

GILMAR SILVÉRIO DA ROCHA

**DESEMPENHO PRODUTIVO E RESISTÊNCIA A PATÓGENOS EM
POPULAÇÕES DE FEIJÃO DO TIPO CARIOCA**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Genética e
Melhoramento, para obtenção do título
de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2008

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

R672d
2008

Rocha, Gilmar Silvério da, 1981-
Desempenho produtivo e resistência a patógenos em
populações de feijão do tipo carioca / Gilmar Silvério da Rocha.
– Viçosa, MG, 2008.
xi, 63f.: il. ; 29cm.

Orientador: José Eustáquio de Souza Carneiro.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 54-63.

1. Feijão - Melhoramento genético. 2. Marcadores genéticos.
3. Feijão - Populações. 4. Feijão - Resistência a doenças e
pragas. 5. *Phaseolus vulgaris*. I. Universidade Federal de
Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 635.6522

GILMAR SILVÉRIO DA ROCHA

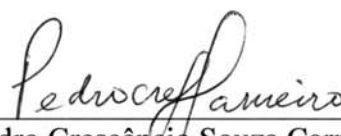
**DESEMPENHO PRODUTIVO E RESISTÊNCIA A PATÓGENOS EM
POPULAÇÕES DE FEIJÃO DO TIPO CARIOCA**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Genética e
Melhoramento, para obtenção do título
de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 22 de julho de 2008



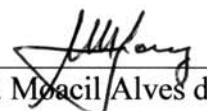
Dr. Trazilbo José de Paula Júnior
(Co-Orientador)



Prof. Pedro Crescêncio Souza Carneiro
(Co-Orientador)



Prof. Everaldo Gonçalves de Barros



Prof. Moacil Alves de Souza



Prof. José Eustáquio de Souza Carneiro
(Orientador)

Aos meus pais, Paulo e Sueli.

Aos meus irmãos.

Aos meus amigos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), pela oportunidade oferecida para a realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte financeiro concedido.

Ao Professor José Eustáquio de Souza Carneiro, pela sua orientação, imprescindível na realização deste trabalho, e por todo o apoio e ensinamento que me passou durante estes anos.

Ao Professor Pedro Crescêncio Souza Carneiro, pelas importantes sugestões, críticas e ensinamentos.

Ao Professor Everaldo Gonçalves de Barros, pelo apoio e suporte nos trabalhos realizados no laboratório de Genética Molecular de Plantas do BIOAGRO/UFV.

Ao Dr. Trazilbo José de Paula Júnior, pelo grande incentivo e atenção a mim dispensados.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, em especial àqueles que contribuíram de alguma forma para minha formação acadêmica e que contribuem para a qualidade do programa.

Aos funcionários da Estação Experimental de Coimbra e da Agronomia, em especial ao Gilberto, pelo auxílio na condução dos experimentos e pela agradável convivência.

Aos amigos Abner, Alisson, Andréia, Bruna, Diogo, Elaine, Gislâyne, Glauco, José Ângelo, José Eduardo, Lêlisângela, Lucas, Marilene, Paulo, Renato, Rosângela,

Trícia e Vanessa, do Programa de Melhoramento do Feijoeiro, pelos momentos de alegria e descontração e pela valiosa contribuição na realização deste trabalho.

Ao amigo Klever, pelo grande auxílio nas atividades realizadas em laboratório e casa de vegetação.

Aos colegas da República, Donizetti e Marcus, pela agradável convivência.

Aos meus pais, Paulo e Sueli, pelo grande apoio e pelo incentivo na busca de conhecimento e sabedoria.

Aos meus irmãos Júnior e Gilson, pelo companheirismo, compreensão e amizade.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para o meu crescimento profissional e para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

GILMAR SILVÉRIO DA ROCHA, filho de Paulo Antônio da Rocha e Sueli Aparecida da Silva Rocha, nasceu em Bueno Brandão, Minas Gerais, em 20 de novembro de 1981.

No município de Bueno Brandão, cursou o primário na Escola Estadual Secretário Olinto Orsini. De 1994 a 2000, completou os ensinos fundamental e médio na Escola Estadual de Bueno Brandão.

Em março de 2001, iniciou o curso superior na Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, Minas Gerais, colando grau em maio de 2006 como Engenheiro Agrônomo.

Em outubro de 2006, iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento da UFV, na área de Melhoramento de Plantas, defendendo tese em julho de 2008.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	01
2. OBJETIVOS	03
3. REFERENCIAL TEÓRICO	04
3.1. A cultura e o melhoramento do feijoeiro	04
3.2. Melhoramento do feijão tipo “carioca”	05
3.3. Melhoramento visando à resistência aos principais patógenos da parte aérea do feijoeiro	07
3.4. Piramidação de genes de resistência e uso de marcadores moleculares no melhoramento do feijoeiro	12
3.5. Melhoramento para caracteres agronômicos	13
3.5.1. Aspecto dos grãos	13
3.5.2. Arquitetura da planta	15
3.6. Interação genótipos por ambientes	16
4. MATERIAL E MÉTODOS	17

4.1. Local de condução dos experimentos.....	17
4.2. Material genético.....	17
4.3. Avaliação das famílias nas gerações F_{4:6}, F_{4:7} e F_{4:8}.....	18
4.4. Caracteres avaliados.....	19
4.5. Análise dos dados.....	20
4.6. Avaliação da eficiência da seleção assistida por marcadores moleculares SCAR com base na geração F₄.....	21
4.6.1. Raças utilizadas nas inoculações.....	22
4.6.2. Germinação e plantio das sementes.....	23
4.6.3. Multiplicação e inoculação dos fungos.....	23
4.6.4. Avaliação dos sintomas da antracnose e da mancha-angular.....	24
5. RESULTADOS.....	26
5.1. Análises individuais.....	26
5.2. Análises conjuntas.....	35
5.2.1. Análise conjunta para produtividade de grãos.....	35
5.2.2. Análise conjunta do aspecto de grãos.....	37
5.2.3. Análise conjunta para arquitetura da planta.....	39
5.3. Seleção de famílias com potencial para extração de linhagens.....	41
5.4. Avaliação da eficiência da seleção assistida por marcadores moleculares SCAR.....	45
6. DISCUSSÃO.....	49
7. CONCLUSÕES.....	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54

RESUMO

ROCHA, Gilmar Silvério da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Julho de 2008. **Desempenho produtivo e resistência a patógenos em populações de feijão do tipo carioca.** Orientador: José Eustáquio de Souza Carneiro. Co-orientadores: Pedro Crescêncio Souza Carneiro e Trazilbo José de Paula Júnior.

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial genético de cinco populações segregantes de feijão do tipo carioca, oriundas de cruzamentos envolvendo as linhagens elite UTF-0013, CNFC 9437, OPS-82, Carioca 1070 e GEN 12-2 e a isolinha Rudá-R, utilizada como fonte de resistência aos patógenos da antracnose, ferrugem e mancha-angular. As famílias avaliadas foram derivadas de plantas F_4 , previamente selecionadas, utilizando marcadores moleculares SCAR associados a genes de resistência à antracnose e mancha-angular. Inicialmente foram avaliadas 215 famílias $F_{4:6}$ (inverno de 2006) e dez testemunhas, utilizando o látice quadrado triplo. Nas gerações seguintes, $F_{4:7}$ na seca de 2007 e $F_{4:8}$ no inverno de 2007, foram avaliadas 18 famílias por população e dez testemunhas, também em látice. Os experimentos foram conduzidos na área experimental da Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Fitotecnia, em Coimbra-MG. Os caracteres produtividade e aspecto de grãos foram avaliados em todos os experimentos. A arquitetura da planta foi avaliada nas duas últimas safras e a severidade de ferrugem somente na primeira. Foram realizadas as análises de variância individual e conjunta para todos os caracteres avaliados. Com base nas informações moleculares das plantas F_4 que originaram as famílias e na sua avaliação, foram selecionadas 36 famílias promissoras visando à extração de linhagens superiores. Destas, 26 foram inoculadas com as raças 65 e 453 de *Colletotrichum*

lindemuthianum. A população CNFC 9437 x Rudá-R também foi inoculada com a raça 63.23 de *Pseudocercospora griseola*. Foram identificadas 18 famílias resistentes a ambas as raças de *C. lindemuthianum*, possibilitando inferir que elas possuem os alelos *Co-4* e *Co-10* e/ou *Co-6* ou suas combinações. A resistência verificada nas famílias da população CNFC 9437 x Rudá-R à raça 63.23 de *P. griseola* evidenciou que o alelo *Phg-1* foi introgridido com sucesso e que a seleção assistida pelo marcador SCARH13_{520a} foi altamente eficiente.

ABSTRACT

ROCHA, Gilmar Silvério da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2008. **Yield and resistance to pathogens of carioca type bean populations.** Adviser: José Eustáquio de Souza Carneiro. Co-advisers: Pedro Crescêncio Souza Carneiro and Trazilbo José de Paula Júnior.

The main objective of this work was to evaluate the genetic potential of five segregating carioca type bean populations, originated from crossings involving the elite lines UTF-0013, CNFC 9437, OPS-82, Carioca 1070 and GEN 12-2 and the isoline Rudá-R, used as source of resistance to anthracnosis, rust, and angular leaf spot. The families evaluated were derived from F₄ plants, previously selected using SCAR molecular markers associated to genes of resistance to anthracnosis and angular leaf spot. Initially, 215 F_{4:6} families (2006 winter) and 10 checks were evaluated using the triple square lattice. In the following generations (F_{4:7} - 2007 February to May and F_{4:8} - 2007 winter), 18 families per population and 10 checks were evaluated also in lattice. The experiments were conducted at the experimental area of the Universidade Federal de Viçosa, Department of Plant Science, in Coimbra-MG. Yield and grain aspect were evaluated in all the experiments. Plant architecture was evaluated in the last two crops and rust severity only in the first. Individual and compound analyses of variance were carried out for all the characters evaluated. Based on the molecular information of the F₄ plants that originated the families and on their evaluation, 36 promising families were separated for selection of superior lines. Out of these, 26 were inoculated with the races 65 and 453 of *Colletotrichum lindemuthianum*. The population CNFC 9437 x Rudá-R was also inoculated with the race 63.23 of *Pseudocercospora griseola*. Eighteen

families were found resistant to both races of *C. lindemuthianum*. It means that they have the alleles *Co-4* and *Co-10* and/or *Co-6* or their combinations. The resistance to 63.23 of *P. griseola* of families of the population CNFC 9437 x Rudá-R indicated that the introgression of the allele *Phg-1* was performed successfully and that the SCARH13_{520a} marker-assisted selection was highly efficient.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca como o maior produtor e consumidor de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), seguido pela Índia e China (FAO, 2007). Entretanto, ainda apresenta uma das menores médias mundiais de produtividade, cerca de 800 kg/ha (CONAB, 2008). Um dos fatores responsáveis por essa baixa produtividade é a ocorrência de várias doenças que acometem a cultura do feijoeiro. Entre elas, a antracnose, causada por *Colletotrichum lindemuthianum*, a ferrugem, causada por *Uromyces appendiculatus* e a mancha-angular, incitada por *Pseudocercospora griseola*, merecem maior atenção pelos danos causados e pela alta variabilidade patogênica dos fungos (Paula Jr. e Zambolim, 2006).

Entre as diversas estratégias utilizadas para o controle de doenças, o uso de cultivares resistentes destaca-se como uma das mais eficientes. Uma alternativa promissora de seleção para resistência a patógenos é a identificação de marcadores moleculares associados aos genes de resistência, visando à seleção assistida. Neste sentido, trabalhos realizados no Bioagro (Alzate Marin et al., 2005) levaram à introgressão de vários alelos de resistência aos patógenos da antracnose, ferrugem e mancha-angular em feijão do tipo carioca, mais especificamente na cultivar Rudá (isolinha Rudá-R). Esta isolinha tem sido utilizada como fonte em cruzamentos visando à incorporação de alelos de resistência a patógenos em linhagens elite e cultivares comerciais de feijoeiro.

Outros caracteres, como a arquitetura da planta, a produtividade e o aspecto dos grãos, também têm recebido grande ênfase nos programas de melhoramento do feijoeiro. Em relação à arquitetura, os melhoristas visam à obtenção de plantas eretas,

que apresentam várias vantagens, como maior facilidade nos tratos culturais e possibilidade de colheita mecânica. Para o feijão do tipo carioca, o mais cultivado e consumido no Brasil, a preferência tem sido por grãos de tegumento opaco, cor creme com rajas marrom-claras, fundo claro e tamanho médio (23 a 25 g).

Em função dos diversos caracteres a serem melhorados e da ampla variabilidade dos patógenos, os programas de melhoramento estão constantemente buscando novas e melhores cultivares. A cultivar Pérola, por exemplo, considerada padrão quanto ao aspecto de grão e produtividade, é a mais cultivada no país. Entretanto, apresenta suscetibilidade às principais raças de *C. lindemuthianum* e *U. appendiculatus*, predominantes nas regiões produtoras de Minas Gerais (Lanza et al., 1997; Faleiro et al., 2001).

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial genético de cinco populações segregantes de feijão do tipo carioca, oriundas de cruzamentos envolvendo linhagens elite e a isolinha Rudá-R, utilizada como fonte de resistência aos patógenos da antracnose, ferrugem e mancha-angular. Paralelamente, objetivou-se avaliar a eficiência da seleção assistida por marcadores moleculares SCAR, nas gerações iniciais, visando à resistência aos patógenos da antracnose e mancha-angular.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o potencial genético de famílias oriundas de cinco populações segregantes de feijão do tipo carioca.

Os objetivos específicos foram:

- Avaliação e identificação de famílias de feijão do tipo carioca, com vistas à extração de linhagens superiores;
- Incorporação de alelos de resistência aos patógenos da antracnose, ferrugem e mancha-angular em linhagens elite de feijão do tipo carioca; e
- Avaliação da eficiência da seleção assistida por marcadores moleculares SCAR, nas gerações iniciais, visando à resistência aos patógenos da antracnose e mancha-angular.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. A cultura e o melhoramento do feijoeiro

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é um dos alimentos mais importantes para a maioria dos brasileiros por ser a principal fonte de proteína e de valor mais acessível. Além da relevância na alimentação, o feijão é um dos produtos agrícolas de maior importância socioeconômica. Estima-se que no cultivo do feijão sejam utilizados sete milhões de homens/dia por ciclo de produção só no estado de Minas Gerais (Borém e Carneiro, 2006).

Na safra de 2006/07, a produção brasileira de feijão foi de 3,3 milhões de toneladas, em uma área de 4,1 milhões de hectares. O estado de Minas Gerais é o segundo maior produtor nacional. Na safra de 2006/07, o estado produziu 503,5 mil toneladas (15,1% da produção nacional). A produtividade média no estado foi de 1217 kg/ha, apenas 14% abaixo da produtividade do Paraná, maior produtor nacional (CONAB, 2008).

O país apresenta, atualmente, um consumo da ordem de 17 kg/habitante/ano, bem inferior ao do início da década de 70, cerca de 25 kg/ano. As possíveis causas do menor consumo desta leguminosa nas últimas décadas foram o êxodo rural, com alteração dos padrões de consumo da população, e a redução do preço de outras fontes protéicas (Borém e Carneiro, 2006).

Tradicionalmente, a produção de feijão é feita em duas épocas de plantio: a das “águas” e a da “seca”. O grande inconveniente do plantio das águas é a possibilidade de excesso de chuvas durante a colheita, que pode prejudicar a qualidade dos grãos e até

mesmo levar a uma perda total da produção. Já no plantio da seca, a perda na produção pode ocorrer pela escassez de chuvas (Araújo e Ferreira, 2006). Estas duas épocas de plantio são as preferidas por pequenos e médios agricultores, muitos ainda utilizando sistemas consorciados e baixo nível tecnológico.

Uma terceira época de plantio (outono-inverno) tem sido adotada por grandes produtores, que utilizam alta tecnologia, incluindo o emprego de irrigação. Em Minas Gerais, a estimativa de produção na terceira época para a safra de 2007/08 é de 149,9 mil toneladas, em uma área de 63,2 mil hectares, garantindo um rendimento superior a 2350 kg/ha (CONAB, 2008).

O melhoramento genético do feijoeiro no Brasil é realizado principalmente por empresas públicas, concentrando-se nas Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Alguns objetivos são comuns aos programas, destacando-se a obtenção de cultivares com grãos do tipo carioca, o mais consumido no país.

Outros objetivos almejados pelos programas são: produtividade de grãos, boa qualidade culinária, porte ereto, precocidade e resistência às principais doenças, como antracnose, ferrugem e mancha-angular. Estas doenças têm sido apontadas como uma das principais causas da baixa produtividade do feijoeiro (Paula Jr. e Zambolim, 2006).

O uso de cultivares resistentes para o controle destas enfermidades tem sido uma medida preferencialmente recomendada por ser eficiente, de baixo custo e de fácil adoção pelos produtores, além de ser ecologicamente mais adequada. Entretanto, até o presente momento, ainda não se dispõe de cultivares de feijão de grãos do tipo “carioca” com ampla resistência aos patógenos causadores destas doenças.

3.2. Melhoramento do feijão tipo “carioca”

A década de 70 foi marcada por eventos importantes no melhoramento genético do feijoeiro. Nesta época, foi criado o Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (Embrapa Arroz e Feijão) e, também, estabeleceu-se a grande maioria dos programas de desenvolvimento de linhagens. Ainda neste período, o programa do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) lançou a primeira cultivar de feijão do tipo carioca, denominada de ‘Carioca’ (Almeida et al., 1971). Esta cultivar, 30% mais produtiva do que os outros tipos de feijão na época, revolucionou o cultivo no país com profundas alterações nos padrões de grãos produzidos e consumidos no Brasil (Almeida, 2000).

A cultivar Carioca foi obtida a partir de uma planta selecionada por um agricultor no município de Palmital, em São Paulo, que ficara impressionado com o seu potencial produtivo (A revolução..., 2000). Há duas versões para sua origem: uma relacionada ao processo de mutação genética, e a outra baseada na ocorrência de cruzamentos naturais. A mais aceita entre os melhoristas é a que o feijão ‘Carioca’ tenha surgido por mutações genéticas ocorridas nas variedades cultivadas daquela época.

Também existem duas versões para o nome ‘carioca’. A primeira é de que a cor dos grãos e o desenho ondulado do feijão, parecido com as calçadas da praia de Copacabana, no Rio de Janeiro, teriam levado os pesquisadores a batizá-lo de ‘Carioca’ (A revolução..., 2000). Pela segunda versão, o nome seria uma analogia ao porco carioca. Ocorre que essa raça caipira de suíno, quase extinta, tem pelagem pintada (Unicamp, 2008). Os grãos da cultivar Carioca possuem cor de fundo bege com rajadas marrons, apresentando variações de tonalidades, peso de 100 grãos, tamanho e formato.

Entre os principais programas de melhoramento de feijão no país, estão os conduzidos pela Embrapa Arroz e Feijão, Universidades Federais de Viçosa (UFV) e de Lavras (UFLA), Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), Instituto Agrônomo do Paraná (Iapar), Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA), Embrapa Clima Temperado, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig) (Vieira et al., 2005) e pela FT Pesquisa e Sementes, única empresa privada do setor. Resultante desse esforço conjunto, diversas cultivares de grãos tipo carioca foram recomendadas, a maioria com vantagens em termos de produtividade e resistência às doenças, em relação à cultivar Carioca. Contudo, algumas não foram bem aceitas, culminando com a sua saída do mercado após alguns anos de cultivo, pois detalhes de cor, tamanho e forma do grão restringiram sua comercialização (Ramalho e Abreu, 2006). A cultivar Pérola, recomendada em 1995, apesar de apresentar suscetibilidade a *C. lindemuthianum* e *U. appendiculatus*, estabeleceu-se no mercado pelo seu excelente aspecto de grão, tornando-se a mais cultivada no País.

No âmbito do convênio UFLA/UFV/Embrapa/Epamig, foi lançada a cultivar BRSMG Talismã, a qual associou aos grãos do padrão comercial carioca resistência a algumas raças de *C. lindemuthianum*, boa produtividade e precocidade de, aproximadamente, dez dias em relação às cultivares recomendadas no estado (Ramalho et al., 2004). Também por meio deste convênio foi lançada a cultivar BRSMG Majestoso, indicada para o estado de Minas Gerais em 2006 (Abreu et al., 2006). Esta

cultivar se originou do cruzamento entre as cultivares Ouro Negro, de grãos pretos, e Pérola, de grãos tipo carioca. Em ensaios de campo, a BRSMG Majestoso apresentou reação intermediária à mancha-angular e resistência ao vírus do mosaico-comum. Quando avaliada em diversas regiões de Minas Gerais, sobressaiu-se em relação às testemunhas BRSMG Talismã e Pérola, com média de 11,6% a mais na produtividade de grãos. Ela possui ainda grãos do tipo carioca que atendem às exigências do mercado e apresenta excelentes qualidades culinárias, com tempo de cocção inferior ao das testemunhas, BRSMG Talismã e Pérola.

3.3. Melhoramento visando à resistência aos principais patógenos da parte aérea do feijoeiro

Entre as doenças de maior importância da parte aérea do feijoeiro, destacam-se três de origem fúngica: antracnose, ferrugem e mancha-angular. Como principal sintoma da antracnose, podem ser observadas lesões marrom-escuras ou negras nos cotilédones quando a transmissão da doença é realizada por meio das sementes, podendo surgir também lesões no caule e no pecíolo. Nas folhas, o sintoma mais característico é o surgimento de lesões escuras ao longo das nervuras na face inferior da folha (Paula Jr. e Zambolim, 2006). Além de diminuir o rendimento da cultura, a antracnose deprecia a qualidade do produto por ocasionar manchas no grão. O desenvolvimento da doença é favorecido por temperaturas entre 13 e 27 °C, com um ótimo de 17 °C e alta umidade relativa (Sartorato et al., 1996).

Colletotrichum lindemuthianum, agente causal da antracnose do feijoeiro, apresenta grande variabilidade e muitas raças já foram identificadas no Brasil e no mundo. Trabalhos recentes indicam que essa diversidade é resultado, em grande parte, de uma co-evolução patógeno-hospedeiro (Alzate-Marin et al., 1999a).

A partir de 43 isolados provenientes de diferentes regiões produtoras de feijoeiro comum no Brasil, Talamini et al. (2004) identificaram dez raças fisiológicas de *C. lindemuthianum*. As raças, em ordem decrescente de frequência, foram: 65, 81, 337, 87, 73, 64, 593, 83, 89 e 8. Carbonell et al. (1999) coletaram várias amostras de plantas em lavouras com antracnose em diferentes regiões do estado de São Paulo e constataram que os isolados pertenceram às raças 23, 31, 65, 73, 81, 87, 89, 95 e 127, com predominância das raças 65, 81 e 89. Em Minas Gerais, as raças 65, 73, 81 e 89 são

observadas com maior frequência (Paula Jr. e Zambolim, 2006 e Silva, 2004), sendo as cultivares Carioca, Pérola e Rudá suscetíveis a estas mesmas raças (Lanza et al., 1997).

No Brasil, Rava et al. (1994) relataram que as linhagens AB136 e G2333 mostraram resistência a todos os isolados de *C. lindemuthianum* coletados em várias regiões produtoras de feijão. Ainda neste trabalho, a linhagem TO apresentou resistência a 22 das 25 raças, sendo suplantada pelas raças 339, 343 e 453. ‘Cornell 49-242’ apresentou resistência a 17 das 25 raças, com reação de compatibilidade às raças 8, 72, 73, 75, 79, 89, 95 e 585. Talamini et al. (2004) verificaram que as cultivares Kaboon, PI 207262, AB136 e G2333 foram resistentes a todos os 43 isolados oriundos de diversas regiões produtoras de feijão do Brasil.

De acordo com Arruda (1998), a resistência conferida pela cultivar TO à raça 65 deve-se a um alelo dominante (*Co-4*). O mesmo resultado foi observado em relação à resistência da cultivar AB136 às raças 64 e 89 (Alzate-Marin et al., 1997). Estes autores ainda relataram que para a raça 73, dois alelos, um dominante e um recessivo, controlam a resistência. Resultados obtidos por Alzate-Marin et al. (2003), para a cultivar Cornell 49-242, indicaram que três genes dominantes, sendo dois de caráter complementar, controlam a resistência ao patótipo 81 de *C. lindemuthianum*, enquanto um gene dominante e um recessivo controlam a resistência ao patótipo 65.

A mancha-angular do feijoeiro, cujo agente causal é o fungo *Pseudocercospora griseola*, tem sido apontada como a mais importante doença da parte aérea, sendo encontrada, em maior ou menor intensidade, em todas as regiões em que esta leguminosa é cultivada (Paula Jr. e Zambolim, 2006; Rava, 2002). O sintoma típico da mancha-angular pode ser observado nas folhas trifolioladas, na forma de lesões angulares, em razão da limitação do desenvolvimento do patógeno pelas nervuras das folhas. Temperaturas entre 16 e 28 °C, com um ótimo em 24 °C, favorecem o desenvolvimento da doença (Paula Jr. e Zambolim, 2006). Os plantios das águas e da seca são os mais propícios à ocorrência da mancha-angular em função das condições climáticas.

Aparício (1998), ao avaliar 66 isolados monospóricos de *P. griseola* provenientes de oito estados brasileiros (Minas Gerais, Santa Catarina, Paraná, Goiás, Espírito Santo, Rondônia, Pernambuco e Paraíba), caracterizou 30 raças, sendo as mais frequentes 15.39, 31.23, 63.23 e 63.31. Na Costa Rica, Orozco & Araya (2005) identificaram 21 patótipos de *P. griseola* a partir de 61 isolados coletados de regiões produtoras de feijão. Já em Minas Gerais, Silva et al. (2007) verificaram a ocorrência de

dez patótipos diferentes (55.15, 63.07, 63.15, 63.23, 63.25, 63.27, 63.31, 63.47, 63.55 e 63.63) entre 48 isolados estudados. Estes resultados evidenciam a elevada variabilidade patogênica deste fungo.

Tem sido constatado na América Latina que os fenótipos de virulência de *P. griseola* podem ser separados de acordo com a região de origem, que pode ser andina ou mesoamericana, evidenciando uma co-evolução do patógeno e hospedeiro (Pastor-Corrales & Jara, 1995). Em algumas regiões do estado de Minas Gerais, tem sido observado que as raças prevalecentes de *P. griseola* infectam predominantemente os feijões mesoamericanos. Assim, Bruzi et al. (2007), visando a introduzir alelos de resistência em cultivares mesoamericanas, cruzaram as linhagens Carioca-MG (grupo mesoamericano) e ESAL 550 (grupo andino). Após avaliação das famílias segregantes, foram obtidas linhagens com boa resistência à mancha-angular. Entretanto, estas linhagens apresentaram tipo de grãos fora do padrão comercial carioca.

A maioria das cultivares plantadas no país são, em maior ou menor grau, suscetíveis à mancha-angular. Em condições de casa de vegetação, Faleiro et al. (2001) observaram que as cultivares Carioca MG, Pérola, Carioca 1030 e Aporé, todas de grão tipo carioca e extensivamente plantadas em Minas Gerais, foram altamente suscetíveis às raças 63.55, 31.23, 63.39, 31.55 e 63.23.

Entretanto, linhagens como México 54, AND 277, Cornell 49-242, MAR 2, G5686, BAT 332, CAL 143, Antioquia 8 e México 235 têm sobressaído como importantes fontes de resistência para uso nos programas de melhoramento (Oliveira et al., 2004; Sartorato, 2001). Trabalhos realizados por Reis-Prado et al. (2006) apontaram as cultivares BRS Pontal, BRS Requite e BRS Grafite como resistentes aos patótipos 63.23 e 63.19, de alta virulência e prevalência nas áreas de cultivo do feijoeiro no Brasil. Segundo os autores, estas três cultivares podem ser úteis em programas de retrocruzamento que utilizam cultivares mesoamericanas como genitores recorrentes, tendo em vista a relativa facilidade de transferência de genes entre indivíduos do mesmo conjunto gênico.

Há evidências de que a resistência do feijoeiro à *P. griseola* é controlada por um, dois ou três genes, tendo sido considerada dominante em alguns casos e recessiva em outros. Santos Filho et al. (1976) constataram que a resistência é condicionada por um alelo recessivo a partir do cruzamento entre as cultivares Caraota 260 (resistente) e Venezuela 350 (suscetível). Alguns trabalhos demonstraram que a resistência das cultivares AND 277, MAR-2, México 54 e Cornell 49-242 a *P. griseola* foi devida a um

alelo dominante (Carvalho et al., 1998; Ferreira et al., 1999; Sartorato et al., 2000). Corrêa et al. (2001), estudando a herança da resistência aos patótipos 63.39 e 31.23 em populações derivadas de ‘Ouro Negro’ e ‘US Pinto 111’, concluíram que a resistência proveniente da Ouro Negro é conferida por um gene dominante e da US Pinto 111 por um gene recessivo.

Os principais genes de resistência a *P. griseola*, caracterizados até o momento, são derivados das cultivares AND 277 (*Phg-1*) (Carvalho et al., 1998), México 54 (*Phg-2*, *Phg-5* e *Phg-6*), Cornell 49-242 (*Phg-3*), MAR-2 (*Phg-4* e *Phg-5*²) e AND 277 (*Phg-2*², *Phg-3*² e *Phg-4*²) (Caixeta et al., 2005). Sartorato e Alzate-Marin (2004), ao realizarem um levantamento na literatura sobre a variabilidade patogênica de *P. griseola* no Brasil entre os anos de 2002 e 2004, observaram que as cultivares México 54 (*Phg-2*, *Phg-5* e *Phg-6*), Cornell 49-242 (*Phg-3*) e BAT 332 (*Phg-6*²) são as mais resistentes no país e a associação dos alelos presentes nestas três cultivares confere resistência a todos os patótipos identificados, exceto ao patótipo 63.63.

A ferrugem do feijoeiro é causada pelo fungo *Uromyces appendiculatus* (Pers.) Unger var. *appendiculatus*, que pode infectar folhas e, mais raramente, vagens, pecíolos e ramos. Inicialmente são observadas pontuações cloróticas que evoluem para pústulas circulares marrons, podendo ou não exibir halo amarelo (Paula Jr. e Zambolim, 2006). Temperaturas moderadas (17-22 °C) e molhamento foliar durante períodos superiores a oito horas contínuas são condições que favorecem o progresso da doença (Silva, 1992). Coelho et al. (2003), conduzindo ensaios em diferentes épocas de cultivo (seca, inverno e águas), na região de Viçosa, caracterizaram o plantio de inverno como o mais favorável à ocorrência da ferrugem, em função das condições climáticas.

O patógeno *U. appendiculatus* caracteriza-se por apresentar alta variabilidade, o que dificulta muito o trabalho de melhoramento visando à resistência. Mora et al. (1992) identificaram 53 raças fisiológicas em 80 isolados, oriundos de diferentes estados do Brasil, e apenas quatro raças foram identificadas em mais de um estado. Trabalhos mais recentes, visando à identificação de raças de isolados de *U. appendiculatus* oriundos do estado de Minas Gerais, revelaram que as raças 63-19 e 63-3 foram as mais freqüentes, representadas por cinco e dois isolados, respectivamente, de um total de 12 isolados coletados (Souza et al., 2007a). Cada uma das demais raças identificadas (21-3, 29-3, 53-3, 53-19 e 61-3) foi representada por apenas um isolado.

Visando a contornar as dificuldades nos estudos da variabilidade deste patógeno, foi realizado em Porto Rico, em 1983, o “The Bean Rust Workshop”, em que

foi definido o emprego de 19 cultivares diferenciadoras para classificar os patótipos de *U. appendiculatus* e uma escala padrão de avaliação de reação à doença (Stavely et al., 1983). No Brasil, Souza et al. (2005), usando a série diferenciadora proposta e sete isolados provenientes de Minas Gerais, constataram que as cultivares Mesoamericanas California Small White 643, Ecuador 299, México 235, Compuesto Negro Chimaltenango e Ouro Negro (testemunha) foram resistentes a todos os isolados testados.

No “3rd Bean Rust International Workshop”, realizado na África do Sul, em 2002, foi definida uma nova série diferenciadora contendo seis cultivares Andinas e seis Mesoamericanas e um sistema binário de nomenclatura (Steadman et al., 2002). Baseando-se neste novo sistema, Souza et al. (2007a) classificaram 12 isolados coletados no estado de Minas Gerais em sete raças fisiológicas distintas: 21-3, 29-3, 53-3, 53-19, 61-3, 63-3 e 63-19. Segundo os autores, as cultivares diferenciadoras México 309, México 235 e PI 181996 foram resistentes a todos os isolados caracterizados, e devem ser preferencialmente utilizadas como fontes de resistência à ferrugem pelos programas de melhoramento do feijoeiro em Minas Gerais.

De acordo com trabalhos desenvolvidos por Faleiro et al. (1999), cultivares como Carioca, Pérola, Aporé e Rudá mostraram-se suscetíveis quando inoculadas com quatro raças de *U. appendiculatus*, predominantes nos municípios mineiros de Coimbra, Lavras, Lambari e Patos de Minas. Faleiro et al. (2001) inocularam 17 cultivares de feijoeiro recomendadas para plantio em Minas Gerais com cinco patótipos de *U. appendiculatus* e verificaram que a maioria se mostrou suscetível a pelo menos três dos cinco patótipos testados. Em ambos os trabalhos, a cultivar Ouro Negro apresentou reação imune a todas as raças avaliadas. Esta cultivar vem sendo utilizada como fonte de resistência à ferrugem em programas de melhoramento em Minas Gerais (Ragagnin et al., 2003), juntamente com outros genótipos, como México 309, Belmidak RR3 e PI 181996.

Diferentes padrões de resistência específica a patótipos de *U. appendiculatus* têm sido identificados: um alelo recessivo (Zaiter et al., 1989), dois alelos dominantes complementares e dois alelos dominantes independentes (Grafton et al., 1985). Contudo, Souza et al. (2007b), visando a determinar a herança da resistência à ferrugem de México 309 em populações segregantes obtidas de seu cruzamento com a cultivar Rudá, constataram a existência de um gene dominante conferindo resistência a esta doença.

Como observado, o controle genético da reação aos patógenos causadores das três doenças comentadas anteriormente se deve a um ou poucos genes. Assim, a estratégia de melhoramento visando à resistência a estas doenças é relativamente simples principalmente quando se objetiva a transferência de apenas um gene que confere resistência vertical. No entanto, a ampla variabilidade dos fungos citados anteriormente tem sido um desafio aos programas de melhoramento do feijoeiro. Nem sempre a resistência obtida é duradoura ou eficiente em todas as regiões de cultivo.

3.4. Piramidação de genes de resistência e uso de marcadores moleculares no melhoramento do feijoeiro

A piramidação de alelos de resistência tem sido sugerida como uma estratégia no melhoramento visando à resistência aos patógenos que apresentam grande variabilidade (Nelson, 1978; Alzate-Marin et al., 2005). Em feijão, a piramidação de três genes de resistência à ferrugem, *UP-2*, *B-190* e *UR-3*, conferiu resistência a 63 dos 65 patótipos caracterizados na coleção do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos – USDA (Kelly et al., 1994).

Para agregar vários alelos na planta, existem duas dificuldades principais: conseguir vários alelos de resistência vertical e eficientes para o controle do(s) patógeno(s) e a identificação da presença destes alelos de resistência em um genótipo. Uma possível solução para esse problema seria o uso de marcadores moleculares, como os de DNA (Ferreira e Grattapaglia, 1998). Uma vantagem para o melhoramento do feijoeiro visando à construção de pirâmides de genes é o fato de a maioria dos alelos de resistência mais importantes já estar marcada e com informações disponíveis dos *primers* que amplificam os marcadores (Parrella, 2006).

Marcadores RAPD (*Random Amplified Polymorphic DNA*), intimamente ligados a alelos de resistência a raças específicas de um patógeno, têm se constituído efetivamente em metodologia viável para a seleção indireta visando à resistência a doenças no feijoeiro (Alzate-Marin et al., 2001; Miklas et al., 2006).

No programa de melhoramento do feijoeiro do Bioagro/UFV, foram desenvolvidas linhas quase isogênicas (NILs, near isogenic lines), com grãos do tipo carioca contendo os genes de resistência à ferrugem, provenientes da cultivar Ouro Negro (Faleiro et al., 1997), os genes de resistência à antracnose *Co-6* e *Co-4* das cultivares AB 136 e TO, respectivamente (Alzate-Marin et al., 1999b), e o gene de

resistência à mancha-angular da linhagem AND 277 (gene *Phg-1*) (Carvalho et al., 1998) para piramidação destes genes em uma só cultivar. Vários marcadores RAPD foram identificados, sendo que Ragagnin et al. (1998) identificaram, na cultivar Ouro Negro, o marcador OPX11_{630a} ligado ao gene de resistência à ferrugem, a uma distância de 5,8 cM. Arruda (1998), trabalhando com populações F₂ do cruzamento de Rudá x TO, verificou que o marcador OPY20_{830a} se encontrava ligado ao gene *Co-4*, não apresentando recombinantes. Carvalho et al. (1998) verificaram que o marcador OPH13₄₉₀ está ligado em acoplamento ao gene *Phg-1* de resistência à mancha-angular presente na linhagem AND 277, a uma distância de 5,5 cM.

A utilidade de marcadores moleculares RAPD em populações diferentes daquelas em que foram identificados vai depender, entre outros fatores, do grau de ligação entre o marcador e o gene de interesse e da similaridade genética entre os genitores utilizados nas diferentes populações (Tanksley e Nelson, 1996). Melo (2004) evidenciou que os marcadores OPX11_{550a} e SCARF10_{1050a}, previamente identificados na população Ouro Negro/Rudá (Faleiro et al., 2003), foram validados e eficientes na seleção indireta à resistência a patótipos de *C. lindemuthianum* e *U. appendiculatus* na população Ouro Negro/Pérola.

3.5. Melhoramento para caracteres agronômicos

No melhoramento do feijoeiro, além da produtividade de grãos e da resistência às doenças, outras características de interesse agrônomo necessitam ser consideradas. Entre estas características, destacam-se o aspecto dos grãos e a arquitetura da planta.

3.5.1. Aspecto dos grãos

O tipo comercial de feijão é determinado principalmente pela cor, brilho e tamanho do grão. No Brasil, são cultivados feijões dos tipos preto, carioca, roxo, mulatinho, rosinha, vermelho e manteigão. A preferência do consumidor por determinado tipo varia de região para região. Em Minas Gerais, na Zona da Mata, além das cultivares de feijão do tipo carioca e preto, tem-se o feijão de cor vermelha, o mais aceito pelos consumidores desta região. No Alto Paranaíba e Triângulo Mineiro, os feijões de cor roxa e amarela ocupam uma parcela do mercado, mas a preferência é pelo

tipo carioca, o mesmo ocorrendo nas demais regiões do Estado (Ramalho e Abreu, 2006).

O feijão do tipo carioca é o mais cultivado e consumido em Minas Gerais e no Brasil. Possui cor creme com rajas marrons e peso de 100 grãos variando de 23 a 25 g. Apesar de várias cultivares com esse tipo de grão terem sido obtidas pelos programas de melhoramento, algumas já saíram do mercado, pelo fato de detalhes de cor e tamanho do grão restringirem sua comercialização (Ramalho e Abreu, 2006). O maior entrave para obter grãos dentro do padrão comercial carioca é o grande número de genes envolvidos (Basset, 1996). Segundo Leakey (1988), somente para cor de grãos, estima-se que existam pelo menos 18 genes controlando esse caráter, vários deles com alelos múltiplos, pleiotropismo e interações epistáticas.

Outro fator de fundamental importância na aceitação do tipo de grão é em relação à cor do halo em torno do hilo. Linhagens de halo amarelo, como a cultivar Carioca 80, desenvolvida pelo IAC, apresentaram problemas de cozimento (Ramalho e Abreu, 2006). De acordo com Leakey (1988), o gene J, responsável pela cor do halo e também pelo brilho das sementes, afeta a qualidade culinária, uma vez que acelera o processo de escurecimento dos grãos, aumenta o tempo de cozimento e reduz a digestibilidade. Assim, cultivares de grãos do tipo carioca de halo amarelo dificilmente serão aceitas pelos consumidores e, portanto, devem ser descartadas dos programas de melhoramento.

Para feijões do tipo carioca, o tegumento opaco e de cor creme é preferido em relação ao brilhante e de fundo escuro. Isto se deve ao fato de o brilho e a cor escura da semente também estarem associados à demora no cozimento (Ramalho et al., 2004). Uma possível explicação para a rejeição de grãos de fundo escuro é que mesmo a cor creme do fundo escurece após certo período de armazenamento e, com isso, a capacidade de absorção de água é reduzida, levando a um aumento no tempo de cozimento e a uma pior qualidade do produto final. Outro caráter que merece a atenção dos melhoristas é o tamanho dos grãos. A preferência é para grãos de tamanho médio, isto é, 100 grãos pesando de 23 a 25 g (Ramalho e Abreu, 2006).

Exemplos de cultivares recomendadas e que tiveram aceitação limitada por não atenderem às exigências de mercado são: Aporé, Rudá, Carioca 80 e Carioca MG. A cultivar Rudá, por exemplo, desenvolvida pelo Centro Internacional de Agricultura Tropical (Ciat) e introduzida como linhagem A 285 pela Embrapa Arroz e Feijão, foi avaliada em vários ambientes, em GO/DF, MG, ES, MS e PR, e recomendada para

cultivo nestes estados em 1992 (Embrapa, 2008). Apesar de apresentar bom potencial produtivo, seus grãos são pequenos e com a tonalidade do fundo creme e rajas mais escuras, além de suscetível à maioria dos patótipos dos agentes causais da antracnose, ferrugem e mancha-angular.

Diante do exposto e da grande demanda por feijões com grãos do tipo carioca, constata-se que o principal desafio dos melhoristas de feijão é o desenvolvimento de cultivares com esse perfil de grão, associado a outras características de interesse, como porte ereto, produtividade e resistência aos principais patógenos.

3.5.2. Arquitetura da planta

A arquitetura da planta é outro caráter que também tem recebido atenção nos programas de melhoramento de feijão. A finalidade é obter plantas eretas, por apresentarem vantagens como uma maior facilidade nos tratos culturais e possibilidade de colheita mecânica. Uma outra vantagem é a redução de perdas aliada à obtenção de grãos de melhor qualidade na colheita se esta coincidir com período prolongado de chuvas, uma vez que as vagens não ficam em contato com o solo. Além disso, o uso de cultivares de feijão de porte ereto tem sido uma medida recomendada no controle de *Sclerotinia sclerotiorum*, agente causador do mofo-branco, haja vista que uma maior circulação de ar na lavoura desfavorece seu desenvolvimento (Coyne, 1980).

Fatores ambientais exercem grande influência na expressão da arquitetura, o que tem dificultado a seleção de plantas de porte ereto. Collicchio et al. (1997) avaliaram o porte na safra das águas e verificaram um aumento nas notas atribuídas ao porte em relação às safras de inverno e da seca. Isto é esperado, pois o feijoeiro apresenta maior desenvolvimento vegetativo na presença de umidade e temperatura altas.

Muitas cultivares de porte ereto não apresentam grãos dentro do padrão comercial carioca, já que possuem grãos pequenos. A princípio, isto indica uma possível associação genética entre o tamanho dos grãos e o porte da planta. Entretanto, em estudo realizado por Collicchio et al. (1997), ficou evidenciada a possibilidade de obter linhagens com boa arquitetura e grãos de tamanho médio. A cultivar BRS Cometa, recomendada recentemente, corrobora esse estudo. Esta cultivar possui porte ereto e peso de 100 grãos de 24,6 g (Del Peloso, 2006).

3.6. Interação genótipos por ambientes

Em um determinado ambiente, a manifestação fenotípica é o resultado da ação do genótipo sob influência do meio. Entretanto, quando se considera uma série de ambientes, detecta-se, além dos efeitos genéticos e ambientais, um efeito adicional, proporcionado pela sua interação (Cruz, 2005). Esta interação é decorrente da variação do desempenho dos genótipos nos vários ambientes.

Robertson (1959) classifica a interação genótipos x ambientes em dois tipos: simples e complexa. A primeira é proporcionada pela diferença de variabilidade entre genótipos, de forma que a posição relativa dos genótipos não é alterada de ambiente para ambiente. A segunda ocorre pela falta de correlação entre medidas de um mesmo genótipo em ambientes distintos, indicando haver inconsistência na superioridade de genótipos com a variação ambiental. Somente quando ocorre interação complexa, haverá dificuldade no melhoramento (Cruz e Regazzi, 1997), uma vez que a recomendação de cultivares, de modo geral, é feita para uma região como um todo.

Nos programas de melhoramento do feijoeiro visando ao aumento de produtividade, avalia-se o desempenho dos genótipos em diferentes ambientes, sendo esses ambientes geralmente representados por diferentes anos, locais ou safras. Ramalho et al. (1993) avaliaram cultivares de feijão em 16 ambientes, representados por diferentes locais, anos, épocas de cultivo e data de semeadura, e verificaram que a interação cultivares x safras foi mais expressiva que cultivares x locais. Estes resultados evidenciam que, no planejamento dos experimentos de avaliação de cultivares, uma boa estratégia é sua repetição nas diferentes safras, durante alguns anos, em detrimento de alguns locais.

A ocorrência de interação famílias x ambientes para produtividade de grãos na cultura do feijoeiro tem sido comumente relatada na literatura. Carneiro (2002), por exemplo, observou comportamento inconsistente no desempenho médio de famílias avaliadas em diferentes safras. Segundo o autor, a ocorrência de diferentes patógenos nas safras, aliada à divergência das famílias quanto à sua reação teria sido a principal causa da interação. Considerando o aspecto de grãos, tal interação geralmente não tem sido detectada por se tratar de um caráter pouco influenciado pelo ambiente (Pereira et al., 2004; Baldoni et al., 2006). Em relação à arquitetura da planta, Silva et al. (2005) verificaram comportamento não coincidente das famílias para três safras avaliadas e atribuíram tal fato às diferenças ambientais a que esse caráter foi submetido.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Local de condução dos experimentos

Os experimentos de campo foram conduzidos na Estação Experimental de Coimbra – Coimbra/MG, (690 m de altitude, 20° 45' S de latitude e 42° 51' W de longitude) pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

As etapas relacionadas às avaliações de patógenos sob inoculação artificial foram realizadas em casa de vegetação e em câmaras de nevoeiro, pertencentes ao Instituto de Biotecnologia Aplicada à Agropecuária (Bioagro/UFV), Viçosa-MG. A multiplicação e o preparo dos inóculos foram realizados no laboratório de Genética Molecular de Plantas do Bioagro/UFV.

4.2. Material genético

Esse trabalho iniciou-se com a avaliação de 215 famílias provenientes de cinco populações segregantes de feijão do tipo carioca: UTF-0013 x Rudá-R, CNFC 9437 x Rudá-R, OPS-82 x Rudá-R, Carioca 1070 x Rudá-R e GEN 12-2 x Rudá-R. Estas famílias originaram-se de plantas F₄ previamente genotipadas e selecionadas visando à resistência aos patógenos da antracnose, ferrugem e mancha-angular, utilizando marcadores moleculares RAPD e SCAR (Melo, 2006). Vale ressaltar que os genitores destas populações apresentam algumas características agrônômicas interessantes do

ponto de vista do melhoramento. Apesar disso, são deficientes em outras. As principais características favoráveis e desfavoráveis são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais características dos seis genitores utilizados na obtenção das populações segregantes de feijoeiro tipo carioca

Genitores	Características favoráveis	Características desfavoráveis
UTF-0013	Produtividade e porte ereto	Suscetibilidade à antracnose
CNFC 9437	Produtividade e porte ereto	Suscetibilidade à mancha-angular e à raça 65 da antracnose
OPS-82	Produtividade e resistência à ferrugem	Suscetibilidade à raça 65 da antracnose
Carioca 1070	Precocidade	Suscetibilidade à antracnose, ferrugem e mancha-angular
GEN 12-2	Produtividade e resistência à antracnose	Suscetibilidade à ferrugem
Rudá-R	Resistência à antracnose, ferrugem e mancha-angular	Grãos pequenos e fundo escuro

4.3. Avaliação das famílias nas gerações F_{4:6}, F_{4:7} e F_{4:8}

As famílias oriundas das cinco populações foram avaliadas nas gerações F₆ (famílias F_{4:6}), F₇ (famílias F_{4:7}) e F₈ (famílias F_{4:8}), nas safras de inverno de 2006, seca de 2007 e inverno de 2007, respectivamente. Das 215 famílias avaliadas na geração F₆, 35 pertencem ao cruzamento UTF-0013 x Rudá-R; 50 ao cruzamento CNFC 9437 x Rudá-R; e 70 ao cruzamento GEN 12-2 x Rudá-R. Os cruzamentos OPS-82 x Rudá-R e Carioca 1070 x Rudá-R contribuíram com 30 famílias cada. Nas demais gerações, foram avaliadas as 18 melhores famílias de cada população, considerando produtividade, aspecto de grão e resistência à ferrugem.

Utilizou-se o delineamento experimental em látice quadrado triplo, sendo as parcelas constituídas de duas linhas de 2,0 m, espaçadas de 50 cm, com densidade de 15 sementes por metro. Um resumo sobre o número de famílias, ano agrícola, safra, delineamento e caracteres avaliados nos três experimentos, encontra-se na Tabela 2.

Os três experimentos foram submetidos aos mesmos tratos culturais, de acordo com o recomendado para a cultura do feijão na região. Na adubação de plantio, foram empregados 350 kg/ha do fertilizante formulado NPK 8-28-16 e, aos 25 dias após a emergência das plantas, 150 kg/ha de sulfato de amônio, em cobertura. Na safra de

inverno de 2006 e 2007, os experimentos foram mantidos sob irrigação convencional, por aspersão.

Tabela 2 - Detalhes experimentais da avaliação das famílias segregantes nas diferentes gerações. Coimbra-MG

	Gerações		
	F _{4:6}	F _{4:7}	F _{4:8}
Número de famílias	215	90	90
Ano agrícola	2006	2007	2007
Safra	Inverno	Seca	Inverno
Delineamento	Látice 15x15	Látice 10x10	Látice 10x10
Caracteres avaliados	Produtividade, aspecto de grão e severidade de ferrugem	Produtividade, aspecto de grão e arquitetura da planta	Produtividade, aspecto de grão e arquitetura da planta

4.4. Caracteres avaliados

Na avaliação do aspecto dos grãos, utilizou-se uma escala de notas apresentada por Ramalho et al. (1998a), em que: nota 1 refere-se ao grão típico carioca, de cor creme com estrias marrom-claras, fundo claro, halo creme, peso médio de 100 sementes de 22 a 24 g e não achatado; nota 2, ao grão tipo carioca com deficiência em uma das características mencionadas no padrão; nota 3, ao grão tipo carioca com deficiência em duas características mencionadas no padrão; nota 4, ao grão tipo carioca com deficiência em três características mencionadas no padrão; e nota 5 refere-se ao grão de cor creme com estrias marrom-escuras, fundo escuro, com halo não creme, peso médio de 100 sementes menor que 22 g e achatado. Vale salientar que, na análise destas notas, foi adotado o delineamento de blocos ao acaso, com três repetições, em que cada avaliador foi considerado uma repetição.

A avaliação da arquitetura foi realizada por meio de uma escala de notas proposta por Collicchio (1995). Essa escala varia de 1 a 5, em que: nota 1 refere-se à planta do tipo II, ereta, com uma haste e com inserção alta das primeiras vagens; nota 2, à planta do tipo II, ereta e com algumas ramificações; nota 3, à planta do tipo II ou III, ereta, com muitas ramificações e tendência a prostrar-se; nota 4, à planta do tipo III, semi-ereta e medianamente prostrada; e nota 5, à planta do tipo III, com entrenós longos e muito prostrada. Na safra de inverno de 2006, não foram obtidas notas de arquitetura.

A severidade da ferrugem foi avaliada segundo uma escala de 1 a 6, proposta por Stavely et al. (1983). As famílias ou testemunhas que receberam notas menores ou iguais a 3 foram consideradas resistentes e as que receberam notas superiores a 3, suscetíveis. Foi adotada essa classificação de resistência e suscetibilidade com base na ausência de esporulação do fungo em famílias ou testemunhas com nota até 3.

4.5. Análise dos dados

Os dados relativos à produtividade de grãos, em kg/ha, e notas de arquitetura foram, inicialmente, submetidos à análise de variância por ambiente (geração), considerando os efeitos de tratamentos e a média como fixos, conforme o modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + t_i + r_j + b_{k(j)} + e_{ijk};$$

em que:

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

μ : média geral do experimento;

t_i : efeito do tratamento i ($i = 1, 2, \dots, 225$ para a avaliação da geração $F_{4:6}$; $i = 1, 2, \dots, 100$ para a avaliação das gerações $F_{4:7}$ e $F_{4:8}$);

r_j : efeito da repetição j ($j = 1, 2, 3$);

$b_{k(j)}$: efeito do bloco k dentro da repetição j ($k = 1, 2, \dots, 15$ para a avaliação da geração $F_{4:6}$; $k = 1, 2, \dots, 10$ para a avaliação das gerações $F_{4:7}$ e $F_{4:8}$);

e_{ijk} : erro experimental associado à observação Y_{ijk} , assumindo $e_{ijk} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

As análises de variância para aspecto dos grãos e severidade de ferrugem foram realizadas adotando-se o modelo estatístico de blocos ao acaso, pois esses caracteres não são influenciados pela heterogeneidade de solo dentro de cada bloco. Os efeitos de tratamentos e a média também foram considerados fixos, sendo o modelo representado por:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + r_j + e_{ij};$$

em que:

Y_{ij} : observação referente ao tratamento i dentro da repetição j ;

μ : média geral do experimento;

t_i : efeito do tratamento i ($i = 1, 2, \dots, 225$ para a avaliação da geração $F_{4:6}$; $i = 1, 2, \dots, 100$ para a avaliação das gerações $F_{4:7}$ e $F_{4:8}$);
 r_j : efeito da repetição j ($j = 1, 2, 3$);
 e_{ij} : erro experimental associado à observação Y_{ij} , assumindo $e_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

Posteriormente, foram realizadas as análises de variância conjunta utilizando as médias ajustadas dos tratamentos comuns às três gerações e/ou às duas gerações, de acordo com Ramalho et al. (2005). Vale ressaltar que foi atendida a pressuposição de homogeneidade de variâncias residuais para realização das análises conjuntas, conforme Pimentel-Gomes (1990). Todos os efeitos foram considerados fixos, exceto o efeito de bloco e o erro médio:

$$Y_{ijl} = \mu + t_i + a_l + (ta)_{il} + r_{j(l)} + e_{ijl};$$

em que:

Y_{ijl} : observação referente ao tratamento i dentro da repetição j , no ambiente l ;
 μ : média geral;
 t_i : efeito do tratamento i ($i = 1, 2, \dots, 100$);
 a_l : efeito do ambiente l ($l = 1, 2, 3$ ou $l = 1, 2$);
 $(ta)_{il}$: efeito da interação entre o tratamento i e o ambiente l ;
 $r_{j(l)}$: efeito da repetição j dentro do ambiente l ($j = 1, 2, 3$);
 e_{ijl} : erro experimental médio associado à observação Y_{ijl} .

Para o caráter produtividade de grãos, as médias foram agrupadas conforme Scott e Knott (1974). Este teste foi empregado com a finalidade de auxiliar no processo de seleção de famílias superiores.

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio dos programas MSTAT-C (1991) e GENES (Cruz, 2006).

4.6. Avaliação da eficiência da seleção assistida por marcadores moleculares SCAR com base na geração F_4

Para esse estudo, foram utilizadas 26 famílias, derivadas de quatro populações segregantes, selecionadas com base nas avaliações de campo realizadas nas gerações $F_{4:6}$, $F_{4:7}$ e $F_{4:8}$. Como já relatado, essas famílias foram derivadas de plantas F_4 ,

previamente selecionadas por Melo (2006), utilizando seleção assistida por marcadores moleculares SCAR associados a genes de resistência à antracnose e mancha-angular, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Marcadores moleculares utilizados no monitoramento das populações segregantes.

Populações	Marcadores moleculares			
	SCARY20 (1,2 cM) ¹ (Co-4) ⁽²⁾	SCARAZ20 (7,1 cM) ¹ (Co-6) ⁽²⁾	SCARF10 (6,9 cM) ¹ (Co-10) ⁽²⁾	SCARH13 (5,5 cM) ¹ (Phg-1) ⁽²⁾
UTF-0013 x Rudá-R	X ³		X ³	
CNFC 9734 x Rudá-R	X ³			X ³
OPS-82 x Rudá-R	X ³			
Carioca 1070 x Rudá-R	X ³	X ³		

¹Distância relativa entre o marcador e o gene, considerando a população utilizada na identificação do referido marcador.

⁽²⁾Alelos de resistência ligados aos respectivos marcadores.

³Indica que a população foi monitorada com o respectivo marcador.

Inicialmente, todas as famílias foram submetidas a inoculações artificiais com *C. lindemuthianum*. As famílias oriundas da população CNFC 9734 x Rudá-R, a única monitorada com o marcador SCARH13_{520a}, também foram submetidas à inoculação com *P. griseola*. Nesse caso, o referido marcador apresenta-se ligado ao gene *Phg-1*, que confere resistência às várias raças de *P. griseola*. Tais inoculações visaram, além de confirmar a presença dos genes de resistência de interesse, a avaliar a eficiência da seleção assistida por marcadores moleculares SCAR realizada na geração F₄. Como testemunhas, nas inoculações, foram utilizados os cinco genitores (UTF-0013, CNFC 9437, OPS-82, Carioca 1070 e Rudá-R) e a cultivar Rudá, suscetível à grande maioria das raças de *C. lindemuthianum* e *P. griseola*.

4.6.1. Raças utilizadas nas inoculações

As raças 65 e 453 de *C. lindemuthianum* utilizadas no presente trabalho foram cedidas pelo programa de melhoramento do feijoeiro do Bioagro/UFV. Estas raças foram escolhidas em razão de os genitores apresentarem reação de suscetibilidade a pelo menos uma delas (exceto a Rudá-R), segundo inoculação prévia realizada. Outro motivo que levou à escolha destes patótipos foi a possibilidade de inferir sobre qual ou quais genes são responsáveis pela resistência, já que as famílias avaliadas podem possuir um,

dois ou três alelos de resistência (*Co-4*, *Co-6* e *Co-10*) provenientes da isolinha Rudá-R. Vale destacar que os alelos *Co-4* e *Co-10* conferem resistência às raças 65 e 453, respectivamente. Já o alelo *Co-6* confere resistência a ambas.

Em relação à população CNFC 9437 x Rudá-R, foi utilizada a raça 63.23 para avaliar a resistência a *P. griseola*.

4.6.2. Germinação e plantio das sementes

Para cada raça de *C. lindemuthianum*, 15 sementes de cada uma das 26 famílias foram pré-germinadas em papel germitex a 36 °C e, após a emissão da radícula, transferidas para bandejas plásticas contendo uma mistura de solo e esterco bovino curtido, na proporção de 4:1, adubada no momento do preparo com 5 kg.m⁻³ do formulado NPK 4-14-8.

Visando a avaliar a resistência à raça 63.23 de *P. griseola*, sementes pré-germinadas foram transferidas para vasos plásticos de 3,5 L de capacidade, sendo utilizadas cinco sementes por vaso. O preparo do solo, a adubação e a condução das plantas até o momento da inoculação foram semelhantes ao ensaio anterior.

4.6.3. Multiplicação e inoculação dos fungos

A produção de inóculo dos dois patótipos de *C. lindemuthianum* foi feita, de forma separada, a partir de culturas monospóricas mantidas em meio BDA (batata-dextrose-ágar). Os isolados do fungo foram repicados para tubos de ensaio contendo meio vagem (vagem de feijão cozida parcialmente imersa em BDA) em câmara de fluxo laminar. Após repicagem, os tubos foram vedados e transferidos para estufa a 24 °C, onde permaneceram por 7-8 dias, tempo suficiente para abundante esporulação do fungo.

Seis dias após a emergência das plântulas, foram preparadas suspensões de cada isolado, adicionando-se água destilada e raspando-se suavemente a superfície das vagens com o auxílio de uma espátula. Estas suspensões foram ajustadas para a concentração final de 1,2 x 10⁶ conídios/ml e aspergidas em ambas as superfícies das folhas primárias, com o auxílio de um atomizador De Vilbiss nº 15, acionado por um compressor elétrico. Após a aspersão com o inóculo, as plantas foram incubadas por

cinco dias em câmaras de nevoeiro (20-22 °C e acima de 95% de umidade relativa), sob fotoperíodo de 12 h, onde permaneceram até a avaliação dos sintomas da antracnose.

Para obtenção do inóculo da raça 63.23 de mancha-angular, foi preparada uma suspensão de conídios raspando-se superficialmente colônias do fungo de 12 dias de idade crescendo a 24 °C sobre placas contendo uma mistura água destilada, suco de tomate, ágar e carbonato de cálcio (CaCO₃). Esta suspensão foi ajustada para a concentração final de $2,0 \times 10^4$ conídios/ml, sendo feita a inoculação das plantas no estágio V3 (surgimento da primeira folha trifoliolada). Os demais procedimentos de inoculação e manutenção nas câmaras de nevoeiro foram idênticos aos do ensaio com antracnose, exceto o período de incubação que foi de 48 h. Após esse período, as plantas foram novamente transferidas para a casa de vegetação, onde permaneceram até serem avaliadas.

4.6.4. Avaliação dos sintomas da antracnose e da mancha-angular

A avaliação da severidade da antracnose foi feita baseando-se numa escala de severidade de 1 a 9, descrita por Pastor-Corrales (1992), conforme o seguinte procedimento: 1- ausência de sintomas; 2- até 1% das nervuras apresentando manchas necróticas, perceptíveis somente na face inferior das folhas; 3- maior frequência dos sintomas foliares descritos no grau anterior, até 3% das nervuras afetadas; 4- até 1% das nervuras apresentando manchas necróticas, perceptíveis em ambas as faces das folhas; 5- maior frequência dos sintomas foliares descritos no grau anterior, até 3% das nervuras afetadas; 6- manchas necróticas nas nervuras, perceptíveis em ambas as faces das folhas, presença de algumas lesões no caule, ramos e pecíolos; 7- manchas necróticas na maioria das nervuras e em grande parte do tecido do mesófilo adjacente que se rompe e presença de abundantes lesões no caule, ramos e pecíolos; 8- manchas necróticas na quase totalidade das nervuras, ocasionando ruptura, desfolhamento e redução do crescimento das plantas, além de lesões abundantes no caule, ramos e pecíolo; e 9- maioria das plantas mortas. As famílias e testemunhas que apresentaram graus médios de reação de 1 a 3,5 e acima de 3,5 foram consideradas resistentes e suscetíveis, respectivamente.

A severidade da mancha-angular foi avaliada visualmente aos 18 dias após a inoculação, utilizando-se uma escala com nove graus proposta por Pastor-Corrales e Jara (1995), descrita a seguir: 1- plantas sem sintomas da doença; 2- presença de até 3%

de lesões; 3- presença de até 5% de lesões foliares, sem esporulação do patógeno; 4- presença de lesões esporuladas cobrindo 10% da área foliar; 5- presença de várias lesões esporuladas entre 2 e 3 mm, cobrindo 10-15% da área foliar; 6- presença de numerosas lesões esporuladas maiores que 3 mm, cobrindo entre 15-20% da área foliar; 7- presença de numerosas lesões esporuladas maiores que 3 mm, cobrindo entre 20-25% da área foliar; 8- presença de numerosas lesões esporuladas maiores que 3 mm, que cobrem entre 25-30% da área foliar; e 9- sintomas severos da doença, resultando em queda prematura de folhas e morte da planta. As famílias e testemunhas que apresentaram graus médios de reação de 1 a 3,5 foram consideradas resistentes e aquelas com grau 3,6 ou maior, suscetíveis.

5. RESULTADOS

5.1. Análises individuais

Os resumos das análises de variância individuais referentes aos caracteres avaliados nas safras de inverno de 2006, seca de 2007 e inverno de 2007 são apresentados, respectivamente, nas Tabelas 4, 5 e 6. Os coeficientes de variação experimental, à exceção da severidade de ferrugem, que foi de 23%, situaram-se abaixo de 20%, indicando boa precisão dos experimentos. As médias de produtividade de grãos dos experimentos foram elevadas, variando de 2266 kg/ha, no inverno de 2006, a 3983 kg/ha, na “seca” de 2007. O delineamento em látice mostrou-se eficiente na maioria dos casos em que foi utilizado (Tabelas 4, 5 e 6), especialmente na safra de inverno de 2007, alcançando eficiência de 131 e 143%, para arquitetura da planta e produtividade de grãos, respectivamente.

De modo geral, foram observadas diferenças significativas ($P \leq 0,01$) para a fonte de variação famílias e para famílias dentro de populações (desdobramentos), indicando a existência de variabilidade genética nestas populações, considerando os caracteres avaliados nos diferentes ambientes (Tabelas 4, 5 e 6).

Tabela 4 - Resumos das análises de variância individuais dos caracteres aspecto de grãos (AG), severidade de ferrugem (FE) e produtividade de grãos (Prod), em kg/ha, das 215 famílias F_{4:6} e dez testemunhas de feijão tipo carioca. Coimbra, MG, inverno/2006

Fontes de Variação	GL	Quadrado médio ¹		
		AG	FE	Prod
Tratamentos	224	0,57**	6,09**	707413,22**
Famílias (F)	214	0,55**	5,95**	697114,84**
F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R)	34	0,40**	8,56**	971559,74**
F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R)	49	0,57**	3,51**	464252,14**
F/P3 (OPS-82 x Rudá-R)	29	0,24*	0,24 ^{ns}	708841,72**
F/P4 (Carioca 1070 x Rudá-R)	29	0,35**	4,72**	317958,22**
F/P5 (GEN 12-2 x Rudá-R)	69	0,40**	6,18**	588977,86**
Entre populações	4	7,69**	60,09**	5746129,58**
Testemunhas (Te)	9	1,19**	9,25**	995492,53**
F vs Te	1	0,01 ^{ns}	7,75**	319746,95 ^{ns}
Erro efetivo	448 (406) ²	0,16	0,23	141378,93
CV(%)		18,10	23,00	16,60
Média geral		2,19	2,14	2266
Eficiência do látice		-	-	113,66

¹ ^{ns}, ** e * não significativo, significativo pelo teste F a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

² O valor entre parênteses refere-se ao número de GL do erro efetivo do caráter produtividade de grãos, analisado em látice.

Tabela 5 - Resumos das análises de variância individuais dos caracteres aspecto de grãos (AG), arquitetura da planta (Arq) e produtividade de grãos (Prod), em kg/ha, das 90 famílias F_{4:7} e dez testemunhas de feijão tipo carioca. Coimbra, MG, seca/2007

Fontes de Variação	GL	Quadrado médio ¹		
		AG	Arq	Prod
Tratamentos	99	0,62**	0,92**	537138,20**
Famílias (F)	89	0,58**	0,93**	507922,25**
F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R)	17	0,37**	0,73**	255454,64 ^{ns}
F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R)	17	0,67**	1,58**	952314,76**
F/P3 (OPS-82 x Rudá-R)	17	0,32**	0,37**	589806,22**
F/P4 (Carioca 1070 x Rudá-R)	17	0,15 ^{ns}	0,44**	283576,42 ^{ns}
F/P5 (GEN 12-2 x Rudá-R)	17	0,20**	0,18 ^{ns}	397621,22 ^{ns}
Entre populações	4	5,60**	6,69**	766483,83*
Testemunhas (Te)	9	1,10**	0,92**	790099,17**
F vs Te	1	0,18 ^{ns}	0,15 ^{ns}	859702,51 ^{ns}
Erro efetivo	198 (171) ²	0,09	0,17	275863,97
CV(%)		12,82	11,73	13,19
Média geral		2,36	3,52	3983
Eficiência do látice		-	115,19	106,47

¹ ^{ns}, ** e * não significativo, significativo pelo teste F a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

² O valor entre parênteses refere-se ao número de GL do erro efetivo dos caracteres arquitetura da planta e produtividade de grãos, analisados em látice.

Tabela 6 - Resumos das análises de variância individuais dos caracteres aspecto de grãos (AG), arquitetura da planta (Arq) e produtividade de grãos (Prod), em kg/ha, das 90 famílias F_{4:8} e dez testemunhas de feijão tipo carioca. Coimbra, MG, inverno/2007

Fontes de Variação	GL	Quadrado médio ¹		
		AG	Arq	Prod
Tratamentos	99	0,81**	0,69**	806347,92**
Famílias (F)	89	0,64**	0,54**	732533,12**
F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R)	17	0,24**	0,71**	743613,03**
F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R)	17	0,42**	0,41**	286435,76*
F/P3 (OPS-82 x Rudá-R)	17	0,32**	0,28 ^{ns}	570637,88**
F/P4 (Carioca 1070 x Rudá-R)	17	0,33**	0,30 ^{ns}	317177,85*
F/P5 (GEN 12-2 x Rudá-R)	17	0,36**	0,24 ^{ns}	481602,18**
Entre populações	4	7,04**	3,70**	6101128,42**
Testemunhas (Te)	9	2,62**	2,15**	1605736,36**
F vs Te	1	0,03 ^{ns}	1,16*	181134,96 ^{ns}
Erro efetivo	198 (171) ²	0,12	0,20	161469,79
CV(%)		12,25	13,23	12,76
Média geral		2,77	3,34	3150
Eficiência do látice		-	130,91	143,00

¹ ^{ns}, ** e * não significativo, significativo pelo teste F a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

² O valor entre parênteses refere-se ao número de GL do erro efetivo dos caracteres arquitetura da planta e produtividade de grãos, analisados em látice.

As médias e os limites inferiores (LI) e superiores (LS) de notas de severidade de ferrugem das famílias avaliadas na safra de inverno de 2006 são apresentados na Tabela 7. Percebe-se, de modo geral, bom nível de resistência à ferrugem nestas populações, pois 71,6% das famílias apresentaram notas iguais ou inferiores a 3. Cabe salientar que as cinco populações apresentaram famílias imunes à ferrugem, ou seja, com nota igual a 1, com destaque para a população F/P3 (OPS-82 x Rudá-R), em que todas as famílias foram resistentes (notas inferiores a 2,4).

Tabela 7 - Médias e limites inferiores (LI) e superiores (LS) das notas de severidade de ferrugem, das 215 famílias F_{4,6}, número de famílias avaliadas (AV) e número de famílias consideradas resistentes (R) e suscetíveis (S) a *Uromyces appendiculatus*. Coimbra, MG, inverno/2006

Genótipos	Notas de ferrugem		Número de famílias		
	Médias	LI - LS	AV	R ¹	S ¹
Famílias (F)	2,1	1,0 - 5,5	215	154 (71,6)	61 (28,4)
F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R)	2,2	1,0 - 5,5	35	25 (71,4) ²	10 (28,6)
F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R)	1,7	1,0 - 4,8	50	43 (86,0)	7 (14,0)
F/P3 (OPS-82 x Rudá-R)	1,1	1,0 - 2,3	30	30 (100,0)	0 (0,0)
F/P4 (Carioca 1070 x Rudá-R)	2,1	1,0 - 4,7	30	23 (76,7)	7 (23,3)
F/P5 (GEN 12-2 x Rudá-R)	2,8	1,0 - 5,2	70	33 (47,1)	37 (52,9)
Testemunhas	2,6	1,0 - 5,5			
Pérola	1,3				
Talismã	3,7				
Majestoso	1,3				
Rudá-R	1,0				

¹R e S referem-se ao número de famílias resistentes (notas 1 a 3) e suscetíveis (notas 3,1 a 6), respectivamente.

²Valores entre parênteses referem-se ao percentual em relação ao número de famílias por população.

Nas Tabelas 8, 9 e 10, são apresentadas as médias e os limites inferiores (LI) e superiores (LS) da produtividade de grãos (kg/ha) referentes às famílias avaliadas, por população, nas safras de inverno de 2006, seca de 2007 e inverno de 2007, respectivamente. Novamente é possível perceber a superioridade da safra da seca em termos de produtividade de grãos, em que a média de produtividade das famílias da população de pior desempenho nesta safra supera as médias das famílias de melhor desempenho das safras de inverno (Tabelas 8, 9 e 10). De maneira geral, ao visualizar os limites superiores (LS), constata-se que há famílias com desempenho superior ao das testemunhas Pérola, Majestoso, Talismã e Rudá-R, nos vários ambientes de avaliação.

As famílias pertencentes à população F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R) apresentaram maior média nas safras de inverno de 2006 (Tabela 8) e seca de 2007 (Tabela 9). Para a safra de inverno de 2006, por exemplo, esta população foi a que concentrou o maior número de famílias entre as mais produtivas, sendo que das 35 famílias avaliadas, 11 estão entre as 20 mais produtivas e 8 entre as 10 mais produtivas do experimento. Estes resultados indicam o potencial destas famílias para a extração de linhagens superiores. Já as famílias da população F/P4 (Carioca 1070 x Rudá-R) apresentaram o pior desempenho em termos de produtividade, não possuindo famílias entre as 10 mais

produtivas, nas três safras (Tabelas 8, 9 e 10). Contudo, esse cruzamento foi realizado visando a obter linhagens de feijão carioca de ciclo curto (precoces) e resistentes aos patógenos da antracnose, ferrugem e mancha-angular.

Tabela 8 - Médias e limites inferiores (LI) e superiores (LS) da produtividade de grãos (kg/ha) das 215 famílias F_{4:6}; número de famílias avaliadas (AV) e número de famílias entre as vinte (20 +) e as dez mais produtivas (10 +). Coimbra, MG, inverno/2006

Genótipos	Produtividade (kg/ha)		Número de famílias		
	Médias	LI - LS	AV	20 +	10 +
Famílias (F)	2261	1135 - 3583	215		
F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R)	2624	1394 - 3583	35	11 (31,4) ¹	8 (22,9)
F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R)	2299	1487 - 3217	50	3 (6,0)	1 (2,0)
F/P3 (OPS-82 x Rudá-R)	2213	1135 - 3023	30	2 (6,7)	0 (0,0)
F/P4 (Carioca 1070 x Rudá-R)	1963	1339 - 2737	30	0 (0,0)	0 (0,0)
F/P5 (GEN 12-2 x Rudá-R)	2200	1362 - 3184	70	4 (5,7)	1 (1,4)
Testemunhas	2366	1305 - 3183			
Pérola	2441				
Majestoso	3183				
Talismã	1675				
Rudá-R	2350				

¹Valores entre parênteses referem-se ao percentual em relação ao número de famílias por população.

Tabela 9 - Médias e limites inferiores (LI) e superiores (LS) da produtividade de grãos (kg/ha) das 90 famílias F_{4:7}; número de famílias avaliadas (AV) e número de famílias entre as vinte (20 +) e as dez mais produtivas (10 +). Coimbra, MG, seca/2007

Genótipos	Produtividade (kg/ha)		Número de famílias		
	Médias	LI - LS	AV	20 +	10 +
Famílias (F)	4001	2138 - 4906	90		
F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R)	4155	3751 - 4749	18	4 (22,2) ¹	4 (22,2)
F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R)	3846	2138 - 4522	18	4 (22,2)	2 (11,1)
F/P3 (OPS-82 x Rudá-R)	4075	3060 - 4906	18	6 (33,3)	3 (16,7)
F/P4 (Carioca 1070 x Rudá-R)	3987	3394 - 4388	18	4 (22,2)	0 (0,0)
F/P5 (GEN 12-2 x Rudá-R)	3941	2999 - 4764	18	2 (11,1)	1 (5,6)
Testemunhas	3822	2932 - 4441			
Pérola	2932				
Majestoso	3695				
Talismã	4005				
Rudá-R	3421				

¹Valores entre parênteses referem-se ao percentual em relação ao número de famílias por população.

Tabela 10 - Médias e limites inferiores (LI) e superiores (LS) da produtividade de grãos (kg/ha) das 90 famílias F_{4:8}; número de famílias avaliadas (AV) e número de famílias entre as vinte (20+) e as dez mais produtivas (10+). Coimbra, MG, inverno/2007

Genótipos	Produtividade (kg/ha)		Número de famílias		
	Médias	LI - LS	AV	20 +	10 +
Famílias (F)	3158	2120 - 4159	90		
F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R)	3384	2349 - 3971	18	8 (44,4) ¹	3 (16,7)
F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R)	3568	3013 - 4144	18	8 (44,4)	4 (22,2)
F/P3 (OPS-82 x Rudá-R)	3199	2571 - 4159	18	3 (16,7)	3 (16,7)
F/P4 (Carioca 1070 x Rudá-R)	2787	2387 - 3725	18	1 (5,6)	0 (0,0)
F/P5 (GEN 12-2 x Rudá-R)	2852	2120 - 3408	18	0 (0,0)	0 (0,0)
Testemunhas	3076	2139 - 4132			
Pérola	3652				
Majestoso	2520				
Talismã	2282				
Rudá-R	3262				

¹Valores entre parênteses referem-se ao percentual em relação ao número de famílias por população.

Quanto ao aspecto de grãos, também avaliado nos três ambientes, observa-se que todas as populações apresentaram famílias superiores quanto a esse caráter (Tabelas 11, 12 e 13). Ressalta-se que, para a avaliação desse caráter, as menores notas foram atribuídas às famílias com melhor aspecto de grão, sendo que valores iguais ou inferiores a 2,6 foram considerados aceitáveis, já que muitas cultivares comerciais se enquadram nessa classe.

As populações F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R) e F/P5 (GEN 12-2 x Rudá-R) destacaram-se das demais quanto ao aspecto de grãos, pois apresentaram maior proporção de famílias entre as de melhor desempenho quanto a esse caráter (Tabelas 11, 12 e 13). Também, ao observar os limites inferiores (LI) das populações F/P2 e F/P5, nas três safras, percebe-se que são portadoras de famílias com aspecto de grãos superior ao de cultivares recomendadas, como Pérola, Majestoso e Talismã.

Tabela 11 - Médias e limites inferiores (LI) e superiores (LS) do aspecto de grãos das 215 famílias F_{4;6}; número de famílias avaliadas (AV) e número de famílias com notas iguais ou inferiores a 2,6 ($\leq 2,6$) e iguais ou inferiores a 2,0 ($\leq 2,0$). Coimbra, MG, inverno/2006

Genótipos	Aspecto de grãos		Número de famílias		
	Médias	LI - LS	AV	$\leq 2,6$	$\leq 2,0$
Famílias (F)	2,2	1,3 - 3,3	215	168 (78,1)	92 (42,8)
F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R)	2,2	1,7 - 3,0	35	28 (80,0) ¹	18 (51,4)
F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R)	2,1	1,3 - 3,0	50	41 (82,0)	23 (46,0)
F/P3 (OPS-82 x Rudá-R)	2,4	1,8 - 3,0	30	18 (60,0)	3 (10,0)
F/P4 (Carioca 1070 x Rudá-R)	2,6	1,8 - 3,3	30	18 (60,0)	2 (6,7)
F/P5 (GEN 12-2 x Rudá-R)	2,0	1,3 - 2,7	70	63 (90,0)	46 (65,7)
Testemunhas	2,2	1,2 - 3,3			
Pérola	2,2				
Majestoso	1,7				
Talismã	2,5				
Rudá-R	3,3				

¹Valores entre parênteses referem-se ao percentual em relação ao número de famílias por população.

Tabela 12 - Médias e limites inferiores (LI) e superiores (LS) do aspecto de grãos das 90 famílias F_{4;7}; número de famílias avaliadas (AV) e número de famílias com notas iguais ou inferiores a 2,6 ($\leq 2,6$) e iguais ou inferiores a 2,0 ($\leq 2,0$). Coimbra, MG, seca/2007

Genótipos	Aspecto de grãos		Número de famílias		
	Médias	LI - LS	AV	$\leq 2,6$	$\leq 2,0$
Famílias (F)	2,3	1,5 - 3,4	90	69	21
F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R)	2,4	1,7 - 3,2	18	14	1
F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R)	2,2	1,5 - 3,0	18	14	7
F/P3 (OPS-82 x Rudá-R)	2,7	2,3 - 3,4	18	9	0
F/P4 (Carioca 1070 x Rudá-R)	2,5	2,2 - 3,0	18	14	0
F/P5 (GEN 12-2 x Rudá-R)	1,8	1,5 - 2,4	18	18	13
Testemunhas	2,4	1,5 - 3,3			
Pérola	1,9				
Majestoso	1,8				
Talismã	2,3				
Rudá-R	3,2				

Tabela 13 - Médias e limites inferiores (LI) e superiores (LS) do aspecto de grãos das 90 famílias F_{4:8}; número de famílias avaliadas (AV) e número de famílias com notas iguais ou inferiores a 2,6 ($\leq 2,6$) e iguais ou inferiores a 2,0 ($\leq 2,0$). Coimbra, MG, inverno/2007

Genótipos	Aspecto de grãos		Número de famílias		
	Médias	LI - LS	AV	$\leq 2,6$	$\leq 2,0$
Famílias (F)	2,8	1,8 - 3,9	90	35	6
F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R)	2,8	2,4 - 3,3	18	7	0
F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R)	2,6	1,9 - 3,1	18	11	2
F/P3 (OPS-82 x Rudá-R)	3,1	2,4 - 3,7	18	1	0
F/P4 (Carioca 1070 x Rudá-R)	3,1	2,5 - 3,9	18	1	0
F/P5 (GEN 12-2 x Rudá-R)	2,3	1,8 - 3,2	18	15	4
Testemunhas	2,8	1,7 - 4,1			
Pérola	1,9				
Majestoso	2,0				
Talismã	2,2				
Rudá-R	4,1				

Para arquitetura da planta, verificou-se que as populações F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R) e F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R) receberam as melhores notas (Tabelas 14 e 15). Cinco famílias de cada uma destas populações obtiveram notas de arquitetura inferiores a 3,0 na safra da seca de 2007 (Tabela 14). Para a safra de inverno de 2007, também se verifica a presença de famílias pertencentes a estas populações ocupando as melhores posições (Tabela 15). Vale destacar que as melhores famílias receberam notas que se equiparam aos genitores de porte ereto (UTF-0013 e CNFC 9437), portanto, passíveis de serem utilizadas para extração de linhagens visando à obtenção de linhagens de porte ereto.

Tabela 14 - Médias e limites inferiores (LI) e superiores (LS) da arquitetura da planta das 90 famílias F_{4:7}; número de famílias avaliadas (AV) e número de famílias com notas inferiores a 3,0 (<3,0) e a 2,6 (<2,6). Coimbra, MG, seca/2007

Genótipos	Arquitetura da planta		Número de famílias		
	Médias	LI - LS	AV	<3,0	<2,6
Famílias (F)	3,5	1,7 - 4,6	90	14	5
F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R)	3,2	2,2 - 4,0	18	5	2
F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R)	3,2	1,7 - 4,4	18	5	3
F/P3 (OPS-82 x Rudá-R)	3,8	3,3 - 4,6	18	0	0
F/P4 (Carioca 1070 x Rudá-R)	3,5	2,9 - 4,0	18	4	0
F/P5 (GEN 12-2 x Rudá-R)	4,0	3,4 - 4,5	18	0	0
Testemunhas	3,5	2,5 - 4,0			
Pérola	3,0				
Majestoso	3,2				
Talismã	4,0				
UTF-0013	2,5				
CNFC 9437	2,8				

Tabela 15 - Médias e limites inferiores (LI) e superiores (LS) da arquitetura da planta das 90 famílias F_{4:8}; número de famílias avaliadas (AV) e número de famílias com notas inferiores a 3,0 (<3,0) e a 2,6 (<2,6). Coimbra, MG, inverno/2007

Genótipos	Arquitetura da planta		Número de famílias		
	Médias	LI - LS	AV	<3,0	<2,6
Famílias (F)	3,4	1,7 - 4,2	90	17	2
F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R)	3,1	1,7 - 3,8	18	8	1
F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R)	3,2	2,5 - 3,8	18	5	1
F/P3 (OPS-82 x Rudá-R)	3,6	2,8 - 4,2	18	1	0
F/P4 (Carioca 1070 x Rudá-R)	3,2	2,9 - 3,9	18	3	0
F/P5 (GEN 12-2 x Rudá-R)	3,7	3,1 - 4,2	18	0	0
Testemunhas	3,2	2,0 - 4,5			
Pérola	2,9				
Majestoso	3,2				
Talismã	3,6				
UTF-0013	2,0				
CNFC 9437	2,5				

5.2. Análises conjuntas

Os resumos das análises conjuntas para os caracteres, produtividade de grãos, aspecto de grãos e arquitetura da planta, referentes às 90 famílias e dez testemunhas, avaliadas nas safras de inverno de 2006, seca de 2007 e inverno de 2007, são apresentados a seguir. Cabe ressaltar que a arquitetura da planta foi avaliada somente nas duas últimas safras. Optou-se também por realizar as análises conjuntas para os pares de ambientes com o intuito de avaliar os efeitos de anos e de safras e suas interações com famílias.

5.2.1. Análise conjunta para produtividade de grãos

De modo geral, foram observadas significâncias ($P \leq 0,01$) para as fontes de variação famílias, populações e para a maioria dos desdobramentos famílias dentro de populações, indicando ampla variabilidade genética nestas populações para produtividade de grãos (Tabela 16). Também é importante destacar a significância para a interação famílias x ambientes (F x A), assim como para quase todos os seus desdobramentos, exceto para F/P4 x A, na maioria das análises.

Procurando identificar a natureza das interações observadas, o quadrado médio da interação famílias x ambientes e de famílias/populações x ambientes foi decomposto, segundo Cruz e Castoldi (1991), nas frações simples e complexa. Observou-se, de modo geral, predominância da fração complexa, o que indica inconsistência no comportamento das famílias, quanto à produtividade de grãos, nos diferentes ambientes.

Considerando as análises conjuntas para cada par de ambientes (safras e anos), verificou-se que o efeito de anos foi mais pronunciado que o de safras para a interação famílias dentro de populações x ambientes (F/P x A) (Tabela 16). Interação F/P x A significativa, considerando inverno e seca de 2007, indica a contribuição do efeito de safras para a interação. Já o efeito significativo da interação F/P x A, considerando o inverno de 2006 e o inverno de 2007, indica a contribuição do efeito de anos para a interação. Estes resultados evidenciam a necessidade de avaliar as famílias também em diferentes anos para acessar o potencial das populações segregantes.

Tabela 16 - Resumo das análises de variância conjuntas da produtividade de grãos (kg/ha) das 90 famílias e dez testemunhas avaliadas nas safras de inverno de 2006 e seca e inverno de 2007. Coimbra, MG

Fontes de Variação	GL	QM ¹		GL	QM ¹	
		Inv/06 - Inv/07	Sec/07 - Inv/07		Inv/06 - Sec/07 - Inv/07	
Ambientes (A)	1	58228695,38**	104150833,94**	2	160169906,89**	
Tratamentos (T)	99	856239,59**	809671,20**	99	883803,20**	
Famílias (F)	89	789339,21**	731310,48**	89	804262,88**	
F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R)	17	283923,52**	708444,50**	17	343211,18**	
F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R)	17	225773,46 ^{ns}	798099,38**	17	784622,40**	
F/P3 (OPS-82 x Rudá-R)	17	635743,52**	621790,01**	17	505273,76**	
F/P4 (Carioca 1070 x Rudá-R)	17	289145,95**	379137,86*	17	387214,75**	
F/P5 (GEN 12-2 x Rudá-R)	17	452809,32**	519801,18**	17	557698,60**	
Entre populações	4	9541365,43**	3405748,22**	4	6938261,22**	
Testemunhas (Te)	9	1511684,59**	1572864,55**	9	1576493,23**	
F vs Te	1	911368,02**	915035,22*	1	1728681,51**	
Tratamentos x A	99	614809,13**	533802,39**	198	562186,77**	
F x A	89	572311,91**	509144,89**	178	532655,25**	
F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R) x A	17	815678,32**	290623,17 ^{ns}	34	505922,65**	
F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R) x A	17	288284,71**	440651,13**	34	340875,26**	
F/P3 (OPS-82 x Rudá-R) x A	17	573715,00**	538654,08**	34	646995,50**	
F/P4 (Carioca 1070 x Rudá-R) x A	17	261482,76*	221616,40 ^{ns}	34	223495,19 ^{ns}	
F/P5 (GEN 12-2 x Rudá-R) x A	17	248946,31*	359422,22 ^{ns}	34	270839,12*	
Entre populações x A	4	3434484,84**	3461864,03**	8	3402036,44**	
Te x A	9	1089544,3**	822970,98**	18	907417,41**	
F vs Te x A	1	124444,80 ^{ns}	125802,24 ^{ns}	2	83416,91 ^{ns}	
Erro Médio	577 (342) ²	147333,07	218666,88	748	176716,47	
CV (%)		13,52	13,11		13,06	
Média		2838	3566		3220	

¹ ^{ns}, ** e * não significativo, significativo pelo teste F a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

² O valor entre parênteses refere-se ao número de GL do erro médio da análise conjunta referente às safras da seca e inverno de 2007.

Os resultados apresentados na Tabela 17, provenientes das análises conjuntas dos três ambientes, novamente evidenciam a superioridade das famílias da população F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R) quanto à produtividade de grãos. Das 18 famílias dessa população, 10 estão entre as 20 mais produtivas e sete entre as 10 mais produtivas. De modo geral, todas as populações apresentaram famílias com produtividade acima das testemunhas Pérola, Talismã e Majestoso.

Tabela 17 - Médias e limites inferiores (LI) e superiores (LS) da produtividade de grãos (kg/ha) das 90 famílias avaliadas nos três ambientes; número de famílias avaliadas (AV) e número de famílias entre as vinte (20 +) e as dez mais produtivas (10 +). Coimbra, MG

Genótipos	Produtividade (kg/ha)		Número de famílias		
	Médias	LI - LS	AV	20 +	10 +
Famílias (F)	3234	2493 - 3775	90		
F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R)	3507	3098 - 3775	18	10 (55,6) ¹	7 (38,9)
F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R)	3337	2493 - 3701	18	6 (33,3)	2 (11,1)
F/P3 (OPS-82 x Rudá-R)	3200	2803 - 3620	18	3 (16,7)	1 (5,6)
F/P4 (Carioca 1070 x Rudá-R)	2948	2680 - 3401	18	0 (0,0)	0 (0,0)
F/P5 (GEN 12-2 x Rudá-R)	3180	2534 - 3483	18	1 (5,6)	0 (0,0)
Testemunhas	3088	2330 - 3564			
Pérola	3008				
Majestoso	3133				
Talismã	2654				
Rudá-R	3011				

¹Valores entre parênteses referem-se ao percentual em relação ao número de famílias por população.

5.2.2. Análise conjunta do aspecto de grãos

Assim como nas análises conjuntas para produtividade de grãos, observou-se, para aspecto de grãos, efeito significativo para as fontes de variação famílias e seus desdobramentos, tanto na análise geral como nas análises por safras e por anos (Tabela 18). Entretanto, quando se trata das interações famílias x ambientes (F x A), o efeito de anos foi não significativo. Já as interações de famílias x safras, dentro de cada população, foram todas significativas, à exceção das famílias da população F/P3 (OPS-82 x Rudá-R).

Tabela 18 - Resumo das análises de variância conjuntas do aspecto de grãos das 90 famílias e dez testemunhas avaliadas nas safras de inverno de 2006 e seca e inverno de 2007. Coimbra, MG

Fontes de Variação	GL	QM ¹		GL	QM ¹	
		Inv/06 - Inv/07	Sec/07 - Inv/07		Inv/06 - Sec/07 - Inv/07	
Ambientes (A)	1	76,68**	25,46**	2	38,64**	
Tratamentos (T)	99	0,99**	1,20**	99	1,36**	
Famílias (F)	89	0,77**	0,97**	89	1,08**	
F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R)	17	0,21 ^{ns}	0,33**	17	0,28**	
F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R)	17	0,48**	0,71**	17	0,70**	
F/P3 (OPS-82 x Rudá-R)	17	0,25*	0,57**	17	0,41**	
F/P4 (Carioca 1070 x Rudá-R)	17	0,25*	0,23**	17	0,23*	
F/P5 (GEN 12-2 x Rudá-R)	17	0,46**	0,39**	17	0,46**	
Entre populações	4	10,11**	12,17**	4	15,15**	
Testemunhas (Te)	9	3,17**	3,55**	9	4,18**	
F vs Te	1	0,51 ^{ns}	0,21 ^{ns}	1	0,73*	
Tratamentos x A	99	0,22**	0,24**	198	0,24**	
F x A	89	0,19 ^{ns}	0,24**	178	0,23**	
F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R) x A	17	0,14 ^{ns}	0,27**	34	0,22**	
F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R) x A	17	0,21 ^{ns}	0,37**	34	0,33**	
F/P3 (OPS-82 x Rudá-R) x A	17	0,19 ^{ns}	0,12 ^{ns}	34	0,18 ^{ns}	
F/P4 (Carioca 1070 x Rudá-R) x A	17	0,20 ^{ns}	0,27**	34	0,19*	
F/P5 (GEN 12-2 x Rudá-R) x A	17	0,12 ^{ns}	0,18*	34	0,16 ^{ns}	
Entre populações x A	4	0,48**	0,26*	8	0,44**	
Te x A	9	0,59**	0,21*	18	0,36**	
F vs Te x A	1	0,22 ^{ns}	0,04 ^{ns}	2	0,11 ^{ns}	
Erro Médio	646 (396) ²	0,14	0,10	844	0,13	
CV (%)		15,75	12,35		15,08	
Média		2,41	2,56		2,39	

¹ ^{ns}, ** e * não significativo, significativo pelo teste F a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

² O valor entre parênteses refere-se ao número de GL do erro médio da análise conjunta referente às safras da seca e inverno de 2007.

Os resultados em relação ao aspecto de grãos, considerando os três ambientes simultaneamente, confirmam os já comentados para cada safra. Todas as populações apresentaram famílias superiores quanto a esse caráter (Tabela 19). Novamente, as populações F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R) e F/P5 (GEN12-2 x Rudá-R) se destacaram das demais, dispondo de famílias com notas de aspecto de grãos inferiores a 2, portanto, equiparando-se às cultivares comerciais, Pérola e Majestoso.

Tabela 19 - Médias e limites inferiores (LI) e superiores (LS) do aspecto de grãos das 90 famílias avaliadas nos três ambientes; número de famílias avaliadas (AV) e número de famílias com notas iguais ou inferiores a 2,6 ($\leq 2,6$) e iguais ou inferiores a 2,0 ($\leq 2,0$). Coimbra, MG

Genótipos	Aspecto de grãos		Número de famílias		
	Médias	LI - LS	AV	$\leq 2,6$	$\leq 2,0$
Famílias (F)	2,4	1,7 - 3,1	90	69	18
F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R)	2,4	2,1 - 2,7	18	17	0
F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R)	2,2	1,8 - 2,8	18	17	5
F/P3 (OPS-82 x Rudá-R)	2,7	2,4 - 3,1	18	10	0
F/P4 (Carioca 1070 x Rudá-R)	2,7	2,3 - 2,9	18	7	0
F/P5 (GEN 12-2 x Rudá-R)	1,9	1,7 - 2,5	18	18	13
Testemunhas	2,5	1,4 - 3,5			
Pérola	2,0				
Majestoso	1,8				
Talismã	2,3				
Rudá-R	3,5				

5.2.3. Análise conjunta para arquitetura da planta

O resumo da análise de variância conjunta para arquitetura da planta, avaliada nas safras da seca e do inverno de 2007, é apresentado na Tabela 20. Foram detectadas diferenças significativas para famílias e para todos os desdobramentos de famílias dentro de populações. Apesar de a interação famílias x ambientes apresentar significância, apenas em duas populações (F/P1 e F/P2) se observou interação significativa de suas famílias com os ambientes utilizados na avaliação. Destas duas, somente se observou interação de natureza complexa para famílias da população F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R), indicando que as famílias pertencentes a esta população apresentaram comportamento inconsistente nas duas safras. Estes resultados podem ser devidos à magnitude da variabilidade de cada população, decorrente da diversidade dos

pais envolvidos em cada cruzamento, uma vez que as linhagens UTF-0013 e CNFC 9437, genitores das populações F/P1 e F/P2, respectivamente, são de porte ereto e os genitores das demais são prostrados.

Tabela 20 - Resumo da análise de variância conjunta da arquitetura da planta das 90 famílias e dez testemunhas avaliadas nas safras da seca e inverno de 2007. Coimbra, MG

Fontes de Variação	GL	QM ¹
Ambientes (A)	1	4,91**
Tratamentos (T)	99	1,34**
Famílias (F)	89	1,21**
F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R)	17	1,07**
F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R)	17	1,56**
F/P3 (OPS-82 x Rudá-R)	17	0,46**
F/P4 (Carioca 1070 x Rudá-R)	17	0,59**
F/P5 (GEN 12-2 x Rudá-R)	17	0,31*
Entre populações	4	9,97**
Testemunhas (Te)	9	2,70**
F vs Te	1	1,02*
Tratamentos x A	99	0,28**
F x A	89	0,26*
F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R) x A	17	0,39**
F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R) x A	17	0,39**
F/P3 (OPS-82 x Rudá-R) x A	17	0,17 ^{ns}
F/P4 (Carioca 1070 x Rudá-R) x A	17	0,17 ^{ns}
F/P5 (GEN 12-2 x Rudá-R) x A	17	0,14 ^{ns}
Entre populações x A	4	0,44**
Te x A	9	0,48**
F vs Te x A	1	0,24 ^{ns}
Erro Médio	342	0,18
CV (%)		12,37
Média		3,43

¹ns, ** e * não significativo, significativo pelo teste F a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

Como esperado, as populações F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R) e F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R) apresentaram maior número de famílias com notas de arquitetura inferiores a 3, destacando-se das demais quanto a este caráter (Tabela 21). Resultados semelhantes foram obtidos nas safras da seca e de inverno de 2007, o que evidencia o potencial destas duas populações quanto à extração de linhagens com melhor arquitetura da planta do que as cultivares Pérola, Talismã e Majestoso.

Tabela 21 - Médias e limites inferiores (LI) e superiores (LS) da arquitetura da planta das 90 famílias avaliadas nas safras da seca e inverno de 2007; número de famílias avaliadas (AV) e número de famílias com notas inferiores a 3,0 (<3,0) e a 2,6 (<2,6). Coimbra, MG

Genótipos	Arquitetura da planta		Número de famílias		
	Médias	LI - LS	AV	<3,0	<2,6
Famílias (F)	3,4	2,1 - 4,3	90	13	2
F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R)	3,1	2,2 - 3,7	18	6	1
F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R)	3,2	2,1 - 4,1	18	5	1
F/P3 (OPS-82 x Rudá-R)	3,7	3,1 - 4,3	18	0	0
F/P4 (Carioca 1070 x Rudá-R)	3,3	2,9 - 3,9	18	2	0
F/P5 (GEN 12-2 x Rudá-R)	3,8	3,4 - 4,2	18	0	0
Testemunhas	3,3	2,2 - 4,2			
Pérola	3,0				
Majestoso	3,2				
Talismã	3,8				
UTF-0013	2,2				
CNFC 9437	2,7				
Rudá-R	3,6				

5.3. Seleção de famílias com potencial para extração de linhagens

Como já salientado, todas as famílias avaliadas em campo originaram-se de plantas F₄ previamente selecionadas para resistência à antracnose, ferrugem e mancha-angular, utilizando seleção assistida por marcadores moleculares (Melo, 2006). Portanto, a seleção de famílias elite foi realizada considerando, além das médias dos caracteres avaliados em campo, a presença de marcas associadas aos genes de resistência aos referidos patógenos.

As médias utilizadas na discriminação das famílias foram provenientes das avaliações realizadas em três safras para produtividade e aspecto de grãos e duas safras para arquitetura da planta. Embora se tenha procurado adotar os mesmos critérios de discriminação nas diferentes populações, houve variações entre estas populações.

Para discriminação das médias de produtividade de grãos, foi utilizado o teste de agrupamento de Scott e Knott (Tabela 22). Foram mantidas todas as famílias pertencentes ao grupo a. Para a população F/P4 (Carioca 1070 x Rudá-R), foram consideradas as famílias pertencentes aos grupos a e b. Esta exceção se fez necessária, já que apenas uma família (Carioca 1070 x Rudá-R-68) desta população permaneceu no primeiro agrupamento. Vale destacar que a inferioridade das famílias da população F/P4

quanto à produtividade de grãos já era esperada pelo fato de ser composta por famílias de ciclo mais curto, portanto, com menor potencial de produção, já que neste caso o principal objetivo é obter linhagens precoces. Contudo, estas famílias se equipararam às testemunhas Majestoso e Pérola, em termos de produtividade.

Tabela 22 - Médias de produtividade de grãos (kg/ha) das 90 famílias e dez testemunhas avaliadas nos três ambientes (inverno de 2006 e seca e inverno de 2007)

Genótipos	Médias	Genótipos	Médias
UTF-0013 x Rudá-R-13	3775 a ¹	GEN 12-2 x Rudá-R-86	3226 a
UTF-0013 x Rudá-R-6	3731 a	GEN 12-2 x Rudá-R-76	3209 b
UTF-0013 x Rudá-R-18	3728 a	UTF-0013 x Rudá-R-3	3201 b
UTF-0013 x Rudá-R-4	3721 a	Carioca 1070 x Rudá-R-66	3192 b
CNFC 9437 x Rudá-R-25	3701 a	Carioca 1070 x Rudá-R-60	3164 b
UTF-0013 x Rudá-R-15	3662 a	OPS-82 x Rudá-R-45	3161 b
CNFC 9437 x Rudá-R-35	3639 a	GEN 12-2 x Rudá-R-78	3151 b
UTF-0013 x Rudá-R-9	3625 a	OPS-82 x Rudá-R-37	3147 b
UTF-0013 x Rudá-R-17	3621 a	Majestoso	3133 b
OPS-82 x Rudá-R-39	3620 a	OPS-82 x Rudá-R-50	3133 b
OPS-82 x Rudá-R-47	3588 a	CNFC 9437 x Rudá-R-22	3131 b
CNFC 9437 x Rudá-R-27	3579 a	OPS-82 x Rudá-R-42	3129 b
CNFC 9437 x Rudá-R-26	3577 a	Carioca 1070 x Rudá-R-55	3121 b
GEN 12-2	3564 a	OPS-82 x Rudá-R-44	3117 b
OPS-82	3556 a	Carioca 1070 x Rudá-R-69	3111 b
UTF-0013 x Rudá-R-1	3545 a	UTF-0013 x Rudá-R-2	3098 b
UTF-0013 x Rudá-R-7	3541 a	CNFC 9437 x Rudá-R-29	3096 b
UTF-0013 x Rudá-R-5	3529 a	OPS-82 x Rudá-R-38	3095 b
CNFC 9437 x Rudá-R-24	3502 a	GEN 12-2 x Rudá-R-74	3079 b
CNFC 9437 x Rudá-R-28	3496 a	Carioca 1070 x Rudá-R-67	3053 b
OPS-82 x Rudá-R-53	3484 a	Carioca 1070 x Rudá-R-71	3050 b
GEN 12-2 x Rudá-R-88	3483 a	GEN 12-2 x Rudá-R-75	3036 b
CNFC 9437 x Rudá-R-36	3474 a	Carioca 1070 x Rudá-R-70	3031 b
VC-3	3473 a	OPS-82 x Rudá-R-46	3028 b
UTF-0013 x Rudá-R-14	3469 a	CNFC 9437 x Rudá-R-34	3021 b
GEN 12-2 x Rudá-R-89	3466 a	Rudá-R	3011 b
UTF-0013 x Rudá-R-10	3466 a	Pérola	3008 b
CNFC 9437 x Rudá-R-20	3452 a	Carioca 1070 x Rudá-R-58	2987 b
UTF-0013 x Rudá-R-11	3443 a	CNFC 9437 x Rudá-R-33	2979 b
GEN 12-2 x Rudá-R-84	3435 a	OPS-82 x Rudá-R-51	2959 b
CNFC 9437 x Rudá-R-32	3420 a	OPS-82 x Rudá-R-43	2933 b
CNFC 9437 x Rudá-R-21	3418 a	OPS-82 x Rudá-R-40	2924 b
OPS-82 x Rudá-R-49	3405 a	GEN 12-2 x Rudá-R-85	2908 b
Carioca1070 x Rudá-R-68	3401 a	Carioca 1070 x Rudá-R-59	2908 b
UTF-0013	3398 a	GEN 12-2 x Rudá-R-90	2896 b
OPS-82 x Rudá-R-41	3396 a	GEN 12-2 x Rudá-R-82	2896 b
GEN 12-2 x Rudá-R-73	3388 a	Carioca 1070 x Rudá-R-61	2866 c

Continua...

Tabela 22 - Continuação

Genótipos	Médias	Genótipos	Médias
UTF-0013 x Rudá-R-12	3386 a	Carioca 1070 x Rudá-R-57	2833 c
CNFC 9437 x Rudá-R-30	3381 a	OPS-82 x Rudá-R-54	2803 c
CNFC 9437 x Rudá-R-23	3379 a	Carioca 1070 x Rudá-R-56	2784 c
OPS-82 x Rudá-R-52	3371 a	CNFC 9437	2757 c
GEN 12-2 x Rudá-R-80	3350 a	Carioca 1070 x Rudá-R-64	2757 c
UTF-0013 x Rudá-R-8	3345 a	Carioca 1070 x Rudá-R-62	2733 c
GEN 12-2 x Rudá-R-77	3324 a	Carioca 1070 x Rudá-R-72	2698 c
CNFC 9437 x Rudá-R-19	3323 a	Carioca 1070 x Rudá-R-65	2689 c
OPS-82 x Rudá-R-48	3315 a	Carioca 1070 x Rudá-R-63	2680 c
GEN 12-2 x Rudá-R-79	3308 a	Talismã	2654 c
GEN 12-2 x Rudá-R-81	3293 a	GEN 12-2 x Rudá-R-83	2534 c
GEN 12-2 x Rudá-R-87	3253 a	CNFC 9437 x Rudá-R-31	2493 c
UTF-0013 x Rudá-R-6	3245 a	Carioca 1070	2330 c

¹Médias seguidas da mesma letra na coluna pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott Knott, a 1% de probabilidade.

O caráter arquitetura da planta foi levado em consideração apenas para as populações F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R) e F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R), em que foi possível identificar várias famílias com notas inferiores a 3,0, portanto, de arquitetura mais desejável. Quanto ao aspecto de grãos, adotou-se o critério de selecionar somente as famílias com notas iguais ou inferiores a 2,6, já que algumas cultivares comerciais se enquadram nesta faixa.

Na Tabela 23 são apresentadas as famílias selecionadas, conforme os critérios estabelecidos, juntamente com as testemunhas. Como pode ser observado, as famílias 4, 11, 18, 29, 35, 56 e 58 são exceções aos critérios preestabelecidos. Como as famílias 4, 11 e 18 possuem três marcas (F10, Y20 e OPX11), segundo Melo (2006), optou-se por não eliminá-las. A seleção das famílias 29 e 35 se justifica pelo fato de estas famílias apresentarem duas marcas (H13 e Y20). Já as famílias 56 e 58 seriam descartadas se fossem adotados os critérios de produtividade e aspecto de grãos, respectivamente. Entretanto, elas possuem como diferencial, além da presença de duas marcas, o fato de serem de hábito de crescimento determinado e interessantes do ponto de vista da precocidade.

Tabela 23 - Médias das famílias selecionadas, dos genitores e das testemunhas (cultivares comerciais) para os caracteres produtividade de grãos, aspecto de grãos e arquitetura da planta

Genótipos	Produtividade de grãos (kg/ha)	Aspecto de grãos	Arquitetura da planta
UTF 0013 x Rudá-R - 1	3545 a	2,5	2,9
UTF 0013 x Rudá-R - 4	3721 a	2,2	3,5
UTF 0013 x Rudá-R - 5	3529 a	2,3	2,2
UTF 0013 x Rudá-R - 6	3731 a	2,6	2,8
UTF 0013 x Rudá-R - 11	3443 a	2,1	3,0
UTF 0013 x Rudá-R - 12	3386 a	2,6	2,7
UTF 0013 x Rudá-R - 13	3775 a	2,5	2,9
UTF 0013 x Rudá-R - 14	3469 a	2,3	2,8
UTF 0013 x Rudá-R - 18	3728 a	2,3	3,6
CNFC 9437 x Rudá-R - 20	3452 a	2,4	2,8
CNFC 9437 x Rudá-R - 21	3418 a	2,4	2,6
CNFC 9437 x Rudá-R - 25	3701 a	2,6	2,1
CNFC 9437 x Rudá-R - 26	3577 a	2,5	2,8
CNFC 9437 x Rudá-R - 29	3096 b	2,5	3,8
CNFC 9437 x Rudá-R - 30	3381 a	2,1	2,6
CNFC 9437 x Rudá-R - 35	3639 a	2,3	3,5
OPS-82 x Rudá-R - 39	3620 a	2,6	3,3
OPS-82 x Rudá-R - 49	3405 a	2,6	3,8
OPS-82 x Rudá-R - 52	3371 a	2,4	3,7
OPS-82 x Rudá-R - 53	3484 a	2,4	3,9
Carioca 1070 x Rudá-R - 55	3121 b	2,4	3,0
Carioca 1070 x Rudá-R - 56	2784 c	2,6	3,3
Carioca 1070 x Rudá-R - 58	2987 b	2,9	3,1
Carioca 1070 x Rudá-R - 59	2908 b	2,3	2,9
Carioca 1070 x Rudá-R - 66	3192 b	2,6	3,3
Carioca 1070 x Rudá-R - 70	3031 b	2,6	2,9
GEN 12-2 x Rudá-R - 73	3388 a	2,5	3,9
GEN 12-2 x Rudá-R - 77	3324 a	1,8	4,0
GEN 12-2 x Rudá-R - 79	3308 a	1,9	3,5
GEN 12-2 x Rudá-R - 80	3350 a	1,8	3,9
GEN 12-2 x Rudá-R - 81	3293 a	1,8	3,6
GEN 12-2 x Rudá-R - 84	3435 a	1,8	3,9
GEN 12-2 x Rudá-R - 86	3226 a	1,7	4,0
GEN 12-2 x Rudá-R - 87	3253 a	2,2	3,8
GEN 12-2 x Rudá-R - 88	3483 a	2,1	3,7
GEN 12-2 x Rudá-R - 89	3466 a	1,9	3,5
UTF-0013 (genitor)	3398 a	2,7	2,2
CNFC 9437 (genitor)	2757 c	2,2	2,7
OPS-82 (genitor)	3556 a	2,2	3,9
Carioca 1070 (genitor)	2330 c	3,2	4,2
GEN 12-2 (genitor)	3564 a	3,3	3,0
Rudá-R (genitor)	3011 b	3,5	3,6
Talismã (cultivar comercial)	2654 c	2,4	3,8
Pérola (cultivar comercial)	3008 b	2,0	3,0
Majestoso (cultivar comercial)	3133 b	1,8	3,2

A superioridade das famílias selecionadas fica evidenciada quando se comparam suas médias com as médias das testemunhas Pérola, Talismã e Majestoso. As populações F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R) e F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R), por exemplo, possuem famílias que reúnem fenótipos favoráveis para os três caracteres sob seleção. Na população F/P4 (Carioca 1070 x Rudá-R), encontram-se famílias mais produtivas e de melhor aspecto de grãos que o genitor Carioca 1070. Vale salientar que tais famílias possuem ciclo mais curto, sendo interessantes do ponto de vista da precocidade.

5.4. Avaliação da eficiência da seleção assistida por marcadores moleculares SCAR

A eficiência da seleção assistida por marcadores moleculares SCAR utilizando plantas da geração F₄ foi avaliada por meio de inoculações das famílias F_{4,9} provenientes destas plantas. Assim, 26 famílias elite, oriundas de plantas F₄ portadoras de marcas moleculares associadas a genes de resistência à antracnose e à mancha-angular, foram inicialmente inoculadas com as raças 65 e 453 de *C. lindemuthianum*. As famílias pertencentes à população F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R) também foram inoculadas com a raça 63.23 de *P. griseola*, já que esta população foi a única monitorada com o marcador SCARH13_{520a}. As reações das famílias submetidas à inoculação artificial são apresentadas na Tabela 24.

Observa-se que, para a raça 65 de *C. lindemuthianum*, foram identificadas 18 famílias homozigotas resistentes, sete segregantes (R/S) e uma suscetível. Em relação à raça 453, todas as famílias elite se comportaram como homozigotas resistentes, exceto a 58, que segregou. Tais resultados permitem inferir que as famílias que se comportaram como resistentes para ambas as raças possuem os alelos *Co-4* e *Co-10* e/ou *Co-6* ou suas combinações. O genitor UTF-0013 comportou-se como uma multilinha frente à raça 65, apresentando plantas resistentes e suscetíveis. Para a população F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R), apenas a família 35 apresentou algumas plantas suscetíveis à raça 63.23 de *P. griseola*.

Tabela 24 - Reação de famílias elite de feijão a *C. lindemuthianum* (raças 65 e 453) e *P. griseola* (63.23)

Genótipos	Antracnose		Mancha-angular
	Raça 65	Raça 453	Raça 63.23
UTF-0013 x Rudá-R - 1	R ¹	R	-
UTF-0013 x Rudá-R - 4	R	R	-
UTF-0013 x Rudá-R - 5	R	R	-
UTF-0013 x Rudá-R - 6	R	R	-
UTF-0013 x Rudá-R - 11	R/S	R	-
UTF-0013 x Rudá-R - 12	R	R	-
UTF-0013 x Rudá-R - 13	R	R	-
UTF-0013 x Rudá-R - 14	R/S	R	-
UTF-0013 x Rudá-R - 18	R	R	-
CNFC 9437 x Rudá-R - 20	S	R	-
CNFC 9437 x Rudá-R - 21	R/S	R	R
CNFC 9437 x Rudá-R - 25	R	R	R
CNFC 9437 x Rudá-R - 26	R	R	R
CNFC 9437 x Rudá-R - 29	R	R	R
CNFC 9437 x Rudá-R - 30	R/S	R	R
CNFC 9437 x Rudá-R - 35	R/S	R	R/S
OPS-82 x Rudá-R - 39	R	R	-
OPS-82 x Rudá-R - 49	R	R	-
OPS-82 x Rudá-R - 52	R/S	R	-
OPS-82 x Rudá-R - 53	R	R	-
Carioca 1070 x Rudá-R - 55	R	R	-
Carioca 1070 x Rudá-R - 56	R	R	-
Carioca 1070 x Rudá-R - 58	R/S	R/S	-
Carioca 1070 x Rudá-R - 59	R	R	-
Carioca 1070 x Rudá-R - 66	R	R	-
Carioca 1070 x Rudá-R - 70	R	R	-
UTF-0013	R/S	S	-
CNFC 9437	S	R	S
OPS-82	S	R	-
Carioca 1070	S	S	-
Rudá-R	R	R	R
Rudá	S	S	S

¹ R: Reações de resistência; S: reações de suscetibilidade e R/S: Plantas resistentes e suscetíveis

A Tabela 25 apresenta a caracterização molecular realizada nas plantas F₄ que originaram as famílias aqui avaliadas (Melo, 2006). Como se pode verificar, todas as famílias pertencentes à população F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R), exceto a família 5, descendem de plantas que apresentaram marcas correspondentes aos alelos *Co-4* e *Co-10*. Logo, há grande probabilidade de estes alelos serem os responsáveis pela resistência verificada para as raças 65 e 453 (Tabela 24), embora o alelo *Co-6* também possa estar presente.

Tabela 25 - Caracterização molecular das plantas F₄ que deram origem às famílias selecionadas, quanto aos marcadores moleculares ligados aos genes de resistência à antracnose e mancha-angular

Genótipos	Marcadores moleculares ¹			
	AZ20 (Co-6) ⁽²⁾	F10 (Co-10) ⁽²⁾	H13 (Phg-1) ⁽²⁾	Y20 (Co-4) ⁽²⁾
UTF 0013 x Rudá-R - 1		+ ³		+
UTF 0013 x Rudá-R - 4		+		+
UTF 0013 x Rudá-R - 5		+		-
UTF 0013 x Rudá-R - 6		+		+
UTF 0013 x Rudá-R - 11		+		+
UTF 0013 x Rudá-R - 12		+		+
UTF 0013 x Rudá-R - 13		+		+
UTF 0013 x Rudá-R - 14		+		+
UTF 0013 x Rudá-R - 18		+		+
CNFC 9437 x Rudá-R - 20			+	-
CNFC 9437 x Rudá-R - 21			+	-
CNFC 9437 x Rudá-R - 25			+	-
CNFC 9437 x Rudá-R - 26			+	-
CNFC 9437 x Rudá-R - 29			+	+
CNFC 9437 x Rudá-R - 30			+	-
CNFC 9437 x Rudá-R - 35			+	+
OPS-82 x Rudá-R - 39				+
OPS-82 x Rudá-R - 49				+
OPS-82 x Rudá-R - 52				+
OPS-82 x Rudá-R - 53				+
Carioca 1070 x Rudá-R - 55	-			-
Carioca 1070 x Rudá-R - 56	+			+
Carioca 1070 x Rudá-R - 58	+			+
Carioca 1070 x Rudá-R - 59	+			+
Carioca 1070 x Rudá-R - 66	+			+
Carioca 1070 x Rudá-R - 70	-			-
UTF-0013	-	-	+	-
CNFC 9437	-	+	-	-
OPS-82	-	-	-	-
Carioca 1070	-	-	-	-
Rudá-R	+	+	+	+

¹Caracterização molecular previamente realizada por Melo (2006).

⁽²⁾ Alelos de resistência ligados aos respectivos marcadores.

³ (+): presença da marca e (-): ausência da marca.

Todas as plantas genotipadas na geração F₄ e que deram origem às famílias elites da população F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R), apresentaram o marcador SCARH13_{520a}. Este marcador está ligado ao gene *Phg-1*, que confere resistência à raça 63.23 de *P. griseola*. Assim, a resistência constatada para essa raça nas famílias da população F/P2 (Tabela 24) confirma a eficiência da seleção assistida por este marcador na geração F₄. Embora não tenha sido detectado o marcador SCARY20_{830a} em cinco

famílias desta população, apenas uma apresentou suscetibilidade à raça 65. Neste caso, o alelo *Co-6* pode estar conferindo resistência a estas famílias, o que impede inferir sobre a presença ou ausência do alelo *Co-4*, marcado pelo SCARY20_{830a}.

Dificuldade semelhante também é verificada na população F/P3 (OPS-82 x Rudá-R). A presença de marcas referentes ao marcador SCARY20_{830a} (Tabela 25) associadas à obtenção de famílias resistentes à raça 65 (Tabela 24) nesta população poderia indicar, a princípio, a eficiência deste marcador. Contudo, o alelo *Co-6* pode estar acobertando os efeitos dos demais, impedindo tal inferência.

Na população F/P4 (Carioca 1070 x Rudá-R), das seis famílias avaliadas como resistentes às raças 65 e 453 de *C. lindemuthianum*, quatro apresentaram as marcas moleculares referentes aos genes *Co-4* (SCARY20_{830a}) e *Co-6* (SCARAZ20_{940a}). As famílias 55 e 70, avaliadas como resistentes, não apresentaram as referidas marcas.

6. DISCUSSÃO

Os valores dos coeficientes de variação (CV) para produtividade de grãos, nos três experimentos conduzidos, situaram-se abaixo de 17%. Tais estimativas estão de acordo ou até abaixo dos valores relatados na literatura para experimentos desta natureza com a cultura do feijoeiro (Marques Júnior et al., 1997). Para aspecto de grãos e arquitetura de plantas, os valores de CVs também foram abaixo de 20%, caracterizando uma boa precisão experimental. O maior CV foi observado para o caráter severidade de ferrugem (23%), avaliado no inverno de 2006. O elevado número de parcelas experimentais (675) e a subjetividade desse tipo de avaliação podem ter contribuído para menor precisão experimental. Contudo, em se tratando de uma característica avaliada visualmente por notas, não eram esperados coeficientes de variação de pequena magnitude.

Como mencionado anteriormente, uma alta eficiência do látice quadrado em relação ao delineamento em blocos casualizados foi observada na safra de inverno de 2007 para os caracteres produtividade de grãos e arquitetura da planta. A ocorrência de mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) em algumas parcelas deste experimento pode ter proporcionado um aumento na heterogeneidade ambiental dentro dos blocos (repetições), tornando o delineamento em blocos casualizados menos eficiente que o látice. Segundo Marques Júnior et al. (1999), outros fatores, como a heterogeneidade do solo e problemas de distribuição da água de irrigação, também podem ser atenuados pela utilização do delineamento em látice, evidenciando, assim, ser vantajoso seu emprego.

O melhor desempenho médio das populações, em relação ao caráter produtividade de grãos, observado na safra da seca em relação às safras de inverno, merece algumas considerações. Segundo Ramalho et al. (1998b), a safra de inverno tem proporcionado condições mais favoráveis ao feijoeiro, por se tratar de uma época com menor incidência de doenças. Vale salientar que as condições climáticas do inverno de Coimbra são muito favoráveis à ocorrência de ferrugem e de mofo-branco, o que pode ter contribuído para menores produtividades nessa época.

Praticamente todos os programas de melhoramento do feijoeiro no Brasil têm como um dos principais objetivos a obtenção de linhagens com grãos do tipo carioca. Preocupados em manter na população o aspecto do grão, é comum a realização de cruzamentos envolvendo somente genitores do grupo carioca, como é o caso do presente trabalho. Singh e Urrea (1995) comentam que a variabilidade genética, para produtividade de grãos, é limitada quando o cruzamento é realizado dentro do mesmo conjunto gênico. Todavia, observaram-se no presente estudo, diferenças significativas entre famílias para a maioria das populações segregantes avaliadas em todos os experimentos, o que implica presença de variabilidade para produtividade de grãos, entre outros caracteres avaliados. Resultados semelhantes também foram obtidos por Carneiro (2002) e Melo (2006), dentre outros.

A superioridade das famílias pertencentes à população F/P3 (OPS-82 x Rudá-R), quanto à severidade de ferrugem, já era esperada, haja vista que ambos os genitores são descendentes da cultivar Ouro Negro, uma das principais fontes de resistência à ferrugem utilizadas pelos programas de melhoramento. Além do mais, os referidos genitores apresentam a marca molecular associada ao gene de resistência *Ur-ON*, que está presente em Ouro Negro e confere resistência às várias raças de *U. appendiculatus* (Melo et al., 2008).

Todas as populações apresentaram famílias de alto potencial produtivo e de grãos com bom aspecto comercial, superando inclusive testemunhas como as cultivares Pérola, amplamente cultivada no Brasil, e Majestoso, recentemente lançada no Estado de Minas. Para o caráter arquitetura da planta, a obtenção de famílias de melhor porte nas populações UTF-0013 x Rudá-R e CNFC 9437 x Rudá-R é justificada pelo fato de os genitores UTF-0013 e CNFC 9437 possuírem porte ereto, confirmado pelas médias atribuídas a estas duas linhagens na análise conjunta (2,2 e 2,7, respectivamente). Trabalho realizado por Abreu et al. (2005), avaliando 20 linhagens nos ensaios de VCU

Carioca, em Minas Gerais, já havia apontado o excelente desempenho da linhagem CNFC 9437 em relação ao porte.

Para a produtividade de grãos, de modo geral, foi constatada a ocorrência de interação famílias x ambientes (F x A). Vários trabalhos com a cultura do feijoeiro revelam presença de interação significativa para esse caráter (Abreu et al., 1990; Takeda et al., 1991; Coimbra et al., 1999; Carneiro, 2002). Além do efeito de safras e anos, a incidência de mofo-branco em várias parcelas dos experimentos conduzidos no inverno, certamente, teve contribuição para essa interação.

Segundo Cruz et al. (2004), para contornar os inconvenientes proporcionados pela interação genótipos x ambientes, recomenda-se a estratificação da região de adaptação da cultura em sub-regiões mais homogêneas. Entretanto, neste trabalho, ambientes são representados por safras, o que torna pouco viável a adoção deste procedimento. Nesta situação, o que se busca são genótipos de ampla adaptabilidade, uma vez que a recomendação de cultivares de feijão é feita de forma mais generalizada.

Para os caracteres arquitetura da planta e aspecto de grãos, observou-se menor tendência de ocorrência de interação das famílias com os ambientes utilizados na avaliação, quando comparado com a produtividade de grãos. Considerando o aspecto de grãos, esse fato era esperado, já que sofre menos influência do ambiente (Pereira et al., 2004; Baldoni et al., 2006). Contudo, em algumas das análises conjuntas e para algumas populações, observou-se interação significativa para F x A. Como a interação é o resultado da média das interações duas a duas, uma das possíveis causas dessa interação é a oscilação das notas de caráter intermediário atribuídas às famílias, conforme salientado por Cunha (2005). Entretanto, considerando os resultados obtidos e para maior segurança no processo seletivo, é recomendável que esses caracteres sejam também avaliados em mais ambientes.

Como este trabalho visa à obtenção de famílias de alta produtividade, grãos padrão carioca e boa arquitetura de planta, associada à resistência aos principais patógenos da parte aérea do feijoeiro, foi realizada uma seleção que atendesse ao maior número de atributos. As informações referentes à presença de marcas moleculares, associadas a genes de resistência à antracnose, ferrugem e mancha-angular, nas plantas que deram origem às famílias, obtidas previamente por Melo (2006), também foram utilizadas como forma de auxiliar a seleção. Assim, foram selecionadas 36 famílias elite que reúnem fenótipos favoráveis com vistas à extração de linhagens superiores, sendo

que a maioria superou, em produtividade de grãos, as cultivares comerciais Pérola, Talismã e Majestoso.

Das 26 famílias elite inoculadas com *C. lindemuthianum*, 18 apresentaram resistência às raças 65 e 453, possibilitando inferir que estas famílias possuem os alelos *Co-4* e *Co-10* e/ou *Co-6*, já que o genitor fonte de resistência utilizado nos cruzamentos (Rudá-R) é portador destes três genes. É importante destacar que a raça 65 tem sido relatada como uma das mais freqüentes nas regiões produtoras de feijão no Brasil (Carbonell et al., 1999; Talamini et al. 2004; Silva, 2004), sendo que as cultivares Pérola e Rudá apresentam suscetibilidade (Lanza et al., 1997). Segundo caracterização fenotípica realizada por Arruda (2005), a raça 453 provocou reação de suscetibilidade em cultivares importantes como Pérola e Talismã.

A resistência das famílias da população F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R) à raça 63.23 de *P. griseola* permite afirmar que o alelo *Phg-1* foi introgridido e que a seleção assistida pelo marcador SCARH13_{520a}, realizada na geração F₄ (Melo, 2006), foi eficiente. Cintra et al. (2005), avaliando 25 linhagens de feijão pertencentes ao ensaio de VCU Carioca, constataram que todas se comportaram como suscetíveis à raça 63.23. Levantamentos realizados por Nietzsche et al. (1997) e Aparício (1998) mostram que esta raça se encontra amplamente distribuída no Brasil e em Minas Gerais.

De modo geral, os resultados obtidos com as inoculações artificiais das famílias na geração F_{4.9} foram coerentes com os obtidos em relação à caracterização molecular das plantas na geração F₄. Observa-se que, no caso da população F/P1 (UTF-0013 x Rudá-R), todas as famílias resistentes à antracnose sob inoculação artificial (raças 65 e 453) se originaram de plantas F₄, que apresentaram as marcas associadas aos genes *Co-4* e *Co-10*, à exceção da família 5, que apresentou somente a marca do *Co-10*. Contudo, este resultado é coerente, uma vez que esta família pode ter apresentado resistência à raça 65 em função da presença do gene *Co-6*, também presente no genitor Rudá-R. O mesmo foi observado em relação à população F/P3 (OPS-82 x Rudá-R), pois todas as famílias resistentes à raça 65 vieram de plantas portadoras da marca associada ao gene *Co-4*.

7. CONCLUSÕES

- Foram selecionadas 18 famílias resistentes a *C. lindemuthianum*, contendo os alelos *Co-4* e *Co-10* ou *Co-6* ou a combinação de *Co-6* com um dos outros dois ou os três alelos; três destas famílias também são resistentes à raça 63.23 de *P. griseola* e portadoras da marca molecular associada ao alelo de resistência *Phg-1*.
- As famílias da população F/P2 (CNFC 9437 x Rudá-R) destacaram-se das demais, apresentando elevado potencial para extração de linhagens que reúnam fenótipos favoráveis para produtividade, arquitetura da planta, aspecto de grão e resistência aos patógenos da antracnose e mancha-angular.
- A seleção assistida por marcadores moleculares associados a genes de resistência aos patógenos da antracnose e mancha-angular, por meio da genotipagem de plantas em gerações iniciais, mostrou-se eficiente na identificação de famílias resistentes aos referidos patógenos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. de F. B.; RAMALHO, M. A. P.; CARNEIRO, J. E. S.; DEL PELOSO, M. J.; CHAGAS, J. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; FARIA, L. C de; MELO, L. C.; GONÇALVES, M. A.; PAULA JR., T. J. de; SANTOS, J. B. dos. Valor de cultivo e uso para feijoeiro comum de grãos tipo carioca em Minas Gerais, no período de 2002 a 2004. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 8., 2005, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: EMBRAPA, 2005. p. 589-592.

ABREU, A. de F. B.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; CARNEIRO, J. E. S.; DEL PELOSO, M. J.; PAULA JR., T. J. de; FARIA, L. C de; MELO, L. C.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A.; PEREIRA FILHO, I. A.; MARTINS, M.; RAVA, A. C.; COSTA, J. G. C. da. **BRSMG Majestoso: mais uma opção de cultivar de grão carioca para o Estado de Minas Gerais.** Comunicado Técnico, 134: 1-2, 2006. Santo Antônio de Goiás, GO, 2006.

ABREU, A. de F. B.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; PEREIRA FILHO, I. A. Effects genotype x environment interaction on estimations of genetic and phenotypic parameters of common beans. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 13, n. 1, p. 75-82, 1990.

ALMEIDA, L. D'A. de. **O feijão Carioca: reflexos de sua adoção.** Campinas: IAC, 2000. Não paginado.

ALMEIDA, L. D'A. de; LEITÃO FILHO, H. F.; MIYASAKA, S. Características do feijão carioca, um novo cultivar. **Bragantia**, v. 30, XXXIII-XXXVIII, 1971.

ALZATE-MARIN, A. L.; ARRUDA, M. C. C.; CORREA, R. X.; NIETSCHKE, S.; CARVALHO, G. A.; FALEIRO, F. G.; SARTORATO, A.; FERREIRA, C.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Marcadores moleculares ligados a genes de resistência identificados no programa de melhoramento do feijoeiro do BIOAGRO/UFV. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1., 2001, Goiânia. **CD-Rom...** Goiânia: SBMP, 2001.

ALZATE-MARIN, A. L.; BAÍA, G. S.; PAULA JR., T. J. de; CARVALHO, G. A. de; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Inheritance of anthracnose resistance in common bean differential cultivar AB 136. **Plant Disease**, St. Paul, v. 81, n. 9, p. 996-998, 1997.

ALZATE-MARIN, A. L.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Co-evolution model of *Colletotrichum lindemuthianum* (Melanconiaceae, Melanconiales) races that occur in some Brazilian regions. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 22, n. 1, p. 115-118, 1999a.

ALZATE-MARIN, A. L.; CERVIGNI, G. D. L.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. Seleção assistida por marcadores moleculares visando ao desenvolvimento de plantas resistentes a doenças, com ênfase em feijoeiro e soja. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 4, p. 333-342, 2005.

ALZATE-MARIN, A. L.; COSTA, M. R.; MENARIM, H.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. Herança da resistência à antracnose na cultivar de feijoeiro comum Cornell 49-242. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 3, p. 302-306, 2003.

ALZATE-MARIN, A. L.; MENARIM, H.; ARRUDA, M. C. C.; CHAGAS, J. M.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Backcross assisted by RAPD markers for the introgression of *Co-4* and *Co-6* anthracnose resistant genes in common bean cultivars. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 42, p. 15-16, 1999b.

APARÍCIO, B. H. E. **Caracterización de la diversidad molecular y la virulencia de aislamientos del hongo *Phaeoisariopsis griseola* de Brasil y Bolívia**. Cali, Colômbia: Universidad del Valle, 1998. p. 120.

ARAÚJO, G. A. de A.; FERREIRA, A. C. de B. Manejo do solo e Plantio. In: VIEIRA, C.; PAULA JR., T. J. de; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. p. 87-114.

A REVOLUÇÃO DO CARIOQUINHA: Os trinta anos do Carioca. Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios. **Informação Apta**. 1: 3-5, 2000.

ARRUDA, K. M. A. **Melhoramento de feijão do tipo carioca com ênfase na piramidação de genes de resistência à antracnose**. 2005. 70 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.

ARRUDA, M. C. C. **Resistência do feijoeiro comum à antracnose: herança, identificação de marcadores moleculares e introgressão do gene *Co-4* no cultivar Rudá**. 1998. 101 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1998.

BALDONI, A. B.; SANTOS, J. B. dos; ABREU, A. de F. B. Melhoramento do feijoeiro comum visando à obtenção de cultivares precoces com grãos tipo 'carioca' e 'rosinha'. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 1, p. 67-71, 2006.

BASSET, M. J. List of genes: *Phaseolus vulgaris* L. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 39, p. 1-19, 1996.

BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S. A cultura. In: VIEIRA, C.; PAULA JR., T. J. de; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. p. 13-18.

BRUZI, A. T.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Desempenho de famílias do cruzamento entre linhagens de feijões andinos e mesoamericanos em produtividade e resistência a *Phaeoisariopsis griseola*. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 650-655, 2007.

CAIXETA, E. T.; BORÉM, A.; FAGUNDES, S. A.; SILVA, M. G. M.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Allelic relationships for genes that confer resistance to angular leaf spot in common bean. **Euphytica**, Wageningen, v. 145, n. 3, p. 237-245, 2005.

CARBONELL, S. A. M.; ITO, M. F.; POMPEU, A. S.; FRANCISCO, F.; RAVAGNANI, S.; ALMEIDA, A. L. L. Raças fisiológicas de *Colletotrichum lindemuthianum* e reação de cultivares e linhagens de feijoeiro no Estado de São Paulo. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 1, p. 60-65, 1999.

CARNEIRO, J. E. S. **Alternativas para obtenção e escolha de populações segregantes no feijoeiro**. 2002. 134 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2002.

CARVALHO, G. A.; PAULA JR., T. J. de; ALZATE-MARIN, A. L.; NIETSCHKE, S.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Herança da resistência da linhagem AND-277 de feijoeiro comum à raça 63-23 de *Phaeoisariopsis griseola* e identificação de marcador RAPD ligado ao gene de resistência. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 4, p. 482-485, 1998.

CINTRA, J. E. V.; CARNEIRO, P. C. S.; MELO, C. L. P.; CARNEIRO, J. E. S.; BARROS, E. G.; SILVA, L. C.; SALGADO, T. T. F. Avaliação de linhagens de feijão do grupo carioca a *Colletotrichum lindemuthianum*, *Uromyces appendiculatus* e *Phaeoisariopsis griseola*, sob inoculação artificial. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 8., 2005, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: EMBRAPA, 2005. p. 274-277.

COELHO, R. R.; VALE, F. X. R.; JESUS JR., W. C.; PAUL, P. A.; ZAMBOLIM, L.; BARRETO, R. W. Determinação das condições climáticas que favorecem o desenvolvimento da ferrugem e da mancha angular do feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 5, p. 508-514, 2003.

COIMBRA, J. L. M.; GUIDOLIN, A. F.; CARVALHO, F. I. F. de; COIMBRA, S. M. M.; HEMP, S. Reflexos da interação genótipo x ambiente e suas implicações nos ganhos de seleção em genótipos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 3, p. 433-439, 1999.

COLLICCHIO, E. **Associação entre o porte da planta do feijoeiro e o tamanho dos grãos**. 1995. 98 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 1995.

COLLICCHIO, E.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de 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, 1997.

CONAB. **9º Levantamento da safra agrícola 2007/2008**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/estudo_safra.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2008.

CORRÊA, R. X.; GOOD-GOD, P. I. V.; OLIVEIRA, M. L. P.; NIETSCHÉ, S.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. Herança da resistência à mancha-angular do feijoeiro e identificação de marcadores moleculares flanqueando o loco de resistência. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 1, p. 27-32, 2001.

COYNE, D. P. Modification of plant architecture and crop yield by breeding. **HortScience**, v. 15, n. 3, p. 244-247, 1980.

CRUZ, C. D. **Princípios de Genética Quantitativa**. Viçosa: UFV, 2005. 394 p.

CRUZ, C. D. **Programa GENES: Estatística Experimental e Matrizes**. Viçosa: UFV, 2006. 285 p.

CRUZ, C. D.; CASTOLDI, F. Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 38, n. 219, p. 422-430, 1991.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 1997. 360 p.

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

CUNHA, W. G. **Seleção recorrente em feijão do tipo carioca para porte ereto**. 2005. 130 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2005.

DEL PELOSO, M. J.; FARIA, L. C. de.; MELO, L. C.; COSTA, J. G. C. da.; RAVA, A. C.; DÍAZ, J. L. C.; FARIA, J. C. de.; SILVA, H. T. da.; SARTORATO, A.; BASSINELLO, P. Z.; TROVO, J. B. de F. **BRS Cometa: Cultivar de Feijoeiro Comum do Tipo Comercial Carioca de Porte Ereto**. Comunicado Técnico, 131: 1-4, 2006. Santo Antônio de Goiás, GO, 2006.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa Arroz e Feijão (CNPAP). **Cultivar Rudá**. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/feijao/ruda.htm>>. Acesso em: 16 jun. 2008.

FALEIRO, F. G.; NIETSCHÉ, S.; RAGAGNIN, V. A.; BORÉM, A.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. Resistência de cultivares de feijoeiro comum à ferrugem e à mancha-angular em condições de casa de vegetação. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 1, p. 86-89, 2001.

FALEIRO, F. G.; RAGAGNIN, V. A.; LOOS, R. A.; CORRÊA, A. G. G.; PAULA JR., T. J. de; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. Uso de marcadores RAPD na obtenção de linhas isogênicas de feijoeiro contrastantes para resistência à ferrugem. **Brazilian Journal of Genetics**, Ribeirão Preto, v. 20, p. 258, 1997. Suplemento.

FALEIRO, F. G.; RAGAGNIN, V. A.; SCHUSTER, I.; CORRÊA, R. X.; GOOD-GOD, P. I.; BROMMONSHENKEL, S. H.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. Mapeamento de genes de resistência do feijoeiro à ferrugem, antracnose e mancha-angular usando marcadores RAPD. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 59-66, 2003.

FALEIRO, F. G.; VINHADELI, W. S.; RAGAGNIN, V. A.; PAULA JR., T. J. de; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. Resistência do feijoeiro comum a quatro raças de *Uromyces appendiculatus*. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 46, n. 263, p. 11-18, 1999.

FAO. 2007. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 16 out. 2007.

FERREIRA, C. F.; BORÉM, A.; CARVALHO, G. A.; NIETSCHKE, S.; PAULA JR., T. J. de; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Herança da resistência do feijoeiro à mancha-angular (*Phaeoisariopsis griseola*). **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 3, p. 391-393, 1999.

FERREIRA, M. E.; GRATTAPAGLIA, D. **Introdução ao uso de marcadores moleculares em análise genética**. 3 ed. Brasília: EMBRAPA-CENARGEN, 1998. 220 p.

GRAFTON, K. F.; WEISER, G. C.; LITTLEFIELD, L. J.; STAVELY, J. R. Inheritance of resistance to two races of leaf rust in dry edible bean. **Crop Science**, Madison, v. 25, n. 3, p. 537-539, 1985.

KELLY, J. D.; MIKLAS, P. N.; STAVELY, J. R.; AFANADOR, L.; HALEY, S. D. Application of RAPD markers for disease resistance breeding in beans. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 37, p.15-16, 1994.

LANZA, M. A.; PAULA JR., T. J. de; VINHADELI, W. S.; MORANDI, M. A. B.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Resistência à antracnose em cultivares de feijoeiro comum recomendadas para Minas Gerais. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 4, p. 560-562, 1997.

LEAKEY, C. L. A. Genotypic and phenotypic markers in common bean. In: Gepts, P. (Ed.). **Genetic resources in Phaseolus beans**. Boston: Kluwer Academic, 1988. p. 245-327.

MARQUES JÚNIOR, O. G.; RAMALHO, M. A. P. Eficiência de experimentos com a cultura do feijão. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 21, Suplemento, 1997.

MARQUES JÚNIOR, O. G.; RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F. Emprego do látice no programa de melhoramento do feijoeiro. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 3, p. 753-759, 1999.

MELO, C. L. P. **Caracterização fenotípica e molecular de linhagens de feijão do cruzamento Ouro Negro x Pérola**. 2004. 70 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

MELO, C. L. P. **Melhoramento de Feijão do Tipo Carioca: Avaliação de populações segregantes e uso de marcadores moleculares visando à resistência a patógenos**. 2006. 107 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

MELO, C. L. P.; RAGAGNIN, V. A.; ARRUDA, K. M. A.; BARROS, E. G.; CARNEIRO, P. C. S.; PAULA JR., T. J. de; MOREIRA, M. A.; CARNEIRO, J. E. S. Caracterização fenotípica e molecular de genitores de feijão tipo carioca quanto à resistência a patógenos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 4, p. 495-504, 2008.

MIKLAS, P. N.; KELLY, J. D.; BEEBE, S. E.; BLAIR, M. W. Common bean breeding for resistance against biotic and abiotic stresses: From classical to MAS breeding. **Euphytica**, Wageningen, v. 147, n. 1, p. 105-131, 2006.

MORA, N. O. A.; VIEIRA, C.; ZAMBOLIM, L. Variedades diferenciadoras de feijão para identificação de raças fisiológicas de *Uromyces phaseoli* var *typica* Arth. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 39, n. 224, p. 391-404, 1992.

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

NELSON, R. R. Genetics of horizontal resistance to plant disease. **Annual Review Phytopathology**, Palo Alto, v. 16, p. 359-378, 1978.

NIETSCHKE, S.; CARVALHO, G. A.; BORÉM, A.; PAULA JR., T. J. de; FERREIRA, C. F.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Variabilidade patogênica de *Phaeoisariopsis griseola* em Minas Gerais. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 22, p. 289-290, 1997.

OLIVEIRA, E. J.; ALZATE-MARIN, A. L.; BORÉM, A.; MELO, C. L. P.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Reação de cultivares de feijoeiro comum a quatro raças de *Phaeoisariopsis griseola*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 2, p. 220-223, 2004.

OROZCO, S.; ARAYA, C. M. Variabilidade patogênica de *Phaeoisariopsis griseola* na Costa Rica. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 6, p. 589-593, 2005.

PARRELLA, N. N. L. D. **Seleção de famílias de feijão com resistência à antracnose, produtividade e tipo de grão carioca**. 2006. 50 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2006.

PASTOR-CORRALES, M. A. Recomendaciones y acuerdos del primer taller de antracnosis en América Latina. In: PASTOR-CORRALES, M. A. (ed.). **La antracnosis del frijol común, *Phaseolus vulgaris*, en América Latina**. Cali: CIAT, 1992. p. 240-250. (Doc. De Trabajo, 113).

PASTOR-CORRALES, M. A.; JARA, C. E. La evolucion de *Phaeoisariopsis griseola* con el frijol comum en América Latina. **Fitopatologia Colombiana**, Santa Fé Bogotá, v. 19, n. 1, p. 15-22, 1995.

PAULA JR. T.J. de; ZAMBOLIM, L. Doenças. In: VIEIRA, C.; PAULA JR., T. J. de; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. p. 359-414.

PEREIRA, H. S.; SANTOS, J. B. dos; ABREU, A. de F. B. Linhagens de feijoeiro com resistência à antracnose selecionadas quanto a características agrônômicas desejáveis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 3, p. 209-215, 2004.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 13. ed. Piracicaba: Nobel, 1990. 468 p.

RAGAGNIN, V. A.; ALZATE-MARIN, A. L.; SOUZA, T. L. P. O.; ARRUDA, K. M. A.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. Avaliação da resistência de isolinhas de feijoeiro a diferentes patótipos de *Colletotrichum lindemuthianum*, *Uromyces appendiculatus* e *Phaeoisariopsis griseola*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 6, p. 591-596, 2003.

RAGAGNIN, V. A.; VINHADELI, W. S.; FALEIRO, F. G.; CORRÊA, R. X.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. Identificação de marcadores RAPD ligados a genes de resistência do feijoeiro à ferrugem. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 21, n. 3, p. 389, 1998.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; CARNEIRO, J. E. S. Cultivares. **Informe Agropecuário**, EPAMIG, v. 25, n. 223, p. 21-32, 2004.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Cultivares. In: VIEIRA, C.; PAULA JR., T. J. de; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. p. 415-436.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; RIGHETTO, G. U. Interação de cultivares de feijão por épocas de semeadura em diferentes localidades do estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 10, p. 1183-1189, 1993.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; SANTOS, P. S. J. dos. Interações genótipos x épocas de semeadura, anos e locais na avaliação de cultivares de feijão nas regiões sul e alto Paranaíba em Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 22, n. 2, p. 176-181, 1998b.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 322 p.

RAMALHO, M. A. P.; PIROLA, L. H.; ABREU, A. de F. B. Alternativas na seleção de plantas de feijoeiro com porte ereto e grão tipo carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 12, p. 1989-1994, 1998a.

RAVA, C. A. Eficiência de fungicidas no controle da antracnose e da mancha angular do feijoeiro comum. **Summa Phytopathologica**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 65-69, 2002.

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

REIS-PRADO, F. G.; SARTORATO, A.; COSTA, J. G. C.; RAVA, C. A.; SIBOV, S. T.; PINHEIRO, J. B.; CARNEIRO, M. S. Reação de cultivares de feijoeiro comum à mancha-angular em casa de vegetação. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 3, p. 306-309, 2006.

ROBERTSON, A. **Experimental design on the measurement of heritabilities and genetic correlations - Biometrical genetics**. New York: Pergamon Press, 1959. 186 p.

SANTOS FILHO, H. P.; FERRAZ, S.; VIEIRA, C. Resistência à mancha-angular (*Isariopsis griseola* Sacc.) no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 23, n. 127, p. 226-230, 1976.

SARTORATO, A. Variabilidade de *Phaeoisariopsis griseola* no feijoeiro comum. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1., 2001, Goiânia. **CD-Rom...** Goiânia: SBMP, 2001.

SARTORATO, A.; ALZATE-MARIN, A. L. Analysis of the pathogenic variability of *Phaeoisariopsis griseola* in Brazil. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 47, p. 235-236, 2004.

SARTORATO, A.; NIETSCHE, S.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. RAPD and SCAR markers linked to resistance gene to angular leaf spot in common beans. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 4, p. 637-642, 2000.

SARTORATO, A.; RAVA, C. A.; RIOS, G. P. Doenças fúngicas e bacterianas da parte aérea. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. (Ed.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafôs, 1996. 786 p.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Raleigh, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974.

SILVA, K. J. D. **Distribuição e caracterização de isolados de *Colletotrichum lindemuthianum* no Brasil**. 2004. 86 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2004.

SILVA, K. J. D.; FREIRE, C. N. de S.; SOUZA, E. A. de; SARTORATO, A. Variabilidade Patogênica entre Isolados de *Phaeoisariopsis griseola*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 4., 2007, São Lourenço. **CD-Rom...** São Lourenço: SBMP, 2007.

SILVA, M. B. **Progresso da ferrugem do feijoeiro em Viçosa, Minas Gerais**. 1992. 51 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1992.

SILVA, M. G. de M.; SANTOS, J. B. dos; ABREU, A. de F. B. Seleção de famílias de feijoeiro tipo carioca para porte ereto e produtividade. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 8., 2005, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: EMBRAPA, 2005. p. 571-574.

SINGH, S. P.; URREA, C. A. Inter and intraracial hybridization and selection for seed yield in early generations of common bean, *Phaseolus vulgaris* L. **Euphytica**, Wageningen, v. 81, n. 2, p. 131-137, 1995.

SOUZA, T. L. P. O.; ALZATE-MARIN, A. L.; DESSAUNE, S. N.; NUNES, E. S.; QUEIROZ, V. T. de; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. Inheritance study and validation of SCAR molecular marker for rust resistance in common bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 7, n. 1, p. 11-15, 2007b.

SOUZA, T. L. P. O.; ALZATE-MARIN, A. L.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. Análise comparativa da variabilidade patogênica de *Uromyces appendiculatus* em algumas regiões brasileiras. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 2, p. 143-149, 2005.

SOUZA, T. L. P. O.; RAGAGNIN, V. A.; SANGLARD, D. A.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. Identification of races of selected isolates of *Uromyces appendiculatus* from Minas Gerais (Brazil) based on the new international classification system. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 2, p. 104-109, 2007a.

STAVELY, J. R.; FREYTAG, G. F.; STEADMAN, J. R.; SCHWARTZ, H. F. The Bean Rust Workshop. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 26, p. 4-6, 1983.

STEADMAN, J.R.; PASTOR-CORRALES, M. A.; BEAVER, J. S. An overview of the 3rd Bean Rust and 2nd Bean Common Bacterial Blight International Workshops, Pietermaritzburg, South Africa. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 45, p. 120-125, 2002.

TAKEDA, C.; SANTOS, J. B. dos; RAMALHO, M. A. P. Choice of parental lines for common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) breeding. II. Reaction of cultivars and of their segregant populations to variations in different environments. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 14, n. 2, p. 455-465, 1991.

TALAMINI, V.; SOUZA, E. A. de; POZZA, E. A.; CARRIJO, F. R. F.; ISHIKAWA, F. H.; SILVA, K. J. D.; OLIVEIRA, F. A. de. Identificação de raças patogênicas de *Colletotrichum lindemuthianum* a partir de isolados provenientes de regiões produtoras de feijoeiro comum. **Summa Phytopathologica**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 371-375, 2004.

TANKSLEY, S. D.; NELSON, J. C. Advanced backcross QTL analysis: a method for the simultaneous discovery and transfer of valuable QTLs from unadapted germplasm into elite breeding lines. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 92, n. 2, p. 191-203, 1996.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. **Berço da Agronomia**. Disponível em:<http://www.unicamp.br/unicamp/canal_aberto/clipping/junho2007/clipping070619_estado.html>. Acesso em: 14 jun. 2008.

VIEIRA, C; BORÉM, A.; RAMALHO, M. A. P.; CARNEIRO, J. E. S. Melhoramento do Feijão. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2005. p. 301-391.

ZAITER, H. Z.; COYNE, D. P.; STEADMAN, J. R. Inheritance of resistance to a rust isolate in beans. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 32, p. 126-127, 1989.