



SYLMARA SILVA

**PARÂMETROS GENÉTICOS DA RESISTÊNCIA AO
NEMATOIDE DAS GALHAS EM *PHASEOLUS VULGARIS* L.**

**LAVRAS – MG
2022**

SYLMARA SILVA

**PARÂMETROS GENÉTICOS DA RESISTÊNCIA AO NEMATOIDE DAS GALHAS
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 em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dra. Luciane Vilela Resende
Orientadora

**LAVRAS – MG
2022**

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

Silva, Sylmara.

Parâmetros genéticos da resistência ao nematoide das galhas
em *Phaseolus vulgaris* L. / Sylmara Silva. - 2022.

43 p. : il.

Orientador(a): Luciane Vilela Resende.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2022.

Bibliografia.

1. Melhoramento genético. 2. Horticultura. 3. Herdabilidade. I.
Resende, Luciane Vilela. II. Título.

SYLMARA SILVA

**PARÂMETROS GENÉTICOS DA RESISTÊNCIA AO NEMATOIDE DAS GALHAS
EM *PHASEOLUS VULGARIS L.***

**GENETIC PARAMETERS OF ROOT-KNOT NEMATODE RESISTANCE IN
*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 em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 08 de abril de 2022.

Dra. Luciane Vilela Resende	UFLA
Dr. Luiz Antônio Augusto Gomes	UFU
Dr. Luciano Donizete Gonçalves	IFMG
Dr. Cleiton Lourenço de Oliveira	UFLA
Dra. Ariana Mota Pereira	UFLA

Prof. Dra. Luciane Vilela Resende
Orientadora

**LAVRAS – MG
2022**

*Aos meus pais, Silma e Silmar,
que sempre me incentivaram a buscar pelo conhecimento,
mesmo diante das adversidades do cotidiano.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que me amparou e me carregou nos momentos de dificuldade, fazendo com que eu pudesse chegar até aqui.

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, pela oportunidade de realização do doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão das bolsas de estudos.

Ao professor Dr. Luiz Antônio Augusto Gomes, pela orientação, paciência, amizade e dedicação com que me orientou durante todo o mestrado e doutorado, sempre me incentivando para que eu fizesse boas escolhas ao longo da minha trajetória, e para que eu não desanimasse diante das dificuldades.

À professora Dra. Luciane Vilela Resende, que assumiu a minha orientação e sempre esteve disposta a me ajudar, me orientar, me incentivar durante todo o período que estive na UFLA, sendo um porto seguro e uma mão amiga.

Aos professores do Núcleo de Olericultura da UFLA, Wilson Maluf, Valter, Sebastião e Cleiton, por todo o aprendizado, oportunidades e auxílio ao longo destes anos.

Ao Centro de Desenvolvimento de Tecnologia e Transferência da UFLA (CDTT), por ser um ambiente de aprendizado para a realização deste e de outros trabalhos. Agradeço de forma especial, aos seus funcionários, Vicente, Paulo, Ná, Ronaldo, Francisco, Juninho, Luiz, Vanderlei, Elenice e Vanessa, pelo auxílio nas atividades, companheirismo e amizade, principalmente durante os períodos de pandemia.

Aos colegas do grupo de Melhoramento de Hortaliças, Gabriel, Pedro, Joana, André, Inês, Daniele, Breno e Giuliana, pela boa vontade, amizade, companheirismo e auxílio na condução dos experimentos.

Aos funcionários do Setor de Olericultura, Josimar e Luiz, que tão bem me receberam em Lavras, e que sempre me auxiliaram com boa vontade e alegria, apesar das dificuldades. Agradeço de forma especial a Stéfany, que além de todo o auxílio como técnica do setor, se tornou uma grande amiga.

Ao Laboratório de Nematologia e ao técnico Tarley Luis de Paula, pela paciência e auxílio na realização do experimento com nematoides

Ao professor Luciano Donizete Gonçalves, que continuou me orientando profissionalmente e pessoalmente, mesmo após o término da graduação.

Aos membros do Núcleo de Estudos em Olericultura – NEO, por todo o auxílio nas diversas atividades desenvolvidas no setor de Olericultura.

Aos membros do Grupo de Melhoramento Genético de Tomate, Carlos, Andressa, Douglas, Matheus, Jeferson, Gustavo e Guilherme, por todo o trabalho, aprendizado e boas risadas.

Ao professor Gilmar Tavares, pela oportunidade de trabalhar nos projetos extensionistas agroecológicos, em especial no projeto de cooperação internacional entre Brasil e Afeganistão.

A todos os membros do “Projeto Inclusão Social - Aprendendo com as Diferenças”, em especial à Associação de Pais e Amigos dos Excepcionais (APAE), do município de Lavras- MG, à Prefeitura Municipal de Lavras, aos funcionários do Setor de Olericultura e aos meus amigos Stéfany Martins, Carlos Souza, Aline Pereira Botelho Josué, Generci Dias Lopes e professor Cleiton Lourenço de Oliveira, que estiveram junto comigo nesse projeto tão maravilhoso.

Aos meus pais, Silma e Silmar, que mesmo distantes sempre me apoiaram, tentando tornar meus dias mais felizes e menos árduos, tornando possível a realização desta conquista.

À minha irmã Synara, que sempre esteve comigo e pôde participar dessa trajetória acadêmica, desde o auxílio nos experimentos, até a finalização da escrita da tese.

Às minhas avós Aparecida e Eni, minhas madrinhas Maria e Vanda, que sempre me colocaram em suas orações, me dando força para chegar até aqui.

Ao Tiago, pelo companheirismo, carinho e incentivo ao longo desta caminhada.

Às Repúblicas Melzoca e Casa das Minas, que foram meu lar e minha família em Lavras.

A todos os meus amigos que torceram por mim, mesmo estando muitas vezes distantes.

A todos que de alguma forma contribuíram para a conclusão de mais essa etapa na minha vida.

Muito obrigada!

*“A natureza, em seus caprichos e mistérios
condensa em pequenas coisas o poder de dirigir as grandes.*

*Nas sutis, a potência de dominar as mais grosseiras,
nas coisas simples, a capacidade de reger as complexas.”*

(Ana Primavesi)

RESUMO

Existem diversos fatores que afetam a produção tanto de feijão-vagem, quanto do feijão comum no Brasil, podendo destacar a ocorrência de nematoides do gênero *Meloidogyne*. Dessa forma, objetivou-se neste trabalho investigar o controle genético da resistência do feijoeiro *M. incognita* raça 1, estimando parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais que auxiliem em programas de melhoramento que visem a incorporação da resistência ao nematoide das galhas. O experimento foi implantado em casa de vegetação, no setor de Olericultura da Universidade Federal de Lavras. Inicialmente foram realizados os cruzamentos entre os genitores, cultivar Aporé (P1) resistente ao nematoide das galhas e Bolinha (P2) suscetível ao nematoide, a fim de se obter a geração [F₁ (P1 x P2)]. Na segunda etapa do trabalho foi obtida a geração F₂ [autofecundação da F₁ (P1 x P2)]. Realizou-se a avaliação quanto a resistência ao nematoide *M. incognita* raça 1 nos genitores e gerações F₁ e F₂. Quarenta dias após a inoculação com ovos de *M. incognita* raça 1, as plantas foram avaliadas quanto ao número de ovos totais por planta de feijão (NO), número de ovos por grama de raiz (NOGR), índice de reprodução total (IRT), índice de reprodução por grama de raiz (IRGR) e fator de reprodução (FR). Com os dados obtidos, foram estimadas as variâncias fenotípica, genética e ambiental; a herdabilidade no sentido amplo ao nível das médias da geração F₂; o coeficiente de variação genética, correlações genética, fenotípica e ambiental; ganhos de seleção e resposta correlacionada. Conclui-se que a cultivar de feijão Aporé apresenta resistência ao *M. incognita* raça 1, podendo ser utilizada como fonte de resistência ao patógeno em programas de melhoramento, tanto de feijoeiro comum, quanto de feijão-vagem. Concluiu-se também que as características de número de ovos por grama de raiz e de índice de reprodução, baseado no número de ovos por grama de raiz, são as mais indicadas para avaliação e seleção para resistência ao *Meloidogyne incognita* em feijão e feijão-vagem.

Palavras-chave: Melhoramento genético. Horticultura. Herdabilidade.

ABSTRACT

Several factors affect the production of both snap bean and common bean in Brazil including the occurrence of nematodes of the genus *Meloidogyne*. Thus, the objective of this work was to investigate the genetic control of the resistance of the common bean *M. incognita* race 1, estimating genetic, phenotypic and environmental parameters that help in breeding programs aimed at incorporating resistance to the root-knot nematode. The experiment was implemented in a greenhouse, in the Olericulture sector of the Federal University of Lavras. Initially, crosses between the parents were carried out, Aporé (P1) resistant to the root-knot nematode and Bolinha (P2) susceptible to the nematode, in order to obtain the generation [F1 (P1 x P2)]. In the second stage of the work, the F2 generation [self-fertilization of F1 (P1 x P2)] was obtained. An evaluation was carried out regarding the resistance to the nematode *M. incognita* race 1 in the parents and generations F1 and F2. Forty days after inoculation with eggs of *M. incognita* race 1, the plants were evaluated for the number of total eggs per bean plant (NO), number of eggs per gram of root (NOGR), total reproduction index (IRT) reproduction index per gram of root (IRGR) and reproduction factor (FR). With the data obtained, the phenotypic, genetic and environmental variances were estimated; heritability in the broad sense at the level of the averages of the F2 generation; the coefficient of genetic variation, genetic, phenotypic and environmental correlations; selection gains and correlated response. It is concluded that the Aporé bean cultivar presents resistance to *M. incognita* race 1, and can be used as a source of resistance to the pathogen in breeding programs, both for common bean and for snap bean. It was also concluded that the characteristics of number of eggs per gram of root and reproduction index based on the number of eggs per gram of root are the most suitable for evaluation and selection for resistance to *Meloidogyne incognita* in common bean and snap bean.

Keywords: Plant breeding. Horticulture. Heritability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 - Fórmulas utilizadas para estimativa dos parâmetros genéticos.....	26
Figura 1 - Classificação do parental Aporé a partir do índice de reprodução conforme a categorização proposta por Hadisoeganda e Sasser (1982).	32
Figura 2 - Classificação do parental Bolinha a partir do índice de reprodução conforme a categorização proposta por Hadisoeganda e Sasser (1982).	33
Figura 3 - Classificação da geração F1 a partir do índice de reprodução conforme a categorização proposta por Hadisoeganda e Sasser (1982).	34
Figura 4 - Classificação da geração F2 a partir do índice de reprodução conforme a categorização proposta por Hadisoeganda e Sasser (1982).	35
Figura 5 - Distribuição de frequência de plantas em intervalos de número de ovos de M. incognita, no genitor Aporé.....	36
Figura 6 - Distribuição de frequência de plantas em intervalos de número de ovos de M. incógnita, no genitor Bolinha.	36
Figura 7 - Distribuição de frequência de plantas em intervalos de número de ovos de M. incognita, na geração F2.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Médias obtidas para número de ovos total (NO), número de ovos por grama de raiz (NOGR), índice de reprodução total (IRT), índice de reprodução por grama de raiz (IRGR), fator de reprodução (FR) e redução do fator de reprodução (RFR) em feijão inoculado	28
Tabela 2 - Estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos para feijão inoculado com <i>Meloidogyne incognita</i>	29
Tabela 3 - Ganho de seleção em feijão inoculado com <i>Meloidogyne incognita</i>	30
Tabela 4 - Estimativas dos coeficientes de correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais em feijão inoculado com <i>Meloidogyne incognita</i>	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	A cultura do <i>Phaseolus vulgaris</i> L.....	15
2.2	O nematoide das galhas.....	17
2.3	Controle genético da resistência em <i>Phaseolus vulgaris</i>	19
3	OBJETIVOS	22
3.1	Objetivo geral.....	22
3.2	Objetivos específicos.....	22
4	MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1	Obtenção das populações F ₁ e F ₂	23
4.2	Avaliação da resistência ao nematoide <i>M. incognita</i> raça 1.....	24
5	CONCLUSÃO.....	39
	REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

O gênero *Phaseolus* L. compreende 55 espécies, dentre elas o feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.), que é um importante alimento para a população brasileira, principalmente para famílias de baixa renda, por ser considerado uma boa fonte de proteína (BAIDA; SANTIAGO *et al.*, 2011). Já o feijão-vagem, que é uma olerícola, também pertence à mesma espécie do feijão-comum, porém, tem suas vagens colhidas ainda imaturas, para o consumo, sendo uma importante cultura dentro da cadeia produtiva de hortaliças no Brasil.

A presença de nematoides do gênero *Meloidogyne* no solo, é considerada como responsável pela baixa produtividade tanto de feijão-vagem, quanto do feijão comum em algumas regiões brasileira.

O grande entrave da presença de nematoides é a dificuldade de controle, pois é um parasita de hábito polífago, apresentando diversos hospedeiros, como trigo, arroz, soja, milho, batata, dentre outros, o que dificulta a rotação de culturas. O revolvimento do solo seguido do pousio da área para o controle de ovos e ninfas inviabiliza o cultivo por longos períodos, levando prejuízos aos produtores, e a consorciação com adubos verdes não reduz efetivamente a população de nematoides.

Dessa forma, o controle com nematicidas tem sido amplamente utilizado, no entanto, são produtos com alta toxicidade e longo efeito residual na planta, além de impactar consideravelmente os custos de produção.

Diante disso, a utilização de cultivares que apresentem níveis de resistência ou tolerância surge como uma importante medida de controle, permitindo a redução do ciclo evolutivo do nematoide e viabilizando o cultivo do feijoeiro em áreas infestadas. Esta resistência pode ser incorporada também no feijão-vagem, mediante a utilização de métodos de melhoramento. Além disso, o uso da resistência genética não aumenta significativamente os custos de produção nem apresenta riscos de contaminação ao meio ambiente (CANDIDO; CASTOLDI *et al.*, 2017), sendo uma opção de manejo mais sustentável.

Apesar da importância de desenvolver programas de melhoramento genético de feijão visando a incorporação de resistência ao nematoide das galhas em cultivares comerciais, esta, nem sempre tem sido uma estratégia de manejo utilizada, priorizando-se, muitas vezes, o controle químico ou mesmo se conformando em produzir em níveis abaixo do que seria considerado ideal (DE OLIVEIRA, OLIVEIRA *et al.*, 2018). Assim, ainda faltam no mercado,

cultivares comerciais tanto de feijão, quanto de feijão-vagem, que apresentem resistência ao nematoide das galhas.

Alguns pesquisadores têm trabalhado na identificação de genótipos de feijoeiro passíveis de utilização em programas de melhoramento visando a resistência ao *Meloidogyne* e já foram identificadas algumas cultivares com este potencial. Dentre essas cultivares, pode-se destacar a cultivar Aporé, que apresentou bom desempenho com relação à reação de resistência à infecção por nematoides das galhas, de acordo com estudos realizados por alguns pesquisadores, como Ferreira (2010) e Oliveira (2016).

Para contribuir com a diminuição das imensas perdas econômicas que o patógeno traz à cultura do feijão e do feijão vagem, é de extrema importância o desenvolvimento de estudos mais aprofundados que visem identificar fontes de resistência, bem como elucidar com mais clareza, o controle genético desta característica, para que possa ser incorporada em cultivares comerciais com mais segurança e eficácia.

A estimativa de parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais é uma importante ferramenta na tomada de decisão sobre a escolha do método de melhoramento a ser utilizado para incorporar determinada característica, bem como para estabelecer as estratégias mais eficientes para a condução do programa de melhoramento para seleção de plantas e obtenção de uma nova cultivar (CARVALHO FILHO; GOMES *et al.*, 2011).

Dessa forma, objetivou-se neste trabalho investigar o controle genético da reação de resistência do feijão ao *M. incognita* raça 1, estimando-se parâmetros genéticos, com o objetivo de auxiliar em programas de melhoramento que visem a incorporação da resistência ao nematoide das galhas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura do *Phaseolus vulgaris* L.

O feijão é classificado como pertencente ao ramo Embryophytae Syphonogamae, subramo Angiospermae, classe Dicotyledoneae, subclasse Archilamydeae, ordem Rosales, família Leguminosae (Fabaceae), subfamília Papilionoideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolineae e gênero *Phaseolus* L. (VIEIRA; BORÉM *et al.*, 2005).

O gênero *Phaseolus* L. compreende 55 espécies, dentre elas o feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L) (BAIDA; SANTIAGO *et al.*, 2011), que é a espécie mais antiga e utilizada em todo o mundo (SANTOS; ALVES *et al.*, 2012).

Indícios apontam que sua origem tenha ocorrido entre 4 a 6 milhões de anos atrás no continente americano, onde atualmente ainda pode ser encontrado na sua forma selvagem desde o México até a Argentina (DELGADO-SALINAS; BIBLER *et al.*, 2006).

Estima-se que a domesticação tenha ocorrido há quase 8 mil anos, de forma independente, no México (Mesoamericano) e na América do Sul (Andino). Esses eventos foram seguidos por adaptações locais resultando em variedades com características distintas (SCHMUTZ; MCCLEAN *et al.*, 2014). Há cerca de 500 anos, os grãos de ambos os centros de domesticação foram levados para a Península Ibérica a partir da América e distribuídos para a Europa, África e posteriormente para a Ásia (CASTRO-GUERRERO; ISIDRA-ARELLANO *et al.*, 2016).

O grão é amplamente consumido em todo o mundo e seu cultivo apresenta grande importância nutricional, social e econômica (CARNEIRO; PAULA JÚNIOR *et al.*, 2015). Combinado com o arroz, o feijão é a base alimentar do brasileiro, sendo fonte diária, para milhões de pessoas, de vitaminas, fibras, carboidratos, minerais e proteínas.

Cada porção de feijão apresenta cerca de 20% da necessidade diária de proteínas de alta digestibilidade (PIRES; OLIVEIRA *et al.*, 2006) ricas em lisina, que juntamente com a metionina e cisteína presentes no arroz (JAFFE; DE OLIVEIRA 1975), fornece os aminoácidos essenciais à dieta humana, através de fontes vegetais com custo significativamente mais baixo que as fontes de origem animal.

No Brasil são comercializados vários tipos de feijão dependendo da preferência regional e cultural. Sendo, as cultivares classificadas de acordo com a cor dos grãos nos grupos comerciais carioca, preto, branco, jalo, rosinha, mulatinho, roxo e outros.

O feijão é cultivado no Brasil, tradicionalmente em 3 safras, sendo a primeira safra cultivada principalmente nas regiões Sul e Sudeste e na região de Irecê, na Bahia, cuja colheita está concentrada nos meses de dezembro a março, a segunda safra com colheita entre os meses de abril e julho e, a terceira, em que predomina o cultivo de feijão irrigado, está concentrada nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Goiás/Distrito Federal e oeste da Bahia, e é ofertada no mercado entre julho e outubro (WANDER; ASSUNÇÃO, 2015).

As duas primeiras safras são desenvolvidas basicamente por pequenos e médios produtores, que utilizam mão de obra familiar; enquanto na terceira safra há o predomínio da participação de grandes produtores que empregam tecnologias mais avançadas em suas lavouras (CARNEIRO; PAULA JÚNIOR *et al.*, 2015).

As vagens do feijão também podem ser consumidas, quando colhidas imaturas, com textura macia, sem fibra, com comprimento entre 15 e 18 cm (TRANI; PASSOS *et al.*, 2015), representando uma importante hortaliça no mercado brasileiro.

Dados de produção e informações sobre a importância do mercado de feijão-vagem ainda são escassos (ANDRADE; GONÇALVES *et al.*, 2017), pois são cultivados por pequenos produtores brasileiros, representando assim, uma boa fonte de renda, além de ser uma alternativa para diversificação da produção, através da rotação de culturas, ou como opção durante a entressafra de outras culturas (ANDRADE; GONÇALVES *et al.*, 2017).

As cultivares de feijão-vagem são classificadas de acordo com o hábito de crescimento e o tipo e cor da vagem (ANDRADE; GONÇALVES *et al.*, 2017). Os feijões de crescimento determinado, anão, rasteiro ou arbustivo, são aqueles cujas plantas atingem cerca de 50 cm de altura e tem seu florescimento e produção de vagens concentradas em um curto período de tempo. Já as plantas de crescimento indeterminado são conhecidas como feijão-vagem trepador, que requer tutoramento de suas hastes e atinge cerca de 2,5 m de altura. Produz vagens por período mais prolongado e apresenta maior produtividade em relação ao feijão-vagem anão (TRANI; PASSOS *et al.*, 2015).

O feijão vagem e o feijão comum são produzidos e destinados ao abastecimento do mercado interno devido à grande demanda e ao comércio internacional ter pouca expressão, visto que quase todos os países consumidores são também grandes produtores. A demanda nacional supera a produção fazendo-se necessário importar principalmente feijão-preto, de países como China, Argentina e Bolívia (BACKES, 2014).

A utilização de novas tecnologias e novas práticas culturais é necessária para se obter maiores rendimentos e garantir um sistema de produção mais rentável para os produtores, que

costumam enfrentar problemas fitossanitários, altos custos de produção, oscilações nos preços dos produtos e um mercado consumidor cada vez mais exigente (FERREIRA; SILVA *et al.*, 2020).

Dentre os problemas fitossanitários encontra-se a ocorrência de nematoides formadores de galhas pertencentes ao gênero *Meloidogyne*, sendo considerado um dos principais responsáveis pela baixa produtividade na cultura do feijoeiro (BAIDA, SANTIAGO *et al.*, 2011).

As perdas causadas por sua infestação podem chegar a 50-90 % da produção (SIMÃO, HOMECHIN *et al.*, 2005), dependendo dos fatores que favorecem o desenvolvimento dos nematoides, como áreas degradadas com baixa fertilidade e pouca matéria orgânica; solos sem estrutura física adequada; baixa quantidade de microrganismos antagonísticos; cultivares comerciais com baixa resistência ou tolerância e; cultivo sucessivo de espécies hospedeiras em uma mesma área (BAIDA; SANTIAGO *et al.*, 2011).

2.2 O nematoide das galhas

O nome nematoide deriva do grego *nema*, *nematis* que significa fio. São vermes subcilíndricos e de corpo filiforme, capazes de causar danos tanto em animais de interesse zootécnico, quanto em cultivos agrícolas (FERRAZ, 2018), podendo infectar órgãos subterrâneos como raízes, rizomas, tubérculos e bulbos, sendo que algumas espécies podem parasitar também órgãos aéreos, como caules, folhas, frutos e sementes (FERRAZ, 2018).

O gênero *Meloidogyne*, conhecido popularmente como ‘nematoides das galhas’, engloba espécies responsáveis por causar declínio de produtividade, principalmente em culturas de grande importância econômica como trigo, arroz, soja, milho, batata, cevada e feijão, podendo ser considerado um problema que confere elevado risco para a segurança alimentar mundial (RAMOS, 2019).

Na Europa há relatos de plantas com sintomas de parasitismo por nematoides desse grupo desde 1855, sendo que no Brasil o gênero foi citado apenas em 1887, com a descrição da espécie *Meloidogyne exigua* Goeldi (FERRAZ, 2018).

Apesar de dezenas de espécies terem sido descritas na literatura, quatro são consideradas mais importantes devido sua ampla distribuição geográfica e alto grau de polifagia, sendo elas *M. arenaria*, *M. incognita*, *M. hapla* e *M. javanica* (FERRAZ, 2018).

As fêmeas do gênero *Meloidogyne* depositam os ovos em um único local da raiz, originando um aglomerado ou massa que são formados em meio ao parênquima cortical (internas) ou sobre a superfície das raízes (externas), podendo conter mais de 400 ovos (FERRAZ, 2018).

Em condições favoráveis, o nematoide das galhas completa seu ciclo de vida em aproximadamente 28 dias, podendo esse ciclo ser interrompido por temperaturas superiores a 40 °C ou inferiores a 5 °C (FERRAZ, 2018).

As galhas constituem os sintomas mais comuns e frequentes nas raízes infectadas, sendo constituídas por engrossamento de diâmetro variável, desenvolvidas pela própria planta, como reação as toxinas introduzidas pelos nematoides. Além das galhas as plantas podem apresentar como sintomas diretos a redução no volume do sistema radicular, o descolamento cortical, e a presença de raízes digitadas e rachaduras.

Dentre os sintomas indiretos que se manifestam nas partes aéreas das plantas, destacam-se o tamanho desigual das plantas, deficiência nutricional devido à dificuldade na absorção de nutrientes, murchamento e desfolha em reboleira. Além de perda no padrão varietal e diminuição na produtividade (FERRAZ, 2018).

A maioria das espécies de nematoide-das-galhas apresenta hábito polífago, parasitando amplo número de hospedeiros distribuídos em diversas famílias botânicas, sendo comum encontra-los infestando raízes de plantas daninhas em diferentes regiões (FERRAZ RAMOS; KASPARY *et al.*, 2019).

A adoção de estratégias que visem a redução populacional desses patógenos é fundamental para diminuir os danos à cultura do feijoeiro. Diversas práticas têm sido relatadas para esta finalidade, como a rotação com culturas não hospedeiras aos nematoides das galhas; o alqueive, que consiste em manter o terreno limpo sem a presença de culturas ou plantas daninhas por determinado período; o uso de plantas antagonistas, como a crotalária que atua inibindo a movimentação dos juvenis; eliminação de restos culturais; eliminação de plantas daninhas; solarização; controle biológico; controle químico e a utilização de variedades resistentes.

Com a crescente demanda por alimentos em quantidade e qualidade, e a necessidade de se adotarem técnicas sustentáveis para controle de nematoides em feijoeiro, a melhor forma de controle da doença é o plantio de cultivares resistentes, pois não aumenta os custos de produção, nem apresenta risco de contaminação ao meio ambiente (CANDIDO; CASTOLDI *et al.*, 2017).

A identificação de fontes de resistência permite reduzir o ciclo evolutivo dos nematoides, mantendo a população abaixo do limiar de dano econômico e possibilitando o seu cultivo em áreas infestadas (BAIDA; SANTIAGO *et al.*, 2011).

2.3 Controle genético da resistência em *Phaseolus vulgaris*

O feijoeiro é uma espécie diploide ($2n=2x=22$) que apresenta reprodução autógama devido aos órgãos masculinos e femininos estarem protegidos pelas pétalas, e os grãos de pólen começam a cair sobre o estigma durante a antese, levando a baixas taxas de fecundação cruzada, inferior a 4% (VIEIRA; BORÉM *et al.*, 2005).

Para o sucesso dos programas de melhoramento genético visando a incorporação de resistência a diferentes patógenos em *Phaseolus vulgaris* é importante que fontes de resistência sejam identificadas, medidas e quantificadas para utilização em novas cultivares (BAIDA; SANTIAGO *et al.*, 2011).

Informações sobre as características do controle genético da resistência a *Meloidogyne spp.* são vitais para a tomada de decisão quanto ao método de condução e o tamanho da população a ser avaliada durante os programas de melhoramento (CANDIDO; CASTOLDI *et al.*, 2017), visando garantir efetivo sucesso final.

De acordo com CORREA; CECCON *et al.* (2012), torna-se de grande importância o estudo do controle genético e da herança de caracteres agrônômicos, por meio da obtenção de estimativas de parâmetros genéticos como variâncias, herdabilidade, coeficiente de determinação genotípico, coeficiente de variação genética e coeficiente b (CVg/CVe) de uma população, a qual se pretende explorar para o melhoramento genético. Isto permite que se façam inferências sobre a variabilidade genética que a população apresenta e o que pode ser esperado em termos de ganho com seleção.

Assim, estimativa de parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais são uma importante ferramenta para tomada de decisão sobre a escolha do método de melhoramento e para a condução e seleção das plantas e progênies, na população trabalhada (CARVALHO FILHO; GOMES *et al.* (2011).

Apesar do feijoeiro ser uma cultura amplamente cultivada no Brasil, variedades que apresentam algum nível de resistência a *Meloidogyne spp.* ainda são escassas.

Simão e Homechin *et al.* (2005) avaliaram em casa de vegetação, o comportamento das cultivares de feijoeiro Pérola e Iapar 81, frente a *M. javanica*, e concluíram que as cultivares

podem ser consideradas tolerantes, pois não houve redução no rendimento das mesmas, embora tenham possibilitado a reprodução do *M. javanica* nas raízes.

Santos e Alves *et al.* (2012) quantificaram os danos e avaliaram os níveis de resistência a *M. incognita* raça 3 e *M. javanica* em genótipos de feijoeiro, resgatados das regiões Sul e da Serra do estado do Espírito Santo e das cultivares comerciais Pérola e Aporé. Os feijoeiros “FORT-10”, “FORT-13”, “Aporé” e “FORT-16” comportaram-se como moderadamente resistente, as cultivares “Rico 23” e “Pérola” como pouco resistente e o genótipo “FORT-19” como altamente suscetível a *M. incognita*. Quando parasitados por *M. javanica*, os feijoeiros “FORT-19”, “Rico 23”, “FORT-16” e “FORT-13” foram pouco resistentes, “Pérola” e “Aporé” suscetíveis e “FORT-10” altamente suscetíveis.

De Oliveira e Oliveira *et al.* (2018), em estudo que teve como objetivo verificar a reação de genótipos de feijão aos nematoides das galhas *M. incognita* raça 1 e *M. javanica*, constataram que os genótipos Aporé, Ouro Vermelho, Radiante e CNFP 10793 apresentaram bons resultados de resistência tanto a *M. incognita* raça 1 quanto a *M. javanica*, podendo servir como fontes de resistência para programas de melhoramento.

As cultivares IAC Alvorada, IAC Imperador, BRS Esplendor e BRS Esteio podem ser classificadas como resistentes ao *M. javanica* pelo fator de reprodução, porém, são classificadas apenas como moderadamente resistentes se o critério de avaliação for o índice de reprodução (COSTA; SOARES *et al.* 2019).

A busca por genótipos de feijoeiro resistentes ao *Meloidogyne spp.* ocorre também em outras regiões produtoras no mundo. Bozbuga e Yildiz *et al.* (2015) avaliaram 87 genótipos de feijão comum (*Phaseolus vulgaris L.*), a fim de determinar a resposta de resistência a *Meloidogyne incognita* em condições de câmara de crescimento na Turquia. Ao final do estudo, um genótipo foi considerado como imune, quatro foram considerados altamente resistentes e oito foram considerados moderadamente resistentes, podendo ser indicados para utilização como material parental para o desenvolvimento de novas cultivares resistentes a nematoides das galhas em programas de melhoramento.

Estudos da herança da resistência a *Meloidogyne incognita* raça 3 no cruzamento entre as cultivares de feijão Aporé e ESAL 686, mostraram na geração F2 a proporção de três plantas resistentes para uma planta suscetível, indicando que a característica de resistência pode ser controlada por um único loco, com dominância para o alelo que confere resistência ao nematoide (SILVA; RAMALHO *et al.*, 2005).

No entanto, Ferreira e Gomes *et al.* (2010), avaliaram a resistência de feijão comum e feijão-vagem ao *Meloidogyne incognita* (raças 1 e 3) e ao *Meloidogyne javanica* e indicaram que a resistência aos nematoides das galhas pode ser controlada por diferentes genes, dependendo da espécie, e que as cultivares de feijão Aporé e Ouro Negro e a cultivar de feijão-vagem Macarrão Atibaia, têm potencial de aproveitamento em programas de melhoramento para um espectro mais amplo de resistência ao nematoide das galhas (FERREIRA; GOMES *et al.*, 2010).

De acordo com trabalho realizado por Ferreira e Gomes *et al.* (2012), no qual buscou-se esclarecer o modo de herança da resistência ao *M. incognita* raça 1 na cultivar de feijão Aporé, efeitos genéticos dominantes foram inferiores em magnitude aos efeitos aditivos, indicando dominância incompleta para resistência ao nematoide (menor número de ovos por grama de raiz).

Os autores concluíram que o controle genético da resistência a *M. incognita* raça 1 na cultivar Aporé é controlado por um loco gênico com dominância incompleta do alelo de resistência, com a possível presença de genes modificadores, porém, experimentos adicionais devem ser realizados para determinar se a resistência a nematoides da cultivar Aporé será eficaz sob temperaturas mais altas, assim como ocorre em locais de altitude.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Investigar o controle genético da resistência do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris L*) ao nematoide das galhas *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood estimando parâmetros genéticos, visando a auxiliar programas de melhoramento na incorporação da resistência ao nematoide das galhas em feijão vagem.

3.2 Objetivos específicos

- i. Realizar o cruzamento entre as cultivares Aporé (resistente) e Bolinha (suscetível), visando obter a geração F1;
- ii. Obter a geração F2;
- iii. Estimar e analisar parâmetros genéticos e fenotípicos para diferentes características quanto a reação de resistência do feijoeiro comum ao nematoide das galhas, a partir do cruzamento entre as cultivares Aporé (resistente) e Bolinha (suscetível);
- iv. Determinar quais características demonstram maior potencial para uso em programas de melhoramento genético visando a resistência do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris L*) ao nematoide das galhas *Meloidogyne incognita*.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi implantado em casa de vegetação, no setor de Olericultura da Universidade Federal de Lavras, no município de Lavras – MG (21° 14' de latitude Sul e 40° 17' de longitude Oeste, altitude de 918,80 m).

4.1 Obtenção das populações F₁ e F₂

As sementes dos genitores cultivar Aporé (P1) resistente ao nematoide das galhas e Bolinha (P2) suscetível ao nematoide, foram semeadas em vasos de dez litros contendo solo, areia e esterco de curral curtido na proporção 3:2:1. Uma semana após o semeio foi realizado o desbaste deixando apenas uma planta por vaso. Os vasos foram fertirrigados semanalmente, conforme a recomendação da cultura. Para melhor sustentação, as plantas foram tutoradas com fitilho.

Quando as plantas estavam nas fases reprodutivas R5 (aparecimento dos botões florais no genitor feminino) e R6 (abertura da primeira flor no genitor masculino) foi dado início aos cruzamentos para a hibridação entre os genitores, visando obter a geração [F₁ (P1 x P2)]. Os cruzamentos foram realizados sempre no início da manhã, por caracterizar como um período de temperaturas mais amenas.

A hibridação foi realizada sem emasculação do genitor feminino. O estandarte e a quilha dos botões florais femininos foram abertos com o auxílio de uma pinça, para exposição do estigma que ainda não havia sido fecundado. Da flor doadora do pólen, do outro genitor, foi retirado o estigma coberto de pólen, sendo a polinização feita colocando-se o estigma coberto de pólen sobre o estigma da flor do genitor feminino. Cada flor polinizada foi identificada com uma lã colorida e teve o estandarte fechado.

Os botões florais e flores abertas que não foram utilizadas durante a hibridação, foram retiradas para evitar competição e possível contaminação por ocasião da colheita das sementes híbridas. Para cada vaso contendo uma planta do genitor feminino foi utilizada como doadora do pólen uma mesma planta do genitor masculino. Quando atingiram a maturidade fisiológica, as sementes foram colhidas planta por planta, separadamente, sendo identificadas e armazenadas para sua posterior utilização.

Na segunda etapa do trabalho foi escolhida a planta do genitor feminino que produziu maior quantidade de sementes. A partir dessa planta selecionada, uma parte das sementes F₁ foram semeadas para obtenção das sementes F₂ [autofecundação da F₁ (P1 x P2)], seguindo a

mesma metodologia de condução das plantas já mencionadas. Desta forma, utilizou-se sementes F_1 originárias de uma única planta como genitor feminino e uma única planta como genitor masculino, para serem semeadas para obtenção de sementes F_2 .

4.2 Avaliação da resistência ao nematoide *M. incognita* raça 1

Procedeu-se a avaliação quanto a resistência ao nematoide *M. incognita* raça 1 nos genitores e gerações F_1 ($P_1 \times P_2$) e F_2 ($P_1 \times P_2$). Para diminuir os efeitos do ambiente, foi adotado o delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições.

As sementes foram semeadas em copos de isopor de 120 ml, contendo areia de granulometria média, lavada e peneirada. Em cada recipiente foi colocado 1 g de adubo de liberação lenta 15:09:12 (N:P:K), além de fertirrigações semanais.

Para realização da avaliação de resistência foram utilizados vinte copos de isopor de 120 ml para cada um dos genitores e para a geração F_1 ($P_1 \times P_2$), além de 300 copos de isopor de 120 ml para a geração F_2 ($P_1 \times P_2$). Em cada copo foram colocadas duas sementes, das quais, após a germinação e emergência, se necessário, foi desbastada uma planta, deixando apenas uma planta por recipiente.

Foram utilizadas também plantas de tomate cultivar Santa Clara, como testemunha suscetível para confirmar a viabilidade do inóculo. Quinze dias após a semeadura, quando as plantas já apresentavam sistema radicular desenvolvido, foi realizada a inoculação com ovos de *M. incognita* raça 1. Os inóculos foram obtidos a partir de plantas de tomate Santa Clara infestados com o isolado da espécie em estudo e mantidos em vasos de 10 L, em ambiente protegido, no setor de Olericultura da Universidade Federal de Lavras. A extração dos ovos de nematoides foi realizada conforme a técnica proposta por Hussey (1973) modificada por Boneti e Ferraz (1981). Foram utilizados 1600 ovos por recipiente, para cada planta, inoculados com o auxílio de uma pipeta automática.

Para verificar a porcentagem de ovos viáveis foram montadas três câmaras de eclosão, em placas de Petri. Sob cada câmara de eclosão foram adicionados 2 ml de suspensão contendo 1600 ovos do nematoide das galhas, sendo essa a mesma quantidade inoculada no teste realizado em copos em casa de vegetação. As placas foram levadas à incubadora à temperatura de 25 °C. A quantificação dos J2 eclodidos foi realizada diariamente, através da contagem em microscópio estereoscópio, até que não fosse mais verificada eclosão, sendo constatado a média de 365 ovos viáveis.

Quando foi verificada a formação de galhas e massas de ovos nas raízes das plantas de tomate, foi realizada avaliação da reprodução dos nematoides em todos os genótipos. As plantas foram retiradas dos recipientes e suas raízes foram cuidadosamente lavadas para retirada de todo o substrato. Posteriormente as plantas foram colocadas sobre papel absorvente para absorção da umidade livre e, em seguida, foram pesadas em balança de precisão para obtenção da massa fresca das raízes.

Os ovos foram extraídos conforme a técnica proposta por Hussey e Barker (1973), modificada por Bonetti e Ferraz (1981). Os ovos obtidos em cada extração foram armazenados em BOD a 10°C e, posteriormente, contados com o auxílio de um microscópio de luz.

Dessa forma, obteve-se o número de ovos total por planta de feijão (NO), o número de ovos por grama de raiz (NOGR), o índice de reprodução total (IRT) e o índice de reprodução por grama de raiz (IRGR). O índice de reprodução foi calculado por meio da razão entre o número de ovos no sistema radicular da planta e o número médio de ovos no sistema radicular do feijão Bolinha (Genitor suscetível) multiplicado por 100 ($IR = NO/NOB \times 100$).

O fator de reprodução (FR), o qual corresponde à razão entre a população final e inicial de nematoides ($FR = P_f/P_i$) foi calculado com base na média de ovos viáveis obtidos por meio da câmara de eclosão.

A classificação baseada na redução do fator de reprodução (RFR) foi obtida pela fórmula

$$RFR = \left(\frac{FR_p - FRC}{FR_p} \right) \times 100 \quad (1)$$

Onde: FR_p corresponde à média do fator de reprodução (FR) da cultivar suscetível padrão (cv. Bolinha) e FRC corresponde ao fator de reprodução de cada material avaliado (MOURA; REGIS, 1987).

Com os dados obtidos, realizou-se as análises de variância e foram estimadas as variâncias fenotípica, genética e ambiental; a herdabilidade no sentido amplo ao nível das médias da geração F₂; o coeficiente de variação genética (razão entre os coeficientes de variação genética e variação ambiental), as correlações genética, fenotípica e ambiental; os ganhos de seleção e resposta correlacionada, considerando a seleção de 10% dos indivíduos da geração F₂.

Estas análises foram realizadas utilizando o programa GENES versão 1990.2017.59 (CRUZ, 2005), conforme as fórmulas utilizadas para as estimativas descritas no Quadro 1.

Quadro 1 - Fórmulas utilizadas para estimativa dos parâmetros genéticos.

Parâmetro genético	Fórmula
Média do Genitor 1 - \bar{P}_1	$\bar{P}_1 = \frac{\sum P_1}{n}$
Média do Genitor 2 - \bar{P}_2	$\bar{P}_2 = \frac{\sum P_2}{n}$
Média da geração F ₁ - \bar{F}_1	$\bar{F}_1 = \frac{\sum F_1}{n}$
Média da geração F ₂ - \bar{F}_2	$\bar{F}_2 = \frac{\sum F_2}{n}$
Variância fenotípica - $\sigma_{f(F_2)}^2$	$\sigma_{f(F_2)}^2 = \sigma_{F_2}^2 = \frac{\sum (F_2 - \bar{F}_2)^2}{n - 1}$
Variância genotípica - $\sigma_{g(F_2)}^2$	$\sigma_{g(F_2)}^2 = \sigma_{f(F_2)}^2 - \sigma_{m(F_2)}^2$
Variância ambiental - $\sigma_{m(F_2)}^2$	$\sigma_{m(F_2)}^2 = \frac{V_{P1} + V_{P2} + 2V_{F1}}{4}$
Herdabilidade no sentido amplo - h_a^2	$h_a^2 = \frac{\sigma_{g(F_2)}^2}{\sigma_{f(F_2)}^2} = \frac{\sigma_{g(F_2)}^2}{\sigma_{g(F_2)}^2 + \sigma_{m(F_2)}^2}$
Grau médio de dominância baseado em médias - k_m	$K_m = \frac{2\bar{F}_1 - (\bar{P}_1 + \bar{P}_2)}{\bar{P}_1 + \bar{P}_2}$
Ganho por seleção - ΔG (%)	$\Delta G (\%) = \frac{\Delta G}{\bar{x}_0}$
Medida dos efeitos aditivos - [a]	$\hat{a} = \bar{P}_x - 1/2 \bar{P}_1 + 1/2 \bar{P}_2$
Medida dos desvios de dominância - [d]	$\hat{d} = \bar{F}_1 - 1/2 \bar{P}_1 + 1/2 \bar{P}_2$

Fonte: Da autora (2022).

Os parentais Aporé e Bolinha, a geração F1 e a geração F2 foram classificadas conforme a metodologia proposta por Hadisoeganda e Sasser (1982), sendo consideradas altamente resistentes as plantas que apresentaram índice de reprodução total (IRT) menor que 1%, resistentes ($1 < \text{IRT} < 10\%$), moderadamente resistente ($10 < \text{IR} < 25\%$), pouco resistentes ($25 < \text{IR} < 50\%$) e suscetíveis os indivíduos com $\text{IRT} > 50\%$.

Para a característica de número total de ovos totais foi avaliada também, na geração F2, a frequência de plantas para intervalos de número total de ovos por sistema radicular, a exemplo de outros trabalhos como os de Fiorini *et al.* (2005; 2007).

Para encontrar estes intervalos, utilizou-se a metodologia de estabelecimento de pontos de truncagem, que correspondem ao valor do número total de ovos abaixo do qual se encontram o maior número de plantas da cultivar resistente Aporé e o valor do número total de ovos acima do qual se encontram o maior número de plantas da cultivar suscetível Bolinha. Plantas da geração F2 com valores iguais ou abaixo do ponto de truncagem, semelhantes a cultivar Aporé, foram consideradas resistentes e com valores igual ou superior ao ponto de truncagem, semelhantes a cultivar Bolinha, foram consideradas suscetíveis.

Em seguida, considerando a frequência de plantas para cada intervalo, procedeu-se ao teste de qui-quadrado, levando-se em conta a frequência de plantas esperada sob a hipótese de herança monogênica (1:2:1), correspondendo a 25% de plantas resistentes, 50% de plantas segregantes e 25% de plantas suscetíveis. A não significância do teste de qui-quadrado sugere a possibilidade de herança monogênica.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos de acordo com as análises de gerações realizadas para todas as características avaliadas, número de ovos total (NO), número de ovos por grama de raiz (NOGR), índice de reprodução total (IRT), índice de reprodução por grama de raiz (IRGR), fator de reprodução (FR) e redução do fator de reprodução (RFR), mostraram que os valores médios para o genitor resistente, cultivar Aporé, diferiram daqueles obtidos para o genitor suscetível, cultivar Bolinha, no sentido de confirmar a resistência da cultivar Aporé ao *Meloidogyne incognita* (TABELA 1). Estes resultados corroboram com os dados obtidos em outros estudos como os realizados por Ferreira e Gomes *et al.* (2010) e de Oliveira e Oliveira *et al.* (2018), confirmando o potencial desta cultivar como fonte de resistência para utilização em programas de melhoramento genético.

Tabela 1- Médias obtidas para número de ovos total (NO), número de ovos por grama de raiz (NOGR), índice de reprodução total (IRT), índice de reprodução por grama de raiz (IRGR), fator de reprodução (FR) e redução do fator de reprodução (RFR) em feijão inoculado.

Geração	Nº						
	indivíduos	NO	NOG	IRT	IRG	FR	RFR
P1	20	240,55	26,46	0,20	0,18	0,66	79,73
P2	20	1188,35	147,05	1,00	0,99	3,25	0,00
F1	12	811,66	47,70	0,68	0,32	2,22	31,69
F2	209	655,35	68,91	0,55	0,47	1,79	44,85

P1: Cultivar Aporé P2: Cultivar Bolinha

Fonte: Da autora (2022).

À exceção da característica RFR, cujo valor é dado em porcentagem de redução do fator de reprodução em relação a cultivar suscetível, que foi de 79,73% para a cultivar Aporé, enquanto para a cultivar suscetível o valor é 0,00%, para todas as outras características, cujos valores menores refletem maior resistência, os valores médios apresentados pela cultivar resistente Aporé foram da ordem de cinco vezes inferiores aos apresentados pela cultivar suscetível Bolinha. Estes resultados, além de confirmarem a resistência da cultivar Aporé, têm um significado importante em estudos como o que se propôs a fazer, por demonstrarem claramente o contraste entre os genitores. Este é um requisito necessário para a obtenção de dados consistentes para se proceder às estimativas de parâmetros genéticos (BALDISSERA *et al.*, 2014).

Ainda com relação à característica de RFR, a cultivar Aporé mostrou-se resistente, com valor de 79,73%, enquanto as gerações F₁ e F₂ apresentaram valores de 31,69% e 44,85% respectivamente, sendo classificadas como suscetíveis, assim como a cultivar parental Bolinha (RFR=0,00%) conforme a classificação de Moura e Regis (1987).

A análise mostrou que a variância ambiental foi superior à variância genotípica para as características de NO, IRT, FR e RFR, indicando que há maior influência ambiental na resposta das plantas em relação a estas características, ao contrário das características de NOGR e IRGR, para as quais a variância genotípica foi superior à variância ambiental, havendo assim menor influência do ambiente (Tabela 2).

Tabela 2 - Estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos para feijão inoculado com *Meloidogyne incognita*.

Parâmetro	NO	NOG	IRT	IRG	FR	RFR
Variância fenotípica - $\sigma_f^2(F_2)$	387602,6	5165,79	0,274472	0,238733	2,909	2744,71
Variância ambiental - $\sigma_m^2(F_2)$	238668,4	2132,16	0,169008	0,098536	1,791	1689,9
Variância genotípica - $\sigma_g^2(F_2)$	148934,2	3033,63	0,105464	0,140197	1,117	1054,81
Herdabilidade no sentido amplo h_a^2	38,42 %	58,72%	38,42%	58,72%	38,42%	38,43%
Grau médio da dominância k_m	-0,20514	0,647685	-0,20514	0,647685	-0,20514	-0,20493
Medida dos efeitos aditivos - [a]	-473,9	-60,295	-0,4	-0,405	-1,295	39,865
Medida dos desvios de dominância- [d]	97,21	-39,055	0,08	-0,265	0,265	-8,175

* NO: número de ovos totais; NOG: número de ovos por grama de raiz; IRT: índice de reprodução total; IRG: índice de reprodução por grama de raiz; FR: fator de reprodução; RFR: redução do fator de reprodução

Fonte: Da autora (2022).

Considerando a herdabilidade no sentido amplo, a mesma apresentou valor superior a 58% para as características NOGR e IRGR, indicando maior chance de sucesso na seleção de plantas resistentes a *Meloidogyne incognita*, com base nessas características. Valores superiores da herdabilidade para estas características estão de acordo com maiores valores de variância genotípica, em relação à ambiental. De acordo com Baldissera *et al.* (2014), características que sofrem menor influência ambiental apresentam valores de herdabilidade mais elevados, os quais refletem, justamente, a porcentagem da variância fenotípica que pode ser herdada mediante o processo de seleção, indicando a possibilidade de obtenção de indivíduos superiores.

Os resultados do grau médio da dominância apresentaram valores entre 0,2 e 0,6. A razão d/a mede o grau de dominância de um gene, assim, quando esse valor é zero, há interação

alélica aditiva; se for igual a 1,0, ocorre dominância completa; para valores entre zero e um, tem-se dominância parcial e acima de 1,0, ocorre sobredominância (RAMALHO *et al.*, 2012). De acordo com os valores das estimativas do grau médio de dominância obtidos no trabalho, verifica-se que houve ação aditiva, porém, com ocorrência de dominância parcial para todos os caracteres, sendo que os valores mais próximos de zero indicam um menor grau médio de dominância

A característica NOGR apresentou o maior valor para a medida dos efeitos aditivos. O efeito aditivo, juntamente com a herdabilidade alta para a característica de resistência a nematoides, permitem antever a possibilidade de se obterem linhagens superiores, a partir de plantas selecionadas para esta característica (FIORINI *et al.*, 2005).

Considerando os ganhos de seleção para as diferentes características, destacaram as características de NOGR e IRGR, as quais apresentaram valores estimados superiores a 50% (TABELA 3), enquanto que as características NO, IRT e FR apresentaram valores inferiores a 40%.

Tabela 3- Ganho de seleção em feijão inoculado com *Meloidogyne incognita*.

Característica selecionada	Ganho por Seleção (%)
NO	-32.84
NOG	-50.99
IRT	-32.84
IRG	-50.99
FR	-32.84
RFR	40.38

* NO: número de ovos totais; NOGR: número de ovos por grama de raiz; IRT: índice de reprodução total; IRGR: índice de reprodução por grama de raiz; FR: fator de reprodução; RFR: redução do fator de reprodução

Fonte: Da autora (2022).

Os valores negativos para o ganho de seleção indicam que a ela deve ocorrer para valores mais baixos em ambas as características, exceto para a redução do fator de reprodução (RFR), para a qual os indivíduos com maiores valores deverão ser selecionados.

Quanto ao estudo de correlação entre características, esta é uma técnica que auxilia no entendimento da ação gênica, indicando o grau e o sentido de influência que a seleção para uma determinada característica pode exercer sobre o resultado de outra característica. As estimativas dos coeficientes de correlação apresentaram valores relativamente altos para todas as características, sendo os menores valores de 0,63 (TABELA 4). Estas correlações foram positivas para todas as características, exceto para a Redução do Fator de Reprodução. Isto se

justifica, já que para todas as características, exceto a de RFR, valores mais baixos estão associados à maior resistência, enquanto para RFR ocorre o contrário, a maior resistência está associada a valores mais elevados.

Tabela 4 - Estimativas dos coeficientes de correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais em feijão inoculado com *Meloidogyne incógnita*.

Parâmetros	Correlação		
	Fenotípica	Genotípica	Ambiental
NO e NOG	0,84633	1,112	0,63
NO e IRT	1	1	1
NO e IRG	0,84633	1,112	0,63
NO e FR	1	1	1
NO e RFR	-1	-1	-1
NOG e IRT	0,84633	1,112	0,63
NOG e IRG	1	1	1
NOG e FR	0,84633	1,112	0,63
NOG e RFR	-0,84633	-1,112	-0,63
IRT e IRG	0,84633	1,112	0,63
IRT e FR	1	1	1
IRT e RFR	-1	-1	-1
IRG e FR	0,84633	1,112	0,63
IRG e RFR	-0,84633	-1,112	-0,63
FR e RFR	-1	-1	-1

* NO: número de ovos totais; NOGR: número de ovos por grama de raiz; IRT: índice de reprodução total; IRG: índice de reprodução por grama de raiz; FR: fator de reprodução; RFR: redução do fator de reprodução

Fonte: Da autora (2022).

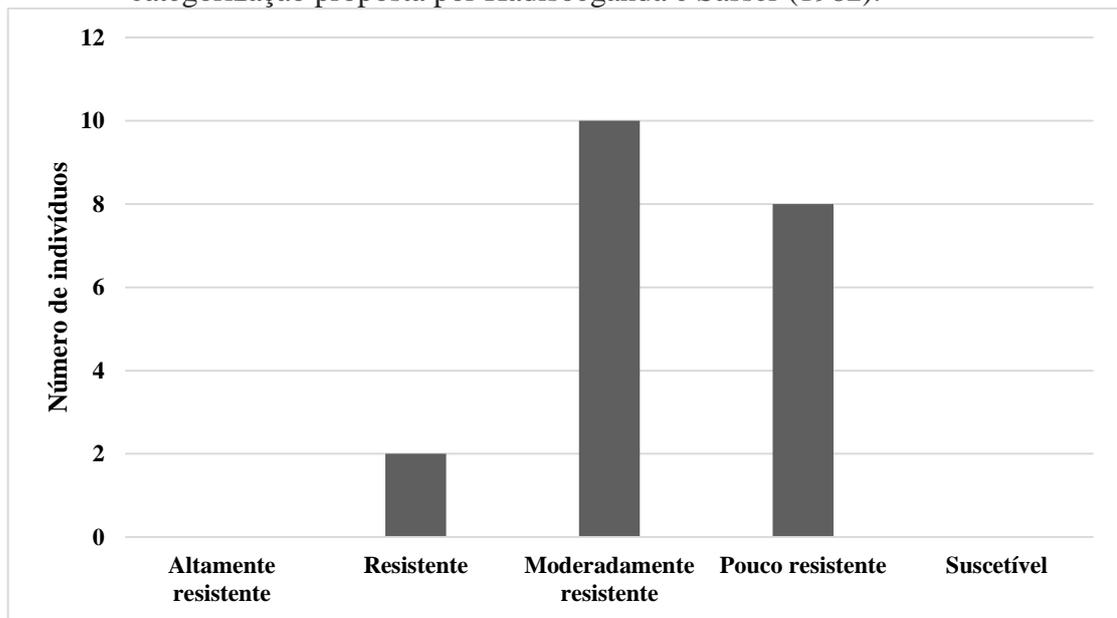
Considerando o interesse no decréscimo dos valores médios para os quatro caracteres simultaneamente (número de ovos totais, número de ovos por grama de raiz, índice de reprodução total, índice de reprodução por grama de raiz e fator de reprodução) pode-se prever que a seleção praticada provocará mudanças no sentido desejado nos demais caracteres, em razão de todas as correlações apresentarem valores positivos existente entre estes caracteres. A alta correlação negativa para as características associadas à Redução do Fator de Reprodução indica que a seleção para menores valores para os demais caracteres, acarretará no aumento dos valores da redução do fator de reprodução, o que é desejável. De acordo com a classificação de Moura e Regis (1987) valores próximos a 100 indicam maior resistência, enquanto valores próximo a 1 indicam menor resistência.

A reprodução dos nematoides formadores de galhas em raízes de feijoeiro indica níveis de resistência ou tolerância, permitindo identificar materiais mais eficientes quanto à redução de crescimento populacional das espécies de *Meloidogyne* (BAIDA; SANTIAGO *et al.*, 2011).

Ferreira, Gomes *et al.* (2010), estudaram a resistência de cultivares de *Phaseolus vulgaris* L. a *M. incognita* (raças 1 e 3) e *M. javanica*, e identificou que a resistência pode ser controlada por genes diferentes, dependendo da espécie e raça de *Meloidogyne* considerado no estudo.

A classificação do parental Apuré a partir do índice de reprodução conforme a categorização proposta por Hadisoeganda e Sasser (1982), mostra que a maioria dos indivíduos foi classificada como moderadamente resistente, conforme Figura 1.

Figura 1 - Classificação do parental Apuré a partir do índice de reprodução conforme a categorização proposta por Hadisoeganda e Sasser (1982).

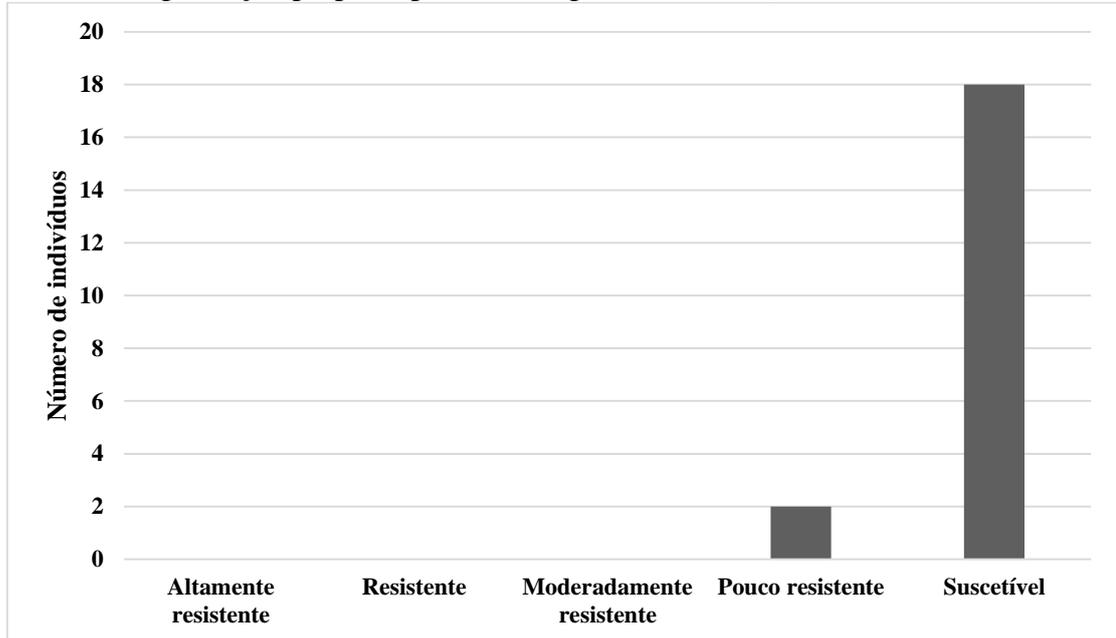


* Altamente resistentes ($IR < 1\%$), resistente ($1 < IR < 10\%$), moderadamente resistente ($10 < IR < 25\%$), pouco resistente ($25 < IR < 50\%$) e suscetível ($IR > 50\%$).

Fonte: Da autora (2022).

Já o parental Bolinha apresentou a maioria dos indivíduos classificados como suscetíveis, o que reafirma que os parentais utilizados nesse estudo apresentam genótipo contrastante em relação a resistência ao nematoide das galhas (FIGURA 2).

Figura 2 - Classificação do parental Bolinha a partir do índice de reprodução conforme a categorização proposta por Hadisoeganda e Sasser (1982).



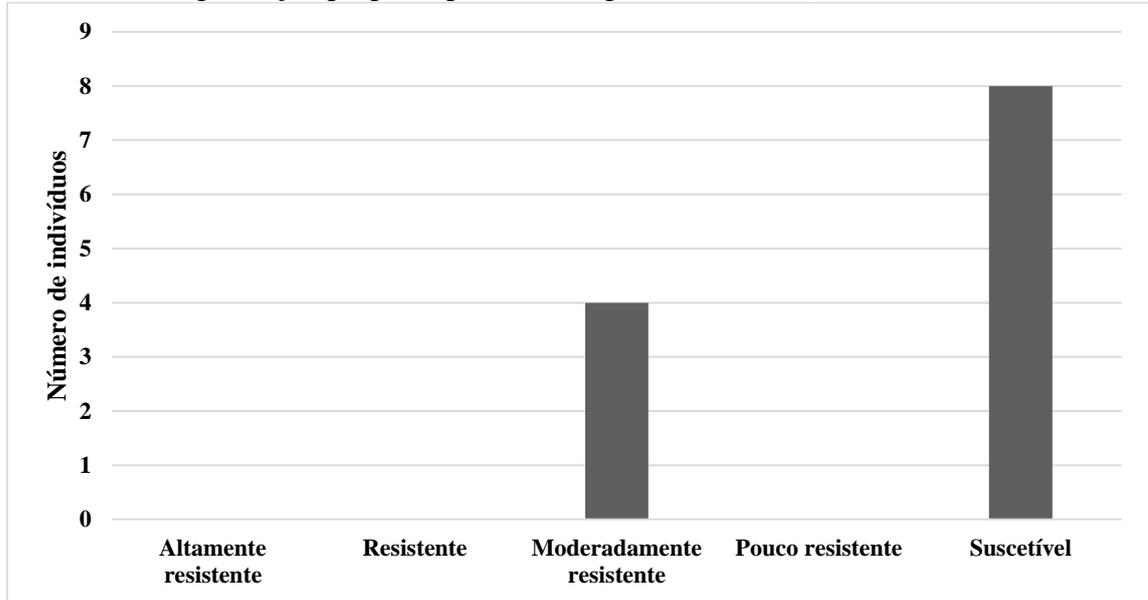
* Altamente resistentes ($IR < 1\%$), resistente ($1 < IR < 10\%$), moderadamente resistente ($10 < IR < 25\%$), pouco resistente ($25 < IR < 50\%$) e suscetível ($IR > 50\%$).

Fonte: Da autora (2022).

A geração F1 apresentou valores discrepantes sendo classificada, como moderadamente resistente e suscetível (FIGURA 3). A divergência entre valores pode estar associada principalmente à influência ambiental sobre os indivíduos avaliados.

De acordo com Andrade Júnior e Gomes *et al.* (2016), trabalhos envolvendo a resistência a nematoides podem apresentar divergências entre os resultados devido a diferenças nas metodologias utilizadas nas avaliações, e também devido a variabilidade entre os isolados utilizados nos experimentos.

Figura 3 - Classificação da geração F1 a partir do índice de reprodução conforme a categorização proposta por Hadisoeganda e Sasser (1982).



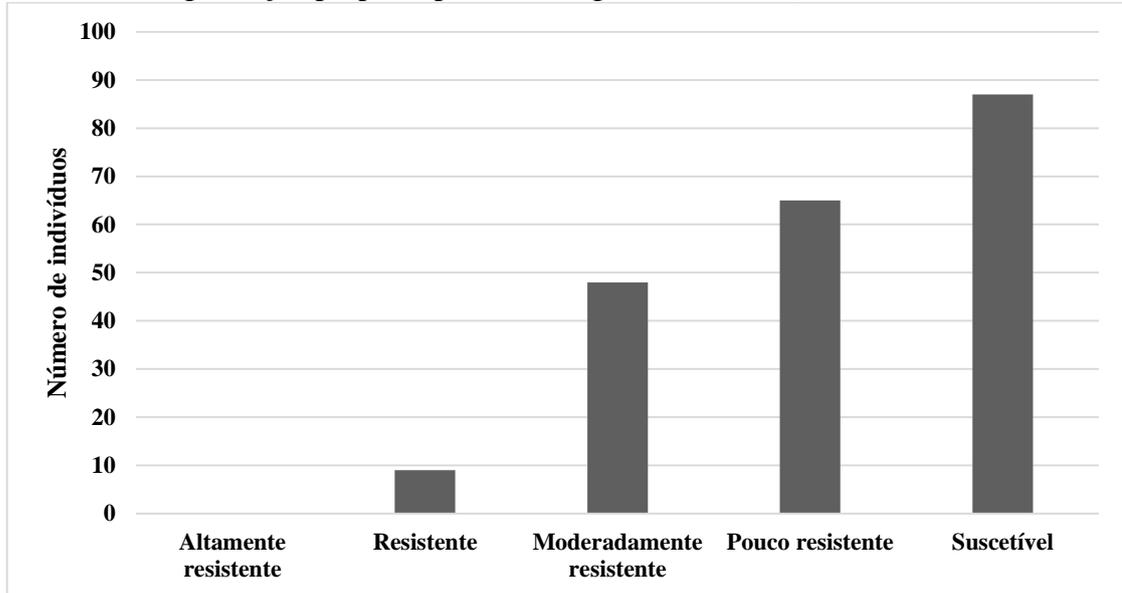
* Altamente resistentes ($IR < 1\%$), resistente ($1 < IR < 10\%$), moderadamente resistente ($10 < IR < 25\%$), pouco resistente ($25 < IR < 50\%$) e suscetível ($IR > 50\%$).

Fonte: Da autora (2022).

A classificação da geração F₂ mostrou que os indivíduos se apresentam de forma crescente no sentido da suscetibilidade (FIGURA 4). Porém, é possível identificar indivíduos resistentes, o que é favorável para programas de melhoramento genético.

Embora a média do índice de reprodução da geração F₂ apresente relativamente alta, com muitos indivíduos suscetíveis, pouco resistentes e moderadamente resistentes, existe uma amplitude de variação relativamente grande, o que permite selecionar indivíduos resistentes, mesmo que ainda estejam segregando. Com o avanço das gerações há possibilidade de fixação do caráter, devido aos outros resultados altos como herdabilidade e ganho de seleção.

Figura 4 - Classificação da geração F2 a partir do índice de reprodução conforme a categorização proposta por Hadisoeganda e Sasser (1982).



* Altamente resistentes ($IR < 1\%$), resistente ($1 < IR < 10\%$), moderadamente resistente ($10 < IR < 25\%$), pouco resistente ($25 < IR < 50\%$) e suscetível ($IR > 50\%$).

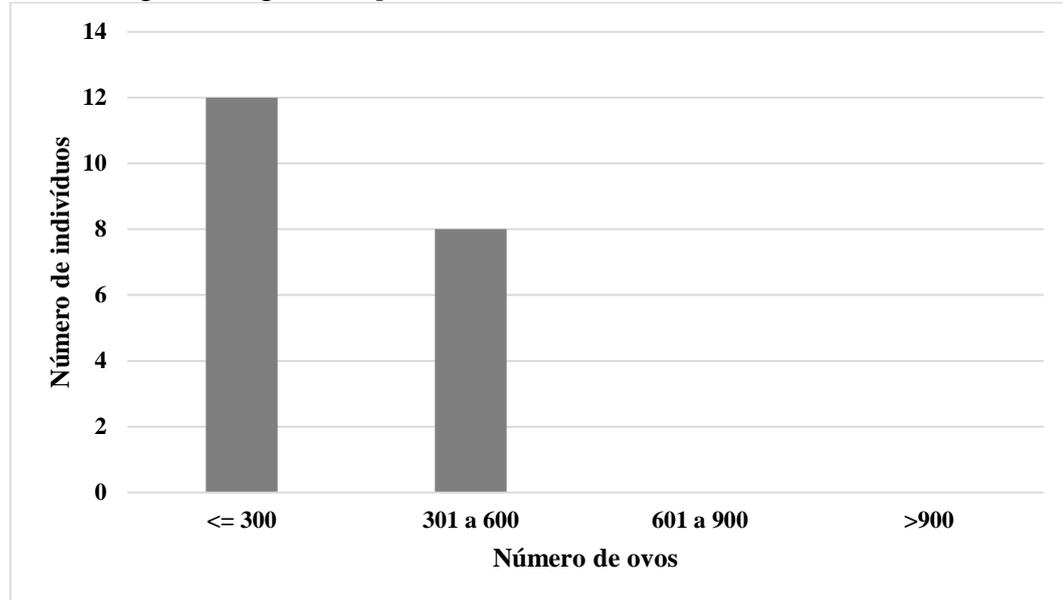
Fonte: Da autora (2022).

A utilização de materiais contrastantes em estudos de resistência permite indicar de forma mais precisa quais as melhores características para serem utilizadas para seleção dentro dos programas de melhoramento genético. Trabalho semelhante foi realizado por Ferreira, Gomes *et al.* (2012), porém, utilizando como genitor suscetível, a cultivar Macarrão Rasteiro Conquista. A necessidade de novos estudos se justifica, uma vez que a cultivar suscetível Macarrão Rasteiro Conquista, não apresentou resultados tão contrastantes, quando comparados a cultivar resistente Aporé.

Em relação à frequência de plantas em intervalos de número de ovos, considerou-se como pontos de truncagem o número de ovos igual a 300, valor abaixo do qual está representado o maior número de plantas do genitor resistente Aporé, e número de ovos igual a 900, valor a partir do qual se encontra representado o maior número de plantas do genitor suscetível Bolinha.

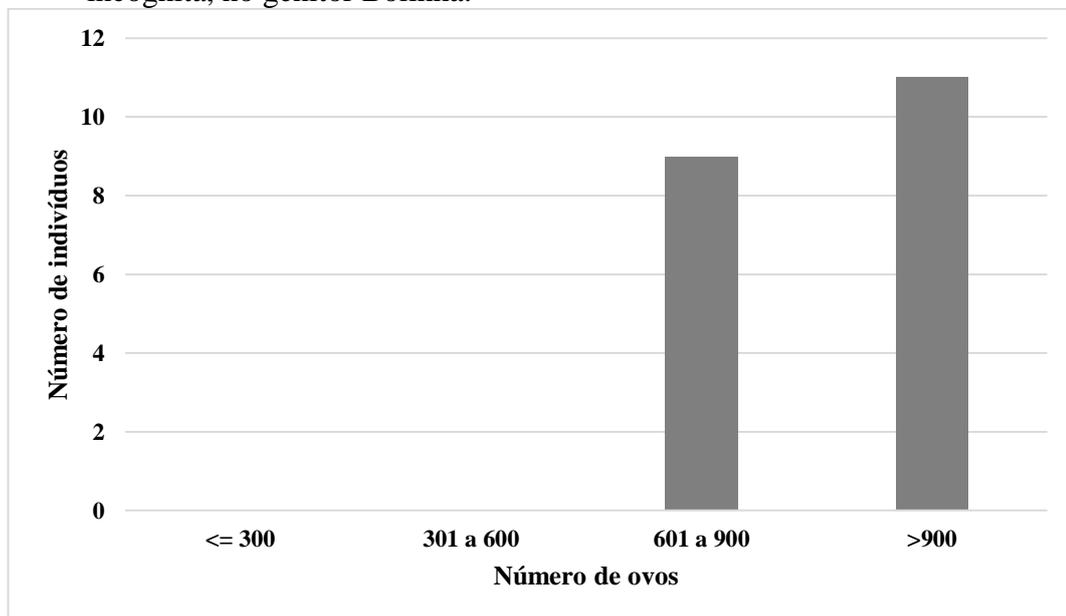
Das 20 plantas avaliadas da cultivar Aporé, 60% (12 plantas) apresentaram 300 ou menos ovos de nematoide no seu sistema radicular e das 20 plantas analisadas na cultivar bolinha, 55% (11 plantas) tiveram acima de 900 ovos (FIGURAS 5 e 6).

Figura 5 - Distribuição de frequência de plantas em intervalos de número de ovos de *M. incognita*, no genitor *Aporé*.



Fonte: Da autora (2022).

Figura 6 - Distribuição de frequência de plantas em intervalos de número de ovos de *M. incognita*, no genitor *Bolinha*.

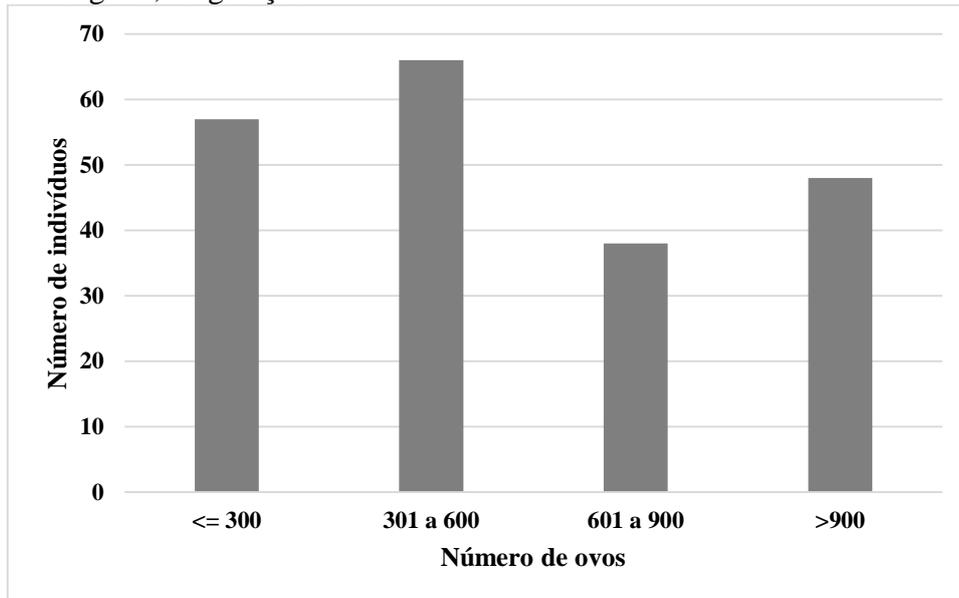


Fonte: Da autora (2022).

Na geração F_2 , 57 plantas apresentaram número de ovos igual ou menor do que 300 correspondendo a 27 %, 66 plantas se encontraram no intervalo de 301 a 600 ovos correspondendo a 32%; 38 plantas apresentaram número de ovos entre 601 a 900 correspondendo a 18% e 48 plantas apresentaram mais de 900 ovos, correspondendo a 23%.

Dessa forma, pode-se considerar que das 209 plantas avaliadas na geração F₂, 57 plantas puderam ser consideradas semelhantes ao genitor Aporé (homozigotas resistentes), 48 plantas foram classificadas como semelhantes ao genitor Bolinha (homozigotas suscetíveis) e as 104 plantas restantes se apresentaram como heterozigotas segregantes (FIGURA 7).

Figura 7 - Distribuição de frequência de plantas em intervalos de número de ovos de *M. incognita*, na geração F₂.



Fonte: Da autora (2022).

Após o teste de qui-quadrado (χ^2), o χ^2 calculado obtido foi de 0,68, sendo menor que o χ^2 tabelado (5,99). Logo, aceita-se a hipótese formulada de herança monogênica e, portanto, pode-se inferir que a resistência da cultivar Aporé ao nematoide *M. incognita* provavelmente seja monogênica, controlada por um gene de efeito maior.

Neste caso, espera-se que a proporção da segregação em F₂ seja de 1:2:1, ou seja, 25% de plantas resistentes; 50% de plantas segregantes e 25% de plantas suscetíveis. No teste de χ^2 a segregação observada foi semelhante a segregação esperada.

Em um estudo de controle genético da resistência a *M. incognita* em feijão, Ferreira (2010), utilizou a metodologia de ponto de truncagem para avaliar a resistência das gerações do cruzamento entre as cultivares Aporé e Macarrão Rasteiro Conquista. Esse autor distribuiu a frequência de plantas em uma escala de número de ovos por grama de raiz e, em seguida, procedeu com o teste de χ^2 nas gerações segregantes a fim de analisar a hipótese de herança monogênica. Por fim, concluiu que a resistência da cultivar Aporé ao nematoide *M. incognita*

raça 1 era controlada por um único loco gênico. Resultado este que se assemelha ao obtido neste experimento.

5 CONCLUSÃO

A cultivar de feijão Aporé apresenta resistência ao *M. incognita* raça 1, podendo ser utilizada como fonte de resistência ao patógeno em programas de melhoramento desta espécie. Efeitos aditivos associados à herdabilidade alta para as características número de ovos por grama de raiz, e de índice de reprodução baseado no número de ovos por grama de raiz, permitem a possibilidade de obter linhagens superiores a partir de plantas selecionadas para esta característica.

De acordo com os valores das estimativas do grau médio de dominância obtidos no trabalho, verifica-se que houve predominantemente ação gênica do tipo dominância parcial para todos os caracteres.

As características de número de ovos por grama de raiz e de índice de reprodução baseado no número de ovos por grama de raiz, são as mais indicadas para avaliação e seleção para resistência ao *Melodogyne incognita* em feijão.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, F. A.; GONÇALVES, L. S.A.; FUKUJI, A.; MIGLIORANZA, E.; TAKAHASHI, L. S.A.; BALBI-PEÑA, M. I; RODRIGUES, R. Snap beans for organic farming and evaluation of resistance to the common bacterial blight. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 1, p. 30-136, 2016.
- BACKES, R. L. J. A. C. A soberania do feijão. **Revista Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 27, n.1, mar. 2014.
- BAIDA, F. C.; SANTIAGO, D. C.; TAKAHASHI, L. S. A.; ATHANÁZIO, J. C.; CADIOLI, M. C.; LEVY, R. M. Reação de linhagens de feijão-vagem ao *Meloidogyne javanica* e *M. paranaensis* em casa-de-vegetação. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 2011.
- BONETI, J.; FERRAZ, S. J. F. B. Modificação do método de Hussey & Barker para extração de ovos de *Meloidogyne exigua* de raízes de cafeeiro. **Jornal Fitopatologia Brasileira**, v. 6, n. 3, 1981.
- BOZBUGA, R. H.; YILDIZ, Y.; AKHOUNDNEJAD, M.; IMREN, H.; TOKTAY, E.; BORTECINE, J. L. R. Identification of common bean (*Phaseolus vulgaris*) genotypes having resistance against root knot nematode *Meloidogyne incognita*. **Legume Research**, v. 38, n. 5, p. 669-674, 2015.
- CANDIDO, W. D. S.; CASTOLDI, R.. SANTOS, L. D. S.; TOBAR-TOSSE, D. E.; SOARES, P. L. M.; BRAZ, L. T. (2017). Genetic parameters of resistance to *Meloidogyne incognita* in melon. **Ciência Rural**, v. 47, n. 5, 2017.
- CARNEIRO, J. D. S.; PAULA JÚNIOR, T. D.; BORÉM, A. J. U. **Feijão: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2015. 384 p.
- CARVALHO FILHO, J. L. S.; GOMES, L. A. A.; SILVA, R. R.; FERREIRA, S.; COSTA, R. R.; MALUF, W. R. Parâmetros populacionais e correlação entre características da resistência a nematóides de galhas em alface. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, v. 6, n. 1, p. 46-51, 2011.
- CASTRO-GUERRERO, N. A.; ISIDRA-ARELLANO M. C.; MENDOZA-COZATL, D. G.; VALDÉS-LÓPEZ O. J. F. I. P. S. Common bean: a legume model on the rise for unraveling responses and adaptations to iron, zinc, and phosphate deficiencies. **Front Plant Sci.**, v. 7. p. 600, 2016.
- CORREA, A. M.; G. CECCON, C. M. D. A.; CORREA D. S. J. R.; DELBEN. C. Estimativas de parâmetros genéticos e correlações entre caracteres fenológicos e morfoagronômicos em feijão-caupi. **Rev. Ceres**, v. 59, n. 1, p. 88-94, 2012.
- COSTA, J. P. G. de; SOARES, P. L. M.; VIDAL, R. L.; NASCIMENTO, D. D. de.; FERREIRA JUNIOR, R. Reaction of common bean genotypes to the reproduction of *Meloidogyne javanica* and *Meloidogyne incognita*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, 2019.

DE OLIVEIRA, C. L.; OLIVEIRA, N. S.; DE OLIVEIRA, M. S. R. A.; CAMPOS, V. P.; MALUF, W. R.; GOMES L. A. A. J. R. C. Reaction of common bean to *Meloidogyne incognita* race 1 and *Meloidogyne javanica* 1. *Rev. Ceres*, v. 65, n. 4, jul./aug. 2018.

DELGADO-SALINAS, A.; BIBLER, R.; LAVIN, M. J. S. B. Phylogeny of the genus *Phaseolus* (Leguminosae): a recent diversification in an ancient landscape. **Systematic Botany**, v. 31, n. 4, p. 779-791, 2006.

FERRAZ RAMOS, R.; KASPARY, T. E.; BALARDIN R. R.; NORA, D. D.; ANTONIOLI, Z. I.; BELLÉ, C. Plantas daninhas como hospedeiras dos nematoides-das-galhas. **Revista Agronomia Brasileira**, v. 3, n. 3, 2019.

FERREIRA, E. P. D. B.; SILVA, O. F. D.; WANDER, A. E. Economics of rhizobia and azospirilla co-inoculation in irrigated common bean in commercial and family farming. *Crop Science. Pesq. Agropec. Bras.*, v. 55, 2020.

FERREIRA, S.; GOMES L. A. A.; MALUF, W. R.; CAMPOS, V. P.; CARVALHO FILHO, J. L. S.; SANTOS, D. C. J. H. Resistance of dry bean and snap bean cultivars to root-knot **HortScience**, [S.l.], v. 45, n. 2, p. 320-322, feb. 2010.

FERREIRA, S.; GOMES, L. A. A.; MALUF, W. R.; FURTINI, I. V.; CAMPOS, V. P. Genetic control of resistance to *Meloidogyne incognita* race 1 in the Brazilian common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Aporé. **Euphytica**, v. 186, n. 3, p. 867-873, 2012.

HADISOEGANDA, W.; SASSER, J. J. P. D. Resistance of tomato, bean, southern pea, and garden pea cultivars to root-knot nematodes based on host suitability. **Plant Disease**, v. 66, p. 145-150, 1982.

HUSSEY, R. J. P. D. R. A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp., including a new technique. **Journal Article**, v. 57, p. 1025-1028, 1973.

JAFFE, W. G.; OLIVEIRA J. D. de. Nutritional aspects of common beans and other legume seeds as animal and human foods. Meeting on Nutritional Aspects of Common Beans and Other Legume Seeds as Animal and Human Foods, Ribeirao Preto, SP (Brazil), 6 Nov 1973, **Sociedade Latinoamericana de Nutricion**, 1975. 305 p.

JONES, J. T.; HAEGEMAN, A.; DANCHIN, E. G.; GAUR, H. S.; HELDER, J.; JONES, M. G.; KIKUCHI, T.; MANZANILLA-LÓPEZ, R.; PALOMARES-RIUS, J. E.; W. M. J. M. p. p. Wesemael. Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. **Mol Plant Pathol.**, v. 14, n. 9, p. 946-61, 2013.

MOURA, R.; REGIS, E. J. N. B. Reações de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*) em relação ao parasitismo de *Meloidogyne javanica* e *M. incognita* (Nematoda: Heteroderidae). v. 10, n. 1, 1987.

PIRES, C. V.; OLIVEIRA, M. G. D. A.; ROSA, J. C.; COSTA, N. M. B. J. F. S. Technology Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes protéicas. **Food Sci. Technol.**, v. 26, n. 1, p. 179-187, 2006.

SANTOS, L. N. S. de; ALVES, F. R.; BELAN, L. L.; CABRAL, P. D. S.; MATTA, F. dr. P.; JESUS JUNIOR, W. C. de; MORAES, W. B. d. J. S. P. Damage quantification and reaction of bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.) to *Meloidogyne incognita* race 3 and *M. javanica*. **Summa phytopathol.**, v. 38, n. 1, p. 24-29, 2012.

SCHMUTZ, J., P. E. MCCLEAN, S. MAMIDI, G. A. WU, S. B. CANNON, J. GRIMWOOD, J. JENKINS, S. SHU, Q. SONG AND C. J. N. G. CHAVARRO. A reference genome for common bean and genome-wide analysis of dual domestications. **Nat Genet.**, v. 46, n. 7, p. 707-713, 2014.

SILVA, F.; RAMALHO, M.; ABREU, A. J. E. A. E. F.-A. E. P. I. Genetic control of *Meloidogyne incognita* resistance in common bean. **Journal Article**, v. 48, p. 64-65, 2005.

SIMÃO, G.; HOMECHIN, M.; SANTIAGO, D. C.; SILVA, R. T. V. da; RIBEIRO, E. R. J. C. R. Comportamento de duas cultivares de feijoeiro em relação a *Meloidogyne javanica*. v. **Cienc. Rural**, v. 35, n. 2, abr. 2005.

TRANI, P. E.; PASSOS, F. A.; PEREIRA, J. E.; SEMIS, J. B. J. C. I. **Calagem e adubação do feijão-vagem, feijão-fava (ou fava-italiana), feijão-de-lima e ervilha torta (ou ervilha-de-vagem)**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 2015.

VIEIRA, C. da.; BORÉM, A.; RAMALHO, M.; CARNEIRO, J. E. (Eds.) **Melhoramento do feijão**. v. 2, p. 301-391, 105, 2005.

WANDER, A. E.; ASSUNÇÃO, P. E. V. Dinâmica e concentração da produção de feijão na região centro-oeste do Brasil, 1990 a 2013. **R. Bras. Planej. Desenv.**, Curitiba, v. 4, n. 1, p. 5-21, jan./jun. 2015.

=