



**RENATO SÉRGIO BATISTA CARVALHO**

**REAÇÃO DE PROGÊNIES DE FEIJÃO TIPO  
CARIOCA AO MOFO BRANCO**

**LAVRAS - MG**

**2011**

**RENATO SÉRGIO BATISTA CARVALHO**

**REAÇÃO DE PROGÊNIES DE FEIJÃO TIPO  
CARIOCA AO MOFO BRANCO**

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 do título de Mestre.

Orientador  
Dr. João Bosco dos Santos

**LAVRAS - MG**

**2011**

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

Carvalho, Renato Sérgio Batista.

Reação de progênies de feijão tipo carioca ao mofo branco /  
Renato Sérgio Batista Carvalho. – Lavras: UFLA, 2011.  
73 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

Orientador: João Bosco dos Santos.

Bibliografia.

1. Feijoeiro. 2. *Sclerotinia sclerotiorum*. 3. Straw Test. 4. Ácido oxálico. 5. Resistência. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.53

**RENATO SÉRGIO BATISTA CARVALHO**

**REAÇÃO DE PROGÊNIES DE FEIJÃO TIPO  
CARIOCA AO MOFO BRANCO**

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 do título de Mestre.

APROVADA em 17 de janeiro de 2011.

Dra. Flávia Maria Avelar                      UFLA

Dr. Helton dos Santos Pereira              EMBRAPA

Dr. João Bosco dos Santos  
Orientador

**LAVRAS - MG**

**2011**

A minha família,

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus.

A minha família. Em especial, meus pais, Joel e Neuza, pelo apoio incondicional em minhas decisões; minha irmã Janine, que me orgulha pelo incentivo em todo o curso; minhas avós, em quem sempre busquei refúgio e demais familiares, pelo apoio.

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Biologia e ao Programa de Pós Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pelo acolhimento e pela oportunidade de fazer parte desse excelente curso.

À Fapemig, pelo apoio ao projeto e pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor João Bosco dos Santos, por todo o processo de orientação, no qual demonstrou profissionalismo, serenidade e paciência, contribuindo muito para a formação não somente pelo conhecimento técnico transmitido, mas também pela oportunidade de convivência com um modelo de profissional.

A meus amigos, aos quais desejo muito sucesso na vida.

A todo o pessoal do Laboratório de Genética e Molecular do DBI/UFLA, em especial Lamartine, Igor, Flávia, Filipe, Juliana, Rafaela, Monik e Letícia, por toda a ajuda e paciência.

Aos colegas do GEN, pelo companheirismo dentro e fora da universidade.

Aos professores e funcionários do Departamento de Biologia da UFLA, por todo conhecimento técnico e de vivência que me proporcionaram.

A minha esposa, Karine, pelo apoio e compreensão durante todo o processo do mestrado.

## RESUMO

O mofo-branco é uma doença do feijoeiro que vem se destacando principalmente em áreas com cultivos sucessivos e irrigados. A metodologia mais eficiente no controle do patógeno que causa a doença é a utilização de cultivares resistentes, sendo necessária a discriminação de genótipos resistentes e suscetíveis. Assim, objetivou-se avaliar metodologias que discriminem genótipos de feijoeiro quanto à reação ao mofo-branco e selecionar progênies superiores. A partir de retrocruzamentos de cultivares com padrões comerciais (recorrentes) e fontes de resistência exóticas, foram obtidas 48 progênies, as quais foram avaliadas para produtividade de grãos, porte da planta, tipo de grãos e por duas metodologias de avaliação da reação ao patógeno. Uma metodologia conhecida como “straw test” consiste na inoculação artificial com o micélio do patógeno em campo, enquanto a outra consiste na semeadura do feijão em bandejas, condução em casa de vegetação até a emissão da segunda trifoliolada, corte da planta na região do colo e submissão das plantas à absorção de uma solução de ácido oxálico. Ambos os métodos foram eficientes em discriminar as progênies quanto à resistência, fornecendo resultados discrepantes, pois podem estar relacionados a diferentes mecanismos de resistência. Portanto eles devem ser utilizados em conjunto. A seleção simultânea para produtividade de grãos, porte da planta, tipo de grãos e resistência ao mofo-branco determinada pelas duas metodologias se mostrou viável, porém, com pequenos ganhos de seleção para os caracteres de reação ao mofo-branco (3,71% para metodologia de absorção de ácido oxálico e 2,39% para a “straw test”). Já a seleção utilizando o índice composto somente por avaliações da reação ao patógeno apresentou ganhos mais elevados para esses caracteres (9,56% para a metodologia de absorção de ácido oxálico e 12,08% para a “straw test”), porém, com ganhos reduzidos para os outros caracteres. Nesse caso, adotar menores intensidades de seleção e priorizar caracteres como a resistência pelos dois mecanismos avaliados e o tipo de grãos, por se tratar de um fator limitante na aceitação pelo consumidor, são as estratégias mais adequadas. Entre as progênies avaliadas se destacam a 10 e a 19, que combinam caracteres de resistência e tipo de grãos favoráveis.

Palavras-chave: *Sclerotinia sclerotiorum*. *Straw test*. Ácido oxálico. *Phaseolus vulgaris*. Resistência.

## ABSTRACT

The white mold is a disease of common bean which has stood mostly in areas with successive crops and irrigation. The most efficient method to control the pathogen that causes disease is the use of resistant cultivars, which requires the discrimination of resistant and susceptible genotypes. Thus, the objective was to evaluate methods that discriminate common bean genotypes for their reaction to white mold and select superior progenies. From the backcross with standard commercial cultivars (recurrent) and exotic sources of resistance were obtained 48 progenies, which were evaluated for yield, upright plants, carioca grain type and two methodologies for evaluating the response to the pathogen. A methodology known as "straw test" consists in artificial inoculation with mycelium of the pathogen in field conditions, while the other consists of submitting 21-day old plants without roots in a solution of 20mM of oxalic acid, pH 4.0, for 15 to 20 hours. Both methods were effective in discriminating the progenies for resistance, providing conflicting results because they might be accessing different resistance mechanisms. Therefore they should be used together. The simultaneous selection for grain yield, upright plants, type of grain and resistance to white mold determined by two methods is viable, however, with small gains selection for the characters of reaction to white mold (3.71% for the methodology of oxalic acid absorption and 2.39% for the "straw test"). The selection using the composite index only by evaluations of the reaction to the pathogen had higher gains for these characters (9.56% for the method of oxalic acid absorption and 12.08% for the "straw test"), but with reduced values for the other characters. Adopting lower selection intensities and prioritizing characters such as resistance evaluated by the two mechanisms of resistance and grain type, because it is a limiting factor in consumer acceptance, are the most appropriate strategies. Among the selected progenies the 10 and 19, are the better which combine resistance to white mold and favorable grain type.

Keywords: *Sclerotinia sclerotiorum*. Straw test. Oxalic acid. *Phaseolus vulgaris*. Resistance.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	12
2.1	Cultivo do feijoeiro no Brasil.....	12
2.2	Mofo-branco.....	13
2.3	Mecanismos de infecção do mofo-branco .....	13
2.4	Controle genético da reação do feijoeiro comum ao mofo-branco.....	15
2.5	Métodos de avaliação de resistência a mofo-branco.....	17
2.5.1	Straw test (teste do canudo).....	18
2.5.2	Método da avaliação da reação do feijoeiro pela absorção de ácido oxálico .....	18
2.5.3	Método de inoculação com escleródios .....	20
2.6	Avaliação de caracteres agronômicos .....	21
2.6.1	Produtividade de grãos .....	22
2.6.2	Tipo de grãos.....	23
2.6.3	Porte da planta.....	24
3	MATERIAL E MÉTODOS .....	26
3.1	Local de condução dos experimentos .....	26
3.2	Material genético .....	26
3.2.1	Material vegetal .....	26
3.2.2	Inóculo - <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> (Lib.) De Bary .....	27
3.3	Metodologias de avaliação da reação do feijoeiro-comum ao mofo-branco .....	27
3.3.1	“Straw test” ou teste do canudo .....	27
3.3.1.1	Experimento utilizando duas irrigações diárias .....	28
3.3.1.2	Experimento utilizando irrigação com intervalos de 72 horas .....	28
3.3.2	Método do ácido oxálico.....	29
3.3.3	Método de inoculação de escleródios, avaliação de produtividade de grãos, porte da planta e tipo de grãos do feijoeiro.....	30
3.4	Análise dos dados.....	33
3.4.1	Estimativa das herdabilidades.....	36
3.4.2	Estimativa da acurácia seletiva ( $r_{gg}$ ) .....	37
3.4.3	Ordenamento dos dados por índice de seleção.....	38
3.4.4	Estimativa do ganho com a seleção (GS) .....	39
3.4.5	Estimativa dos coeficientes de correlação fenotípica entre as características de interesse duas a duas.....	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	41
4.1	Produtividade de grãos .....	42
4.2	Porte da planta.....	45

<b>4.3</b>	<b>Tipo de grãos.....</b>	<b>47</b>
<b>4.4</b>	<b>Reação ao mofo-branco pelo método “straw test”.....</b>	<b>49</b>
<b>4.5</b>	<b>Reação ao mofo-branco pelo método de absorção de ácido oxálico .....</b>	<b>52</b>
<b>4.6</b>	<b>Coefficientes de correlação fenotípica entre caracteres avaliados... </b>	<b>54</b>
<b>4.7</b>	<b>Estimativas dos ganhos com a seleção (GS) .....</b>	<b>56</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>66</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>67</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é um dos principais componentes da dieta alimentar brasileira, constituindo uma das mais importantes fontes de proteína vegetal no país.

A produção do feijoeiro é limitada por diversos fatores bióticos e abióticos. Entre os fatores bióticos que causam grandes prejuízos à cultura, destacam-se as doenças fúngicas, entre as quais se insere o mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary), especialmente em áreas de cultivo irrigado sob pivô central, quando são realizados sucessivos ciclos da cultura em condições ideais de temperatura e umidade para o desenvolvimento do patógeno. As perdas anuais causadas por *S. sclerotiorum* no Brasil chegam a 50% na cultura do feijoeiro, podendo atingir níveis superiores (CARNEIRO, 2009).

O controle do patógeno em áreas ainda não infectadas deve ser realizado utilizando-se sementes de boa qualidade sanitária e evitando-se a introdução do patógeno por pessoas e implementos oriundos de áreas infectadas. Em áreas onde já se detectou a presença do patógeno são recomendadas medidas integradas de controle, incluindo a utilização de fungicidas e práticas culturais, tais como rotação de culturas, eliminação de resíduos culturais, redução da irrigação e uso de antagonicos no solo (CARNEIRO, 2009).

A medida de controle mais eficiente é a utilização de cultivares resistentes ao fitopatógeno, estando esta restrita a alguns genótipos geralmente exóticos e pouco adaptados (KOLKMAN; KELLY, 2002). Portanto, é necessário um trabalho de transferência dos alelos de resistência para cultivares elite para que estas possam ser utilizadas pelo produtor.

O melhoramento visando aumentar o nível de resistência das cultivares exploradas comercialmente no Brasil certamente terá impacto significativo na

cadeia produtiva do feijoeiro, permitindo o cultivo em áreas com incidência do patógeno e diminuindo custos com defensivos.

No processo de obtenção de cultivares resistentes, uma dificuldade é a etapa de avaliação de plantas quanto à reação de resistência a doenças. Há evidências de que a resistência ao mofo-branco seja horizontal, implicando em variados mecanismos de resistência (ANTONIO et al., 2008). Para se obter uma avaliação mais precisa, é importante realizar a avaliação da reação ao patógeno utilizando diferentes metodologias.

Além da reação das progênies a doenças, também é importante identificar aquelas com fenótipos favoráveis para caracteres como produtividade e tipo de grãos e porte da planta. Dada a complexidade da resistência ao mofo-branco, o trabalho foi realizado com os objetivos de avaliar a reação das progênies por diferentes metodologias e caracterizá-las quanto ao porte, à produtividade e ao tipo de grãos.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Cultivo do feijoeiro no Brasil**

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é cultivado em praticamente todos os estados brasileiros. Na safra 2009/2010 foram cultivados aproximadamente 3.608 mil hectares no país, sendo 143 mil ha na região norte (com produção de 81,9 mil toneladas), 1.843,6 mil ha na região nordeste (produzindo 698,1 mil toneladas), 257,7 mil ha na região centro-oeste (produzindo 493,2 mil toneladas), 626,5 mil ha na região sudeste (produzindo 972,1 mil toneladas) e 738 mil ha na região sul (com produção de 1.077,2 toneladas). A produtividade é muito variável de região para região, dependendo do clima, da época de plantio e do nível de tecnologia empregado, variando de 380 kg/ha, na região nordeste a 1.914 kg/ha, na região centro-oeste, porém, com produtividades chegando próximas de 2.600 kg/ha no estado de Goiás (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2011).

Didaticamente, podem-se classificar as épocas de plantio do feijão pelas datas de plantio e colheita. Assim têm-se o cultivo de primavera-verão, que constitui o que os agricultores denominam feijão das “águas”, com plantio concentrado nos meses de outubro e novembro; o cultivo de verão-outono, também chamado de safra da seca, com plantio nos quatro meses, de fevereiro a março; o cultivo de outono-inverno, a safra do inverno, com a semeadura no outono (abril a junho) e colheita no inverno e o cultivo de inverno-primavera, uma vez que, em áreas de inverno mais rigoroso, a semeadura, muitas vezes, é realizada em pleno agosto, para que a cultura irrigada escape dos rigores do frio. As safras das águas e da seca são cultivadas de forma tradicional, por pequenos e médios agricultores, muitos ainda utilizando sistemas consorciados e baixo

nível tecnológico. No entanto, a safra de inverno é praticada, na maioria dos casos, por empresários agrícolas, utilizando alta tecnologia (ARAÚJO, 1998).

O cultivo do feijoeiro em áreas irrigadas tem aumentado nos últimos anos por motivos como a tecnificação da cultura, a possibilidade de exploração de áreas no inverno e também por ser uma boa opção na rotação de culturas.

Entre as cultivares utilizadas no Brasil, a maioria corresponde àquelas com o tipo de grão semelhante ao da cultivar carioca, a preferida comercialmente na maioria das regiões do país e suscetível a patógenos importantes que afetam a cultura (RAMALHO; ABREU, 2006).

## **2.2 Mofo-branco**

O mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) De Bary) é um fungo necrotrófico, com capacidade de colonizar uma gama de hospedeiros de aproximadamente 400 espécies de plantas. A maioria dessas espécies é dicotiledônea, embora algumas culturas monocotiledôneas também possam ser afetadas (BOLTON; THOMMA; NELSON, 2006).

No Brasil, sua importância econômica aumentou nos últimos anos, particularmente em áreas de cultivo de feijoeiro no inverno sob irrigação via pivô central, onde as condições de temperatura e umidade geralmente excessivas favorecem a germinação de escleródios do fungo e o desenvolvimento de epidemias (CARDOSO, 1994).

## **2.3 Mecanismos de infecção do mofo-branco**

O uso de sementes infectadas com micélio e/ou infestadas com escleródios é, provavelmente, a principal causa da introdução desses patógenos nas lavouras, uma vez que há no país dificuldade em obter sementes de feijão livres de escleródios. Os escleródios podem germinar miceliogenicamente,

infectando diretamente as plantas ou, como é mais comum, carpogenicamente, produzindo apotécios que liberam ascósporos. Estes podem infectar a parte aérea das plantas (OLIVEIRA, 2005).

Geralmente, a infecção se inicia na junção do pecíolo com a haste, cerca de 10 a 15 cm do solo, onde flores, folhas e demais tecidos senescentes ficam retidos sob temperatura amena e alta umidade, condições que favorecem o fungo (OLIVEIRA, 2005).

Quando a lesão circunda a haste, a planta sofre murcha, podendo chegar à morte. O fungo ataca toda a parte aérea da planta, principalmente no período da floração, as quais servem como substrato para se iniciar as infecções por ascósporos (HUIINTER; ABAWI; CROISER, 1978).

Os sintomas caracterizam-se por crescimento do micélio branco, com lesões inicialmente encharcadas que se espalham rapidamente para haste, ramos, folhas e vagens e, com o passar do tempo, adquirem uma coloração chocolate à amarronzada. A folhagem acima da região afetada pode murchar ou amarelecer. As sementes atacadas perdem o brilho, tornam-se opacas e de peso reduzido. O período crítico da doença vai do florescimento até a formação e enchimento das vagens. O fungo pode sobreviver em uma determinada área por mais de 10 anos, mesmo na ausência de hospedeiros e condições favoráveis, por meio de estruturas de resistência formadas pelo fungo conhecidas como escleródios (MICHEREFF, 2009).

A invasão dos tecidos pelas hifas se dá pela secreção de ácido oxálico e outras enzimas, como a poligalacturonase. O ácido oxálico atua como supressor da explosão oxidativa em plantas hospedeiras, desativando um dos mecanismos mais importantes de resistência de plantas a patógenos (CESSNA et al., 2000).

O ácido oxálico secretado pelo patógeno tem pH ácido, próximo de quatro, o que favorece a degradação da parede celular nos tecidos infectados, pois maximiza a atividade de enzimas degradantes. Além disso, remove íons de

cálcio vinculados a pectinas, expondo as células hospedeiras às enzimas catabólicas do fungo (BATEMAN; BEER, 1965). Segundo Guimarães e Stotz (2004), o ácido oxálico causa sintomas de ressecamento foliar por perturbação das funções das células guarda dos estômatos, responsáveis pela regulação osmótica, além de interferir no hormônio ABA, induzindo a abertura estomática.

#### **2.4 Controle genético da reação do feijoeiro comum ao mofo-branco**

Conhecer o tipo de ação gênica que predomina no controle genético de um caráter é fator importante para a condução eficiente de um programa de melhoramento. Quando o controle genético é complexo, envolvendo um maior número de locos, ou quando a influência de fatores ambientais sobre a expressão do caráter é pronunciada, há maior dificuldade em se conhecer com detalhes a natureza da ação gênica presente (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

Os mecanismos de resistência ao mofo-branco estão associados à resistência fisiológica (parcial) e a mecanismos de escape, como caracteres morfológicos, em especial o porte, arquitetura das plantas e porosidade de dossel (KOLKMAN; KELLY, 2002). Tais caracteres afetam condições microclimáticas como umidade, luminosidade, aeração e deposição de água, influenciando no estabelecimento e no desenvolvimento do fitopatógeno (KOLKMAN; KELLY, 2003). Em anos mais chuvosos e com temperaturas mais amenas há o favorecimento de maior intensidade da doença (KIM; SNELLER; DIERS, 2000).

As conclusões que se obtêm em pesquisas sobre o tipo de ação dos genes são dependentes dos materiais genéticos estudados numa dada espécie. É, pois, temeroso, com base em estudos realizados em certos cruzamentos, inferir a respeito do controle genético de um dado caráter para a espécie como um todo (CARNEIRO, 2009).

A resistência fisiológica de cultivares deveria ser a maneira mais eficiente para o controle do mofo-branco. Entretanto, a resistência completa é inexistente no feijoeiro, embora progênies com certos níveis de resistência fisiológica tenham sido identificadas por meio do método indireto de avaliação da reação do feijoeiro ao mofo-branco utilizando solução de ácido oxálico (ANTONIO et al., 2008; GONÇALVES; SANTOS, 2008). A dificuldade de se desenvolver progênies resistentes a esse fitopatógeno deve-se ao fato de a resistência fisiológica ser quantitativa, com moderada a baixa herdabilidade, considerando-se, portanto, imprecisa a avaliação da reação da planta ao fungo (MIKLAS et al., 2004).

Em feijão, bem como em outras espécies, os genes de reação aos patógenos ocorrem, frequentemente, em grupos (ASHFIELD et al., 1998; MIKLAS et al., 2001). Foram identificados, de forma independente, mais de dez locos de caracteres quantitativos (QTL) que condicionam resistência ao mofo-branco. A identificação de QTLs tem sido realizada utilizando-se bases genéticas limitadas e a resolução biparental, além de ter, geralmente, seu efeito estimado em poucos ambientes, tornando questionável a sua relevância quando introduzidos por meio de cruzamento com germoplasmas do exterior, devido à interação QTL por ambiente (CARNEIRO; SANTOS; LEITE, 2010; HARJES; ROCHEFORD; BAI, 2008).

Miklas et al. (2001) observaram a extrema importância dos mecanismos de escape da planta para reduzir a severidade da doença em campo. Esses autores constataram que a linhagem A55, de porte ereto e hábito de crescimento determinado, foi suscetível em condições de casa de vegetação, porém, resistente em condições de campo. Os mesmos autores observaram também que o QTL situado no grupo de ligação B7 e localizado próximo ao loco da proteína de sementes Phs (phaseolina), presente na linhagem de feijão andina G122,

explicou 38% da variação fenotípica da reação ao mofo-branco, quando avaliada pelo método do “straw test”, e 26%, quando avaliada em campo.

Poucos trabalhos foram realizados para identificar o controle genético da resistência ao mofo-branco, especialmente em feijão. Miklas et al. (2001) observaram que a herdabilidade da resistência do feijoeiro comum ao mofo-branco, quando estimada em casa de vegetação pelo método “straw test”, foi menor (0,65) do que quando estimada em condições de campo (0,78). Isso se deve ao fato de a resistência fisiológica, detectada pelo “straw test”, ser um dos componentes da resistência no campo, ou seja, tanto fisiológica quanto mecanismos de escape contribuem para a resistência em campo. Em avaliações realizadas por Lima (2010), utilizando o “straw test” em campo, a herdabilidade no sentido amplo estimada para o caráter se mostrou de elevada magnitude (0,90), o que pode favorecer a seleção de genótipos superiores.

Segundo Antonio et al. (2008), que avaliaram, pelo método do ácido oxálico a reação de progênies  $F_{2:3}$  do RC1 G122 (G122 x VC3) e Carneiro (2009), que avaliou progênies  $F_{2:3}$  do RC1 M20 (G122 x M20), por meio do “straw test”, há predominância da variância aditiva no controle da expressão da reação de resistência parcial (fisiológica) do feijoeiro-comum ao mofo-branco. Todos estes autores concluíram que as estimativas das herdabilidades no sentido amplo (0,47 e 0,53) indicam que a seleção é mais eficiente com base na média de progênies e com inoculações múltiplas.

## **2.5 Métodos de avaliação de resistência a mofo-branco**

Metodologias para a seleção de plantas de feijão resistentes a mofo-branco têm sido estudadas na tentativa de se estabelecer eficiência e rapidez nesse tipo de trabalho (TOLEDO-SOUZA; COSTA, 2003). Entre os testes mais comumente utilizados na literatura estão os descritos a seguir.

### **2.5.1 Straw test (teste do canudo)**

Petzoldt e Dickson (1996) apresentaram um método denominado “straw test”, ou teste do canudo. Neste teste, as plantas são inoculadas de três a cinco semanas após a semeadura. Os inóculos são crescidos em placas com meio de cultura batata dextrose ágar (BDA), a 23°C, fornecendo um crescimento uniforme. Para se conseguir um crescimento ativo é necessário repicar o fungo duas vezes e a inoculação deve ser realizada três dias após a repicagem. A placa pronta tem a aparência de algodão, mas ainda não apresenta a formação de escleródios. Canudos de plástico (6 mm de diâmetro) são cortados com 3 cm de comprimento, uma extremidade é grampeada e a outra é deixada aberta para cortar o disco de ágar da placa. No interior do canudo é inserido o disco de ágar contendo o micélio do fungo, que é fixado no ápice cortado da planta, permitindo o contato do patógeno com o hospedeiro. Alternativamente, pode-se utilizar uma ponteira plástica de micropipeta no lugar do canudo. Oito dias depois, são realizadas as avaliações segundo a escala de resistência ao mofo-branco proposta por Singh et al. (2007).

Uma vantagem do método é o fato de não ser destrutivo, permitindo a colheita das sementes de progênes resistentes no decorrer do programa de melhoramento. Terán e Singh (2008) consideram a metodologia “straw test” uma das mais eficientes na avaliação de genótipos quanto à reação ao mofo-branco.

### **2.5.2 Método da avaliação da reação do feijoeiro pela absorção de ácido oxálico**

O ácido oxálico é um metabólico tóxico produzido por uma larga variedade de microrganismos (HODGKINSON, 1977; NAKAGAWA et al.,

1999). Em diversos estudos tem sido mostrado o relacionamento entre ácido oxálico produzido por *S. sclerotiorum* (Lib.) de Bary e patogenicidade (FERRAR; WALKER, 1993; PIERSON; RHODES, 1992). O micélio do mofo-branco exsuda uma grande quantidade de ácido oxálico durante a infecção dos tecidos da planta (MAXWELL; LUMSDEN, 1970).

A resistência ao oxalato (ROX) pode ser um importante componente de resistência fisiológica. Tem sido demonstrado que a resistência ao oxalato está correlacionada com a resistência a mofo-branco em campo (KOLKMAN; KELLY, 2000; TU, 1985).

Kolkman e Kelly (2000) desenvolveram o método indireto de avaliação da reação ao mofo-branco pela absorção de ácido oxálico, baseado em evidências de que os genótipos que absorvem o ácido mais lentamente são os mais resistentes (TU, 1985). Na avaliação são utilizadas plantas de 21 dias de idade, cortadas na região do colo. A extremidade inferior do caule é imersa em uma solução de ácido oxálico (20 mM) e pH 4,0, por um período de 15 a 20 horas.

A vantagem desse procedimento é a avaliação no estágio de “seedling”, podendo-se medir a reação de um grande número de genótipos em um tempo curto, independente da dificuldade de manuseio do patógeno e dos erros devido à variabilidade patogênica e evitando-se o efeito do ambiente na avaliação em campo. Entretanto, é necessário utilizar plantas de tamanhos uniformes na fase V3 (Tabela 1).

Tabela 1 Etapas do desenvolvimento da planta do feijoeiro-comum (QUINTELA, 2001)

Etapas*	Descrição**
V0	Germinação: absorção de água pela semente; emergência da radícula e sua transformação em raiz primária.
V1	Emergência: os cotilédones aparecem no solo e começam a se separar. O epicótilo começa seu desenvolvimento.
V2	Folhas primárias: folhas primárias completamente abertas.
V3	Primeira folha trifoliolada: abertura da primeira folha trifoliolada e o aparecimento da segunda folha trifoliolada.
V4	Terceira folha trifoliolada: abertura da terceira folha trifoliolada; as gemas e os nós inferiores produzem ramos.
R5	Pré-floração: aparece o primeiro botão floral e o primeiro racimo.
R6	Floração: abre-se a primeira flor.
R7	Formação de vagens: aparece a primeira vagem.
R8	Enchimento de vagens: começa o enchimento da primeira vagem (crescimento das sementes). Ao final dessa etapa, as sementes perdem a cor verde e começam a mostrar as características da cultivar/progênie. Inicia-se o desfolhamento.
R9	Maturação fisiológica: as vagens perdem a pigmentação e começam a secar. As sementes adquirem a coloração típica da cultivar/progênie.

\*V = Fase vegetativa; R = Fase reprodutiva

\*\*Cada etapa inicia-se quando 50% das plantas mostram as condições que correspondem à descrição da etapa

### 2.5.3 Método de inoculação com escleródios

Huang, Mundel e Ericson (2003) propuseram uma metodologia de avaliação da resistência de plantas de feijoeiro a mofo-branco utilizando a inoculação de escleródios em campo. O trabalho realizado pelos autores consistiu na inoculação de escleródios crescidos em placas de Petri com meio de cultura BDA, por oito semanas, a 10°C. Os escleródios foram enterrados a 2,5 cm de profundidade entre as linhas de plantio após a emergência do feijão. A avaliação da resistência foi realizada por meio da porcentagem de plantas sintomáticas por parcela, de modo que as cultivares mais resistentes receberam menores notas enquanto as mais suscetíveis receberam altas notas.

Os autores avaliaram a reação por duas intensidades da doença. Para a baixa intensidade, as parcelas foram pulverizadas com fungicidas periodicamente, enquanto no experimento com alta intensidade da doença, não foi utilizado nenhum fungicida.

A utilização dessa metodologia torna possível estimar as perdas de produtividade atribuídas ao mofo-branco. Foram encontradas reduções de produtividade variando entre 6%, para o experimento com baixa intensidade da doença e 25%, para o experimento conduzido em condições de alta intensidade.

Nas avaliações realizadas por Huang, Mundel e Ericson (2003), a metodologia conseguiu distinguir significativamente as progênies quanto à reação ao mofo-branco, o que torna o método útil na seleção de plantas resistentes.

Os autores ainda enfatizam que o hábito de crescimento ereto tem grande influência na resistência do feijoeiro ao mofo-branco em condições de campo e que a combinação de resistência e hábito de crescimento deve ser utilizada.

## **2.6 Avaliação de caracteres agronômicos**

Na avaliação de progênies de feijão tipo carioca, é indispensável a avaliação de caracteres como tipo e produtividade de grãos. Outro caractere que merece destaque é o porte da planta, especialmente quando há interesse no controle de doenças.

Com a finalidade de facilitar os tratos culturais e reduzir as perdas por ocasião da colheita, obtendo-se assim grãos com melhor qualidade, a arquitetura da planta vem recebendo ênfase nos programas de melhoramento, procurando-se novas cultivares próximas de um padrão. Adams (1973) apresentou um ideótipo

para o feijoeiro que, posteriormente, foi modificado por Kelly (2001). Segundo esses autores, a planta ideal deve apresentar:

- a) eixo central: haste principal com um mínimo de ramos eretos, robusto, de diâmetro grande, numerosos nós e internódios superiores de comprimento médio;
- b) racemos: axilares, a cada nó, muitas flores, pedúnculo curto, comprimento total não muito grande;
- c) folhas: pequenas, de orientação vertical, numerosas e pequenas células do mesófilo e alto índice estomatal;
- d) vagens: longas e com muitas sementes, com maturação uniforme;
- e) sementes: tão grandes quanto possível, dentro do padrão comercial;
- f) hábito de crescimento: determinado, ereto e estreito;
- g) taxa de crescimento: rápida acumulação da área foliar ótima;
- h) duração do crescimento: rápido estabelecimento das estruturas nutricionais e longo período do florescimento à maturação.

A avaliação de características como porte, produtividade e tipo de grãos, é preferencialmente realizada utilizando-se experimentos em campo, em mais de um ambiente, e o objetivo é o de se obter plantas eretas, com grãos comercialmente aceitáveis e que sejam produtivas.

Para caracteres em que a avaliação depende da seleção visual, o ideal é que esta seja realizada por mais de um avaliador, tomando-se a média das avaliações.

### **2.6.1 Produtividade de grãos**

A produtividade de grãos quase sempre é uma das características de maior interesse na cultura do feijoeiro, sendo sua expressão dependente de diversos fatores que afetam a planta. Segundo Ayaz et al. (2004), a

produtividade de grãos pode ser decomposta no produto de três componentes: número de vagens/planta, número de grãos/vagem e peso de grãos. A produtividade máxima é obtida quando esses três componentes apresentarem alto valor e participação semelhante para o produto final.

O controle genético da produtividade em feijão, estudado por Santos, Vencowsky e Ramalho (1985), demonstrou que a ação gênica aditiva é predominante em relação à dominância. O caráter tem herança quantitativa, devido ao controle poligênico e à acentuada influência ambiental. Nesse caso, a interação genótipos por ambientes é especialmente importante, pois a cultura é difundida em todo país, contemplando os mais variados ambientes. Além da grande amplitude geográfica de cultivo, podem ser obtidas três safras anuais e existem inúmeras condições tecnológicas de seus produtores (RAMALHO; SANTOS; ZIMMERMANN, 1993). A avaliação para a característica deve ser realizada, portanto, no maior número de locais e safras, na tentativa de se selecionar genótipos mais produtivos e adaptados a cada ambiente de cultivo.

Os ganhos de seleção obtidos para produtividade têm se apresentado na faixa de 10% a 12% (MARCONDES; SANTOS; PEREIRA, 2010; PARRELA; SANTOS; PARRELA, 2008; SILVA; SANTOS; ABREU, 2006).

### **2.6.2 Tipo de grãos**

Apesar da preferência por alguns tipos de feijão no Brasil, há enorme variabilidade para uma série de caracteres (SANTOS; GAVILANES, 1998). Ela é particularmente expressiva para os caracteres associados aos grãos, especialmente tamanho e cor. Nesse último caso, é possível encontrar as mais variadas cores, com diferentes padrões de distribuição dessas cores nos grãos.

Como os caracteres relacionados ao grão têm grande importância na aceitação comercial de uma determinada cultivar, os programas de

melhoramento têm dado atenção à preferência regional por tipo de grão ao recomendar uma cultivar. O tipo de grão carioca é o aceito na maior parte do país, isto é, grão creme com listras marrons, sendo os mais claros possíveis e sem halo amarelo. Outro caráter associado à aceitação da cultivar do tipo carioca é o tamanho dos grãos. A preferência é para grãos de tamanho médio, isto é, 100 grãos pesando de 23 a 25 gramas (RAMALHO; ABREU, 2006).

Em função da importância dessa característica, os programas de melhoramento devem dar ênfase à seleção para determinados tipos de grãos, especialmente o carioca. Essa seleção deve ser realizada logo nas primeiras gerações, para se evitar a perda de recursos e de tempo na avaliação de famílias, cujos grãos não terão aceitação comercial (RAMALHO; SANTOS; ZIMMERMANN, 1993). Vale salientar que a seleção para cor do grão é eficiente desde a geração  $F_2$ , devido à herdabilidade elevada do caráter.

São observados ganhos de seleção para tipo de grãos variando entre 1,18% a 10% (MARCONDES; SANTOS; PEREIRA, 2010; PARRELA; SANTOS; PARRELA, 2008; SILVA; SANTOS; ABREU, 2006), enfatizando a necessidade da escolha de genitores com tipo de grãos em níveis mais adequados possíveis em cruzamentos.

Para a avaliação do caráter, são utilizadas chaves descritivas de notas, como a utilizada por Marques Junior (1997).

### **2.6.3 Porte da planta**

Um dos componentes mais importantes, no que se refere ao porte, é o hábito de crescimento. As plantas de hábito determinado desenvolvem inflorescência no ápice da haste principal e das hastes laterais, sendo que o florescimento ocorre do ápice para a base (SANTOS; GAVILANES, 1998). No hábito indeterminado, os meristemas apicais da haste principal e das laterais

continuam vegetativos durante o florescimento, que ocorre da base para o ápice. O hábito de crescimento pode ser classificado em quatro tipos: tipo I, plantas de crescimento determinado e arbustivo; tipo II, plantas com crescimento indeterminado e guia curta; tipo III, plantas de crescimento indeterminado e guia longa e tipo IV, semelhante ao tipo III, porém, com plantas mais volúveis e com internódios mais longos.

No controle genético desse caráter, há predominância de efeito aditivo, evidenciando a possibilidade de sucesso com a seleção, especialmente se esta for realizada após a avaliação em algumas gerações e/ou ambientes (COUTO; SANTOS; FERREIRA, 2008; TEIXEIRA; RAMALHO; ABREU, 1999). Collicchio, Ramalho e Abreu (1997) verificaram correlações positivas, porém, de pequena magnitude, entre arquitetura de planta e produtividade de grãos.

Huang, Mundel e Ericson (2003) mencionam que a combinação entre a resistência fisiológica e o hábito de crescimento vertical (plantas mais eretas) é um método efetivo para reduzir a incidência e severidade do mofo-branco em feijoeiro, podendo ser utilizada como medida preventiva contra perdas de produtividade causadas pela doença.

Silva, Santos e Abreu (2006) obtiveram ganho com a seleção para o caráter próximo a 11%, enquanto Parrela, Santos e Parrela (2008) conseguiram 22%.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local de condução dos experimentos

Todos os experimentos foram conduzidos na área experimental do Departamento de Biologia (DBI) da Universidade Federal de Lavras (910 metros de altitude, 21° 58' S de latitude e 45° 22' W de longitude), em Lavras, MG.

#### 3.2 Material genético

##### 3.2.1 Material vegetal

As progênies utilizadas nos experimentos foram obtidas de três populações de retrocruzamento: [VC3(VC3 x G122)], [VC3(VC3 x Ex Rico 23)] e {M20[M20(M20 x G122)]}.

A linhagem VC3 foi desenvolvida pela Universidade Federal de Viçosa, está em processo de registro junto ao Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento e será indicada como nova cultivar para o estado de Minas Gerais. Ela tem grão do tipo carioca, alta produtividade, hábito de crescimento tipo III e resistência a algumas raças de *Colletotrichum lindemuthianum*. A linhagem M20 foi desenvolvida pela Universidade Federal de Lavras, tem grão do tipo carioca, hábito de crescimento tipo II e é resistente a todas as raças de *C. lindemuthianum* que ocorrem no Brasil, pois é portadora da pirâmide de alelos Co-4<sup>2</sup> Co-5 e Co-7 (SILVA; SANTOS; ABREU, 2006), além de apresentar resistência à mancha-angular, proveniente da linhagem andina Jalo EEP 558. As linhagens G122 e Ex Rico 23, respectivamente de origem andina e mesoamericana, são fontes de resistência fisiológica ao mofo-branco (KOLKMAN; KELLY, 2003; MIKLAS et al., 2001).

Com base nas avaliações realizadas por Carneiro (2009) e Lima (2010), foram selecionadas 27 progênies  $F_{2:5}$  derivadas do RC1 dos retrocruzamentos [VC3(VC3 x G122)] e [VC3(VC3 x Ex Rico 23)] e 21 progênies  $F_{1:4}$  oriundas do RC2 do retrocruzamento {M20[M20(M20 x G122)]}.

Nos experimentos conduzidos no presente trabalho, foram utilizadas as 48 progênies selecionadas e as linhagens testemunha M20 e G122, não tendo esta última participado de todos os experimentos.

### **3.2.2 Inóculo - *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) De Bary**

O material genético referente ao patógeno foi obtido a partir de escleródios coletados em área contaminada de feijoeiro cultivado sob pivô central no município de Ijaci, MG.

## **3.3 Metodologias de avaliação da reação do feijoeiro-comum ao mofo-branco**

Foram utilizadas as metodologias descritas a seguir.

### **3.3.1 “Straw test” ou teste do canudo**

Para a avaliação dessa característica foram realizados dois experimentos, sendo um nas secas e outro na safra de inverno de 2010. Os experimentos foram instalados utilizando-se as 48 progênies selecionadas e a testemunha M20, em látice 7x7 com três repetições, sendo cada parcela representada por uma linha de 1 metro, inoculando-se 10 plantas por parcela.

A semeadura foi realizada em campo, com espaçamento entre linhas de 50 cm e a densidade de semeadura de quinze sementes por metro linear. A adubação foi realizada na semeadura com 300 kg/ha da fórmula 8-28-16 (N-

P2O5-K20) e posterior aplicação de 150 kg/ha de sulfato de amônio em cobertura, aproximadamente vinte dias após a emergência das plantas. A irrigação foi conduzida normalmente, por aspersão, até a inoculação.

Após três a cinco semanas de sua semeadura, realizou-se a inoculação das progênies com o fungo, que foi crescido em meio de BDA, em placas de Petri, por três dias, a 23°C. Adaptando a metodologia descrita por Petzold e Dickson (1996), durante a inoculação, foram utilizadas ponteiros de micropipeta do tipo eppendorf para perfurar o ágar contendo o micélio do fungo. O ápice da planta foi cortado a cerca de 2,5 cm do nó e sobre este foi inserida a ponteira contendo o micélio do fungo no seu interior. A ponteira foi fixada no local do corte, de forma que o micélio ficasse em contato com a planta.

#### **3.3.1.1 Experimento utilizando duas irrigações diárias**

Esse experimento foi conduzido na safra das secas de 2010. Após a inoculação, foi efetuada irrigação por aspersão, duas vezes ao dia, por 30 minutos, visando criar condições ideais para o desenvolvimento do patógeno. A avaliação se deu 15 dias após a inoculação.

#### **3.3.1.2 Experimento utilizando irrigação com intervalos de 72 horas**

O experimento foi conduzido na safra de inverno de 2010. Após a inoculação, a irrigação se deu por aspersão, com intervalos de aproximadamente 72 horas, com a duração de 2 horas por seção de irrigação, visando simular condições normais de cultivo. A avaliação ocorreu 8 dias após a inoculação.

Para ambos os métodos de irrigação foram realizadas avaliações por meio de uma escala diagramática (KOLKMAN; KELLY, 2000; SINGH et al., 2007):

- a) ausência de sintomas;
- b) invasão do caule no local da inoculação, até 2,5 cm;
- c) invasão do primeiro internódio, com extensão superior a 2,5 cm;
- d) invasão do primeiro nó;
- e) invasão do segundo internódio, até 2,5 cm;
- f) invasão do segundo internódio, com extensão superior a 2,5 cm;
- g) invasão do segundo nó;
- h) invasão do terceiro internódio, até 2,5 cm;
- i) apodrecimento mais extenso ou planta morta.

### **3.3.2 Método do ácido oxálico**

No experimento relativo à absorção do ácido oxálico, foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, sendo cada parcela representada por 10 plantas.

A metodologia foi executada em quatro etapas, devido ao grande número de genótipos avaliados e à estrutura disponível. Cada etapa consistiu da avaliação de 12 genótipos e de duas testemunhas, M20 (suscetível) e G122 (resistente), as quais foram mantidas como genótipos comuns nas etapas seguintes com as demais progênies.

A semeadura foi realizada em bandejas de isopor utilizando substrato comercial e, posteriormente, submetido ao crescimento em casa de vegetação até a etapa V3 (Tabela 1).

As plantas, então, foram cortadas na região do colo e fixadas em uma placa de isopor perfurada com auxílio de espumas. As placas de isopor foram dispostas na superfície de uma bandeja contendo uma solução de ácido oxálico (20 mM, ajustada previamente para pH 4,0 com NaOH), imergindo a base do caule cortado na solução. A avaliação foi realizada para sintomas de murcha de

15 a 20 horas depois de expostas à solução de ácido oxálico, utilizando a chave descritiva proposta por Kolkman e Kelly (2000), variando de 1 a 6, sendo:

- a) ausência de folhas murchas;
- b) uma folha trifoliolada murcha ou as duas unifolioladas;
- c) duas folhas murchas;
- d) mais de duas folhas murchas;
- e) folhas e pecíolos murchos;
- f) planta completamente murcha.

### **3.3.3 Método de inoculação de escleródios, avaliação de produtividade de grãos, porte da planta e tipo de grãos do feijoeiro**

Os escleródios foram obtidos a partir do crescimento de um isolado do fungo em placas de Petri contendo meio BDA, incubadas em BOD, a 20°C, por aproximadamente cinco semanas. Após esse período, os escleródios foram acondicionados em refrigerador, à temperatura de, aproximadamente, 10°C, por três semanas.

As progênes foram semeadas na safra de inverno de 2010, em dois experimentos distintos. Cada experimento foi realizado em delineamento látice triplo 7x7, sendo avaliadas 48 progênes e a testemunha M20.

O experimento sem a inoculação de escleródios foi realizado com parcelas de uma linha de 2 metros, sendo avaliado somente para a produtividade de grãos, que será utilizada posteriormente para estimar a redução na produtividade devido ao efeito do patógeno.

No experimento com inoculação de escleródios, as parcelas foram compostas de três linhas de 2 metros, utilizando a linha central como parcela útil. Os escleródios obtidos foram enterrados na linha útil, a 2,5 cm de profundidade, utilizando densidade de cinco escleródios por parcela, durante a

semeadura do feijão. Foram realizados os tratos culturais normais relativos à cultura. A avaliação foi realizada para produtividade de grãos, porte, tipo de grão e notas referentes à reação das parcelas ao mofo-branco.

A produtividade de grãos foi mensurada em g/parcela e com posterior transformação para kg/ha.

O caráter porte da planta foi avaliado por meio de uma chave descritiva semelhante á de Collicchio, Ramalho e Abreu (1997), com notas variando de 1 a 9, em que:

- a) hábito I ou II, planta ereta, com haste e com inserção alta das primeiras vagens;
- b) hábito I ou II, planta ereta, com guia curta;
- c) hábito I ou II, planta ereta, com algumas ramificações;
- d) hábito I ou II, planta ereta, com algumas guias longas;
- e) hábito II ou III, planta ereta, com muitas ramificações e tendência à prostrada;
- f) hábito II ou III, planta semiereta, pouco prostrada;
- g) hábito III, planta semiereta, mediantemente prostrada;
- h) hábito III, planta prostrada;
- i) hábito III, planta com entrenós longos, muito prostrada.

Para o caráter tipo de grãos foi tomado como padrão o tipo carioca, grãos com coloração creme-clara, estrias marrom-claras, sem halo, tamanho médio e não achatados. A escala descritiva utilizada foi a proposta por Marques Júnior (1997), com notas variando de 1 (grãos tipo “carioca”) a 5 (grãos fora do padrão carioca).

A chave descritiva para a avaliação da doença no experimento em que houve a inoculação de escleródios é a combinação de incidência e severidade proposta por Miklas et al. (2001), com pequenas modificações, sendo:

- a) nota 1 - ausência de plantas doentes;
- b) nota 2 – de 1% a 20% de plantas doentes e/ou de 1% a 5% de tecido infectado;
- c) nota 3 – de 21% a 30% de plantas doentes e/ou de 6% a 10% de tecido infectado;
- d) nota 4 - de 31% a 40% de plantas doentes e/ou de 11% a 20% de tecido infectado;
- e) nota 5 - de 41% a 50% de plantas doentes e/ou de 21% a 30% de tecido infectado;
- f) nota 6 - de 51% a 60% de plantas doentes e/ou de 31% a 40% de tecido infectado;
- g) nota 7 - de 61% a 70% de plantas doentes e/ou de 41% a 50% de tecido infectado;
- h) nota 8 – de 71% a 80% de plantas doentes e/ou de 51% a 60% de tecido infectado;
- i) nota 9 - de 81% a 100% de plantas doentes e/ou de 61% a 100% de tecido infectado.

A redução na produtividade é calculada para cada progênie em cada repetição, utilizando-se a seguinte fórmula:

$$RP(\%) = \frac{PSI - PCI}{PSI} \times 100$$

em que:

RP (%) = redução na produtividade em porcentagem.

PSI = produtividade da parcela no experimento sem inoculação de escleródios.

PCI = produtividade da parcela no experimento com inoculação de escleródios.

### 3.4 Análise dos dados

As análises foram realizadas de acordo com Ramalho, Ferreira e Oliveira (2005) e Pimentel-Gomes (2009). Os dados foram submetidos ao software Genes (CRUZ, 2006) para as estimativas de correlações e comparações entre médias e ao software SAS 8.0 (SAS INSTITUTE, 2000), para demais análises.

Em todas as situações, a fonte de variação progênie foi considerada como fixa, devido à procedência das mesmas, que vieram de uma série de seleções realizadas anteriormente.

Para a avaliação da reação do feijoeiro à solução de ácido oxálico, foi utilizado o modelo de análise de grupos de experimentos no delineamento inteiramente casualizado com testemunhas em comum, como apresentado a seguir:

$$Y_{ij} = m + a_j + t_i + e_{ij}$$

$Y_{ij}$ : observação referente ao tratamento  $i$  no experimento  $j$ ;

$m$ : média geral;

$a_j$  : efeito fixo do experimento  $j$ , sendo ( $j = 1, 2, 3, \dots, J$ );

$t_i$  : efeito fixo do tratamento  $i$ , sendo ( $i = 1, 2, 3, \dots, I$ );

$e_{ij}$  : efeito aleatório do erro experimental, associado à parcela que recebeu o tratamento  $i$ , no experimento  $j$ .

Os dados dos experimentos realizados para avaliação da reação ao mofo-branco pelo “straw test”, produtividade de grãos, porte da planta e tipo de grãos

foram analisados como delineamento látice e submetidos à análise de variância segundo o modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = m + r_j + b_{k(j)} + t_i + e_{ijk}$$

$Y_{ijk}$ : observação referente ao tratamento  $i$  no bloco  $k$ , dentro da repetição  $j$ ;

$m$ : média geral;

$r_j$ : efeito fixo da repetição  $j$ , sendo ( $j = 1, 2, 3, \dots, J$ );

$b_{k(j)}$ : efeito aleatório do bloco  $k$ , na repetição  $j$ , sendo ( $k = 1, 2, 3, \dots, K$ );

$t_i$ : efeito fixo do tratamento  $i$ , sendo ( $i = 1, 2, 3, \dots, I$ );

$e_{ijk}$ : efeito aleatório do erro experimental, associado à parcela que recebeu o tratamento  $i$ , no bloco  $k$ , dentro da repetição  $j$ .

A verificação de homogeneidade das variâncias residuais, visando à realização das análises conjuntas (PIMENTEL-GOMES, 2009), foi feita pelo teste de Hartley, utilizando-se a expressão:

$$H = \frac{\max(s_j^2)}{3 \times \min(s_j^2)}$$

em que:

$\max(s_j^2)$ : estimativa de  $\sigma_j^2$  e corresponde ao maior valor de quadrado médio do erro (QME) entre os experimentos envolvidos;

$\min(s_j^2)$ : estimativa de  $\sigma_j^2$  e corresponde ao menor valor de quadrado médio do erro (QME) entre os experimentos envolvidos.

Se  $H \leq 1$ , a análise conjunta pode ser realizada normalmente.

Para as análises conjuntas realizadas para os caracteres produtividade de grãos, porte da planta e tipo de grãos, foram consideradas as médias ajustadas dos 48 tratamentos comuns (progênies) e da testemunha M20, nas safras de

inverno de 2009 (LIMA, 2010) e inverno de 2010. Também foi realizada uma análise conjunta entre os experimentos conduzidos para avaliação da reação ao mofo-branco pelo método “straw test” com diferentes níveis de irrigação e avaliação, nas safras das secas e de inverno de 2010.

O modelo considerado para a análise conjunta para todas as características foi:

$$Y_{ijkl} = m + a_l + t_i + r_{j(l)} + b_{k(jl)} + (ta)_{il} + e_{ijk(l)}$$

$Y_{ijkl}$ : observação referente ao tratamento  $i$  no bloco  $k$ , dentro da repetição  $j$ , na safra  $l$ ;

$m$  : média geral;

$a_l$  : efeito fixo da safra  $l$ , sendo ( $l = 1, 2, \dots, L$ );

$t_i$  : efeito fixo do tratamento  $i$ , sendo ( $i = 1, 2, 3, \dots, I$ );

$r_{j(l)}$  : efeito aleatório da repetição  $j$ , dentro do local  $l$ , sendo ( $j = 1, 2, 3, \dots, J$ );

$b_{k(jl)}$  : efeito aleatório do bloco  $k$ , dentro da repetição  $j$  e da safra  $l$ , sendo ( $k = 1, 2, 3, \dots, K$ );

$(ta)_{il}$ : efeito fixo da interação entre tratamento  $i$  e a safra  $l$ ;

$e_{ijk(l)}$  : erro experimental médio.

Os esquemas dos resumos das análises de variância individuais e conjunta com os respectivos testes  $f$  dos efeitos de progênies e interação progênies por safras estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 Esquemas de análises de variância individuais e análises de variância conjunta

Análise individual		
Fontes de variação	QM	F
Repetições (r)	QM1	
Progênes (P)	QM2	QM2/QM3
Erro efetivo	QM3	
Análise conjunta		
Fontes de variação	QM	F
Safras (S)	QM4	
Progênes (P)	QM5	QM5/QM7
S x P	QM6	QM6/QM7
Erro médio	QM7	

Foi realizado também o teste de comparações entre médias para cada característica, utilizando-se as médias de cada progênie proveniente das análises conjuntas para os caracteres produtividade de grãos, porte da planta, tipo de grãos e reação ao mofo-branco pela metodologia “straw test”. Para o caráter reação ao mofo-branco, pela metodologia de absorção de ácido oxálico, as médias utilizadas eram provenientes da análise de grupos de experimentos com testemunhas em comum. O teste escolhido foi o Scott Knott, a 10% de significância, realizado utilizando-se o software Genes, de acordo com Cruz (2006).

### 3.4.1 Estimativa das herdabilidades

Com o resultado das análises individuais e conjuntas, foram estimadas as herdabilidades ( $h^2$ ) e seus intervalos de confiança, segundo a expressão de Knapp, Stoup e Ross (1985), para cada caráter, em cada safra e nas análises conjuntas.

Como os efeitos dos tratamentos foram considerados fixos, a herdabilidade estimada corresponde ao coeficiente de determinação genotípico,

que indica a proporção da variação fenotípica observada, que é devido a causas genéticas, sendo válida para as progênes avaliadas (LIMA, 2010).

As estimativas de herdabilidade foram obtidas por meio das expressões:

a)  $h^2 = (QM2 - QM3) / QM2$ , para as análises individuais;

b)  $h^2 = (QM5 - QM7) / QM5$ , para as análises conjuntas.

As expressões para a estimativa dos intervalos de confiança foram:

$$LI = \left\{ 1 - \left[ \left( \frac{QM2}{QM3} \right) \times F_{1-\frac{\alpha}{2}; v1; v2} \right]^{-1} \right\}$$

$$LS = \left\{ 1 - \left[ \left( \frac{QM2}{QM3} \right) \times F_{\frac{\alpha}{2}; v1; v2} \right]^{-1} \right\}$$

em que:

$F_{\alpha/2}$  e  $F_{1-\alpha/2}$ : são os quantis superiores tabelados da distribuição F, com  $v1$  e  $v2$  graus de liberdade, sendo  $\alpha = 0,05$ ;

$v1$  e  $v2$ : graus de liberdade associados a QMProgênes e QMErro, respectivamente.

### 3.4.2 Estimativa da acurácia seletiva ( $\hat{r}_{gg}$ )

Em cada experimento foi estimada a acurácia seletiva ( $\hat{r}_{gg}$ ), pela expressão (RESENDE, 2007):

$$\hat{r}_{gg} = (1 - 1/F)^{1/2}$$

em que:

F: é o valor do teste F de Snedecor para o efeito de tratamentos (progênies) da análise de variância.

Este parâmetro refere-se à correlação entre o valor genotípico verdadeiro do tratamento genético e aquele estimado ou predito a partir das informações dos experimentos. Como se trata de uma correlação, varia de 0 a 1, e os valores adequados de acurácia são aqueles próximos à unidade. Logo, é natural que valores elevados de acurácia sejam almejados nos experimentos de avaliação de cultivares. Na Tabela 3 é apresentada uma classificação da precisão experimental de acordo com a acurácia seletiva (REZENDE, 2007).

Tabela 3 Categorias de precisão experimental, de acordo com a acurácia seletiva obtida

Acurácia seletiva	Classes de precisão
0,90 a 100	Muito alta
0,70 a 0,89	Alta
0,50 a 0,69	Moderada
0,10 a 0,49	Baixa

### 3.4.3 Ordenamento dos dados por índice de seleção

Para a ordenação das melhores progênies considerando os vários caracteres ao mesmo tempo, foi realizado o somatório dos postos, de acordo com a metodologia proposta por Mulamba e Mock (1978).

A ordenação se deu de acordo com a característica de interesse. As progênies e a testemunha foram ordenadas do posto 1 ao 49, sendo que, para cada característica de interesse, o genótipo que recebeu o posto 1 foi o mais desejado e o genótipo que recebeu o posto 49 foi o menos desejado.

Para produtividade de grãos, porte da planta e tipo de grãos, o índice foi realizado utilizando-se as médias ajustadas das análises conjuntas para esses caracteres nas safras de inverno de 2009 e 2010. Já para a característica reação ao mofo-branco pela metodologia “straw test”, foi utilizada a média ajustada da análise conjunta entre os experimentos com diferentes níveis de irrigação. Da mesma forma, as progênie e a testemunha M20 foram ordenadas para a característica reação ao mofo-branco pela metodologia de absorção de ácido oxálico.

Após realizados os ordenamentos para cada característica, foi obtido o somatório dos postos de cada progênie e da testemunha M20. Os genótipos foram ordenados novamente segundo a soma dos postos, de forma que os genótipos mais desejáveis são os que apresentam menor somatório de postos.

#### **3.4.4 Estimativa do ganho com a seleção (GS)**

As estimativas do ganho com a seleção foram obtidas individualmente para cada característica e utilizando-se o índice de seleção por meio da expressão:

$$GS = ds \times h^2$$

em que:

ds: diferencial de seleção, ou seja, a diferença entre a média das progênie selecionadas e a média geral do experimento;

$h^2$  : herdabilidade do caráter.

### **3.4.5 Estimativa dos coeficientes de correlação fenotípica entre as características de interesse duas a duas**

Foram estimados os coeficientes de correlação de Pearson entre as médias ajustadas das análises conjuntas (para produtividade, porte, tipo de grãos e “straw test”) e agrupadas (para “ácido oxálico”) das características duas a duas, por meio do software GENES versão 2009.7.0, Programa para Análise e Processamento de Dados Baseado em Modelos de Genética e Estatística Experimental (CRUZ, 2006).

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

São apresentados, na sequência, os resultados de análises referentes às características produtividade de grãos, porte da planta, tipo de grãos considerando o padrão carioca, reação ao mofo-branco avaliada pela metodologia “straw test” e reação ao mofo-branco avaliada pela metodologia de absorção de ácido oxálico.

A avaliação da reação das progênies a partir da inoculação das parcelas com os escleródios não foi realizada porque a doença não se desenvolveu. A razão pode ter sido o fato de os escleródios utilizados terem permanecido em geladeira, a 10°C, por apenas três semanas e não oito semanas, como preconizado por Huang, Mundel e Ericson (2003). Tal fato ocorreu pela necessidade de se obter um grande número de escleródios em um curto espaço de tempo e com uma estrutura limitada. O experimento composto de uma linha de dois metros não foi utilizado nas avaliações, enquanto o experimento contendo três linhas de dois metros foi utilizado para a avaliação da produtividade de grãos, porte da planta e tipo de grãos.

Em todos os experimentos conduzidos no delineamento látice, a eficiência do mesmo não foi superior a 104%, não justificando, portanto, a análise por este delineamento em nenhum caso, sendo utilizada como alternativa a análise pelo delineamento em blocos casualizados (DBC).

As médias dos experimentos foram ajustadas para que o maior valor seja sempre correspondente ao fenótipo favorável. Sendo assim, para os caracteres porte da planta, tipo de grão e reação ao mofo-branco, pelas duas metodologias, o ajuste se deu subtraindo-se do valor máximo da escala utilizada para a avaliação de cada caráter o valor encontrado na parcela. Essa alternativa tem o intuito de facilitar a interpretação dos dados.

Os resultados obtidos no teste de homogeneidade de variâncias residuais, como descrito por Pimentel-Gomes (2009), indicaram, para todos os caracteres, valores menores que 1 (Tabela 4) sendo as análises conjuntas realizadas normalmente.

Tabela 4 Teste de homogeneidade de variâncias residuais entre diferentes safras e características

Caráter	Safras	H
Produtividade	Inverno 2009/Inverno 2010	0,34
Porte	Inverno 2009/Inverno 2010	0,43
Tipo de grão	Inverno 2009/Inverno 2010	0,39
“Straw test”	Seca 2010/Inverno 2010	0,86

#### 4.1 Produtividade de grãos

As análises de variância individuais das safras de inverno de 2009, inverno de 2010 e análise conjunta estão apresentadas na Tabela 5. As análises mostram diferença significativa entre as progênes na safra de inverno de 2009, porém, não acusaram diferenças na safra de inverno de 2010. Na análise conjunta, foi significativa a diferença entre as progênes quanto à produtividade de grãos, demonstrando a possibilidade de selecionar progênes superiores (Tabela 5).

Tabela 5 Resumo das análises de variância individuais e conjunta para produtividade de grãos, nas safras de inverno de 2009 e inverno de 2010

Individual: inverno de 2009				
FV	GL	QM	F	Probabilidade
Blocos	2	649167,8		
Progênie	48	2385182,4	5,26	<0,0001
Resíduo	96	452789,9		
Total	146			

  

Individual: inverno de 2010				
FV	GL	QM	F	Probabilidade
Blocos	2	3214421,2		
Progênie	48	534466,4	1,20	0,2254
Resíduo	96	446190,3		
Total	146			

  

Conjunta				
FV	GL	QM	QM X r	Probabilidade
Safra (S)	1	6318453,9	18955361,7	<0,0001
Progênie (P)	48	386091,9	1158275,9	< 0,0001
S x P	48	587124,3	1761372,9	< 0,0001
Erro Médio	192		449490,1	

Os coeficientes de variação (CV) (Tabela 6) assumiram magnitudes superiores às da maioria dos experimentos citados na literatura (CARNEIRO, 2009; LIMA, 2010; TAKEDA; SANTOS; RAMALHO, 1991). No experimento conduzido no inverno de 2010 ocorreu maior heterogeneidade de distribuição de água durante as irrigações por aspersão, principalmente pelo efeito do vento, que é predominantemente na direção leste-oeste, nessa época do ano. Infelizmente, essa heterogeneidade não pode ser ajustada por meio do delineamento látice e

observa-se que ela foi captada pelo CV, sendo este bastante influenciado pelas médias.

No contexto de avaliação genotípica, o parâmetro estatístico mais importante é a acurácia seletiva, a qual se refere à correlação entre o valor genotípico verdadeiro do tratamento e aquele estimado pelas informações dos experimentos (HENDERSON, 1984). Nota-se, na safra de inverno de 2009, maior acurácia seletiva, considerada muito alta, apesar de elevado CV. Para a safra de 2010, a acurácia é considerada baixa. Tais estimativas ocorreram pelo fato de a acurácia seletiva considerar também a magnitude da variância genética entre as progênies.

Tabela 6 Estimativas referentes à produtividade de grãos em duas safras e considerando a análise conjunta

Estimativas	Saфра		
	Inverno 2009	Inverno 2010	Análise conjunta
Média (kg/ha)	2129	1622	1876
CV %	32,22	41,43	36,65
$r_{g}$	0,90	0,41	0,78
$h^2$ %	0,81	0,17	0,61
$h^2$ LI	0,68	-0,40	0,38
$h^2$ LS	0,88	0,48	0,74

Notou-se acentuada interação progênies x safra, que foi principalmente do tipo complexa, com base na correlação das médias dos experimentos ( $r = 0,26$ ).

Entretanto, como, para a produtividade de grãos em feijão, que é um dos caracteres mais complexos, geralmente ocorre elevada interação genótipos por ambientes (PEREIRA et al., 2008; SILVA; SANTOS; ABREU, 2006; TAKEDA; SANTOS; RAMALHO, 1991), o procedimento mais adequado é

utilizar a produtividade média proveniente de avaliações em múltiplos ambientes e safras.

As herdabilidades encontradas na literatura apresentam grande variação. Marcondes, Santos e Pereira (2010) encontraram valores entre 0,42 a 0,52, enquanto Lima (2010) encontrou valores oscilando entre 0,62 a 0,81 e Parrela, Santos e Parrela (2008) relataram resultados próximos a 0,50. Sendo assim, as estimativas para esse parâmetro, encontradas as avaliações deste trabalho (0,81 e 0,17), podem estar sendo influenciadas pela baixa precisão experimental acusada pelo coeficiente de variação e acurácias encontradas.

#### **4.2 Porte da planta**

Para o porte da planta, foram consideradas as avaliações realizadas nas safras de inverno de 2009, inverno de 2010 e da análise conjunta das safras (Tabela 7). As análises indicaram diferenças significativas para progênies nas duas safras e na análise conjunta, demonstrando a possibilidade de selecionar plantas com porte superior entre as progênies avaliadas. A seleção de progênies de porte mais ereto é fundamental para auxiliar no controle do mofo-branco (HUANG; MUNDEL; ERICSON, 2003). Não se observou significância entre safras e nem a presença significativa da interação safras x progênies.

Tabela 7 Resumo das análises de variância individuais e conjunta para porte da planta, nas safras de inverno de 2009 e inverno de 2010

Individual: inverno de 2009				
FV	GL	QM	F	Probabilidade
Blocos	2	1,0068		
Progênie	48	1,2633	1,49	0,0493
Resíduo	96	0,8471		
Total	146			

  

Individual: inverno de 2010				
FV	GL	QM	F	Probabilidade
Blocos	2	2,3741		
Progênie	48	1,9552	1,78	0,0083
Resíduo	96	1,0963		
Total	146			

  

Conjunta				
FV	GL	QM	QM X r	Probabilidade
Safra (S)	1	0,1372	0,4116	0,5159
Progênie (P)	48	0,6578	1,9736	0,0004
S x P	48	0,4149	1,2449	0,1240
Erro Médio	192		0,9717	

Os coeficientes de variação encontrados (Tabela 8) são condizentes com os encontrados na literatura, oscilando na faixa de 10% a 20% (COUTO; SANTOS; FERREIRA, 2008; LIMA, 2010).

As estimativas de acurácia seletiva variaram de moderada a alta, pouco inferiores aos valores encontrados por Lima (2010).

As herdabilidades são consideradas baixas quando comparadas a outros trabalhos com a avaliação do porte da planta, sendo comuns herdabilidades entre 0,60 e 0,86 (COUTO; SANTOS; FERREIRA, 2008; LIMA, 2010; PARRELA; SANTOS; PARRELA, 2008).

As médias das progênes entre as duas safras pouco variaram, podendo o fato ser atribuído à seleção anterior realizada para o caráter, priorizando portes eretos.

Tabela 8 Estimativas referentes a porte de plantas em duas safras e considerando a análise conjunta

Estimativas	Saфра		
	Inverno 2009	Inverno 2010	Análise conjunta
Média	6,01	6,09	6,05
CV %	15,30	17,20	16,29
$\hat{\sigma}_g^2$	0,57	0,66	0,71
$h^2$ %	0,33	0,43	0,51
$h^2$ LI	-0,12	0,06	0,21
$h^2$ LS	0,58	0,65	0,67

### 4.3 Tipo de grãos

As análises de variância, estimativas dos coeficientes de variação, acurácia seletiva e herdabilidade, bem como seus respectivos intervalos de confiança nas safras de inverno de 2009, inverno de 2010 e análise conjunta, são apresentadas nas Tabelas 9 e 10. A seleção de progênes com tipo de grãos adequados ao padrão comercial de interesse é fundamental na obtenção de novas cultivares, por ser considerado fator limitante na aceitação pelo consumidor (RAMALHO; ABREU, 2006).

As progênes utilizadas são oriundas do cruzamento de linhagens/cultivares que apresentam grãos do tipo carioca (M20 e VC3) com fontes de resistência que apresentam tipo de grãos diferenciados. Os retrocruzamentos realizados utilizando-se como recorrente os genitores M20 e VC3 favorecem a obtenção de progênes com tipo de grãos similares aos dos

genitores recorrentes, porém, ainda se observam diferenças entre as progênies para o caráter, demonstrando a necessidade de seleção.

Tabela 9 Resumo das análises de variância individuais e conjunta para tipo de grãos, nas safras de inverno de 2009 e inverno de 2010

Individual: inverno de 2009				
FV	GL	QM	F	Probabilidade
Blocos	2	0,0556		
Progênies	48	0,3457	2,83	<0,0001
Resíduo	87	0,1218		
Total	137			
Individual: inverno de 2010				
FV	GL	QM	F	Probabilidade
Blocos	2	0,5318		
Progênies	48	0,2873	2,02	0,0018
Resíduo	96	0,1421		
Total	146			
Conjunta				
FV	GL	QM	QM X r	Probabilidade
Safra (S)	1	0,0078	0,0233	0,6743
Progênie (P)	48	0,1415	0,4245	< 0,0001
S x P	48	0,0731	0,2195	0,0090
Erro Médio	183		0,1319	

Foi observada interação progênies por safras que, provavelmente, foi do tipo complexa, devido à baixa correlação entre as médias das progênies em cada safra ( $r = 0,32$ ). Essa interação nem sempre vem sendo observada (COUTO; SANTOS; FERREIRA, 2008; MARCONDES; SANTOS; PEREIRA, 2010; PEREIRA et al., 2008). Alterações no tipo de grãos, especialmente o escurecimento, são fortemente influenciadas pelo ambiente, principalmente

exposição ao ar, temperatura, umidade e período de armazenamento (BURR; KON; MORRIS, 1968; COUTO, 2010), o que poderia explicar a presença da interação progênies por safras, apesar de a avaliação ter sido realizada logo após a colheita.

Tabela 10 Estimativas referentes a tipo de grãos em duas safras e considerando a análise conjunta

Estimativas	Safra		
	Inverno 2009	Inverno 2010	Análise conjunta
Média	2,56	2,55	2,55
CV%	13,61	14,81	14,22
$\sigma^2$	0,80	0,71	0,83
$h^2$ %	0,65	0,51	0,69
$h^2$ LI	0,41	0,17	0,50
$h^2$ LS	0,78	0,69	0,79

Os valores encontrados para coeficientes de variação e acurácia seletiva são considerados de boa qualidade, indicando que, para o caráter avaliado, os experimentos se mostraram precisos.

No que se refere às herdabilidades, as mesmas estão de acordo com as encontradas em trabalhos semelhantes (COUTO; SANTOS; FERREIRA, 2008; LIMA, 2010).

#### 4.4 Reação ao mofo-branco pelo método “straw test”

Os resultados da avaliação para a reação ao mofo-branco avaliadas pelo método “straw test” estão demonstrados na Tabela 11. As análises demonstraram haver diferenças significativas entre as progênies, nas duas safras avaliadas e na análise conjunta.

Observa-se, na análise conjunta, alta significância para a fonte de variação safras, confirmada pela diferença entre as médias das duas épocas avaliadas (Tabela 12). Essa grande diferença pode ser atribuída, em parte, à metodologia de irrigação empregada em cada experimento. Na safra das secas de 2010, tanto a irrigação diária quanto a avaliação realizada 15 dias após a inoculação favoreceram o desenvolvimento do fungo, acarretando em notas mais baixas das progênies. Constatou-se que, na avaliação da resistência horizontal, é importante proporcionar as condições de experimentação mais semelhantes às condições normais de cultivo (PARLEVLIE, 1981), não sendo adequada a irrigação excessiva, utilizando-se, preferencialmente, situações semelhantes à de campo.

Apesar da grande diferença apresentada entre as safras, não se observou a presença significativa da interação safras x progênies, indicando que as progênies reagiram ao patógeno de modo similar nos experimentos avaliados.

Tabela 11 Resumo das análises de variância individuais e conjunta para reação ao mofo-branco avaliada pelo método “straw test”, nas safras das secas e de inverno de 2010

Individual: secas de 2010				
FV	GL	QM	F	Probabilidade
Blocos	2	3,2398		
Progênie	48	1,6156	1,71	0,0132
Resíduo	96	0,9447		
Total	146			

  

Individual: inverno de 2010				
FV	GL	QM	F	Probabilidade
Blocos	2	2,1033		
Progênie	48	0,7582	2,08	0,0012
Resíduo	96	0,3641		
Total	146			

  

Conjunta				
FV	GL	QM	QM X r	Probabilidade
Safra (S)	1	288,5989	865,7968	< 0,0001
Progênie (P)	48	0,6239	1,8718	< 0,0001
S x P	48	0,1673	0,5019	0,8603
ERRO MÉDIO	192		0,6543	

As magnitudes das herdabilidades e dos coeficientes de precisão experimental obtidos são similares às observadas em avaliações semelhantes (CARNEIRO, 2009; LIMA, 2010), com exceção do coeficiente de variação encontrado na safra das secas de 2010. Na condução desse experimento, houve a irrigação diária, ocasionando problemas com o manejo de plantas daninhas na área e prejudicando a precisão experimental do mesmo. Além disso, a avaliação tardia foi necessária, pois não se conseguiu distinguir as progênie quanto à reação ao mofo-branco oito dias após a inoculação, como descrito na literatura (KOLKMAN; KELLY, 2000; SINGH et al., 2007). Outra consequência da

utilização da avaliação tardia e da irrigação excessiva foi a alta severidade da doença, o que acarretou em baixas médias de notas.

Tabela 12 Estimativas referentes à reação das progênies ao mofo-branco em duas safras e considerando a análise conjunta

Estimativas	Safra		
	Secas 2010	Inverno 2010	Análise conjunta
Média	1,93	5,37	3,65
CV%	50,23	11,24	22,16
 h <sup>2</sup> %	0,64	0,72	0,81
h <sup>2</sup> LI	0,42	0,52	0,65
h <sup>2</sup> LS	0,02	0,20	0,44
	0,64	0,70	0,77

#### 4.5 Reação ao mofo-branco pelo método de absorção de ácido oxálico

A avaliação da reação ao mofo-branco pelo método de absorção de ácido oxálico se deu somente na safra de inverno de 2009. Os resultados da análise de variância e das estimativas de herdabilidade e acurácia seletiva estão apresentados nas Tabelas 13 e 14.

Tabela 13 Resumo da análise de variância agrupada para reação ao mofo-branco, avaliada pelo método de absorção de ácido oxálico

Individual: inverno de 2009			
FV	GL	QM	Probabilidade
Experimentos	3	1,1676	0,0002
Progênies	49	0,9683	< 0,0001
Resíduo	115	0,1723	
TOTAL	167		

Tabela 14 Estimativas referentes à reação ao mofo-branco avaliada pelo método de absorção de ácido oxálico

Estimativas	Safra
	Inverno 2010
Média	6,24
CV%	6,65
 $h^2$ %	0,91
$h^2$ LI	0,82
$h^2$ LS	0,71
	0,89

Observaram-se diferenças significativas entre as progênies avaliadas, além de elevados valores para acurácia seletiva (muito alta) e herdabilidade. Os valores de herdabilidade encontrados apresentaram um intervalo de confiança pequeno, dando mais confiabilidade à estimativa. A herdabilidade encontrada, apesar de alta, está de acordo com as encontradas por Antonio et al. (2008) e Kolkman e Kelly (2002), que oscilaram de 0,30 a 0,82.

Tais observações colaboram para uma maior eficiência na seleção de progênies superiores, mais resistentes ao mofo-branco, com o mecanismo de reação avaliado pela metodologia de absorção de ácido oxálico.

A significância encontrada entre experimentos pode ser atribuída às diferenças ambientais dos locais em que cada avaliação foi realizada. Segundo Kolkman e Kelly (2000), a temperatura contribui significativamente para a expressão do caráter, demonstrando a influência do ambiente na estimativa da resistência ao oxalato, justificando a inclusão de testemunhas resistentes e suscetíveis em cada experimento. A resistência ao ácido oxálico é um mecanismo específico que pode funcionar em combinação com mecanismos de escape e outros mecanismos fisiológicos alternativos para promover níveis de resistência ao mofo-branco no campo.

Os coeficientes de variação encontrados foram menores que os apresentados por Antonio et al. (2008), que variaram de 25% a 48%. A acurácia seletiva encontrada pode ser considerada muito alta (RESENDE, 2007). Tais estimativas colaboram para o indicativo de uma boa precisão experimental.

#### 4.6 Coeficientes de correlação fenotípica entre caracteres avaliados

A partir das médias estimadas nas análises conjuntas para produtividade de grãos, porte da planta, tipo de grãos e reação ao mofo-branco pelas metodologias “straw test” e absorção de ácido oxálico na safra de inverno de 2009, foram estimadas as correlações de Pearson entre essas características duas a duas, como apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 Correlações fenotípicas entre caracteres de interesse agrônomo dois a dois

Caráter I	Caráter II	Correlação	Probabilidade <sup>1</sup>
Produtividade	Porte	0,03	0,8074
Produtividade	Tipo de grão	-0,21	0,1464
Produtividade	Ácido oxálico	-0,06	0,6661
Produtividade	Straw test	0,14	0,6487
Porte	Tipo de grão	0,12	0,5887
Porte	Ácido oxálico	0,25	0,0765
Porte	Straw test	-0,37	0,0083
Tipo de grão	Ácido oxálico	0,21	0,1370
Tipo de grão	Straw test	-0,44	0,0015
Straw test	Ácido oxálico	-0,09	0,5378

<sup>1</sup> Probabilidade pelo teste t

Observa-se que as correlações foram não significativas a 5% de significância, para a maioria dos caracteres. A correlação significativa e negativa entre “straw test” e tipo de grãos pode ser explicada pelos genitores utilizados no

cruzamento. As fontes de resistência utilizadas apresentam tipo de grãos diferente do tipo carioca, utilizado como padrão para a avaliação dessa característica. Sendo assim, as progênies que apresentaram maior resistência ao mofo-branco ainda podem ter retido alguns alelos para o padrão carioca inferior, derivados dos genitores doadores, G122 ou Ex Rico23. Isso ocorreu apesar de terem sido selecionadas progênies com tipo carioca e devido ao fato de serem descendentes de um ou dois retrocruzamentos em que o recorrente também tem grãos do tipo carioca. Entretanto, o baixo valor da correlação, aliado ao fato de que ambos os caracteres são poligênicos, indica a possibilidade de se identificarem progênies com o tipo de grãos ideal, aliado à maior resistência ao mofo-branco.

Foi encontrada correlação significativa indicando associação indesejável entre porte da planta e reação ao mofo-branco pelo “straw test”. Porém, seu baixo valor também indica a possibilidade de seleção de genótipos arbustivos e resistentes.

Os caracteres ácido oxálico e porte da planta exibiram correlação positiva e significativa, nível 10% de probabilidade, podendo colaborar para a obtenção de genótipos superiores que combinem porte adequado e resistência ao mofo-branco, captados pela metodologia de avaliação.

Merece destaque a ausência da correlação ácido oxálico x “straw test”. Esse resultado demonstra a possibilidade de as duas metodologias de avaliação da reação ao mofo branco mensurarem mecanismos diferentes de reação ao fitopatógeno. Sendo assim, a obtenção de progênies com alta resistência, associando os dois mecanismos de controle da doença, pode ser conseguida e é desejada.

#### **4.7 Estimativas dos ganhos com a seleção (GS)**

Na Tabela 16 são apresentadas as médias ajustadas para as características produtividade de grãos, porte da planta, tipo de grãos e reação ao mofo-branco, pelas metodologias de absorção de ácido oxálico e “straw test”.

É importante ressaltar que os valores apresentados para todas as características, com exceção da produtividade, sofreram inversão na escala original na qual foram avaliados. Dessa forma, para todos os caracteres, é desejável que as progênies apresentem os maiores valores para cada característica.

A diversidade genética entre as progênies para todos os caracteres já havia sido detectada nas análises de variância, indicando a possibilidade de se obter sucesso com a seleção. Apenas para o caráter porte não foram identificados grupos distintos com base no teste de Scott Knott, a 10% de significância. Vale observar, no entanto, que as médias de porte das progênies foram quase todas acima de 5,0 e semelhantes à testemunha M20, que é arbustiva. Esse fato se deve à seleção à qual as progênies foram submetidas anteriormente (LIMA, 2010).

Tabela 16 Médias ajustadas da produtividade de grãos, porte de plantas, tipo de grãos e reação ao mofo-branco avaliada por duas metodologias

Progênes <sup>1</sup>	Produtividade		Porte <sup>2</sup>		Tipo		Reação ao mofo-branco			
	(kg/ha)				de grão <sup>2</sup>		Acido oxálico <sup>2</sup>		Straw test <sup>2</sup>	
3	1099	b	5,3	a	2,3	b	5,9	c	4,3	a
6	2557	a	6,2	a	2,4	b	6,3	c	3,4	b
9	2220	a	6,2	a	2,3	b	7,1	a	3,8	a
10	1744	a	5,5	a	3,0	a	7,4	a	4,1	a
14	1174	b	5,2	a	2,4	b	6,7	b	3,9	a
16	2195	a	6,3	a	2,5	b	7,2	a	3,3	b
17	2981	a	6,8	a	2,5	b	7,4	a	4,2	a
19	1931	a	6,5	a	2,7	a	7,3	a	3,8	a
24	2049	a	6,3	a	2,2	b	6,0	c	3,4	b
28	2166	a	5,8	a	2,6	a	6,3	c	4,2	a
30	2112	a	6,7	a	2,3	b	6,0	c	3,8	a
33	976	b	6,7	a	2,7	a	7,2	a	3,0	b
39	2227	a	6,8	a	2,9	a	5,2	d	3,5	b
40	1594	b	5,7	a	2,8	a	5,6	d	2,9	b
43	2093	a	6,3	a	2,6	a	6,1	c	3,7	a
51	1842	a	6,0	a	2,2	b	5,2	d	4,0	a
53	2251	a	5,5	a	2,2	b	6,2	c	4,6	a
54	2159	a	5,7	a	2,5	b	5,8	c	3,5	b

Tabela 16, continuação

56	1596	b	6,2	a	2,8	a	5,4	d	2,6	b
57	2470	a	6,2	a	2,6	a	5,0	d	3,2	b
58	2284	a	5,0	a	2,3	b	6,2	c	3,9	a
59	2019	a	4,5	a	2,5	b	5,5	d	3,7	a
67	1966	a	6,5	a	2,2	b	5,7	c	3,9	a
68	1163	b	5,7	a	2,4	b	5,0	d	4,4	a
75	1917	a	6,5	a	2,3	b	6,3	c	3,4	b
78	1074	b	6,7	a	2,6	a	7,8	a	3,4	b
83	2453	a	6,0	a	2,5	b	7,5	a	3,4	b
84	2103	a	5,7	a	2,5	b	6,0	c	4,0	a
88	2019	a	6,0	a	2,8	a	5,2	d	3,9	a
89	1276	b	6,0	a	2,3	b	6,5	b	4,9	a
92	1953	a	5,5	a	2,8	a	6,5	b	4,0	a
102	2055	a	6,3	a	2,1	b	5,4	d	3,4	b
105	2223	a	6,5	a	2,5	b	6,4	b	3,6	b
107	1505	b	7,0	a	3,0	a	6,8	b	2,7	b
109	2364	a	6,5	a	2,3	b	5,9	c	3,1	b
112	2236	a	6,0	a	3,1	a	6,3	c	3,9	a
118	1880	a	6,0	a	2,8	a	6,1	c	3,1	b
125	1379	b	5,3	a	2,6	a	5,8	c	4,0	a
135	1514	b	6,2	a	2,6	a	6,2	c	2,7	b

Tabela 16, conclusão

138	2049	a	6,0	a	2,8	a	6,2	c	4,2	a
231	1759	a	5,3	a	2,9	a	7,0	b	3,0	b
242	1270	b	6,5	a	2,9	a	6,0	c	2,8	b
258	1812	a	5,3	a	2,8	a	5,7	d	3,5	b
666	1743	a	6,0	a	2,2	b	6,0	c	4,7	a
667	2067	a	5,0	a	2,4	b	5,8	c	4,6	a
1040	1347	b	6,2	a	2,8	a	6,5	b	3,2	b
1106	1237	b	7,0	a	2,9	a	6,8	b	3,3	b
1115	1757	a	6,8	a	2,9	a	7,0	a	2,8	b
M20	2063	a	6,7	a	2,4	b	6,1	c	4,4	a

<sup>1</sup> Médias seguidas de uma mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott-Knott, a 10% de probabilidade

<sup>2</sup> Para essas características, as médias foram invertidas das suas escalas originais. Portanto, para cada característica, o fenótipo desejável é o de maior magnitude

Foram estimados os ganhos com a seleção das cinco melhores progênies (intensidade de seleção próxima a 10%), para cada característica isoladamente (Tabela 17).

Tabela 17 Estimativa do ganho com a seleção, selecionando as cinco melhores progênies para cada característica isoladamente

Caráter	GS	GS%
Produtividade	421,77	22,48
Porte	0,43	7,12
Tipo de grão	0,30	11,73
Acido oxálico	1,02	16,41
Straw test	0,63	17,36

Os ganhos para produtividade de grãos foram maiores que os encontrados na literatura, que variaram entre 10% e 12% (MARCONDES; SANTOS; PEREIRA, 2010; PARRELA; SANTOS; PARRELA, 2008; SILVA; SANTOS; ABREU, 2006), o que pode ter sido ocasionado pelo uso de cultivares não adaptadas, como fonte de resistência ao mofo-branco. Para tipo de grãos, as estimativas foram semelhantes, quando comparadas às avaliações realizadas pelos mesmos autores. O ganho encontrado para porte da planta foi inferior aos descritos por Silva, Santos e Abreu (2006) e Parrela, Santos e Parrela (2008), que encontraram resultados variando entre 11% e 22%, podendo ser explicado pela seleção para esse caractere em gerações anteriores.

Os ganhos encontrados para caracteres que avaliam a reação ao mofo-branco pelo método “straw test” foram semelhantes aos encontrados por Lima (2010).

É necessário ter em mente que, na obtenção de cultivares superiores, se busca agrupar alelos favoráveis para as diversas características de interesse. Uma metodologia empregada na seleção de múltiplos caracteres é a utilização de índices de seleção, entre eles o de soma de postos (MULAMBA; MOCK, 1978).

Na Tabela 18 são apresentadas as dez melhores progênies segundo o índice de seleção de soma de postos para todas as características simultaneamente e, na Tabela 19, as dez melhores progênies segundo o índice de soma de postos que consideram somente os caracteres relativos à doença.

Tabela 18 Postos atribuídos para produtividade de grãos, porte de plantas, tipo de grãos e reação ao mofo-branco avaliada por duas metodologias e ordenação das dez melhores progênes e a testemunha M20, segundo o índice de soma de postos

Progênes	Produtividade (kg/ha)	Porte	Tipo de grão	Reação ao mofo-branco		Soma de postos
				Ácido oxálico	Straw test	
17	1	5	25	4	10	45
112	8	27	1	21	19	76
19	27	13	18	5	22	85
39	9	3	5	45	27	89
105	10	11	26	17	26	90
10	34	41	3	3	11	92
M20	19	7	35	28	6	95
83	4	26	30	2	33	95
138	22	28	15	25	8	98
1106	44	2	4	12	36	98
16	12	16	27	6	37	98

Tabela 19 Apresentação das dez melhores progênies e da testemunha M20, a partir do índice de soma de postos realizado somente para a avaliação da reação ao mofo-branco

Progênies	Reação ao mofo-branco		Soma de postos
	Ácido oxálico	Straw test	
17	4	10	14
10	3	11	14
89	14	1	15
53	22	3	25
19	5	22	27
28	20	9	29
9	8	21	29
92	15	15	30
14	13	17	30
138	25	8	33
M20	28	6	34

Nas Tabelas 20 e 21 são apresentados os ganhos com a seleção obtidos utilizando-se os índices de seleção.

Observa-se que, considerando-se os caracteres isoladamente, os ganhos de seleção se mostram maiores para cada característica. Porém, como o que se almeja é a obtenção de cultivares que apresentem uma proporção maior de alelos favoráveis para diversas características, o resultado da seleção com base no índice de seleção composto pelo somatório de postos de todas as características avaliadas simultaneamente é mais adequado.

Quando realizada a seleção com base no índice de postos que considera somente a reação ao mofo-branco (Tabela 21), observa-se que os ganhos para essas características são maiores quando comparados aos obtidos com a seleção baseada no índice considerando todas as características avaliadas. Porém, os ganhos para produtividade e porte são reduzidos, enquanto para tipo de grãos há um ganho de seleção negativo, indicando que as progênies, quando selecionadas por esse método, apresentarão tipo de grãos inferiores, comparadas com a média

de todas as progênies. Como o tipo de grãos é um caráter limitante para a aceitação de uma cultivar, a escolha das características que compõem o índice de seleção deverá ser feita de acordo com o objetivo do programa de melhoramento.

Tabela 20 Estimativa do ganho com a seleção, selecionando-se as cinco melhores progênies pelo índice de soma de postos de todas as características simultaneamente

Caráter	GS	GS%
Produtividade	271,53	14,47
Porte	0,24	4,04
Tipo de grão	0,13	4,97
Ácido oxálico	0,23	3,71
Straw test	0,09	2,39

Tabela 21 Estimativa do ganho com a seleção, selecionando-se as cinco melhores progênies pelo índice de soma de postos dos caracteres referentes à reação ao mofo-branco

Caráter	GS	GS%
Produtividade	98,25	5,24
Porte	0,01	0,13
Tipo de grão	-0,01	-0,43
Ácido oxálico	0,60	9,56
Straw test	0,44	12,08

Se o objetivo é a obtenção de progênies resistentes ao mofo-branco, deve-se construir um índice que reúna bons indicadores da resistência. Como a resistência ao mofo-branco se mostra complexa, composta por mecanismos de resistência fisiológica passíveis de mensuração pelos métodos “straw test” e de absorção de ácido oxálico, estes mecanismos devem ser considerados.

A obtenção de linhagens para a realização de cruzamentos com linhagens elite se mostra uma alternativa viável. Nesse caso, o que se deseja é

priorizar a obtenção de linhagens resistentes e com outras características no melhor nível possível.

Assim, adotando-se uma intensidade de seleção menor e considerando os dois índices, observa-se que as progênies 17, 19, 10 e 138 permanecem entre as dez progênies superiores, em ambos os índices. Os destaques são as progênies 10 e 19, que associam, principalmente, os dois mecanismos de resistência e tipo de grãos comerciais favoráveis.

## 5 CONCLUSÕES

As metodologias “straw test” e de absorção de ácido oxálico foram eficientes em discriminar os genótipos, fornecendo resultados distintos, devendo ser empregadas simultaneamente, pois podem selecionar progênies portadoras de diferentes mecanismos de resistência ao mofo-branco.

O emprego de índices com menores intensidades de seleção permite a identificação de progênies superiores para caracteres fundamentais, como resistência ao mofo-branco e tipo de grãos.

As linhagens 10 e 19 apresentaram maiores níveis de resistência ao mofo-branco na avaliação conjunta entre os mecanismos estudados, além de associarem bom tipo de grãos.

## REFERÊNCIAS

- ADAMS, M. W. Plant architecture and physiological efficiency in the field bean. In: WALL, D. **Potentials of field beans and other legumes in Latin America**. Cali: CIAT, 1973. p. 266-278. (Series Seminar, 2E).
- ANTONIO, R. P. et al. Genetic control of the resistance of common beans to white mold using the reaction to oxalic acid. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 7, n. 3, p. 733-740, 2008.
- ARAÚJO, G. A. A. Preparo do solo e plantio. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV, 1998. p. 99-122.
- ASHFIELD, T. et al. Rpg1, a soybean gene effective against races of bacterial blight maps to a cluster of previously identified disease resistance genes. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 96, n. 8, p. 1013-1021, June 1998.
- AYAZ, S. et al. Variability in yield of four grain legume species in a subhumid temperate environment: yields and harvest index. **Journal Agricultural Science**, Cambridge, v. 142, n. 1, p. 9-20, Feb. 2004.
- BATEMAN, D. F.; BEER, S. V. Simultaneous production and synergistic action of oxalic acid and polygalacturonase using pathogenesis by *Sclerotinia rolfsii*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 55, n. 2, p. 204-211, Feb. 1965.
- BOLTON, M. D.; THOMMA, B. P. H. J.; NELSON, B. D. *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary: biology and molecular traits of a cosmopolitan pathogen. **Molecular Plant Pathology**, Oxford, v. 7, n. 1, p. 1-16, 2006.
- BURR, K. H.; KON, S.; MORRIS, H. J. Cooking rates of dry beans as influenced by moisture content, temperature and time of storage. **Food Technology**, Chicago, v. 22, n. 3, p. 336-338, Apr. 1968.
- CARDOSO, J. E. Mofo branco. In: SARTORATO, A.; RAVA, C. A. (Ed.). **Principais doenças do feijoeiro comum e seu controle**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. p. 111-122.

CARNEIRO, F. F. **Genética da resistência do feijoeiro ao mofo branco e uso do retrocruzamento assistido por marcadores microssatélites**. 2009. 84 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas)—Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

CARNEIRO, F. F.; SANTOS, J. B. dos; LEITE, M. E. Marker-assisted backcrossing using microsatellites and validation of SCAR *Phs* marker for resistance to white mold in common bean. **Electronic Journal of Biotechnology**, Valparaíso, v. 13, n. 6, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2225/vol13-issue6-fulltext-13>>. Acesso em: 20 dez. 2010.

CESSNA, S. G. et al. Oxalic acid, a pathogenicity factor for *Sclerotinia sclerotiorum*, suppresses the oxidative burst of the host plant. **The Plant Cell**, Rockville, v. 12, n. 11, p. 2191-2199, Nov. 2000.

COLLICCHIO, E.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Associação entre o porte da planta do feijoeiro e o tamanho dos grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 3, p. 297-304, mar. 1997.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira**: grãos, safra 2010/2011, quarto levantamento. Brasília, 2011. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11\\_01\\_06\\_08\\_41\\_56\\_boletim\\_graos\\_4o\\_lev\\_safra\\_2010\\_2011.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_01_06_08_41_56_boletim_graos_4o_lev_safra_2010_2011.pdf)>. Acesso em: 10 jan. 2011.

COUTO, K. R. **Identificação de marcadores microssatélites de QTL de feijão relacionado ao escurecimento de grãos**. 2010. 34 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas)—Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

COUTO, M. A.; SANTOS, J. B. dos; FERREIRA, J. L. Melhoramento do feijoeiro comum com grão tipo carioca visando resistência à antracnose e à mancha angular. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1643-1648, set./out. 2008.

CRUZ, C. D. **Programa genes**: biometria. Viçosa, MG: UFV, 2006. 382 p.

FERRAR, P. H.; WALKER, J. R. L. o-Diphenol oxidase inhibition: an additional role for oxalic acid in phytopathogenic arsenal of *Sclerotinia sclerotiorum* and *Sclerotium rolfsii*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 43, n. 6, p. 415-422, Dec. 1993.

GONÇALVES, P. R. C.; SANTOS, J. B. dos. Uso do ácido oxálico na identificação da resistência fisiológica de cultivares/linhagens de feijão ao mofo branco. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 85., 2008, Campinas. **Anais...** Campinas: IAC, 2008. p. 95-98.

GUIMARÃES, R. L.; STOTZ, H. U. Oxalate production by *Sclerotinia sclerotiorum* deregulates guard cells during infection. **Plant Pathology**, Oxford, v. 136, n. 3, p. 3703-3711, May 2004.

HARJES, C. E.; ROCHEFORD, T. R.; BAI, L. Natural genetic variation in lycopene epsilon cyclase tapped for maize biofortification. **Science**, Washington, v. 319, n. 5861, p. 330-333, 2008.

HENDERSON, C. R. **Applications of linear models in animal breeding**. Guelph: University of Guelph, 1984. 492 p.

HODGKINSON, A. Oxalic acid in biology and medicine. **JSTOR: The Quarterly Review of Biology**, Chicago, v. 53, n. 4, p. 503-504, 1977.

HUANG, H. C.; MUNDEL, H. H.; ERICSON, R. S. Effect of physiological resistance and plant architecture on yield of dry bean under disease pressure of white mold (*Sclerotinia sclerotiorum*). **Plant Protection Bulletin**, Taiwan, v. 45, p. 169-176, July 2003.

HUINTER, J. E.; ABAWI, G. S.; CROISER, D. C. Effects of timing, coverage and spray oil control of white mold of snap bean with benomyl. **Plant Disease Report**, Washington, v. 62, n. 7, p. 633-637, 1978.

KELLY, J. D. Remaking bean plant architecture for efficient production. **Advances in Agronomy**, New York, v. 71, n. 1, p. 109-143, 2001.

KIM, H. S.; SNELLER, C. H.; DIERS, B. W. Inheritance of partial resistance to *Sclerotinia stem rot* in soybean. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 1, p. 55-61, Feb. 2000.

KNAPP, S. J.; STOUP, W. W.; ROSS, W. M. Exact confidence intervals for heritability on a progeny mean basis. **Crop Science**, Madison, v. 25, n. 1, p. 192-194, Jan. 1985.

KOLKMAN, J. M.; KELLY, J. D. Agronomic traits affecting resistance to white mold in common bean. **Crop Science**, Madison, v. 42, n. 3, p. 693-699, May/June 2002.

- KOLKMAN, J. M.; KELLY, J. D. An indirect test using oxalate to determine physiological resistance to white mold in common bean. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 1, p. 281-285, 2000.
- KOLKMAN, J. M.; KELLY, J. D. QTL conferring resistance and avoidance to white mold in common bean. **Crop Science**, Madison, v. 43, n. 2, p. 539-548, Mar. 2003.
- LIMA, I. A. **Seleção de progênies de feijoeiro tipo carioca em populações de retrocruzamento para resistência ao mofo branco, antracnose e mancha angular**. 2010. 56 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas)–Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.
- MARCONDES, E. H. K.; SANTOS, J. B. dos; PEREIRA, H. S. Seleção de linhagens de feijoeiro com tipo de grão carioca e com os alelos co-4 e co-5 de resistência à antracnose. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 975-982, jul./ago. 2010.
- MARQUES JÚNIOR, O. G. **Eficiência com experimentos com a cultura do feijão**. 1997. 80 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas)–Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.
- MAXWELL, D. P.; LUMSDEN, R. D. Oxalic acid production by *S. Sclerotiorum* in infected bean and in culture. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 60, n. 11, p. 1395-1398, Nov. 1970.
- MICHEREFF, S. J. **Doenças causam sérios prejuízos na safra de feijão em Pernambuco**. 2009. Disponível em: <[http://www.ufrpe.br/artigo\\_ver.php?idConteudo=1251](http://www.ufrpe.br/artigo_ver.php?idConteudo=1251)>. Acesso em: 10 nov. 2009.
- MIKLAS, P. N. et al. Inheritance of ICA bunsii-derived resistance in a navy × pinto bean cross. **Crop Science**, Madison, v. 44, n. 5, p. 1584-1588, Sept. 2004.
- MIKLAS, P. N. et al. QTL conditioning physiological resistance and avoidance to white mold dry bean. **Crop Science**, Madison, v. 41, n. 2, p. 309-315, Mar./Apr. 2001.
- MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egyptian Journal of Genetics and Cytology**, Alexandria, v. 7, p. 40-51, 1978.

- NAKAGAWA, Y. et al. *Aspergillus niger* pneumonia with fatal pulmonary oxalosis. **Journal of Infection and Chemotherapy**, Tokio, v. 5, n. 2, p. 97-10, 1999.
- OLIVEIRA, S. H. F. Manejo do mofo branco. **DBO Agrotecnologia**, São Paulo, v. 2, n. 4, p. 8-13, maio/jun. 2005.
- PARLEVLIET, J. E. Disease resistance in plants and its consequences for plant breeding. In: FREY, J. K. P. **Plant breeding II**. Ames: The Iowa State University, 1981. p. 309-364.
- PARRELA, N. N. L. D.; SANTOS, J. B. dos; PARRELA, R. A. C. Seleção de famílias de feijão com resistência à antracnose, produtividade e tipo de grão carioca. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, p. 1503-1509, set./out. 2008.
- PEREIRA, H. S. et al. Seleção fenotípica e assistida por marcadores moleculares de famílias de feijoeiro-comum com alta produtividade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 11, p. 1551-1558, nov. 2008.
- PETZOLDT, R.; DICKSON, M. H. Straw test for resistance to white mold in beans. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 39, p. 142-143, 1996.
- PIERSON, P. E.; RHODES, L. H. Effect of culture medium on the production of oxalic acid by *Sclerotinia trifoliorum*. **Mycologia**, New York, v. 84, n. 3, p. 467-469, May/June 1992.
- PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451 p.
- QUINTELA, E. D. **Manejo integrado de pragas do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás, 2001. Disponível em:  
<[http://www.cnpaf.embrapa.br/publicacao/circular tecnica/circ\\_46.pdf](http://www.cnpaf.embrapa.br/publicacao/circular tecnica/circ_46.pdf)>. Acesso em: 05 jan. 2011.
- RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Cultivares. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. p. 415-436.
- RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 326 p.

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

RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos de campo**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 435 p.

SANTOS, J. B. dos; VENCOSKY, R.; RAMALHO, M. A. P. Controle genético da produção de grãos e seus componentes primários em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 10, p. 1203-1211, out. 1985.

SANTOS, J. B.; GAVILANES, M. L. Botânica. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão**: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas. Viçosa, MG: UFV, 1998. p. 55-82.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT user's guide**: version 8. Cary, 2000.

SILVA, M. G. M.; SANTOS, J. B. dos; ABREU, A. F. B. Seleção de famílias de feijoeiro resistente à antracnose e à mancha-angular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 10, p. 1499-1506, out. 2006.

SINGH, S. P. et al. Registration of white mold resistant dry bean germplasm line A 195. **Journal of Plant Registrations**, Madison, v. 1, p. 62-63, May/June 2007.

TAKEDA, C.; SANTOS, J. B. dos; RAMALHO, M. A. P. Progeny test for the "ESAL 501" x "A354" common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) hybrid at different locations. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 14, n. 3, p. 771-779, 1991.

TEIXEIRA, F. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Genetic control of plant architecture in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 22, n. 4, p. 577-580, Dec. 1999.

TERÁN, H.; SINGH, S. P. Response of dry bean genotypes with different levels of resistance to *Sclerotinia sclerotiorum* to three inoculation methods. **Annual Report of Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 51, p. 218-219, 2008.

TOLEDO-SOUZA, E. D.; COSTA, J. L. da S. Métodos de inoculação de plântulas de feijoeiro para avaliação de germoplasma quanto á resistência a *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiania, v. 33, n. 2, p. 57-63, 2003.

TU, J. C. Tolerance of white bean (*Phaseolus vulgaris*) to white mold (*Sclerotinia sclerotiorum*) associated whit tolerance to oxalic acid. **Physiological Plant Pathology**, London, v. 26, p. 111-117, Jan. 1985.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496 p.