-4, 1976.
- LUC, M.; SIKORA, R. A.; BRIDGE, J. **Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture**. London: CAB International, 1990. 629 p.
- MALUF, W. R. **Melhoramento do feijão-vagem**. Lavras: UFLA, 1994. 9 p. Apostila.
- MARIOT, E. J. Aptidões climáticas, ideótipos e épocas de cultivo do feijoeiro no Paraná. In: \_\_\_\_\_. **Feijão: tecnologia e produção**. Londrina: IAPAR, 2000. p. 5-13. (Informe de Pesquisa, 135).
- MARQUES JÚNIOR, O. G.; RAMALHO, M. A. P. Determinação da taxa de fecundação cruzada do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) nas diferentes épocas de semeadura em Lavras, MG. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 339-341, 1995.
- MATHER, K.; JINKS, J. L. **Genética biométrica**. Ithaca: Cornell University, 1974. 382 p.
- NUCCI, L.A. **Hibridação artificial no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)** Campinas: Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo. 1940. 18 p. (Boletim técnico, 84).
- OMWEGA, C. O. et al. Identification of new sources of resistance to root-knot nematodes in *Phaseolus*. **Crop Science**, Madison, v. 29, n. 6, p. 1463-1468, July 1989.

OMWEGA, C. O.; ROBERTS, P. A. Inheritance of resistance to *Meloidogyne* spp in common bean and the genetic basis of this sensibility to temperate. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 83, n. 6/7, p. 720-726, Apr. 1992.

OMWEGA, C. O.; THOMASON, I. J.; ROBERTS, P. A. A single dominant gene in common bean conferring resistance to three root-knot nematode species. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 80, n. 8, p. 745-748, Aug. 1990.

PARLEVLIET, J. E.; ZADOKS, J. C. The integrated concept of disease resistance: a new view including horizontal and vertical resistance in plants. **Euphytica**, Wageningen, v. 26, p. 5-21, 1977.

PAULA JÚNIOR, T. J.; ZAMBOLIM, L. Doenças. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV, 1998. p. 373-433.

PEDROSA, E. M. R.; HUSSEY, R. S.; BOERMA, H. R. Penetration and post-infectious development and reproduction of *Meloidogyne arenaria* races 1 and 2 on susceptible and resistant soybean genotypes. **Journal of Nematology**, College Park, v. 28, n. 3, p. 343-351, Sept. 1996.

PEREIRA, A. V.; OTTO, R. F.; REGHIN, M. Y. Respostas do feijão-vagem cultivado sob proteção com agrotêxtil em duas densidades de plantas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 3, p. 564-569, jul./set. 2003.

RITZINGER, C. H. S.; FANCELLI, M. Manejo integrado de nematóides na cultura da bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 28, n. 2, p. 331-338, mar./abr. 2006.

RG NUTRI IDENTIDADE NUTRIÇÃO. **O feijão na alimentação do brasileiro**. Disponível em: < <http://www.rgnutri.com.br/sqv/saude/fab.php>>. Acesso em: 28 jul. 2010.

SASSER, J. N. **Plant-parasitic nematodes: the farmer's hidden enemy**. Raleigh: North Caroline State University, 1989. 115 p.

\_\_\_\_\_. Worldwide dissemination and importance of the root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.). **Journal of Nematology**, College Park, v. 9, p. 26-29, 1977.

SASSER, J. N.; TRIANTHYLLOU, A. C. Identification of *Meloidogyne* species and races. **Journal of Nematology**, College Park, v. 9, n. 4, p. 283-286, Aug. 1977.

SILBERNAGEL, M. J. Snap bean breeding. In: BASSETT, M. J. (Coord.). **Breeding vegetable crops**. Westport: AVI, 1986. p. 243-282.

SILBERNAGEL, M. J. et al. Snap bean production in the tropics: implications for genetic improvement. In: SCHOONHOVEN, A. van; VOYSEST, O. **Common beans: research for crop improvement**. Melksham: Redwood, 1991. p. 835-863.

SILVA, F. B.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. Genetic control of *Meloidogyne incognita* resistance in common bean. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 48, p. 64-65, Mar. 2005.

SINGH, S. P. Broadening the genetics base of common bean cultivars: a review. **Crop Science**, Madison, v. 41, n. 6, p. 1659-1675, July 2001.

SOUTHEY, J. F. **Laboratory methods for work with plant and soil nematodes**. London: Ministry of Agriculture and Food, 1970. 148 p.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **SAS user's guide statistics**. Version 8. Cary, 1999. 956 p.

TAYLOR, A. L.; SASSER, J. N. **Biology, identification and control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* species)**. Raleigh: North Carolina State University Graphics, 1978. 11 p.

TIHOHOD, D. **Nematologia agrícola aplicada**. Jaboticabal: FUNEP, 1993. 372 p.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 473 p.

TRIMAN, B.; MULYADI, F. P. The use of *Pasteuria penetrans* and soil solarization for controlling root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) on beans (*Phaseolus vulgaris*). **Journal Perlindungan Tanaman Indonesia**, Jakarta, v. 7, n. 1, p. 49-54, 2001.

VALÉRIO, C. R.; ANDRADE, M. J. B. de; FERREIRA, D. F. Comportamento das cultivares de feijão Aporé, Carioca e Pérola em diferentes populações de plantas e espaçamento entre linhas. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 3, p. 515-528. Jul./set. 1999.

VENCOVSKY, R.; RAMALHO, M. A. P. Contribuições do melhoramento genéticos de plantas no Brasil. In: PATERNIANI, E. (Ed.). **Agricultura brasileira e pesquisa agropecuária**. Brasília: EMBRAPA Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. p. 57-89.

VIEIRA, C. **Doenças e pragas do feijoeiro**. Viçosa, MG: UFV, 1993. 231 p.

VIEIRA, C. Sobre a hibridação natural em *Phaseolus vulgaris* L. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 21, n. 63, p. 103-107, 1960.

WEINSTEN, A. I. Cytological studies on *Phaseolus vulgaris*. **American Journal of Botany**, Saint Louis, v. 13, p. 248-263, 1926.