



JOSÉ MARIA VILLELA PÁDUA

**IMPLICAÇÕES DA SELEÇÃO PRECOCE PARA
RESISTÊNCIA À ANTRACNOSE NO
MELHORAMENTO GENÉTICO DO FEIJOEIRO**

**LAVRAS – MG
2013**

JOSÉ MARIA VILLELA PÁDUA

**IMPLICAÇÕES DA SELEÇÃO PRECOCE PARA RESISTÊNCIA À
ANTRACNOSE NO MELHORAMENTO GENÉTICO DO FEIJOEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção de título de Mestre.

Orientador

Dr. Magno Antonio Patto Ramalho

**LAVRAS – MG
2013**

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

Pádua, José Maria Villela.

Implicações da seleção precoce para a resistência a antracnose
no melhoramento genético do feijoeiro / José Maria Villela Pádua. –
Lavras : UFLA, 2013.

73 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Magno Antonio Patto Ramalho.

Bibliografia.

1. *Colletotrichum lindemuthianum*. 2. Melhoramento de plantas.
3. Seleção precoce. 4. Fungo fitopatogênico. I. Universidade Federal
de Lavras. II. Título.

CDD – 631.523

JOSÉ MARIA VILLELA PÁDUA

**IMPLICAÇÕES DA SELEÇÃO PRECOCE PARA RESISTÊNCIA À
ANTRACNOSE NO MELHORAMENTO GENÉTICO DO FEIJOEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção de título de Mestre.

APROVADA em 14 de fevereiro de 2013

Dr. Elaine Aparecida de Souza - UFLA

Dr. Flávio Henrique Vasconcelos de Medeiros - UFLA

Dr. Magno Antonio Patto Ramalho

Orientador

**LAVRAS – MG
2013**

RESUMO

Questiona-se a seleção precoce realizada em F_2 ou F_3 visando à resistência ao *Colletotrichum lindemuthianum* reduz a eficiência da seleção para a produtividade de grãos que é realizada em gerações mais avançadas. Para obter essa resposta foi utilizada a população segregante do cruzamento entre as linhagens de feijão CI107 x BRSMG *Madrepérola*. Em novembro de 2010 foi obtida a população F_2 e dividida em duas amostras, A e B. Na amostra A não foi efetuada nenhuma seleção. Na outra amostra (B), foi efetuada a seleção para a resistência à raça 65 da antracnose. A inoculação foi realizada em casa de vegetação. As plantas resistentes foram transplantadas para o campo, sendo obtidas as sementes da geração F_3 (resistente). Em fevereiro de 2011, foram semeadas três populações, sendo que a amostra B (resistente) foi subdividida em duas, uma que foi novamente inoculada pelo mesmo método (C) e outra que não foi inoculada (B). Foram obtidas 95 progênies $F_{3,4}$ de cada uma das populações que foram multiplicadas. As progênies $F_{3,5}$ de cada uma das origens mais quatro testemunhas foram avaliadas em um látice triplo 17x17, sendo coletados dados de severidade da doença e produtividade de grãos. Após as análises terem sido realizadas foram selecionadas as sessenta e quatro mais produtivas de cada população (A, B e C) para constituírem a geração $F_{3,6}$, que foram avaliadas em conjunto a quatro testemunhas, semeadas em fevereiro de 2012. O delineamento utilizado foi o látice triplo 14x14, sendo realizadas as mesmas análises. As vinte e seis progênies mais produtivas de cada amostra mais três testemunhas foram avaliadas num látice triplo 9x9, na safra com semeadura em julho de 2012, sendo avaliadas as mesmas características. Foram realizadas as análises de variância individuais e a conjunta e estimados parâmetros genéticos e fenotípicos. Constatou-se que a seleção precoce, realizada em F_2 e F_3 , para a resistência à antracnose em feijoeiro não reduz a variabilidade para a produtividade de grãos em gerações mais avançadas, pelo contrário ela amplia o sucesso com a seleção para a produtividade de grãos em gerações mais avançadas.

Palavras-chave: Melhoramento de plantas. Seleção precoce. *Colletotrichum lindemuthianum*.

ABSTRACT

It is questioned early selection held in F_2 or F_3 seeking to resistance *Colletotrichum lindemuthianum* reduces the selection efficiency for grain yield that is performed in the later generations. For this response was used a segregating population from a cross among the strains bean CI107 x BRSMG *Madrepérola*. In November 2010 the F_2 population was obtained and divided into two samples, A and B. In sample A was made no selection. In another sample (B) was performed the selection for resistance to race 65 of anthracnose. The inoculation was made in a greenhouse. The resistant plants were transplanted to the field, and obtained the generation seeds F_3 (resistant). In February 2011, three populations were sowed and the sample B (resistant) was divided into two, one which was again inoculated by the same method (C) and another that was not inoculated (B). Ninety-five $F_{3:4}$ progenies were obtained of each one the populations which have been multiplied. The $F_{3:5}$ progenies of each one origins and four controls were evaluated in a triple lattice 17x17, data about disease severity and grain yield were collected. After the analyzes have been carried out it was selected the sixty-four most productive progenies of each population (A, B and C) to constitute the $F_{3:6}$ generation, which were evaluated with four controls sown in February 2012. The design was a triple lattice 14x14, the same analyzes being performed. The twenty-six most productive progenies of each sample plus three controls were evaluated in a triple lattice 9x9, in July 2012 and evaluated the same characteristics. Analyses were performed using individual and joint variance and estimated genetic and phenotypic parameters. It was found that the early selection held in F_2 and F_3 , for anthracnose resistance in common bean does not reduce the variability for grain yield in later generations, instead it extends the success with the selection for grain yield in later generations.

Keywords: Plant breeding. Early selection. *Colletotrichum lindemuthianum*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Obtenção e avaliação das progênes. ¹ – Número de progênes de cada origem avaliadas.....	30
Figura 2	Distribuição de frequência da nota de severidade da antracnose do feijoeiro. Obtida na avaliação de progênes F _{3:6} , oriundas das progênes selecionadas em F ₂ (1), em F ₂ e F ₃ (2) e não selecionadas (3)	43
Figura 3	Distribuição de frequência da nota de severidade da antracnose do feijoeiro. Obtida na avaliação de progênes F _{3:7} , oriundas de progênes selecionadas em F ₂ (1), em F ₂ e F ₃ (2) e não selecionadas (3)	44
Figura 4	Distribuição de frequência da nota de severidade da antracnose do feijoeiro. Obtida na avaliação de progênes F _{3:7} inoculadas em casa de vegetação, oriundas de progênes selecionadas em F ₂ (1), em F ₂ e F ₃ (2) e não selecionadas (3)	47
Figura 5	Distribuição de frequência da produtividade de grãos (g/parcela) do feijoeiro. Obtida na avaliação de progênes F _{3:5} , oriundas de progênes selecionadas em F ₂ (A), em F ₂ e F ₃ (B) e não selecionadas (C).....	52
Figura 6	Distribuição de frequência da produtividade de grãos (g/parcela) do feijoeiro. Obtida na avaliação de progênes F _{3:6} , oriundas de progênes selecionadas em F ₂ (A), em F ₂ e F ₃ (B) e não selecionadas (C).....	53
Figura 7	Distribuição de frequência da produtividade de grãos (g/parcela) do feijoeiro. Obtida na avaliação de progênes F _{3:7} , oriundas de progênes selecionadas em F ₂ (A), em F ₂ e F ₃ (B) e não selecionadas (C).....	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Genes, alelos e fonte de resistência ao <i>C. lindemuthianum</i> já identificados	18
Quadro 2	Escala descritiva da severidade da antracnose do feijoeiro.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Representação da segregação proveniente das sucessivas autofecundações	24
Tabela 2	Número de plantas necessário nas diferentes gerações segregantes para se ter 11 alelos favoráveis com 95 % de probabilidade.....	25
Tabela 3	Estimativas das correlações genotípicas entre as famílias nas sucessivas gerações de endogamia.....	25
Tabela 4	Representação da segregação proveniente da seleção realizada nas sucessivas autofecundações	27
Tabela 5	Resumo da análise de variância conjunta da nota de severidade da antracnose do feijoeiro. Obtida na avaliação de progênies $F_{3:6}$ e $F_{3:7}$, oriundas de progênies selecionadas em F_2 , em F_2 e F_3 e as não selecionadas.....	42
Tabela 6	Componentes da interação progênies x gerações para a nota de severidade da antracnose do feijoeiro. Obtidas na avaliação de progênies $F_{3:6}$ e $F_{3:7}$ oriundas de progênies selecionadas em F_2 , em F_2 e F_3 e as não selecionadas	43
Tabela 7	Estimativas da nota de severidade da antracnose do feijoeiro. Obtidas na avaliação de progênies $F_{3:6}$ e $F_{3:7}$, oriundas de progênies selecionadas em F_2 , em F_2 e F_3 e as não selecionadas.....	43
Tabela 8	Estimativas dos componentes de variância, para a nota de severidade da antracnose do feijoeiro. Obtidas na avaliação de progênies $F_{3:6}$ e $F_{3:7}$ oriundas de progênies selecionadas em F_2 , em F_2 e F_3 e as não selecionadas	45

Tabela 9	Porcentagem de progênies entre as 20% melhores para a nota de severidade da antracnose do feijoeiro. Obtida na avaliação de progênies F _{3:6} e F _{3:7} oriundas de progênies selecionadas em F ₂ , em F ₂ e F ₃ e as não selecionadas.....	46
Tabela 10	Porcentagem de progênies entre as 20% piores para a nota de severidade da antracnose do feijoeiro. Obtida na avaliação de progênies F _{3:6} e F _{3:7} , oriundas de progênies selecionadas em F ₂ , em F ₂ e F ₃ e as não selecionadas.....	46
Tabela 11	Estimativas de ganhos esperados com a seleção (GS) para a nota de severidade da antracnose do feijoeiro. Obtidas na avaliação de progênies F _{3:6} e F _{3:7} oriundas de progênies selecionadas em F ₂ , em F ₂ e F ₃ e as não selecionadas.....	46
Tabela 12	Resumo da análise de variância por geração da produtividade de grãos (g/parcela) do feijoeiro. Oriunda de progênies selecionadas em F ₂ , em F ₂ e F ₃ e não selecionadas, obtida na avaliação de famílias F _{3:5} , F _{3:6} e F _{3:7}	49
Tabela 13	Estimativas da produtividade média de grãos (kg/ha) do feijoeiro. Obtidas na avaliação de progênies F _{3:5} , F _{3:6} , F _{3:7} , oriundas de progênies selecionadas em F ₂ , em F ₂ e F ₃ e não selecionadas.....	50
Tabela 14	Resumo da análise de variância conjunta da produtividade de grãos (g/parcela) do feijoeiro. Obtida na avaliação de progênies F _{3:5} , F _{3:6} e F _{3:7} , oriundas de progênies selecionadas em F ₂ , em F ₂ e F ₃ e as não selecionadas.....	51
Tabela 15	Estimativas dos componentes de variância, para a produtividade de grãos (g/parcelas) do feijoeiro. Obtidas na avaliação de progênies F _{3:5} , F _{3:6} e F _{3:7} oriundas de progênies selecionadas em F ₂ , em F ₂ e F ₃ e as não selecionadas.....	52

Tabela 16	Estimativas dos componentes de variância, para a produtividade de grãos (g/parcelas) do feijoeiro. Obtidas na avaliação de progênies $F_{3:5}$, $F_{3:6}$ e $F_{3:7}$ oriundas de progênies selecionadas em F_2 , em F_2 e F_3 e as não selecionadas.....	54
Tabela 17	Porcentagem de progênies entre as 20% melhores para a produtividade de grãos (g/parcelas) do feijoeiro. Obtida na avaliação de progênies $F_{3:5}$, $F_{3:6}$ e $F_{3:7}$ oriundas de progênies selecionadas em F_2 , em F_2 e F_3 e as não selecionadas.....	55
Tabela 18	Porcentagem de progênies entre as 20% piores para a produtividade de grãos (g/parcelas) do feijoeiro. Obtida na avaliação de progênies $F_{3:5}$, $F_{3:6}$ e $F_{3:7}$ oriundas de progênies selecionadas em F_2 , em F_2 e F_3 e as não selecionadas.....	55
Tabela 19	Estimativas de ganhos esperados com a seleção (GS) para a produtividade de grãos (g/parcelas) do feijoeiro. Obtidas na avaliação de progênies $F_{3:5}$, $F_{3:6}$ e $F_{3:7}$ oriundas de progênies selecionadas em F_2 , em F_2 e F_3 e as não selecionadas.....	56
Tabela 20	Estimativas da correlação entre a nota média de severidade da resistência ao patógeno e a produtividade média de grãos. Obtidas na avaliação de progênies $F_{3:5}$, $F_{3:6}$ e $F_{3:7}$ oriundas de progênies selecionadas em F_2 , em F_2 e F_3 e as não selecionadas. Lavras, 2011 e 2012	56

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Estresses bióticos na cultura do feijoeiro	14
2.2	Antracnose (<i>Colletotrichum lindemuthianum</i>).....	14
2.3	Controle genético da resistência ao <i>C. lindemuthianum</i>	16
2.4	Variabilidade patogênica do <i>C. lindemuthianum</i>	19
2.5	Melhoramento do feijoeiro por hibridação	21
2.6	Seleção precoce no melhoramento genético do feijoeiro	23
3	MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1	Local	29
3.2	Genitores	29
3.3	Obtenção da população segregante.....	30
3.4	Identificação das plantas F ₂ (amostra B) resistentes ao <i>Colletotrichum lindemuthianum</i>	30
3.5	Identificação das plantas F ₃ resistentes ao <i>Colletotrichum</i> <i>lindemuthianum</i>	31
3.6	Obtenção das progênies F _{3:5}	32
3.7	Avaliação das progênies F _{3:5} , F _{3:6} e F _{3:7}	32
3.8	Análise dos dados.....	34
4	RESULTADOS	41
5	DISCUSSÃO	57
6	CONCLUSÕES.....	64
	REFERÊNCIAS	65
	APÊNDICE	74

1 INTRODUÇÃO

No melhoramento genético do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*) são trabalhados alguns caracteres, entre eles a produtividade de grãos, arquitetura da planta, tipo de grãos e resistência a patógenos. Alguns desses caracteres como a produtividade de grãos têm baixa herdabilidade (h^2). Nesse caso a seleção só é efetiva após algumas gerações de endogamia e avaliação por meio de experimentos bem conduzidos.

Outros caracteres, como a resistência a alguns patógenos, entre eles a antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) apresenta herdabilidade normalmente alta, especialmente quando a seleção é realizada em casa de vegetação. Nessa condição a seleção precoce, nas gerações F_2 ou F_3 deve ser eficiente.

Na literatura existem casos que mostram a relação da seleção precoce de caracteres de alta herdabilidade sobre a variabilidade de caracteres de baixa herdabilidade (DONÇA, 2012; PADI; EHLERS, 2008; SANTOS et al., 2001). Foi constatado no trabalho realizado por Santos et al. (2001), com o feijoeiro que a seleção na geração F_3 para a cor dos grãos não afetou a variabilidade genética para a produtividade de grãos em geração avançada. Esses autores constataram ainda que a seleção precoce possibilitou que fossem obtidas linhagens que associassem alta produtividade com excelente tipo de grãos.

No caso da resistência à antracnose, sabe-se que existem mais de 13 genes e que eles são distribuídos em todos os cromossomos do feijoeiro (SINGH; SCHWARTZ, 2010). Sabe-se ainda que a doença afeta a produtividade de grãos (ABREU et al., 2003). Nessas condições, indaga-se se a seleção precoce, identificando as progênies resistentes ao patógeno pode reduzir a variabilidade genética para a produtividade de grãos, em gerações mais avançadas.

Diante do exposto o objetivo deste trabalho foi o de verificar a influência da seleção nas gerações F_2 ou em F_2 e F_3 para a resistência ao *Colletotrichum*, na variabilidade genética para a produtividade de grãos e consequentemente, no sucesso com a seleção em gerações mais avançadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Estresses bióticos na cultura do feijoeiro

A cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) envolve desde agricultores de subsistência até produtores altamente tecnificados, o que contribui para uma enorme diferença no manejo dessa leguminosa. Enquanto os agricultores mais tecnificados utilizam uma maior tecnologia para a produção do feijoeiro, como a adoção de sementes tratadas e fungicidas, os agricultores tipicamente familiares fazem, na sua grande maioria, cultivos de forma rudimentar para sua subsistência, não fazendo o controle de pragas e doenças, contribuindo de forma expressiva para a redução na produtividade média de grãos.

Existem vários fatores que contribuem para a redução da produtividade de grãos do feijoeiro, Miklas et al. (2006) apresentam uma revisão com os principais estresses bióticos que afetam a cultura. Entre eles estão: a ocorrência de vírus, bactérias, fungos e determinados tipos de pragas. É preciso salientar que o principal estresse biótico que afeta a produtividade de grãos de feijoeiro no país, se dá pela ocorrência de doenças causadas por fungos. Entre elas, destaca-se a *Colletotrichum lindemuthianum*, agente causal da antracnose, sendo encontrada nas diferentes regiões do Brasil e em todas as safras de cultivo. Há, também, outras doenças que, dependendo das condições, podem ocasionar sérios danos. Uma descrição desses patógenos é apresentada por Paula Júnior e Zambolim (2006).

2.2 Antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*)

A antracnose é amplamente distribuída nos estados brasileiros, ocorrendo em áreas serranas onde a temperatura moderada favorece o seu

desenvolvimento, como é o caso de Estados tais como, Minas Gerais, Paraná e Rio Grande do Sul. Entretanto a doença não chega a ser importante em regiões mais secas e quentes (VIEIRA et al., 2005). No mundo esta ocorre em países como o México (CRISPÍN-MEDINA; CAMPOS-ÁVILA,1976), Colômbia e Venezuela (ECHANDI, 1976) tendo ampla distribuição.

O fungo, na fase anamórfica, é denominado *Colletotrichum lindemuthianum* e pertence à ordem *Sordariomycetos*. A doença é favorecida por temperaturas entre 13 e 27^oC, com ótimo a 21^oC e umidade relativa acima de 91%. Os conídios germinam entre 6 e 9 horas sob condições favoráveis, formam tubo germinativo que posteriormente produz os conídios unicelulares, num corpo de frutificação denominado acérvulo. Sob condições favoráveis, o conídio produz um tubo germinativo curto, formando um apressório na extremidade. O micélio septado e ramificado é inicialmente hialino e, posteriormente, escuro, à medida que envelhece (BAILEY; JEGER, 1992). A penetração ocorre mecanicamente pela cutícula e epiderme do hospedeiro. O aparecimento dos sintomas aparece a partir de seis dias após o início da infecção (PASTOR-CORRALES; TU, 1994). Já a disseminação do fungo ocorre por meio de respingos de água de chuva e irrigação.

Os sintomas da antracnose podem ser observados em qualquer órgão da parte aérea da planta, dependendo da fonte do inóculo e intensidade da doença. Lesões marrom-escuras ou negras surgem nos cotilédones em decorrência da transmissão da doença pela semente. As lesões no caule e no pecíolo são, normalmente, em formato elíptico, deprimidas e escuras, podendo aprofundar-se no tecido infectado quando as condições são favoráveis. Nas folhas, os sintomas mais característicos surgem na face inferior, como escurecimento ao longo das nervuras. Às vezes, canchros ou necroses das áreas das nervuras são também observados. Nas vagens, as lesões são circulares, inicialmente de coloração marrom-clara, evoluindo, posteriormente, para lesões deprimidas e escuras, com

o centro mais claro. Em condições favoráveis, surge, no centro das lesões, uma coloração rósea, ocasionada pela produção de uma massa de esporos do fungo. Sementes infectadas apresentam lesões escuras e deprimidas, de tamanhos variáveis. Com o progresso da doença, as vagens podem murchar e secar. A antracnose também deprecia a qualidade do produto por ocasionar manchas nos grãos, tornando-os indesejáveis para o consumo (CHAVES, 1980).

Estudos mostraram que a maior incidência da antracnose ocorreu no denominado plantio da seca, devido às temperaturas amenas e ao uso da irrigação por aspersão (GARCIA, 1998; PINTO et al., 2001). Esta também tem sido muito frequente na safra das águas, pela maior umidade, temperatura e intensidade das chuvas presentes durante a safra.

Essa doença é mais severa quando ocorre no início do desenvolvimento da planta, em conjunto às condições favoráveis para o desenvolvimento da mesma (GONZALES et al., 1998; RAVA et al., 1993, 1994).

2.3 Controle genético da resistência ao *C. lindemuthianum*

Para o controle da antracnose do feijoeiro podem ser utilizadas as práticas culturais, como a utilização de sementes sadias, rotação de culturas com plantas não hospedeiras e o controle químico, por meio da aplicação de fungicidas. Porém, o método de controle mais eficiente, prático e econômico é a utilização de cultivares resistentes, principalmente em um país como o Brasil, onde há predomínio de agricultores familiares e médios agricultores que não utilizam fungicidas devido ao seu alto custo.

O melhoramento genético visando resistência a doenças é uma estratégia que preza a economia e minimiza os impactos ambientais com o controle do patógeno. Desde o início do século, os melhoristas estão em busca de novas fontes de resistência, em razão da importância de se obter cultivares resistentes à

C. lindemuthianum, que é dificultado pela existência de um grande número de raças. No Brasil mais de 50 raças foram identificadas (SILVA et al., 2007).

O controle genético da resistência ao *C. lindemuthianum*, vem sendo estudado há longo tempo. Embora existam dúvidas a respeito do número de genes envolvidos, sabe-se que ele é grande (SINGH; SCHWARTZ, 2010). Uma relação dos genes já descritos e a fonte de resistência são apresentadas no Quadro 1. Verifica-se que para a maioria dos genes o alelo de resistência é dominante. Apenas no caso do gene *co-8*, o alelo recessivo confere a resistência.

O controle genético da antracnose demonstrou ser monogênico na cultura do feijoeiro em algumas ocasiões (ALZATE-MARIN et al., 1997; CARDENAS; ADAMS; ANDERSEN, 1964; GONÇALVES-VIDIGAL; KELLY, 2006; MASTENBROEK, 1960; MUHALET et al., 1981). Dessa forma, o controle da antracnose por meio de cultivares resistentes é amplamente viável, pois existem vários genes independentes no feijão, ou seja, situados em cromossomos diferentes e, em cada um deles, há um ou mais alelos que conferem resistência a várias raças (ALZATE-MARIN et al., 2001; GEFFROY et al., 2008).

Essas linhagens vêm sendo amplamente utilizadas em programas de melhoramento visando resistência a doenças. Dentre estas merecem destaque as linhagens AB-136 e G2333 que são as que apresentam resistência a um maior número de isolados de *C. lindemuthianum*. Um complicador na utilização dessas linhagens é que elas apresentam grãos que não são do tipo Carioca, por isso, os melhoristas estão tendo dificuldades em associar todos os genes de resistência dessas linhagens e os grãos do tipo Carioca.

A resistência da cultivar TO foi avaliada individualmente quanto às raças 7, 9 e 39, utilizando 86 famílias $F_{2:3}$ (16 plantas por família $F_{2:3}$) derivadas do cruzamento entre TO x MDRK (*Michigan Dark Red Kidney*). As plantas foram inoculadas e avaliadas de acordo com o método-padrão descrito por

Pastor-Corrales e Tu (1994). O genitor *TO* é resistente as três raças enquanto o genitor *MDRK* é suscetível a todas elas. Em resumo ficou elucidado que o controle genético da resistência à antracnose na cultivar *TO* é mais complexa do que relatada em publicações anteriores (TRABANCO, 2011).

Quadro 1 Genes, alelos e fonte de resistência ao *C. lindemuthianum* já identificados

Gene	Alelo de resistência	Resistentes às raças	Fonte de resistência	Origem
Co-1	Dominante	453 - 585	<i>Michigan Dark Red Kidney</i>	A
Co-2	Dominante	7, 23, 55, 64, 65, 67, 81, 83, 87, 97, 101, 117, 119, 339, 453	Cornell	M
Co-3	Dominante	8, 9, 129, 133, 136, 385, 521, 901, 905	México 222	M
Co-4	Dominante	7, 8, 23, 55, 64, 65, 67, 72, 73, 79, 81, 83, 87, 89, 95, 97, 101, 102, 117, 119, 585	<i>TO</i>	M
Co-4 ²	Dominante	Resistente à maioria das raças conhecidas no Brasil	G-2333	M
Co-5	Dominante	Resistente à maioria das raças conhecidas no Brasil	Tu, G-2333	M,M
Co-6	Dominante	Resistente à maioria das raças conhecidas no Brasil	AB 136	M
Co-7	Dominante	Resistente à maioria das raças conhecidas no Brasil	G-2333	M
Co-8	Recessivo	23,64,65,73 *	AB 136	M
Co-9	Dominante	23,64,73 *	BAT 93	M
Co-10	Dominante	23,64,73 *	Ouro Negro	M
Co-11	Dominante	64 *	Michelite	M
Co-12	Dominante	23,64,65 *	Jalo Vermelho	A
Co-13	Dominante	64,65,73 *	Jalo Listras Pretas	A

Adaptado de Gonçalves-Vidigal (2011) e Singh e Schwartz (2010)

* Não estão listadas todas as raças

Outros estudos vêm sendo feitos no sentido de verificar se essas cultivares (Quadro 1) apresentam os genes de resistência citados, como foi verificado também para a cultivar MEXICO 222, na qual observou-se que essa

apresenta o alelo de resistência Co-7 ao contrário do que foi constatado em publicações anteriores (LOBATO et al., 2010).

Tem sido demonstrado que há variabilidade genética no germoplasma do feijoeiro, quanto à resistência, em maior ou menor intensidade, a todos os patógenos, o que permite inferir que é possível obter cultivares resistentes. O principal problema é que os patógenos, seja fungo, bactéria ou vírus, também apresentam variabilidade. Isso implica que a resistência obtida nem sempre é duradoura ou eficiente em todas as regiões de cultivo.

2.4 Variabilidade patogênica do *C. lindemuthianum*

Como já foi comentado, o principal complicador na obtenção de cultivares com resistência duradoura ao *C. lindemuthianum* é a existência de inúmeras raças. Em várias oportunidades foram realizados estudos visando caracterizar a variabilidade patogênica desse patógeno (BONETT; SCHEWE; SILVA, 2008; GONZALES et al., 1998; PEREIRA et al., 2010; PINTO et al., 2012; SARTORATO, 2002; SICARD et al., 1997; SOMAVILLA; PRESTES, 1999; TALAMINI et al., 2004).

Visando caracterizar as raças de *C. lindemuthianum* presentes no Estado de Minas Gerais, Silva et al. (2007) utilizaram quarenta e oito isolados do fungo, coletados em quatro regiões do Estado. Utilizando o conjunto das 12 cultivares diferenciadoras, proposto pelo *International Center for Tropical Agriculture (CIAT)*, identificaram que as raças 65, 73 e 81 foram as mais frequentes e mais comumente distribuídas nas regiões do Estado. Principalmente quando se consideraram isolados da raça 65, que é a predominante no Estado de Minas Gerais, foi constatado que há variação entre os isolados classificados como sendo da raça 65. Em princípio isso pode ser um indicativo que o conjunto das cultivares diferenciadoras não distingue diferentes isolados de uma mesma raça.

Essa variabilidade dentro de raças tem dificultado o desenvolvimento de cultivares com resistência durável.

Quando consideramos outras regiões, existem trabalhos na literatura que mostram a predominância da raça 65 desse patógeno (BALLARDIN, 1997; RAVA; PURCHIO; SARTORATO, 1994). Algumas cultivares ou linhagens vêm sendo utilizadas pelas instituições como fonte de genes de resistência a essa raça (Quadro 1).

A ampla variabilidade patogênica entre e dentro de raças do *Colletotrichum lindemuthianum* tem dificultado o processo de obtenção de cultivares de *Phaseolus vulgaris* resistentes à antracnose. Seis isolados foram inoculados em 12 cultivares diferenciadoras e sete cultivares comerciais. Constatou-se que o conjunto de cultivares diferenciadoras recomendado para a determinação das raças de *C. lindemuthianum* é ineficiente em detectar diferenças dentro da raça 65, e isso sugere que novas fontes de resistência devam ser identificadas e adicionadas a esse conjunto de cultivares (DAVIDE; SOUZA, 2009).

Para diferenciar a variação dentro da raça 65, foram identificadas novas cultivares que poderiam ser utilizadas como complementares ao conjunto de diferenciadoras. As linhagens utilizadas com o respectivo número binário propostas por Ishikawa, Ramalho e Souza (2011) foram: Estilo (2⁰), Majestoso (2¹), Supremo (2²), União (2³), Valente (2⁴), Ouro Vermelho (2⁵), Madrepérola (2⁶) e Talismã (2⁷).

Outro estudo realizado indicou a existência da variabilidade intraespecífica do *C. lindemuthianum*. Observou-se que o conjunto de diferenciadoras não está sendo eficiente para avaliar a variabilidade patogênica desse fungo (WENDLAND et al., 2011).

2.5 Melhoramento do feijoeiro por hibridação

O feijão é uma planta autógama com uma taxa de autofecundação maior que 95% (MARQUES JÚNIOR; RAMALHO, 1995; PEREIRA FILHO; CAVARIANI, 1984). Os métodos empregados no melhoramento podem ser a introdução de linhagens e/ou cultivares, a seleção de linhas puras e aqueles que utilizam a variabilidade produzida pela hibridação.

O método da hibridação consiste na combinação de dois ou mais fenótipos desejáveis encontrados em indivíduos distintos. Por meio do cruzamento desses indivíduos, obtém-se uma população com suficiente variabilidade genética, na qual será feita seleção com objetivo de obter uma ou mais linhagens com fenótipos desejáveis para as características de interesse (BORÉM; MIRANDA, 2009).

No caso de caracteres de alta herdabilidade, como resistência a doenças, cor e peso dos grãos, já se pode praticar a seleção a partir da F_2 . Já para caracteres de herdabilidade baixa, como produtividade de grãos, é necessário conduzir as populações segregantes até gerações mais avançadas, quando as plantas já estão praticamente em homozigose (F_5 ou F_6). Nesse caso, deve-se avaliar as linhagens em parcelas com maior número de plantas e repetições, para se aumentar a eficiência na seleção (RAMALHO; ABREU; SANTOS, 2001).

Existem vários métodos de condução de populações segregantes (ALMEIDA; KIIHL; ABDELNOOR, 1997; MALLMANN et al., 1994; PATIÑO; SINGH, 1989). O primeiro método, o *bulk* ou o método da população foi proposto por Nilson-Ehle em 1908, para a cultura do trigo (ELLIOT, 1958). Nesse método a partir da geração F_2 , as plantas são colhidas em conjunto, sendo tomada uma amostra de sementes para a obtenção da população F_3 . O processo se repete, geralmente até F_5 ou F_6 , quando são extraídas linhas, ou seja, são colhidas plantas individuais, que darão origem às famílias para serem avaliadas

em experimentos com repetições, até que se identifiquem as melhores linhagens. Essas linhagens serão então incluídas em experimentos com repetições. No método em questão não é efetuada nenhuma seleção até que a maioria dos locos atinja a homozigose. No entanto, para caracteres como a resistência a patógenos, que apresentam alta herdabilidade, efetua-se a seleção já em F₂ (RAMALHO et al., 2012). A grande vantagem desse método é a facilidade de condução, ou seja, necessita-se de pouca mão de obra, e os custos são reduzidos, quando comparados com os outros métodos. Adicionalmente, a seleção natural é utilizada, nas gerações iniciais, selecionando-se os indivíduos mais adaptados e competitivos (ALLARD, 1960).

O método genealógico ou *pedigree* foi proposto no final do século passado, porém foi Love em 1927 o primeiro a descrever o método (BORÉM; MIRANDA, 2009). Esse método tem como princípio a seleção de plantas individuais a partir da geração F₂, as quais são colhidas separadamente e suas sementes são plantadas em linhas na geração F₃, quando é feita a seleção das melhores progênies e dos melhores indivíduos dentro das progênies. O processo se repete até que a maioria dos locos esteja em homozigose, quando são selecionados os melhores indivíduos para serem incluídos em experimentos regionais de competição de cultivares (RAMALHO et al., 2012). A maior vantagem desse método é o acompanhamento da genealogia. Com isso, pode-se verificar a origem de uma linhagem, porém a utilidade dessas anotações pode não ser útil, visto que a recuperação de um genótipo, realizando um cruzamento de mesmos genitores é praticamente impossível. Como desvantagem, nesse método a seleção realizada é visual, sendo esta considerada como de baixa eficiência, especialmente quando se trata de caracteres quantitativos (CUTRIM; RAMALHO; CARVALHO, 1997; SILVA et al., 1994).

Um terceiro método proposto por Frey em 1954 é o *bulk* dentro de famílias. Esse método engloba os dois outros métodos citados anteriormente, o

bulk e o genealógico, tendo como vantagem reduzir o efeito da amostragem existente no *bulk* e o trabalho com as anotações de genealogia requeridas no genealógico. Nesse método, retiram-se progênies ou linhas do *bulk* nas gerações iniciais, ou seja, em F₂ ou F₃, o *bulk* é “aberto”. Portanto, ao contrário do *bulk* original, onde as plantas colhidas individualmente, apresentam grande parte dos locos em homozigose, nesse método as plantas escolhidas apresentam alta heterozigidade, sendo, portanto, conduzidas por mais algumas gerações, para serem colhidas as melhores linhagens dentro dessas famílias. Além disso, as famílias são avaliadas em experimentos conduzidos por mais de uma geração e em mais locais, propiciando ao melhorista uma maior segurança no momento da seleção, visto que o efeito da interação genótipos x ambientes é atenuado. A principal desvantagem é o grande trabalho envolvido na avaliação das famílias em experimento com repetições. Em função disso, fica muito difícil avaliar um maior número de famílias e, em consequência, pode não se ter uma boa representatividade da variabilidade gerada no cruzamento.

2.6 Seleção precoce no melhoramento genético do feijoeiro

Os melhoristas, normalmente, consideram vários caracteres na seleção. Alguns deles são qualitativos, tais como a cor dos grãos, hábito de crescimento e a resistência a alguns patógenos (ALZATE-MARIN et al., 1997). Já outros caracteres, entre eles a produtividade de grãos, são controlados por muitos genes e sofrem grande influência do ambiente. Uma estratégia que tem sido sugerida é a seleção de caracteres qualitativos, de fácil avaliação e alta herdabilidade, em gerações precoces e para os caracteres quantitativos, que apresentam baixa herdabilidade, a seleção deve ser postergada para gerações mais avançadas.

A seleção precoce proposta aqui é aquela realizada em F₂ ou F₃ visando ampliar o sucesso com a seleção. Será utilizado para exemplificar apenas um

loco contendo o gene D. Na geração F₁, do cruzamento de genitores contrastantes, 100% dos indivíduos terão o genótipo Dd. Com uma autofecundação, e conseqüente obtenção da F₂, a frequência de genótipos heterozigóticos será reduzida à metade, e o restante será distribuído em igual proporção aos dois genótipos homozigóticos, ficando $\frac{1}{4}$ DD, $\frac{1}{2}$ Dd e $\frac{1}{4}$ dd. As frequências esperadas com as demais autofecundações são apresentadas na Tabela 1. Se for considerado um número maior de genes, por exemplo, 11, e admitindo-se que cada um deles esteja localizado em um cromossomo diferente, a frequência de indivíduos com pelo menos um alelo favorável em cada um dos 11 locos, com 95% de probabilidade é apresentada na Tabela 2 (RAMALHO et al., 2012).

Tabela 1 Representação da segregação proveniente das sucessivas autofecundações

Geração	Genótipos (%)		
	DD	Dd	dd
F ₁	0	100	0
F ₂	25	50	25
F ₃	37,5	25	37,5
F ₄	43,75	12,5	43,75
F ₅	46,875	6,25	46,875

Observa-se que a probabilidade de ocorrência de um indivíduo com todos os alelos favoráveis em homozigose na geração F₂ é muito pequena, seria necessário avaliar uma população muito grande de plantas para garantir a sua ocorrência. Quando se consideram homozigotos e heterozigotos, esse número de plantas é drasticamente reduzido, pois com apenas 69 plantas é possível manter uma com todos os alelos (RAMALHO et al., 2012). Outro ponto é que com uma geração de autofecundação, as frequências genotípicas são alteradas de tal modo que se torna muito difícil manter todos os alelos favoráveis na população em

gerações avançadas, sendo que para isso, é necessário manter-se uma população maior a cada geração, tornando a condução do melhoramento muito onerosa.

Tabela 2 Número de plantas necessário nas diferentes gerações segregantes para se ter 11 alelos favoráveis com 95 % de probabilidade

Gerações	Homozigose		Homozigose e/ou heterozigose	
	Freq. Evento	Nº plantas ^{1/}	Freq. Evento	Nº plantas ^{1/}
F ₂	(1/4) ¹¹	1254988	(3/4) ¹¹	69
F ₃	(3/8) ¹¹	145263	(5/8) ¹¹	525
F ₄	(7/16) ¹¹	26651	(9/16) ¹¹	1678
F ₅	(15/32) ¹¹	12477	(17/32) ¹¹	3148
F ₆	(31/64) ¹¹	8698	(33/64) ¹¹	4372
F _∞	(1/2) ¹¹	6134	(1/2) ¹¹	6134

Fonte: Adaptado por Ramalho, Santos e Zimmermann (1993 citado por RAMALHO et al., 2012)

^{1/} Número de plantas estimado pela expressão: $[\log (1-0,95)] / [\log (\text{freq. Evento})]$

Um trabalho bem elucidativo da eficiência da seleção precoce foi realizado por Bernardo (1991). Segundo ele, a eficiência da seleção precoce depende da correlação fenotípica da geração de seleção e a genotípica na F_∞ (r_{gxg∞}). Essa correlação por sua vez é função do coeficiente de endogamia (I), ou seja, $r_{gxg\infty} = \sqrt{(1 + Ix) / (1 + I\infty)}$. Como a correlação genética entre famílias nas sucessivas gerações é normalmente alta (Tabela 3), depreende-se que a seleção precoce só será eficaz para caracteres de alta herdabilidade.

Tabela 3 Estimativas das correlações genotípicas entre as famílias nas sucessivas gerações de endogamia

Geração i	Geração j			
	F _{2:4}	F _{2:5}	F _{2:6}	F _{2:∞}
F _{2:3}	0,5	0,93	0,89	0,88
F _{2:4}	0,75	0,97	0,95	0,93
F _{2:5}	0,875		0,98	0,97
F _{2:6}	0,9375			0,98

Fonte: Adaptado de Bernardo (1991 citado por RAMALHO; ABREU; SANTOS, 2001)

No caso de se realizar a seleção na geração F_2 , ou seja, eliminar os indivíduos com alelos recessivos, a população contará apenas com os homozigotos dominantes e os heterozigotos, na proporção de $1/3$ e $2/3$ respectivamente. Nesse caso, se acontecer mais uma geração de autofecundação a nova frequência genotípica será $3/6DD$, $2/6Dd$ e $1/6dd$ respectivamente, assim a cada autofecundação são eliminados os genótipos recessivos, reduzindo sua frequência na população e ressaltando na eficiência da seleção precoce (Tabela 4).

A seleção precoce é vantajosa, porém alguns aspectos têm que ser considerados para sua utilização. O sucesso, na maioria dos casos, depende da eficiência da seleção visual que nem sempre é alta (CUTRIM; RAMALHO; CARVALHO, 1997; PATIÑO; SINGH, 1989). A fim de se testar a eficiência da seleção visual para a produtividade de grãos no feijoeiro, Silva et al. (1994) tomaram 100 progênies $F_{2.3}$ do cruzamento entre as cultivares Carioca e Emgopa-Ouro. Cada um dos dez avaliadores, que diferiam na experiência com a cultura, escolheu-se visualmente as dez progênies que eles consideravam ser de maior produtividade. Essas progênies foram colhidas e obteve-se a produtividade de grãos. Foi realizada a coincidência de cada avaliador com as progênies mais produtivas. Constatou-se que a maior concordância foi de 22,2% e que a eficiência não esteve associada com a experiência do avaliador, mostrando a dificuldade de se trabalhar com a seleção visual. Outra dificuldade é a ocorrência de interação dos genótipos e indivíduos x ambientes. Dependendo da sua magnitude, a interação pode reduzir acentuadamente a eficiência da seleção precoce. Tanto é assim que vários trabalhos já foram realizados, os quais mostram a ineficiência da seleção precoce em espécies como a soja (BOERMA; COOPER, 1975), o trigo (LUNGU; KALTSIKES; LARTER, 1987; WHAN; RATHJEN; KNIGHT, 1981; WHAN; KNIGHT; RATHJEN, 1982) e o caupi (PADI; EHLERS, 2008).

Tabela 4 Representação da segregação proveniente da seleção realizada nas sucessivas autofecundações

Geração	Genótipos (Proporção)		
	DD	Dd	dd
F ₁	0	1	0
F ₂	1/3	2/3	0
F ₃	3/6	2/6	1/6 X
F ₄	7/10	2/10	1/10 X
F ₅	15/18	2/18	1/18 X

Com o objetivo de avaliar se a seleção precoce para a produtividade de grãos é eficiente, foi utilizada uma população segregante do cruzamento entre Carioca e FT-Tarumã. De cada família derivada da geração F₂, da F₂ do RC₁ e da F₂ do RC₂ foram extraídas 64 famílias. Essas 192 famílias F_{2,3} mais os dois genitores e duas testemunhas foram avaliados até a geração F_{2,6}. Simulou-se a seleção das 20 famílias mais produtivas e das 20 menos produtivas. As estimativas do ganho com a seleção (G.S.%) demonstram que, no caso da geração F_{2,3}, houve ganhos em todas as demais gerações, exceto F_{2,5}. A interação das progênie X gerações só não foi significativa quando compararam-se as gerações F_{2,3} e F_{2,4}. A decomposição da interação em parte simples e complexa revelou predominância da parte complexa, indicando que a interação ocorreu, principalmente, devido à alteração na classificação das famílias no decorrer das gerações. A seleção precoce foi eficiente em eliminar as famílias menos produtivas, o que reduz o trabalho dos melhoristas no avanço das gerações. Além disso, fica evidenciada a necessidade de se avaliarem as famílias em mais de uma geração e local, em virtude da importância da interação genótipos por ambientes sobre a seleção precoce (ROSAL et al., 2000).

O que se questiona é se a seleção precoce para caracteres de alta herdabilidade não irá reduzir o sucesso com a seleção para os caracteres de baixa herdabilidade em gerações avançadas. Essa informação já foi obtida na seleção precoce para o tipo de grão e a produtividade de grãos em gerações avançadas.

Santos et al. (2001) utilizaram uma população segregante do cruzamento das cultivares Pérola x Ouro Negro. Na geração F_2 as sementes colhidas foram divididas em duas partes, selecionando-se em uma delas os grãos dentro do padrão carioca, enquanto na outra não se fez nenhuma seleção. As plantas F_3 de ambas as subpopulações foram colhidas individualmente obtendo-se 199 progênies por subpopulação. As 398 progênies foram avaliadas simultaneamente nas gerações $F_{3:4}$ e $F_{3:5}$ em dois locais. Para o caráter produtividade de grãos constatou-se que, na média, não ocorreram diferenças entre as progênies selecionadas para o tipo de grão, e as não selecionadas. A estimativa de herdabilidade foi semelhante nas progênies das duas subpopulações. Esses autores comentaram que o fato de ter sido efetuada a seleção precoce para tipo de grãos na geração F_2 , não reduziu o potencial da população para extração de linhagens com maior produção de grãos.

Apesar de existirem alguns trabalhos com o intuito de se verificar a eficiência da seleção precoce, não há estudos que ilustrem o efeito dessa seleção precoce para a resistência a patógenos, que apresenta alta herdabilidade e sua relação com a variabilidade para a produtividade de grãos no feijoeiro, que apresenta baixa herdabilidade.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local

Os experimentos foram conduzidos na área experimental da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Lavras, MG está situada a 918m de altitude, latitude de 21°14' (Sul) e longitude de 40°17' (Oeste).

3.2 Genitores

A população segregante foi obtida do cruzamento entre as linhagens:

CI-107 e BRSMG Madrepérola

A linhagem CI-107 é proveniente do programa de melhoramento da Universidade Federal de Lavras (UFLA), tem boa produtividade de grãos, associada aos grãos do tipo carioca, de bom aspecto e cozimento rápido (PAULA, 2004). A principal desvantagem é a suscetibilidade às raças 65, 67, 72, 73, 81, 87, 89, 321, 329, 337 do *C. lindemuthianum* (SILVA; SOUZA; ISHIKAWA, 2005). A cultivar BRSMG Madrepérola, a partir desse momento, denominada Madrepérola, é oriunda do cruzamento entre as linhagens AN512666-0 e AN730031. Apresenta boa produtividade de grãos, tem grãos do tipo carioca, associado ao fato dos grãos serem claros e apresentarem escurecimento tardio. Além disso, essa é resistente às raças 55, 65, 73, 81, 89, 95 e 453 de antracnose (CARNEIRO et al., 2012).

3.3 Obtenção da população segregante

Os cruzamentos foram efetuados em casa de vegetação no primeiro semestre de 2010. As sementes da geração F_1 foram semeadas em julho de 2010 e obtidas sementes F_2 . As sementes da população F_2 foram divididas em duas amostras, A e B. Na amostra A não foi efetuada nenhuma seleção. Já na amostra B foi efetuada a seleção em casa de vegetação para resistência à antracnose (Figura 1).

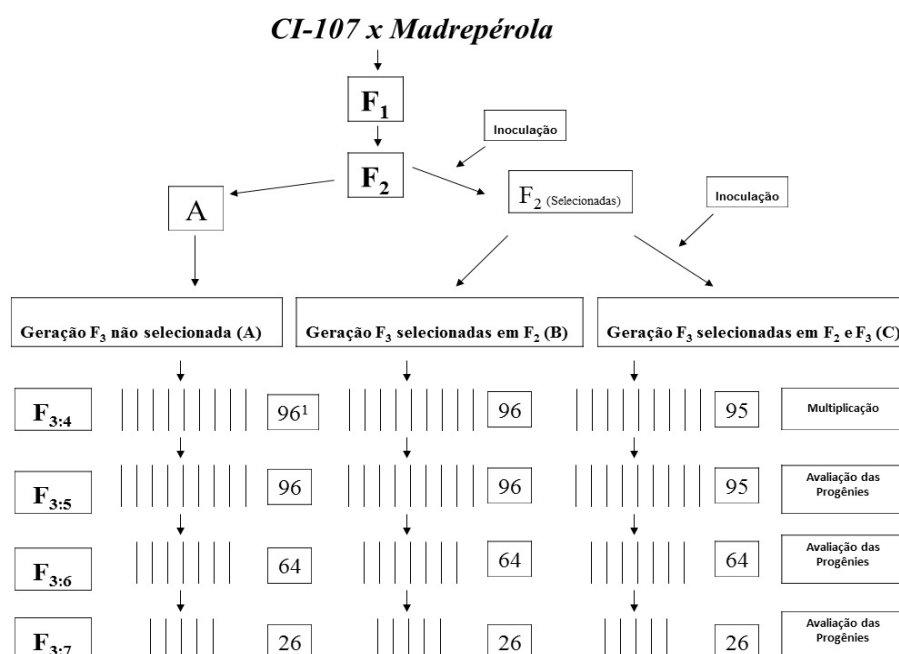


Figura 1 Obtenção e avaliação das progênies. ¹ – Número de progênies de cada origem avaliadas

3.4 Identificação das plantas F_2 (amostra B) resistentes ao *Colletotrichum lindemuthianum*

A inoculação foi realizada em casa de vegetação, utilizando o isolado LV-180 da raça 65. A metodologia de inoculação foi semelhante à adotada por

Silva et al. (2011). Para a obtenção do inóculo as culturas monospóricas foram repicadas para vagens de feijão previamente esterilizadas, dentro de tubos de ensaio, parcialmente imersas em meio ágar-água, por um período de incubação de oito a dez dias, a $22 \pm 2^\circ\text{C}$. A partir dessas vagens, foram preparadas suspensões de esporos na concentração de $1,2 \times 10^6$ conídios/ml⁻¹.

As sementes da amostra B foram semeadas em bandejas de 128 células com substrato. Após germinarem, as plântulas foram inoculadas após a expansão completa das folhas primárias, pulverizando-se ambas as faces das folhas e o caule, utilizando o pulverizador “*De Vilbiss*” acionado por um compressor, em toda a plântula até o ponto de escorrimento. Após a inoculação, as bandejas foram incubadas em câmara úmida por 48 horas com temperatura em torno de 21°C , e fotoperíodo de 12 horas.

Posteriormente, as bandejas foram transferidas para a casa de vegetação, local onde permaneceram até a avaliação dos sintomas pela escala de notas modificada de Rava et al. (1993) (Tabela 6), que foi realizada sete dias após a inoculação. Em seguida, procedeu-se o transplântio dos indivíduos resistentes para o campo. Na colheita foram obtidas as sementes da geração F₃ (resistentes).

3.5 Identificação das plantas F₃ resistentes ao *Colletotrichum lindemuthianum*

As sementes da população B oriundas de plantas resistentes da etapa anterior foram novamente divididas em duas amostras, a primeira (B) cuja avaliação da resistência ao *C. lindemuthianum* aconteceu apenas em F₂ e a segunda, amostra C, cuja resistência à antracnose foi novamente avaliada na geração F₃, de modo semelhante ao descrito no item 3.4.

3.6 Obtenção das progênies F_{3:5}

Em fevereiro de 2011 as amostras A e B foram semeadas em *bulk* obtendo-se as plantas da geração F_{3:4}. Já a amostra C, que sofreu a seleção na geração F₃, depois de ter sido inoculada em casa de vegetação, as plantas resistentes foram transplantadas para o campo. Essas foram colhidas individualmente originando as progênies da geração F_{3:4}.

Na safra com semeadura em julho de 2011 as progênies F_{3:4} foram semeadas no campo visando à multiplicação das sementes e obtenção das progênies F_{3:5} (Figura 1).

3.7 Avaliação das progênies F_{3:5}, F_{3:6} e F_{3:7}

As progênies F_{3:5} obtidas de cada população (96 progênies das amostras A e B e 95 progênies da amostra C) mais os genitores, foram avaliadas utilizando o delineamento látice triplo 17x17 (96x2+95+2=289), com parcelas de duas linhas de dois metros e o espaçamento de 0,6m entre linhas, com 15 sementes por metro. Esse experimento foi conduzido na denominada “safra das águas”, com semeadura em novembro de 2011. Utilizou-se na semeadura, o equivalente a 350 Kg/ha do fertilizante 08-28-16 (N, P₂O₅ e K₂O) e 200 Kg/ha de Ureia, em cobertura aos 25 dias após a semeadura, não havendo a aplicação de fungidas nesse caso. Nessa safra não houve irrigação complementar e os demais tratamentos culturais foram os normalmente adotados para a cultura. Nesses experimentos foram coletados dados da ocorrência de patógeno e produtividade de grãos. No caso da ocorrência do patógeno foi utilizada a escala diagramática semelhante à proposta por Rava et al. (1993) (Quadro 2). Na escala utilizada optou-se por se utilizar notas de 1 a 5, sendo considerado a nota 5 como a ausência de sintomas. Esse fato é justificado, pois como no melhoramento de

plantas são trabalhados vários caracteres, o ideal é que os dados tomados se somem, ou seja, como as progênies com maior produtividade de grãos são aquelas que têm maiores produções, logo é melhor que as mais resistentes apresentem maiores notas de severidade.

Após as análises dos dados foram selecionadas as 64 progênies de cada uma das amostras (A, B e C), com maior produtividade de grãos. Essas progênies, agora na geração $F_{3:6}$, foram avaliadas em experimentos cuja semeadura foi realizada em fevereiro de 2012. Nesse experimento houve a irrigação por aspersão, tendo sido adotado os mesmos tratos culturais da geração anterior. Esse experimento foi conduzido utilizando o látice triplo 14x14, composto por 192 progênies e mais quatro testemunhas (os genitores e as cultivares Talismã e Majestoso), com parcelas idênticas as da geração $F_{3:5}$. De modo semelhante foram coletados dados da ocorrência de patógeno e produtividade de grãos.

Quadro 2 Escala descritiva da severidade da antracnose do feijoeiro

Notas	Descrição dos sintomas
5	Ausência de sintomas
4,5	Até 1% das nervuras apresentando manchas necróticas, perceptíveis somente na face inferior da folha.
4	Maior frequência dos sintomas foliares descritos na face inferior, até 3% das nervuras afetadas.
3,5	Até 1% das nervuras apresentando manchas necróticas, perceptíveis em ambas as faces da folha.
3	Maior frequência dos sintomas foliares descritos na face superior da folha, até 3% das nervuras atacadas.
2,5	Manchas necróticas nas nervuras, perceptíveis em ambas as faces da folha, presença de algumas lesões nos talos, ramos e pecíolos.
2	Manchas necróticas na maioria das nervuras e grande parte do tecido do mesófilo adjacente rompendo-se. Presença abundante de lesões nos talos, ramos e pecíolos.
1,5	Manchas necróticas quase na totalidade das nervuras, ocasionando rompimento, desfolha, e redução do crescimento das plantas. Lesões muito abundantes nos talos, ramos e pecíolos.
1	Maioria das plantas mortas.

Fonte: Modificada de Rava et al. (1993)

Após as análises dos dados da geração F_{3:6} foram selecionadas as 26 progênies de cada uma das amostras (A, B e C), com maior produtividade de grãos que originaram a geração F_{3:7}. Esse experimento foi semeado em julho de 2012, com irrigação por aspersão e utilizando os mesmos tratos culturais adotados nas gerações anteriores. Nesse experimento o delineamento utilizado foi o látice triplo 9x9, composto por 78 progênies mais três testemunhas (os genitores e mais a cultivar Talismã), com parcelas iguais as outras gerações. Também nessa safra foram coletados dados da ocorrência de patógeno e produtividade de grãos.

Antes de fazer a seleção das progênies mais produtivas, foi retirada uma amostra de oito sementes de cada uma das 64 progênies da geração F_{3:7}, que foram inoculadas com o mesmo isolado para se testar resistência à antracnose dessas progênies após o avanço das gerações. Foram realizadas 3 repetições. A inoculação foi realizada de modo semelhante ao descrito no item 3.4.

3.8 Análise dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANAVA) por geração e posteriormente foi realizada a análise conjunta. O modelo para a análise de variância individual para a severidade do *C. lindemuthianum* e para produtividade de grãos por geração utilizado foi o seguinte:

$$Y_{ijl} = m + t_i + q_j + b_{l(j)} + e_{ijl}$$

Em que:

Y_{ijl} : observação referente ao tratamento i no bloco l , dentro da repetição j ;

m : efeito fixo da média;

t_i : efeito aleatório do tratamento i , sendo $i = 1,2,3,\dots,289$ ($F_{3:5}$), $i = 1,2,3,\dots,196$ ($F_{3:6}$), $i = 1,2,3,\dots,81$ ($F_{3:7}$);

q_j : efeito aleatório da repetição j , sendo $j = 1,2,3$;

$b_{l(j)}$: efeito aleatório do bloco l na repetição j , sendo $l = 1,2,3,\dots,17$ ($F_{3:5}$), $l = 1,2,3,\dots,14$ ($F_{3:6}$), $l = 1,2,3,\dots,9$ ($F_{3:7}$);

e_{ijl} : efeito aleatório do erro experimental da parcela que recebeu o tratamento i , no bloco l , dentro da repetição j , assumindo-se que os erros são independentes e normalmente distribuídos, com média zero e variância σ_e^2 .

Já o modelo para a análise conjunta das gerações utilizando as médias ajustadas, considerando como aleatório os efeitos de progênie e o erro e fixo a média e as gerações/safra, pelo seguinte modelo:

$$Y_{ijk} = m + t_i + a_k + ta_{ik} + e_{ijk}$$

em que:

Y_{ijk} : observação referente à progênie i , dentro do ambiente k ;

m : efeito fixo da média;

t_i : efeito do tratamento i , sendo $i = 1,2,3,\dots,80$;

a_k : efeito aleatório do ambiente k , sendo $k = 1,2,3$;

ta_{ik} : efeito da interação entre tratamento i e o ambiente k ;

e_{ijk} : efeito aleatório do erro experimental médio das análises individuais em cada ambiente k , $e_{ijk} \cap N(0, \sigma^2)$.

As análises de variância individuais e a conjunta foram realizadas utilizando o programa estatístico MSTAT-C Michigan State University (1991).

A partir das esperanças matemáticas dos quadrados médios das análises de variância, foram obtidas as estimativas dos parâmetros genéticos e

fenotípicos, utilizando o procedimento semelhante ao apresentado por Ramalho et al. (2012). As estimativas foram obtidas envolvendo todas as progênes e também envolvendo as diferentes origens (Sem seleção, Seleção efetuada em F₂, e em F₂ e F₃).

- a) Variância genética entre progênes no ambiente/geração k:

$$\sigma_{F_k}^2 = (Q_{1k} - Q_{2k}) / r$$

Em que:

Q_{1k}: Quadrado médio de progênes obtida na geração/ambiente k;

Q_{2k}: Quadrado médio do erro obtida na geração/ambiente k;

r: número de repetições obtida na geração/ambiente k.

- b) Variância fenotípica entre médias de progênes:

$$\sigma_{F_k}^2 = Q_{1k} / r$$

- c) Herdabilidade no sentido amplo para a seleção entre médias de progênes: $h^2_k = (Q_{1k} - Q_{2k}) / Q_{1k}$

O intervalo de confiança da herdabilidade (h^2), foi estimado utilizando expressões de Knapp, Stroup e Ross (1985):

$$LI = \left\{ \left[\left(\frac{Q_{1k}}{Q_{2k}} \right) F_{1-\frac{\alpha}{2}} \right] \sigma_{L_1} \sigma_{L_2} \right\}$$

$$LS = \left\{ \left[\left(\frac{Q_{1k}}{Q_{2k}} \right) F_{\frac{\alpha}{2}} \right] \sigma_{L_1} \sigma_{L_2} \right\}$$

Considerando um $\alpha=0,05$.

Em que:

GL_1 e GL_2 : graus de liberdade associados a Q_{1k} e Q_{2k} , respectivamente.

Foram obtidas também as estimativas dos componentes da variância genética e fenotípica nas análises conjunta das gerações/ambientes. Do mesmo modo as estimativas foram obtidas envolvendo todas as progênes e também envolvendo as diferentes origens (Sem seleção, Seleção efetuada em F_2 , e em F_2 e F_3).

A variância genética entre progênes nos ambientes dois a dois foi obtida por meio das estimativas de covariância entre média das progênes (RAMALHO et al., 2012), ou seja:

$$COV_{gg'} = \sigma^2_P$$

As estimativas da variância fenotípica entre média de progênes foram estimadas por:

$$\sigma^2_F = Q_1/ar$$

Em que:

Q_1 : Quadrado médio de progênes obtida na ANAVA conjunta;

a: Número de ambientes envolvidos;

r: Número de repetições.

A herdabilidade (h^2), para a seleção na média das progênes, foi estimada por:

$$h^2 = \frac{COV_{EE}}{Q_2/r_h}$$

A variância da interação progênieis x ambientes foi estimada usando a seguinte expressão:

$$\sigma_{PL}^2 = Q_3 - Q_2/r_h$$

em que:

Q_3 : quadrado médio da interação progênieis x gerações na análise conjunta,

Q_2 : quadrado médio do erro na análise conjunta,

r_h : média harmônica do número de repetições.

Realizou-se também a partição da interação σ_{PL}^2 , utilizando a expressão apresentada por Cruz, Regazzi e Carneiro (2004):

$$\sigma_{PL}^2 = \frac{1}{2}(\sigma_{Pk} - \sigma_{Pk'})^2 + \sigma_{Pk} \cdot \sigma_{Pk'} (1 - r_{Gkk'})$$

em que:

$\sigma_{Pk} - \sigma_{Pk'}$: desvio genético entre as progênieis nos ambientes k e k', respectivamente;

$r_{Gkk'}$: correlação genética entre as médias das progênieis nas gerações $F_{3:5}/F_{3:6}$, $F_{3:6}/F_{3:7}$ e $F_{3:5}/F_{3:7}$.

$$r_G = COV_{gg} / \sigma_{Pb} \cdot \sigma_{Pb'}$$

O ganho esperado com a seleção em cada grupo de progênieis (selecionadas em F_2 , F_2 e F_3 e não selecionadas) foi estimado pela expressão:

$$GS = i \frac{Cov_{gg'}}{\sqrt{\sigma^2_F}}$$

em que:

i: diferencial de seleção padronizado, sendo utilizado $i = 20\%$;

Foi estimado o erro associado ao ganho com a seleção S(GS), utilizando a expressão apresentada por Bridges, Knapp e Cornelius (1991):

$$S(GS) = \sqrt{\frac{2i^2}{r} \left\{ \left(\frac{Q^2_{1k}}{GL_1} \right) \left[\left(1 + \frac{Q_{2k}}{Q_{1k}} \right)^2 / 4 \right] + \frac{Q^2_{2k}}{GL_2} \right\} / Q_{1k}}$$

em que:

$S(GS)_G$: erro associado ao ganho esperado com a seleção no experimento realizado na geração k;

Q^2_{1k} : quadrado médio das progênies avaliadas na geração G;

GL_1 : graus de liberdade das progênies;

Q^2_{2k} : quadrado médio do erro na geração k;

GL_2 : graus de liberdade associado ao erro.

Foi estimada a correlação (r) entre a produtividade de grãos e a nota média de severidade do *C. lindemuthianum* pela expressão:

$$r = COV_{xy} / \sigma_{P_x} \sigma_{P_y}$$

em que:

COV_{xy} : covariância entre a produtividade de grãos e a nota média de severidade do *C. lindemuthianum*;

σ_{P_x} , σ_{P_y} : variância genética média para a produtividade de grãos e a nota média de severidade do *C. lindemuthianum*, respectivamente.

Para se testar a correlação foi realizado o teste t, utilizando a expressão:

$$t = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{N-2}$$

em que:

t: valor associado à estatística do teste t;

N: número de pares de dados envolvidos na correlação.

4 RESULTADOS

O resumo das análises de variância individuais para as gerações $F_{3:6}$ e $F_{3:7}$ para o caráter nota de severidade da resistência à antracnose é apresentado no Apêndice 1A. Os valores da acurácia seletiva foram de 61,9% na geração $F_{3:7}$ e 84,9% na geração $F_{3:6}$, indicando que, de maneira geral, os experimentos apresentaram boa precisão. Observou-se diferença significativa ($P \leq 0,01$) entre tratamentos em todas as análises realizadas para a nota de severidade da doença. Na decomposição dessa fonte de variação constatou-se diferença significativa na média das progênies em cada origem (Populações A – Não selecionada, População B – Selecionada em F_2 e População C – Selecionada em F_2 e F_3), e entre progênies por origem. O contraste entre testemunhas vs progênies foi significativo apenas na geração $F_{3:6}$.

O resultado da análise de variância conjunta das progênies comuns das gerações $F_{3:6}$ e $F_{3:7}$, para a nota de severidade, evidencia que a precisão experimental pode ser considerada boa na avaliação do caráter (Tabela 5). A estimativa da acurácia foi de 83%. Novamente detectou-se diferença significativa entre tratamento ($P \leq 0,01$). As fontes de variação entre testemunhas, entre origens e entre progênies em cada origem foram significativas ($P \leq 0,05$). As interações envolvendo os tratamentos x gerações foram significativas em todos os casos, exceto para o contraste entre testemunhas x gerações e entre origem das progênies x gerações. Vale ressaltar que houve predomínio da parte complexa da interação para todas as origens das progênies (Tabela 6).

As notas médias obtidas nas gerações $F_{3:6}$ e $F_{3:7}$ considerando a origem das progênies são apresentadas na Tabela 7. Lembrando que quanto maior a nota, mais resistente é a progênie. Verifica-se que na média as progênies provenientes da seleção efetuada na geração F_2 , foram as que apresentaram

maior média. Observa-se que a média das progênies diferiu da média das testemunhas na geração $F_{3;6}$, sendo sua média menor que das testemunhas.

A existência de variabilidade para a nota de severidade da resistência à antracnose, pode ser comprovada pela distribuição de frequência ilustrada nas Figuras 2 e 3. Pode-se observar que, como já foi elucidado, as maiores frequências de progênies com médias superiores foram observadas para aqueles casos em que as plantas que originaram as progênies foram selecionadas para a resistência ao patógeno precocemente.

Tabela 5 Resumo da análise de variância conjunta da nota de severidade da antracnose do feijoeiro. Obtida na avaliação de progênies $F_{3;6}$ e $F_{3;7}$, oriundas de progênies selecionadas em F_2 , em F_2 e F_3 e as não selecionadas

FV	GL	QM
Gerações	1	52,87**
Trat (Ajustado)	79	1,36**
Testemunhas	1	1,69**
Test vs Progênies	1	0,20 ^{NS}
Entre Origens	2	11,52**
Entre F_2^1	25	1,14**
Entre F_3^2	25	1,10*
Entre NS^3	25	1,04**
Trat x Gerações	79	0,42**
Entre Test X G	1	0,01 ^{NS}
Test vs Prog X G	1	2,84**
Entre Origens X G	2	0,05 ^{NS}
Entre F_2 X G	25	0,27**
Entre F_3 x G	25	0,56**
Entre NS X G	25	0,38**
Erro Médio	487	0,07
r_{gg}(%)		83,00

*, **: Teste F significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente ^{1,2,3}. Progênies selecionadas em F_2 , progênies selecionadas em F_2 e F_3 e progênies não selecionadas, respectivamente.

Tabela 6 Componentes da interação progênes x gerações para a nota de severidade da antracnose do feijoeiro. Obtidas na avaliação de progênes F_{3:6} e F_{3:7} oriundas de progênes selecionadas em F₂, em F₂ e F₃ e as não selecionadas

Conjunta (gerações duas a duas)	Componentes da interação	F ₂	F ₃	NS	Todas as progênes
F _{3:6} /F _{3:7}	Correlação (r _p)	0,65	0,34	0,49	0,55
	Parte Simples (%)	11,11	5,55	6,66	7,14
	Parte Complexa (%)	88,89	94,45	93,34	92,86

Tabela 7 Estimativas da nota de severidade da antracnose do feijoeiro. Obtidas na avaliação de progênes F_{3:6} e F_{3:7}, oriundas de progênes selecionadas em F₂, em F₂ e F₃ e as não selecionadas

Geração	Seleção para o <i>Colletotrichum</i>			Média das progênes	Testemunhas
	F ₂	F ₃	NS		
F _{3:6}	3,8*a	3,3b	3,2c	3,4	4,2
F _{3:7}	4,6a	4,4b	4,1c	4,4	4,5
Conjunta	4a	3,5b	3,4c	3,6	3,6

* Nota de severidade do *C. lindemuthianum*, em que 5 significa ausência de sintomas e 1 morte da planta. Médias seguidas das mesmas letras nas linhas pertencem ao mesmo grupo, com 5% de probabilidade, pelo teste de Scott e Knott (1974)

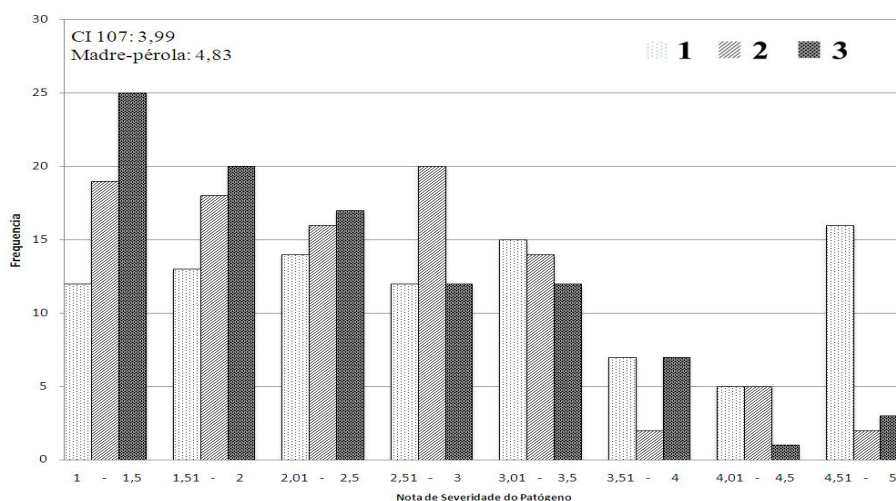


Figura 2 Distribuição de frequência da nota de severidade da antracnose do feijoeiro. Obtida na avaliação de progênes F_{3:6}, oriundas das progênes selecionadas em F₂ (1), em F₂ e F₃ (2) e não selecionadas (3)

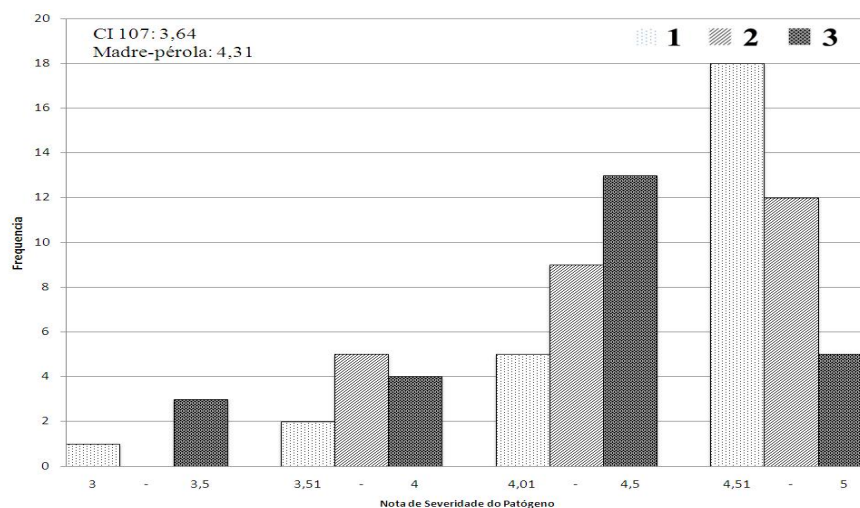


Figura 3 Distribuição de frequência da nota de severidade da antracnose do feijoeiro. Obtida na avaliação de progênies $F_{3:7}$, oriundas de progênies selecionadas em F_2 (1), em F_2 e F_3 (2) e não selecionadas (3)

A existência de variação para o caráter nota de severidade da doença, entre as progênies pode também ser comprovada por meio das estimativas da herdabilidade (h^2). Quando se consideram todas as progênies, o limite inferior da estimativa foi positivo, indicando que a herdabilidade é diferente de zero. Quando se compara as estimativas de herdabilidade, para a seleção entre progênies de acordo com a origem na análise conjunta, observa-se que essas foram semelhantes (Tabela 8). Esse resultado, em princípio, mostra que mesmo tendo sido realizado a seleção para a resistência à antracnose nas gerações F_2 ou F_2 e F_3 , as estimativas da herdabilidade foram semelhantes à obtida nas progênies oriundas da população sem seleção para a antracnose.

Tabela 8 Estimativas dos componentes de variância, para a nota de severidade da antracnose do feijoeiro. Obtidas na avaliação de progênies F_{3:6} e F_{3:7} oriundas de progênies selecionadas em F₂, em F₂ e F₃ e as não selecionadas

Gerações	Componentes de variância	F ₂	F ₃	NS	Todas as progênies
F _{3:6}	σ_P^2 **	0,29	0,21	0,3	0,29
	σ_F^2	0,42	0,34	0,43	0,46
	h ² (%)	69	62	70	72
	(LI/LS)	(54/78)	(43/73)	(55/80)	(64/78)
F _{3:7}	σ_P^2	0,05	0,08	0,02	0,08
	σ_F^2	0,18	0,21	0,15	0,2
	h ² (%)	29	40	17	39
	(LI/LS)	(-40/59)	(-18/65)	(-65/52)	(9/58)
Conjunta	σ_P^2	0,29	0,18	0,22	0,31
	σ_F^2	0,38	0,37	0,35	0,45
	h ² (%)	76	49	63	69
	(LI/LS)	(47/89)	(-14/77)	(19/84)	(52/80)

** Variância genética (σ_P^2) e fenotípica (σ_F^2) entre médias de progênies, herdabilidade (h²) e limites inferiores (LI) e superiores (LS) da h².

A porcentagem das melhores progênies de acordo com sua origem é apresentada na Tabela 9. Veja que a maior porcentagem das melhores é encontrada nas progênies selecionadas precocemente. Quando se consideraram as piores progênies, observou-se que se concentraram nas não selecionadas para à antracnose precocemente (Tabela 10). Estimou-se o ganho esperado com a seleção para cada geração, por origem das progênies (Tabela 11). Observa-se que os valores dos ganhos foram semelhantes nas gerações F_{3:6} e F_{3:7}, ficando as estimativas dentro do erro associado às mesmas.

As progênies F_{3:7} foram também avaliadas com relação à resistência à antracnose em casa de vegetação com um isolado da raça 65. Como pode ser observado na distribuição de frequência das notas médias (Figura 4), independente da origem, a maioria das progênies apresentou nota média superior a 3,5, indicando que grande parte foi resistente à referida raça do patógeno. Veja que não houve diferença expressiva nas médias das progênies em função de sua origem.

Tabela 9 Porcentagem de progênies entre as 20% melhores para a nota de severidade da antracnose do feijoeiro. Obtida na avaliação de progênies F_{3:6} e F_{3:7} oriundas de progênies selecionadas em F₂, em F₂ e F₃ e as não selecionadas

Classificação Melhores	F ₂	F ₃	NS
F _{3:6}	61,54%	23,08%	15,38%
F _{3:7}	56,25%	37,50%	6,25%
Conjunta	75,00%	18,75%	6,25%

Tabela 10 Porcentagem de progênies entre as 20% piores para a nota de severidade da antracnose do feijoeiro. Obtida na avaliação de progênies F_{3:6} e F_{3:7}, oriundas de progênies selecionadas em F₂, em F₂ e F₃ e as não selecionadas

Classificação Melhores	F ₂	F ₃	NS
F _{3:6}	10,26%	35,90%	53,85%
F _{3:7}	18,75%	31,25%	50,00%
Conjunta	12,50%	37,50%	50,00%

Tabela 11 Estimativas de ganhos esperados com a seleção (GS) para a nota de severidade da antracnose do feijoeiro. Obtidas na avaliação de progênies F_{3:6} e F_{3:7} oriundas de progênies selecionadas em F₂, em F₂ e F₃ e as não selecionadas

Gerações		F ₂	F ₃	NS	Todas as progênies
F _{3:6}	Média	3,8*	3,3	3,2	3,6
	Média 20%	4,7*	4,1	4	4,3
	GS	0,66(0,11) ¹	0,49(0,1)	0,61(0,11)	0,68(0,06)
	GS(%)	17,4	14,8	19	18,8
F _{3:7}	Média	4,6	4,4	4,1	4,4
	Média 20%	5	4,9	4,6	4,9
	GS	0,13(0,15)	0,22(0,15)	0,03(0,15)	0,23(0,09)
	GS(%)	2,8	5	0,7	5,2
Conjunta	Média	4	3,5	3,4	4
	Média 20%	4,8	4,1	3,9	4,5
	GS	0,69(0,13)	0,42(0,13)	0,35(0,12)	0,74(0,11)
	GS(%)	17,3	12	10,3	18,5

* Nota de severidade do *C. lindemuthianum*, em que 5 significa ausência de sintomas e 1 morte da planta. ¹Erro associado à estimativa do ganho com a seleção

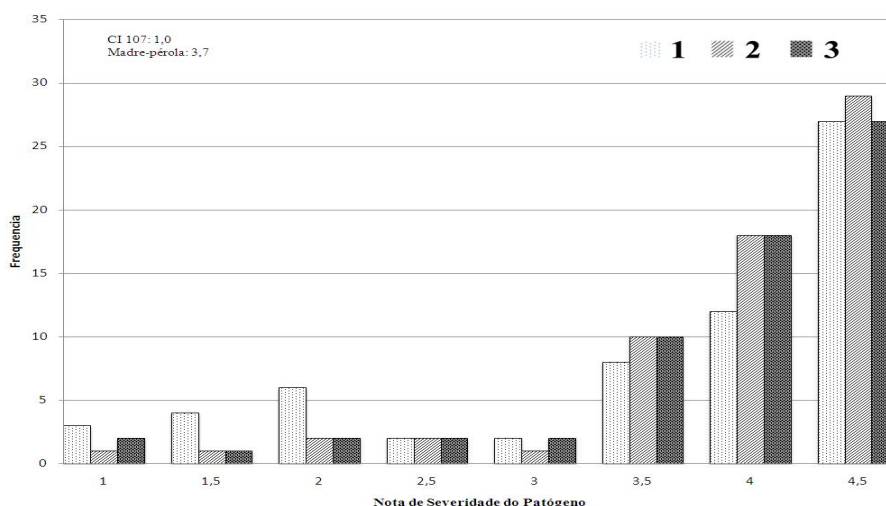


Figura 4 Distribuição de frequência da nota de severidade da antracnose do feijoeiro. Obtida na avaliação de progênies $F_{3:7}$ inoculadas em casa de vegetação, oriundas de progênies selecionadas em F_2 (1), em F_2 e F_3 (2) e não selecionadas (3)

O resumo das análises de variância individuais para o caráter produtividade de grãos nas gerações $F_{3:5}$, $F_{3:6}$ e $F_{3:7}$ são apresentados na Tabela 15. Veja que a estimativa da acurácia seletiva variou de 68,8% a 92,9%. Verificou-se que em todas as gerações, as progênies selecionadas em F_2 , para a resistência à antracnose, apresentaram maior produtividade média de grãos. As progênies selecionadas em F_2 e F_3 em todas as gerações, também superaram em produtividade média as progênies não selecionadas (Tabela 13). A fonte de variação testemunhas vs progênies foi não significativa em todas as gerações, indicando que a média das progênies foi igual a média das testemunhas (Tabelas 12 e 13). Ocorreu diferença significativa entre as progênies dentro de cada origem em todas as gerações, exceto entre as não selecionadas na geração $F_{3:6}$ e entre as selecionadas em F_2 na geração $F_{3:7}$.

Observe que a tendência da média das progênies se manteve semelhante nas três gerações (Tabela 13). As maiores produtividades médias foram obtidas

com as progênies que foram selecionadas precocemente. Os resultados médios das 25 progênies comuns às três gerações mostraram que a média das progênies cujas plantas foram selecionadas em F₂ foi 17% superior a média das progênies não selecionadas para a antracnose.

Tabela 12 Resumo da análise de variância por geração da produtividade de grãos (g/parcela) do feijoeiro. Oriunda de progênies selecionadas em F₂, em F₂ e F₃ e não selecionadas, obtida na avaliação de famílias F_{3:5}, F_{3:6} e F_{3:7}

FV	GL	F _{3:5}		F _{3:6}		F _{3:7}	
		QM	GL	QM	GL	QM	GL
Repetição	2	93059,14**	2	114832,44**	2	51140,03**	
Tratamentos	288	50389,61**	195	21531,62**	80	25405,61**	
Entre Testemunhas	1	9681,77 ^{NS}	3	3795,32 ^{NS}	2	13581,53 ^{NS}	
Test vs Progênies	1	3494,82 ^{NS}	1	26703,25 ^{NS}	1	123,85 ^{NS}	
Entre Origens	2	783756,66**	2	258487,2**	2	39208,42**	
Entre F ₂ ¹	95	79460,64**	63	25670,56**	25	16410,01 ^{NS}	
Entre F ₃ ²	94	27058,66**	63	18561,79**	25	36374,31**	
Entre NS ³	95	30949,68**	63	13602,57 ^{NS}	25	24285,49**	
Erro efetivo	528	6778,82	351	11347,25	136	13018,24	
Média		254,91		737,39		477,73	
r_{gg}(%)		92,91		68,77		69,80	

*, **: Teste F significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ^{1,2,3}: Progênies selecionadas em F₂, progênies selecionadas em F₂ e F₃ e progênies não selecionadas, respectivamente

Tabela 13 Estimativas da produtividade média de grãos (kg/ha) do feijoeiro. Obtidas na avaliação de progênies F_{3:5}, F_{3:6}, F_{3:7}, oriundas de progênies selecionadas em F₂, em F₂ e F₃ e não selecionadas

Geração	Seleção para o <i>Colletotrichum</i>			Testemunhas	Média Geral
	F ₂	F ₃	NS		
F _{3:5}	1335a	991b	931c	983	1060
F _{3:6}	3174a	3010b	2869c	3216	3068
F _{3:7}	1996a	2053a	1880b	2018	1987
Conjunta	2462a	2384b	2099c	2003	2200

Médias seguidas das mesmas letras nas linhas pertencem ao mesmo grupo, com 5% de probabilidade, pelo teste de Scott e Knott (1974)

O resumo da análise de variância conjunta para produtividade de grãos é demonstrado na Tabela 14. Veja que a precisão experimental pode ser considerada boa, pela estimativa da acurácia acima de 70%. Foi detectada diferença significativa ($P \leq 0,01$) entre os tratamentos. No desdobramento da fonte de variação tratamento ocorreram diferenças significativas ($P \leq 0,01$) entre origens, entre as progênies selecionadas em geração F₂ e F₃ e no contraste testemunhas vs progênies. A interação progênies x gerações foi significativa ($P \leq 0,01$). Também foram significativas as interações envolvendo testemunhas vs progênies x gerações e entre progênies selecionadas em F₂ x gerações.

Para melhor visualizar a interação progênies x gerações foram efetuadas as análises de variância duas a duas, envolvendo as progênies comuns. As estimativas da correlação entre a média de progênies, nas gerações duas a duas, foram praticamente todas de baixa magnitude, indicando que houve predomínio da parte complexa da interação para todos os casos. De modo geral, pode-se considerar que as interações progênies x gerações, dentro de cada origem, foram semelhantes em termos de predominância da parte complexa da interação (Tabela 15).

Tabela 14 Resumo da análise de variância conjunta da produtividade de grãos (g/parcela) do feijoeiro. Obtida na avaliação de progênies F_{3:5}, F_{3:6} e F_{3:7}, oriundas de progênies selecionadas em F₂, em F₂ e F₃ e as não selecionadas

FV	GL	QM
Gerações	2	12493370,11**
Trat (Ajustado)	79	43887,96**
Testemunhas	1	329,99 ^{NS}
Test vs Progênies	1	69751,81**
Entre Origens	2	453535,54**
Entre F ₂ ¹	25	50429,90 ^{NS}
Entre F ₃ ²	25	34913,24**
Entre NS ³	25	14256,70 ^{NS}
Trat x Gerações	158	21840,57**
Entre Test X G	2	10556,32 ^{NS}
Test vs Prog X G	2	247416,36**
Entre Origens X G	4	4583,00 ^{NS}
Entre F ₂ X G	50	33185,22**
Entre F ₃ x G	50	11444,58 ^{NS}
Entre NS X G	50	13700,86 ^{NS}
Erro Médio	1015	10555,12
r_{gg}(%)		70,88

*,**: Teste F significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ^{1,2,3}: Progênies selecionadas em F₂, progênies selecionadas em F₂ e F₃ e progênies não selecionadas, respectivamente

A distribuição de frequência das médias das progênies apresentada nas Figuras 5, 6 e 7 reforçam a ocorrência de diferença entre as médias das progênies dentro de cada origem. Observa-se que ocorreu uma maior frequência das progênies selecionadas precocemente para a resistência ao patógeno apresentando maior produtividade média de grãos.

Tabela 15 Estimativas dos componentes de variância, para a produtividade de grãos (g/parcelas) do feijoeiro. Obtidas na avaliação de progênes F_{3:5}, F_{3:6} e F_{3:7} oriundas de progênes selecionadas em F₂, em F₂ e F₃ e as não selecionadas

Conjunta (gerações duas a duas)	Componentes da interação	F ₂	F ₃	NS	Todas as progênes
F _{3:5} /F _{3:6}	Correlação (r _p)	0,42	0,49	0,08	0,53
	Parte Simples (%)	48,43	23,73	41	42,6
	Parte Complexa (%)	51,57	76,27	59	57,4
F _{3:5} /F _{3:7}	Correlação (r _p)	0,02	0,32	0,06	0,12
	Parte Simples (%)	25,22	0,4	1,42	12,96
	Parte Complexa (%)	74,78	99,6	98,58	87,04
F _{3:6} /F _{3:7}	Correlação (r _p)	0,22	0,62	-0,18	0,31
	Parte Simples (%)	2,8	34,8	27,56	6,24
	Parte Complexa (%)	97,2	65,2	72,44	93,76

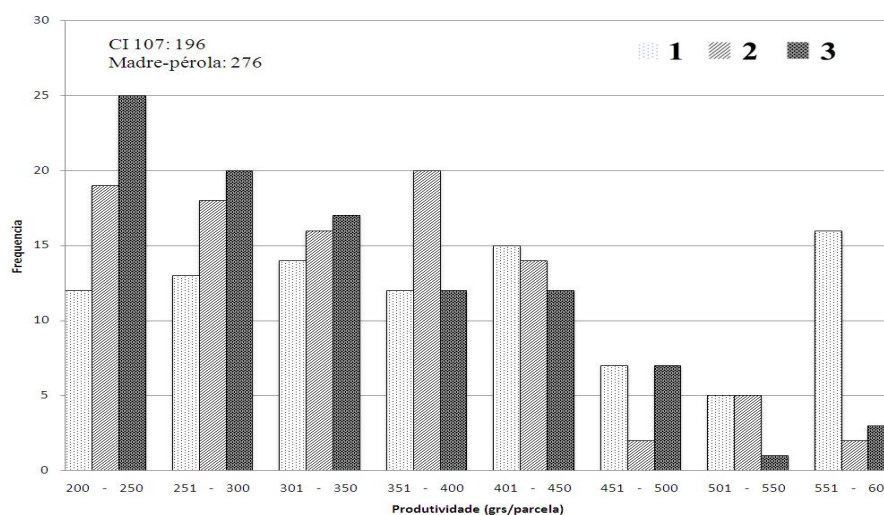


Figura 5 Distribuição de frequência da produtividade de grãos (g/parcela) do feijoeiro. Obtida na avaliação de progênes F_{3:5}, oriundas de progênes selecionadas em F₂ (A), em F₂ e F₃ (B) e não selecionadas (C)

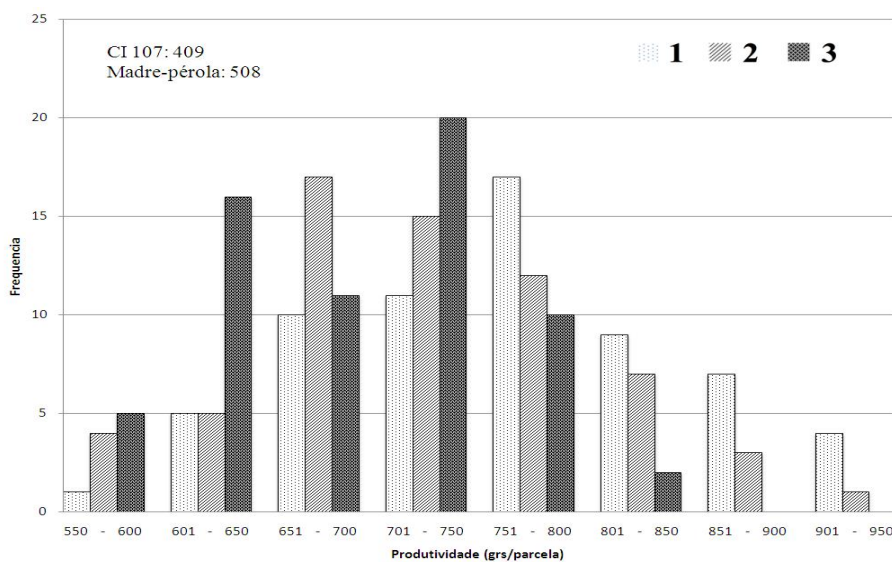


Figura 6 Distribuição de frequência da produtividade de grãos (g/parcela) do feijoeiro. Obtida na avaliação de progênies $F_{3:6}$, oriundas de progênies selecionadas em F_2 (A), em F_2 e F_3 (B) e não selecionadas (C)

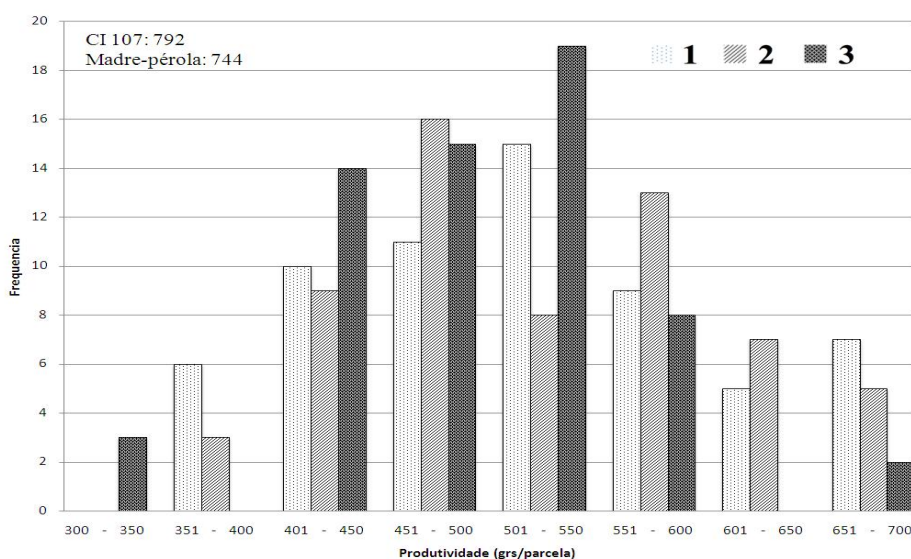


Figura 7 Distribuição de frequência da produtividade de grãos (g/parcela) do feijoeiro. Obtida na avaliação de progênies $F_{3:7}$, oriundas de progênies selecionadas em F_2 (A), em F_2 e F_3 (B) e não selecionadas (C)

As estimativas da herdabilidade para a produtividade de grãos também evidenciam a existência de variação entre as progênies para todas as origens. Exceto na geração $F_{3:7}$, quando foram avaliadas um menor número de progênies, o limite inferior da herdabilidade foi negativo para as progênies derivadas das plantas selecionadas em F_2 e as não selecionadas. Em princípio, para a produtividade de grãos, nas gerações $F_{3:6}$, $F_{3:7}$ e na conjunta, as estimativas da herdabilidade podem ser consideradas semelhantes para as diferentes origens. Ocorreu sobreposição no intervalo de confiança (Tabela 16).

Em cada geração foram identificadas as 20% progênies com maior ou menor produtividade média de grãos (Tabelas 17 e 18). Verifica-se que a maior porcentagem das melhores é encontrada nas progênies selecionadas precocemente. Quando se considera as progênies com menor produtividade média de grãos observa-se o contrário, as não selecionadas para a antracnose estiveram em maior número.

Tabela 16 Estimativas dos componentes de variância, para a produtividade de grãos (g/parcelas) do feijoeiro. Obtidas na avaliação de progênies $F_{3:5}$, $F_{3:6}$ e $F_{3:7}$ oriundas de progênies selecionadas em F_2 , em F_2 e F_3 e as não selecionadas

Gerações	Componentes de variância	F_2	F_3	NS	Todas as progênies
$F_{3:5}$	σ_P^2 **	24227,28	6759,95	8056,95	14536,93
	σ_F^2	24486,88	9019,55	10316,56	16796,54
	h^2	91	75	78	86
	(LI/LS)	(88/94)	(65/81)	(70/84)	(83/89)
$F_{3:6}$	σ_P^2	4774,44	2404,85	751,77	3394,79
	σ_F^2	8556,85	6187,26	4534,19	7177,21
	h^2	56	39	17	47
	(LI/LS)	(34/69)	(8/57)	(25/42)	(32/59)
$F_{3:7}$	σ_P^2	1130,59	7785,36	3775,75	4129,12
	σ_F^2	5470	12124,77	8095,16	6739,11
	h^2	21	64	46	49
	(LI/LS)	(-56/54)	(29/79)	(-6/69)	(23/65)

“continua”

Tabela 16 “conclusão”

Gerações	Componentes de variância	F ₂	F ₃	NS	Todas as progênes
Conjunta	σ^2_P	5748,23	7822,89	185,28	7349,13
	σ^2_F	5603,22	3879,25	1584,08	4876,44
	h^2	34	67	4	50
	(LI/LS)	(-37/66)	(32/82)	(-99/50)	(26/66)

** Variância genética (σ^2_P) e fenotípica (σ^2_F) entre médias de progênes, herdabilidade (h^2) e limites inferiores (LI) e superiores (LS) da h^2 .

Tabela 17 Porcentagem de progênes entre as 20% melhores para a produtividade de grãos (g/parcelas) do feijoeiro. Obtida na avaliação de progênes F_{3:5}, F_{3:6} e F_{3:7} oriundas de progênes selecionadas em F₂, em F₂ e F₃ e as não selecionadas

Classificação Melhores	F ₂	F ₃	NS
F _{3:5}	56,14%	19,30%	24,56%
F _{3:6}	64,10%	30,77%	5,13%
F _{3:7}	37,50%	50,00%	12,50%
Conjunta	68,75%	25,00%	6,25%

Tabela 18 Porcentagem de progênes entre as 20% piores para a produtividade de grãos (g/parcelas) do feijoeiro. Obtida na avaliação de progênes F_{3:5}, F_{3:6} e F_{3:7} oriundas de progênes selecionadas em F₂, em F₂ e F₃ e as não selecionadas

Classificação Piores	F ₂	F ₃	NS
F _{3:5}	19,30%	35,09%	45,61%
F _{3:6}	17,95%	23,08%	58,97%
F _{3:7}	31,25%	31,25%	37,50%
Conjunta	12,50%	31,25%	56,25%

Estimou-se o ganho esperado com a seleção (GS) por geração e por origem das progênes (Tabela 19). Observa-se que o ganho foi maior na geração F_{3:5}. Nas gerações F_{3:5} o GS foi maior para as progênes selecionadas em F₂. Já na geração F_{3:6} o GS foi menor para as progênes não selecionadas e na geração F_{3:7} as progênes selecionadas em F₂ obtiveram um GS menor do que as selecionadas em F₂ e F₃ e das não selecionadas.

A estimativa da correlação entre a nota média de severidade da resistência ao patógeno (variável independente) e a produtividade média de

grãos (variável dependente), é apresentada na Tabela 20. Observa-se que nas gerações F_{3:5} e F_{3:6} considerando todas as progênies, a correlação foi maior do que 54%, enquanto na geração F_{3:7}, essa foi de 12%.

Tabela 19 Estimativas de ganhos esperados com a seleção (GS) para a produtividade de grãos (g/parcelas) do feijoeiro. Obtidas na avaliação de progênies F_{3:5}, F_{3:6} e F_{3:7} oriundas de progênies selecionadas em F₂, em F₂ e F₃ e as não selecionadas

Gerações		F ₂	F ₃	NS	Todas as progênies
F _{3:5}	Média	321,09	238,37	223,83	254,91
	Média 20%	599,4	375,1	375,9	420,26
	GS	253,3(18,1) ¹	102,5(12,2)	118,7(12,7)	173,3(8,7)
	GS(%)	78,9	43	52,9	67,9
F _{3:6}	Média	763,06	723,62	689,75	737,39
	Média 20%	892,88	838,38	777,68	832,87
	GS	71,4(17,2)	44,8(16,6)	14,9(16,5)	57,1(10,3)
	GS(%)	9,4	6,2	2,2	7,7
F _{3:7}	Média	479,95	493,63	452,14	477,73
	Média 20%	607,72	634,63	564,53	605,65
	GS	25,2(28,1)	110,8(30,4)	59,5(28,6)	69,4(17,4)
	GS(%)	5,3	22,4	13,1	14,5
Conjunta	Média	591,87	573,2	504,76	528,85
	Média 20%	689,19	634,1	564,55	658,54
	GS	76,9(31,1)	67,8(27,9)	15,5(23,9)	98,6(22,3)
	GS(%)	12,9	11,8	3,1	18,6

¹ Erro associado à estimativa do ganho com a seleção

Tabela 20 Estimativas da correlação entre a nota média de severidade da resistência ao patógeno e a produtividade média de grãos. Obtidas na avaliação de progênies F_{3:5}, F_{3:6} e F_{3:7} oriundas de progênies selecionadas em F₂, em F₂ e F₃ e as não selecionadas. Lavras, 2011 e 2012

Gerações	F ₂	F ₃	NS	Todas as progênies
F _{3:5}	0,82*	0,56*	0,71*	0,78*
F _{3:6}	0,58*	0,3*	0,53*	0,54*
F _{3:7}	0,2	-0,11	0,19	0,12
Conjunta	0,94*	0,42*	0,61*	0,78*

*: Significativo no teste t, com 5% de probabilidade

5 DISCUSSÃO

O *Colletotrichum lindemuthianum*, agente causal da antracnose no feijoeiro, é um patógeno que possui inúmeras raças (BALLARDIN; KELLY, 1997). Na região Sul do Estado de Minas Gerais ocorrem algumas delas, sendo predominante a raça 65 (ISHIKAWA; RAMALHO; SOUZA, 2011; PEREIRA et al., 2010; PINTO et al., 2010, 2012; SILVA et al., 2007). Por essa razão optou-se por utilizar essa raça na inoculação da geração F₂. As informações disponíveis apontam que o genitor CI107 é suscetível a maioria das raças do patógeno (SILVA et al., 2011). Já a BRSMG Madrepérola é resistente a algumas raças, dentre elas a 65 (CARNEIRO et al., 2012). Na literatura há relatos que ocorrem mais de 13 genes de resistência à antracnose. Desses, em apenas um, a resistência é condicionada pelo alelo recessivo (GONÇALVES-VIDIGAL et al., 2011; KELLY; VALLEJO, 2004; MIKLAS et al., 2006; SINGH; SCHWARTZ, 2010). Entretanto não foi possível precisar qual(is) o(s) gene(s) de resistência possui(em) esse genitor.

Durante as avaliações das progênies F_{3:5}, F_{3:6} e F_{3:7} no campo, houve a ocorrência da doença, contudo ela variou em severidade. Na geração F_{3:5}, que foi conduzida na “safra das águas”, com semeadura em novembro de 2011, as condições ambientais foram favoráveis, especialmente a umidade relativa foi muito alta. Condição essa favorável à ocorrência do *C. lindemuthianum*. Contudo a avaliação de severidade da doença, pela escala de notas, foi prejudicada pela ocorrência de outros patógenos, entre eles *Pseudocercospora griseola* e também o *Colletotrichum truncatum*, agente causal da sarna do feijoeiro. Por essa razão optou-se por não incluir as notas de severidade da antracnose nessa geração.

As progênies F_{3:6} foram avaliadas na denominada “safra da seca” de 2012, com semeadura em fevereiro. Nessa safra utilizou-se irrigação

complementar por aspersão. Houve predominância do *C. lindemuthianum* no campo, o que facilitou as avaliações. Esse procedimento tem sido amplamente utilizado no melhoramento do feijoeiro visando à resistência aos patógenos. Marques Júnior et al. (1997) mostraram que o uso de notas possibilita a análise de variância dos dados sem maiores restrições. Nessa geração a acurácia do experimento foi de 84,9%, indicando que, além da existência de variação entre as progênies, que o erro experimental em relação à variação entre as progênies foi pequena. Portanto, a precisão experimental na avaliação da doença pode ser considerada boa (RESENDE; DUARTE, 2007).

É oportuno salientar que a doença é função da presença do patógeno, do hospedeiro suscetível e das condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento da doença. É provavelmente por essa razão que a linhagem CI107, suscetível ao referido patógeno, ocasionalmente, não obteve nota média muito baixa, como ocorreu com algumas progênies (Figura 2). Era esperado que a cultivar Madrepérola não apresentasse sintomas no campo. Embora a severidade fosse pequena, alguns sintomas ocorreram. Uma das hipóteses que pode ser atribuída é que a resistência não pressupõe ausência de sintoma, ou seja, ela não é completa. A outra é que no campo nem sempre ocorre uma única raça do patógeno, além de ocorrer variabilidade também dentro da raça 65 (DAVIDE; SOUZA, 2009). Pode ser então, que esse genitor seja suscetível a raças que estavam em baixa frequência no campo.

Pode-se questionar, porque na geração $F_{3:6}$ ainda ocorreram progênies suscetíveis entre aquelas derivadas das plantas selecionadas em F_2 ou em F_2 e F_3 em casa de vegetação para o esse patógeno. Deve ser considerado que geração F_2 , entre as plantas resistentes 2/3 estão em heterozigose (Coco) e evidentemente irão segregar. Portanto, indivíduos homozigotos recessivos (coco) irão ocorrer, tanto entre como dentro das progênies. Por essa razão, algumas progênies oriundas das plantas selecionadas em F_2 ou F_2 e F_3 apresentaram notas de

severidade que evidenciam serem suscetíveis (Figura 2). Contudo, deve ser mencionado que a frequência foi inferior a das progênies não selecionadas. No extremo oposto, entre as mais resistentes, ou seja, que apresentaram nota superior a 4,0, a maioria foi selecionada precocemente em F_2 .

A avaliação das progênies $F_{3:7}$, foi realizada na “safra de inverno” com a semeadura em julho de 2012, sob condições de irrigação e baixa umidade. Nessa época as precipitações ocorrem em baixa frequência e mesmo assim no final da cultura. Nessa condição, mesmo a cultura sendo irrigada, a umidade relativa é normalmente baixa, o que faz com que a ocorrência do patógeno seja menor. Além do mais, foram avaliadas apenas 26 progênies de cada origem, número esse inferior ao da etapa anterior, sendo, portanto, a variação genética esperada para o caráter menor. Adicionalmente, deve ser mencionado que a seleção foi efetuada em $F_{3:6}$ para a produtividade de grãos, e como será comentado a seguir, as progênies com maior produtividade de grãos apresentaram menor sintoma da doença. Assim, mesmo entre as não selecionadas não foi observada notas de severidade muito baixas (Figura 3).

As estimativas da herdabilidade para a nota de severidade da doença, na geração $F_{3:6}$ realçam o que já foi comentado, existe ampla variação entre as progênies, independente da origem. A seleção precoce funciona em F_2 ou em F_2 e F_3 para o patógeno, mas não elimina completamente os indivíduos que possuem o alelo recessivo. Ela deve ser efetuada em gerações futuras também, só que nesse caso a frequência de progênies resistentes é bem superior, ou seja, existe uma maior frequência de genótipos homozigotos dominantes (CoCo) e heterozigotos (Coco) (Tabela 10).

Era esperado que as progênies derivadas de plantas selecionadas em F_2 ou F_2 e F_3 apresentassem menor frequência de progênies suscetíveis em gerações mais avançadas, ou seja, apenas 1/3 das progênies deveriam segregar, assim sendo, na geração F_3 , após a seleção em F_2 e F_3 teríamos 1/3 de plantas Coco.

Esse fato não foi constatado na proporção esperada. Algumas hipóteses podem ser aventadas. A primeira é que a diferença pode ter ocorrido por acaso. A segunda é que na geração F_3 a seleção precoce foi prejudicada durante o transplante das plantas resistentes da casa de vegetação para o campo. A temperatura estava elevada e o índice de pegamento foi bem inferior ao observado na seleção feita apenas em F_2 . Essa menor população de plantas F_3 resistentes pode ter contribuído para uma amostragem deficiente.

Na geração $F_{3:7}$ as progênies foram novamente inoculadas em casa de vegetação com a raça 65 do patógeno. A maioria das plantas não selecionadas ou as selecionadas em F_2 ou em F_2 e F_3 obtiveram notas altas de severidade da doença, sendo consideradas resistentes (Figura 4). A explicação mais plausível para esses resultados é a ação da seleção natural nas progênies oriundas de plantas não selecionadas para o patógeno (SINGH et al., 1991). Essas plantas nas gerações F_2 e F_3 foram avançadas em *bulk* no campo e em ambas as safras houve incidência da antracnose. Na colheita, especialmente na geração F_3 , foram identificadas as plantas com maior produção de grãos, para se ter semente suficiente para as avaliações no campo. Certamente, essas plantas eram as que possuíam menor severidade da doença, e, portanto, deveriam ter o genótipo CoCo ou Coco. Já existem evidências que a seleção efetuada para a produtividade de grãos seleciona indiretamente para a resistência à antracnose, desde que ocorra o patógeno no campo (ABREU et al., 2003).

O que realmente interessa neste trabalho é verificar se a seleção efetuada em F_2 ou F_2 e F_3 , para a resistência à antracnose, em condições controladas, tem reflexo no desempenho das progênies com relação à produtividade de grãos. Dizendo de outro modo, a seleção precoce para a resistência à antracnose poderia afetar o sucesso futuro na seleção para a produtividade de grãos. A resposta a essa indagação pode ser dada considerando algumas vertentes. A primeira delas seria as estimativas da herdabilidade para a produtividade de

grãos para a seleção entre progênies, especialmente nas gerações $F_{3:5}$ e $F_{3:6}$, quando o número de progênies dentro de cada origem foi maior. As estimativas da herdabilidade, principalmente $F_{3:5}$, foram de grande magnitude e quando se consideraram todas as progênies foi de 86%. Esse valor é superior à maioria das estimativas de herdabilidade para a produtividade de grãos, visando à seleção na média de progênies disponíveis na literatura (RAMALHO et al., 2012). Em princípio esse resultado indica que a variação ambiental em relação à variação genética entre as progênies foi pequena e que há variação genética expressiva entre as progênies. Condição essa, fundamental para o que se pretende com esse trabalho.

Quando se compara em $F_{3:5}$ as estimativas de herdabilidade de acordo com a origem das progênies, verifica-se que a estimativa das progênies oriundas de plantas selecionadas em F_2 é superior as demais, que são semelhantes, ou seja, há sobreposição nos intervalos de confiança. Depreende-se assim que a seleção precoce para a resistência à antracnose não afetou a variabilidade para a produtividade de grãos em gerações mais avançadas. Já nas gerações $F_{3:6}$ e $F_{3:7}$ as estimativas foram semelhantes para todas as origens, embora a magnitude das estimativas de h^2 fossem menores, pois, como já foi mencionado, foi efetuada a seleção para produtividade em gerações anteriores.

Outra vertente para se avaliar o efeito da seleção precoce é por meio da proporção de progênies que seriam selecionadas de acordo com sua origem (Tabela 20). Entre 20% das progênies $F_{3:5}$ com maior produtividade de grãos, 56,1% foram oriundas da seleção precoce em F_2 . Na geração $F_{3:6}$ foi ainda ligeiramente maior, com 64,1%. Depreende-se que a seleção para a produtividade de grãos não foi prejudicada pela seleção precoce efetuada em F_2 para a resistência à antracnose. Ao contrário, ela foi até benéfica. Isso ocorre porque, como já foi mencionada algumas vezes, a ocorrência da antracnose afeta

positivamente a produtividade de grãos. Ou seja, as plantas mais suscetíveis são as menos produtivas (ABREU et al., 2003).

Esse fato inclusive foi constatado neste trabalho. A estimativa da correlação entre médias das notas de severidade e a produtividade de grãos, especialmente $F_{3:5}$ e $F_{3:6}$, quando ocorreu maior variabilidade para ambos os caracteres, foi alta (Tabela 21). Envolvendo todas as progênies, em $F_{3:5}$, 61% da variação na produtividade de grãos pode ser explicada pela nota de severidade da doença. Corroborando esses resultados, entre as progênies com menor produtividade de grãos, a maioria foi oriunda das progênies cujas plantas não foram selecionadas em F_2 ou em F_2 e F_3 (Tabela 19).

Uma última vertente para se avaliar o efeito da seleção precoce efetuada em F_2 ou em F_2 e F_3 na produtividade de grãos em gerações avançadas é a estimativa do progresso esperado com a seleção para o primeiro caráter. Veja que a estimativa do ganho com a seleção (GS) em $F_{3:5}$, considerando as 20% progênies mais produtivas, independente da origem das progênies foi muito alta, 67,9% na média geral. Esse valor é bem superior às estimativas relatadas na literatura (RAMALHO et al., 2012). Realçando a existência de grande variabilidade genética entre as progênies no cruzamento e a boa precisão experimental na avaliação. A estimativa do ganho com a seleção de acordo com a origem foi diferente. Na geração $F_{3:5}$, ela foi superior nas progênies cuja seleção precoce foi efetuada em F_2 . Em $F_{3:6}$ o ganho com a seleção foi menor nas progênies originadas de plantas não selecionadas (Tabela 20). Depreende-se que a seleção precoce não afeta a variabilidade para a produtividade de grãos e contribuiu para ampliar o sucesso esperado com a seleção para a produtividade de grãos em gerações mais avançadas e, além disso, evita-se a perda de tempo dedicada as progênies suscetíveis ao patógeno que provavelmente serão as de menor produtividade de grãos.

Resultados semelhantes da seleção precoce em caracteres de maior herdabilidade e seu efeito na seleção para a produtividade de grãos em gerações mais avançadas são encontrados na literatura, tais como em feijão (SANTOS et al., 2001) e em caupi (DONÇA, 2012; PADI; EHLERS, 2008). No caso do trabalho com o feijoeiro realizado por Santos et al. (2001), a seleção precoce foi efetuada para o tipo de grão. Um caráter que, pelo menos em princípio, não sofre a ação da seleção natural e nem se correlaciona com a produtividade de grãos, ao contrário da resistência à antracnose relatada neste trabalho. Ficou evidente assim que, quando o caráter de herdabilidade maior afeta positivamente a produtividade de grãos, a seleção precoce para esse caráter é ainda mais vantajosa.

6 CONCLUSÕES

A seleção precoce, realizada em F_2 e F_3 , para a resistência à antracnose em feijoeiro, não reduz a variabilidade para a produtividade de grãos em gerações mais avançadas.

Grande parte da variação na produtividade de grãos é devida a variação na nota de severidade da antracnose. Desse modo, a seleção de plantas resistentes à antracnose em F_2 ou em F_2 e F_3 amplia o sucesso com a seleção para a produtividade de grãos em gerações mais avançadas.

REFERÊNCIAS

- ABREU, A. F. B. et al. Utilização da produtividade de grãos na seleção para resistência ao *Colletotrichum lindemuthianum* no feijoeiro. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, p. 363–369, 2003.
- ALLARD, R. W. **Principles of plant breeding**. 2nd ed. New York: J. Wiley, 1960. 485p.
- ALMEIDA, L. A.; KIIHL, R. A. S.; ABDELNOOR, R. V. Melhoramento da soja. In: SIMPÓSIO SOBRE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, 5., 1997, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 1997. p. 11-55.
- ALZATE-MARIN, A. L. et al. Análise da diversidade genética de raças de *Colletotrichum lindemuthianum* que ocorrem em algumas regiões do Brasil por marcadores RAPD. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 85-88, mar. 1997.
- ALZATE-MARIN, A. L. et al. Análises do DNA de isolados de *Colletotrichum lindemuthianum* e *Phaeoisariopsis griseola* visando identificação de patótipos. **Summa Phytopathologica**, Jaguariuna, v. 47, p. 197–203, 2001.
- BAILEY, J. A.; JEGER, M. J. **Colletotrichum: biology, pathology and control**. Wallingford: CAB International/British Society for Plant Pathology, 1992. 388 p.
- BALLARDIN, R. S. Identificação de raças fisiológicas de *Colletotrichum lindemuthianum* no Rio Grande do Sul – Brasil. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 50-53, mar. 1997.
- BALLARDIN, R. S.; KELLY, J. D. Re-characterization of *Colletotrichum lindemuthianum* races. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 40 p. 126-127, 1997.

BERNARDO, R. Correlation between tests cross performance of lines at early and late selfing generation. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 82, n. 1, p.17-21, May 1991.

BOERMA, H. R.; COOPER, R. L. Effectiveness of early-generation yield selection of heterogeneous lines in soybeans. **Crop Science**, Madison, v. 15, n. 3, p. 313-315, May/June 1975.

BONETT, L. P.; SCHEWE, I.; SILVA, L. I. Variabilidade de *Colletotrichum lindemuthianum* em feijoeiro comum no oeste do estado do Paraná. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 207-210, 2008.

BORÉM, A. ; VIEIRA, G. **Melhoramento de plantas**. 5. ed. Viçosa, MG: UFV, 2009. v. 1, 529 p.

BRIDGES, W. C.; KNAPP, S. P.; CORNELIUS, P. L. Standard erros and confidence interval estimators for expected selection response. **Crop Science**, Madison, v. 31, n. 2, p. 253-255, Mar./Apr. 1991.

CARDENAS, F.; ADAMS, M. W.; ANDERSEN, A. The genetic system for reaction of field beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to infection by three physiologic races of *Colletotrichum lindemuthianum*. **Euphytica**, Wageningen, v. 13, p. 178-186, 1964.

CARNEIRO, J. E. S. et al. BRSMG Madrepérola: common bean cultivar with late-darkening Carioca grain. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 12, p. 281-284, 2012.

CHAVES, G. La antracnosis. In: SHUARTZ, H. F.; GALVEZ, G. E. (Ed.). **Problemas de production de frijol**: enfermedades, insectos, limitaciones edáficas y climáticos de *Phaseolus vulgaris*. Cali: CIAT, 1980. p. 37-53.

CRISPÍN-MEDINA, M. A.; CAMPOS-ÁVILA, J. Bean disease of importance in Mexico in 1975. **Plant Disease Report**, St. Paul, v. 60, n. 7, p. 534-535, 1976.

CRUZ, C. D. ; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa, MG: Viçosa, 2004. v. 1, 480 p.

CUTRIM, V. A.; RAMALHO, M. A. P.; CARVALHO, A. M. Eficiência da seleção visual na produtividade de grãos de arroz (*Oryza sativa L.*) irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 6, p. 601-606, 1997.

DAVIDE, L. M. C.; SOUZA, E. A. Pathogenic variability within race 65 of *Colletotrichum lindemuthianum* and its implications for common bean breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 9, p. 23-30, 2009.

DONÇA, M. C. B. **Seleção precoce para caracteres dos grãos no melhoramento do feijão caupi**. 2012. 100 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

ECHANDI, E. Principales enfermidade de hongo del frijol (*Phaseolus vulgaris*) em los trópicos americano em diferentes zonas ecológicas. **Phytopathology**, St Paul, v. 8, p. 171-177, 1976.

ELLIOT, F. C. **Plant breeding and cytogenetics**. New York: McGraw-Hill Book, 1958. 395 p.

GARCIA, A. **Análise temporal de doenças foliares do feijoeiro comum em Lavras, MG**. 1998. 52 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.

GEFFROY, V. et al. Resistance to *Colletotrichum lindemuthianum* in *Phaseolus vulgaris*: a case study for mapping two independent genes. **Theoretical and Applied Genetic**, Switzerland, v. 116, p. 407–415, 2008.

GONÇALVES-VIDIGAL, M. C. et al. Linkage mapping of the *Phg-1* and *Co-1⁴* genes for resistance to angular leaf spot and anthracnose in the common bean cultivar AND 277. **Theoretical and Applied Genetic**, Switzerland, v. 122, p. 893–903, 2011.

GONÇALVES-VIDIGAL, M. C. ; KELLY, J. D. Inheritance of anthracnose resistance in the common bean cultivar Widusa. **Euphytica**, Wageningen, v. 151, p. 411-419, 2006.

GONZALES, M. et al. Characterization of mexican isolates of *Colletorichum lindemuthianum* by using differential cultivars and molecular marks. **Phytopathology**, St. Paul, v. 88, n. 4, p. 292-299, Apr. 1998.

ISHIKAWA, F. H.; RAMALHO, M. A. P.; SOUZA, E. A. Common bean lines as potential differential cultivars for race 65 of *Colletorichum lindemuthianum*. **Journal of Plant Pathology**, London, v. 93, p. 461-464, 2011.

KELLY, J.; VALLEJO, V. A comprehensive review of the major genes conditioning resistance to anthracnose in common bean. **HortScience**, Alexandria, v. 39, p. 1196–1197, 2004.

KNAPP, S. J.; STROUP, W. W.; ROSS, W. M. Exact confidence intervals for heritability on a progeny mean basis. **Crop Science**, Madison, v. 25, p. 192-194, 1985.

LOBATO, A. K. S. et al. New insights into the anthracnose resistance of common bean differential cultivar Mexico 222. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 53, p. 222-223, 2010.

LUNGU, D. M.; KALTSIKES, P. J.; LARTER, E. N. Honeycomb selection for yield in early generations of spring wheat. **Euphytica**, Wageningen, v. 36, n. 3, p. 831-840, Apr. 1987.

MALLMANN, J. L. et al. Mecanismos de seleção aplicados sobre o caráter tamanho de grãos em populações segregantes de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 3, p. 427-437, mar. 1994.

MARQUES JÚNIOR, O. G. et al. Viabilidade do emprego de notas na avaliação de alguns caracteres do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*). **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 26, p. 411-420, 1997.

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. 339-41, jul./set. 1995.

MASTENBROEK, C. A breeding program for resistance to anthracnose in dry shell haricot beans on a new gene. **Euphytica**, Wageningen, v. 9, p.177-184, 1960.

MIKLAS, P. N. et al. Common bean breeding for resistance against biotic and abiotic stresses: From classical to MAS breeding. **Euphytica**, Wageningen, v. 147, n. 1-2, p. 105-131, Jan. 2006.

MSTAT-C. A software program for the design, management and analysis of agronomic research experiments. Michigan: Michigan State University, 1991.

MUHALET, C. S. et al. Genetic system for the reaction of field beans to beta, gamma, and delta races of *Colletotrichum lindemuthianum*. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 106, p. 601-604, 1981.

PADI, F. K.; EHLERS, J. D. Effectiveness of early generation selection in cowpea for grain yield and agronomic characteristics in Semiarid West Africa. **Crop Science**, Madison, v. 48, p. 533-540, 2008.

PASTOR-CORRALES, M. A.; TU, J. C. Antracnosis. In: PASTOR- CORRALES, M. A.; SCHWARTZ, H. F.(Ed.). **Problemas de producción del frijol em los trópicos**. 2. ed. Cali: CIAT, 1994. p. 87-119.

PATIÑO, H.; SINGH, S. P. Visual selection for seed yield in the F₂ and F₃ generation of nine common bean crosses. **Annual Report Bean Improvement Cooperative**, New York, v. 32, p. 79-80, 1989.

PAULA JÚNIOR, T. J.; ZAMBOLIM, L. Doenças. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. p. 359-414.

PAULA, S. R. R. **Efeito materno associado a capacidade de cozimento do feijoeiro**. 2004. 53 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

PEREIRA FILHO, T. A.; CAVARIANI, C. Taxa de hibridação natural do feijoeiro comum em Patos de Minas, Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 9, p. 1181-1183, set. 1984.

PEREIRA, R. et al. Occurrence of anthracnose in common bean cultivars collected in the state of Minas Gerais - Brazil. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 53, p. 224-225, 2010.

PINTO, A. C. S. et al. Análise padrão espacial e do gradiente da antracnose do feijoeiro em das épocas de cultivo. **Summa Phytopathologica**, São Paulo, v. 27, n. 4, p. 392-398, out./dez. 2001.

PINTO, J. M. A. et al. Investigating phenotypic variability in *Colletotrichum lindemuthianum* Populations. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 102, p. 490-497, 2012.

PINTO, J. M. A. et al. Pathogenicity and virulence structure of *Colletotrichum lindemuthianum* isolates. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 53, p. 228-229, 2010.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B. Melhoramento de espécies autógamas. In: NASS, L. L. et al. (Org.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**. Rondonópolis: Fundação M. T, 2001. v. 1, p. 201-230.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: UFLA, 2012. v. 1, 522 p.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; ZIMMERMANN, J. O. **Genética quantitativa em plantas autógamas**: aplicação ao melhoramento do feijoeiro. Goiânia: UFG, 1993. 271 p.

RAVA, C. A. et al. Determinación de razas fisiológicas de *colletotrichum lindemuthianum* en Nicaragua. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 3, p. 388-391, 1993.

RAVA, C. A.; PURCHIO, A. F.; SARTORATO, A. Caracterização de patótipos de *Colletotrichum lindemuthianum* que ocorrem em algumas regiões produtoras de feijoeiro comum. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 2, p. 167-172, jun. 1994.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, p. 182-194, 2007.

ROSAL, C. J. S. et al. Seleção precoce para a produtividade de grãos no feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 189-195, 2000.

SANTOS, V. S. et al. Consequences of early selection for grain type in common bean breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 1, n. 4, p. 347-354, 2001.

SARTORATO, A. Determinação da variabilidade patogênica do fungo *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc.) Scrib. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 7., 2002, Viçosa, MG. **Resumos...** Viçosa, MG: UFV, 2002. p. 114-116.

SCOTT, A.; KNOTT, M. Cluster-analyses method for grouping means in analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v. 30, n. 3, p. 507-512, Sept. 1974.

SICARD, D. et al. Genetic diversity and pathogenic variation of *Colletotrichum lindemuthianum* in the three centers of diversity of its host, *Phaseolus vulgaris*. **Phytopathology**, St. Paul, v. 87, n. 8, p. 807-813, Aug. 1997.

SILVA, F. B. B. et al. Multiline as strategy to reduce damage caused by *Colletotrichum lindemuthianum* in common bean. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 159, p. 175-180, 2011.

SILVA, H. D. et al. Efeito da seleção visual para produtividade de grãos em populações segregantes do feijoeiro. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 18, n. 2, p. 181-185, 1994.

SILVA, K. J. D. ; SOUZA, E. A. ; ISHIKAWA, F. H. Caracterização patogênica e molecular de isolados de *Colletotrichum lindemuthianum*. . In: CONGRESSO DOS PÓS-GRADUANDO DA UFLA, 14., 2005, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2005. 1 CD ROM.

SILVA, K. J. D.; SOUZA, E. A.; ISHIKAWA, F. H. Characterization of *Colletotrichum lindemuthianum* isolates from the state of Minas Gerais, Brazil. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 155, p. 241-247, 2007.

SINGH, S. P. et al. Independent, alternate, and simultaneous selection for resistance to anthracnose and angular leaf spot and effects on seed yield in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Plant Breeding**, Berlin, v. 106, p. 312-318, 1991.

SINGH, S. P.; SCHWARTZ, H. F. breeding common bean for resistance to diseases: a review. **Crop Science**, Madison, v. 50, n. 6, p. 2199-2223, 2010.

SOMAVILLA, L.; PRESTES, A. M. Identificação de patótipos de *Colletotrichum lindemuthianum* de algumas regiões produtoras de feijão do Rio Grande do Sul. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 3, p. 416-421, set. 1999.

TALAMINI, V. et al. Identificação de raças patogênicas de *Colletotrichum lindemuthianum* a partir de isolados provenientes de regiões produtoras de feijoeiro comum. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 371-375, abr./jun. 2004.

TRABANCO, N. et al. Inheritance of resistance to three anthracnose races in the common bean differential cultivar TO. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 54, p. 106-107, 2011.

VIEIRA, C. et al. Melhoramento do feijão. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2005. p. 301-392.

WENDLAND, A. et al. Intraspecific variability of *Colletotrichum lindemuthianum*. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 54, p. 108-109, 2011.

WHAN, B. R.; KNIGHT, R.; RATHJEN, A. J. Response to selection for grain yield and harvest index in F₂, F₃ and F₄ derived lines of two wheat crosses. **Euphytica**, Wageningen, v. 31, n.1, p. 139-150, Mar. 1982.

WHAN, B. R.; RATHJEN, A. J.; KNIGHT, R. The relation between wheat lines derived from the F₂, F₃, F₄ and F₅ generations for grainyield and harvest index. **Euphytica**, Wageningen, v. 30, n. 2, p. 419-430, June 1981.

APÊNDICE

Apêndice 1A Resumo da análise de variância para a nota de severidade da antracnose do feijoeiro. Obtida na avaliação de famílias F_{3:6} e F_{3:7}, oriundas de progênes selecionadas em F₂, selecionadas em F₂ e F₃ e as não selecionadas

FV	GL	F _{3:6}	GL	F _{3:7}
		QM		QM
Repetição	2	7,96**	2	0,26 ^{NS}
Tratamentos	195	1,37**	80	0,61**
Entre Testemunhas	3	0,86 ^{NS}	2	0,57 ^{NS}
Test vs Progênes	1	7,3**	1	0,11 ^{NS}
Entre Origens	2	17,56**	2	3,88**
Entre F ₂ ¹	63	1,25**	25	0,53 ^{NS}
Entre F ₃ ²	63	1,01**	25	0,62*
Entre NS ³	63	1,28**	25	0,45 ^{NS}
Erro efetivo	351	0,38	136	0,38
Eficiência do Lattice		104,55		102,18
r_{gg}(%)		84,87		61,86

*, **: Teste F significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ^{1,2,3}: Progênes selecionadas em F₂, progênes selecionadas em F₂ e F₃ e progênes não selecionadas, respectivamente