



**ALTERNATIVAS PARA OBTENÇÃO E  
ESCOLHA DE POPULAÇÕES  
SEGREGANTES NO FEIJOEIRO**

**JOSÉ EUSTÁQUIO DE SOUZA CARNEIRO**

**2002**

53325

37698MFN

JOSÉ EUSTÁQUIO DE SOUZA CARNEIRO

**ALTERNATIVAS PARA OBTENÇÃO E ESCOLHA DE  
POPULAÇÕES SEGREGANTES NO FEIJOEIRO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras  
como parte das exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Agronomia, área de concentração em  
Genética e Melhoramento de Plantas, para obtenção do  
título de "Doutor".

Orientador

Prof. Magno Antonio Patto Ramalho

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL

2002



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

**Cameiro, José Eustáquio de Souza**

**Alternativa para obtenção e escolha de populações segregantes no feijoeiro /  
José Eustáquio de Souza Cameiro.-- Lavras : UFLA, 2002.**

**134p. : il.**

**Orientador: Magno Antonio Patto Ramalho.**

**Tese (Doutorado) - UFLA.**

**Bibliografia:**

- 1. Feijão. 2. População segregante. 3. Método do bulk. 4. Estimativa de m+a.**
  - 5. Metodologia de Jinks e Pooni. 6. Melhoramento genético vegetal.**
- I. Universidade Federa; de Lavras. II. Título.**

**CDD-635.6523**

**JOSÉ EUSTÁQUIO DE SOUZA CARNEIRO**

**ALTERNATIVAS PARA OBTENÇÃO E ESCOLHA DE  
POPULAÇÕES SEGREGANTES NO FEIJOEIRO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para obtenção do título de "Doutor".

APROVADA em 3 de maio de 2002

Dra. Ângela de Fátima Barbosa Abreu      Embrapa Arroz e Feijão/UFLA

Dr. Moacil Alves de Souza      UFV

Dra. Maria José Del Peloso      Embrapa Arroz e Feijão

Dr. Antonio Alves Soares      UFLA



Prof. Dr. Magno Antonio Patto Ramalho  
UFLA  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL

**À memória de meus avós, José Pedro e Tereza,  
pelo apoio no início dos meus estudos.**

**Aos meus tios e tias,  
pelo incentivo, apoio e presença marcante na minha vida.**

## **OFEREÇO**

**A Beatriz, Vinícius e Carlos Eduardo,  
pela compreensão, amor e carinho dedicados.**

**Aos meus irmãos, dos quais me orgulho muito, pela amizade.**

**Aos meus pais, pela luta incansável na educação de todos nós.**

## **DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, agradeço por estar entre aqueles que tiveram essa oportunidade.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), pela confiança em mim depositada e pela liberação imediata para realização do curso de Doutorado.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), em especial ao Departamento de Biologia, pela oportunidade concedida.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Arroz e Feijão), onde iniciei as minhas atividades em melhoramento genético do feijoeiro.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), pelo apoio financeiro na realização desse trabalho.

Um agradecimento especial ao Professor Magno Antonio Patto Ramalho, exemplo de dedicação e competência, pela orientação segura, pelos ensinamentos transmitidos e, acima de tudo, um grande amigo.

À Dra. Ângela de Fátima Barbosa Abreu, pela amizade, co-orientação, colaboração na condução dos trabalhos e valiosas sugestões.

Aos membros da banca, Dra. Maria José Del Peloso, Prof. Moacil Alves de Souza e Prof. Antônio Alves Soares, pelas sugestões apresentadas.

À Dra. Flávia Maria Avelar Gonçalves, pela amizade e colaboração em todas as etapas da realização desse trabalho; ao seu esposo, Sebastião, pela amizade.

**Aos professores Lisete Chamma Davide, Elaine Aparecida de Souza, César Brasil Pereira Pinto, João Bosco dos Santos e João Cândido de Souza, pelos ensinamentos, convívio e atenção dispensada.**

**Ao professor da UFV, Geraldo Antônio de Andrade Araújo, pela amizade, incentivo e apoio dispensados.**

**Ao tio Juca e tia Marina, pela amizade e carinho dedicados à minha família, sempre nos apoiando.**

**Aos colegas de curso e aos alunos de iniciação científica, pelo convívio agradável, amizade e colaboração.**

**Aos funcionários do Departamento de Biologia, em especial ao Sr. Francisco, Elaine, Zélia, Rafaela, Erondina e Rosângela, sempre disponíveis.**

**Enfim, a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.**

# SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	iii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Biologia floral e sistema reprodutivo do feijoeiro.....	3
2.2 Hibridação artificial em <i>Phaseolus vulgaris</i> L. ....	5
2.3 Controle genético de alguns caracteres do feijoeiro.....	8
2.3.1 Cor do tegumento.....	8
2.3.2 Arquitetura da planta.....	10
2.3.3 Resistência à antracnose ( <i>Colletotrichum lindemuthianum</i> ).....	13
2.3.4 Resistência à mancha angular ( <i>Phaeoisariopsis griseola</i> ) .....	16
2.3.5 Resistência a oídio ( <i>Erysiphe polygoni</i> ).....	19
2.3.6 Produtividade de grãos.....	21
2.4 Evolução do melhoramento genético do feijoeiro no Brasil.....	24
2.5 Métodos de melhoramento aplicados à cultura do feijoeiro no Brasil.....	28
2.5.1 Melhoramento por hibridação na cultura do feijoeiro.....	30
2.5.1.1 Escolha de genitores e/ou das populações segregantes.....	30
2.5.1.2 Obtenção das populações segregantes.....	31
2.5.1.3 Condução das populações segregantes.....	35
2.6 Interação genótipos por ambientes.....	39



3	MATERIAL E MÉTODOS.....	41
3.1	Locais.....	41
3.2	Obtenção das populações segregantes.....	41
3.3	Avaliação das populações segregantes .....	42
3.3.1	Avaliação da geração $F_2$ .....	42
3.3.2	Avaliação simultânea das gerações $F_2$ e $F_3$ .....	44
3.3.3	Análise genético-estatística - avaliação das populações $F_2$ e $F_2$ mais $F_3$ , simultaneamente.....	44
3.3.3.1	Predição do potencial dos híbridos com base nas estimativas dos componentes de média $m + a'$ e $d$ .....	46
3.3.3.2	Predição do potencial dos híbridos com base no procedimento de Jinks & Pooni (1976).....	47
3.4	Avaliação de famílias .....	48
3.4.1	Método do "bulk" dentro de famílias derivadas de plantas $F_2$ .....	48
3.4.2	Método do "bulk".....	49
3.4.3	Análise genético-estatística - avaliação das famílias $F_{2:4}$ , $F_{2:5}$ e $F_{4:6}$ .....	49
4	RESULTADOS.....	59
4.1	Avaliação das populações $F_2$ .....	59
4.2	Avaliação simultânea das populações $F_2$ e $F_3$ .....	68
4.3	Avaliação de famílias derivadas de plantas $F_2$ .....	77
4.4	Avaliação de famílias derivadas de plantas $F_4$ .....	87
5	DISCUSSÃO.....	95
6	CONCLUSÕES.....	109
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110
	ANEXO.....	129

## RESUMO

CARNEIRO, José Eustáquio de Souza. **Alternativas para obtenção de populações segregantes no feijoeiro**. 2002. 134p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.\*

Nos programas de melhoramento de plantas autógamas, várias estratégias para obtenção de populações segregantes podem ser utilizadas. Como há pouca informação sobre a eficiência relativa das mesmas, foi realizado o presente trabalho com a cultura do feijoeiro. Para isso, as linhagens Pérola, FEB 200, MAR 2, H4-10, AN 9022180, PF 9029975, A 805 e IAPAR 31 foram cruzadas de forma piramidal, obtendo-se assim quatro híbridos simples, dois duplos e um múltiplo. O potencial dos diferentes híbridos foi avaliado com base no desempenho das populações segregantes, gerações  $F_2$  e  $F_3$  e também com base no desempenho das famílias  $F_{2,4}$ ,  $F_{2,5}$  e  $F_{4,6}$ , delas derivadas. Os experimentos foram conduzidos em Lavras e Coimbra, Minas Gerais, no período de 1999 a 2001. As populações segregantes, na geração  $F_2$  e, posteriormente,  $F_2$  e  $F_3$ , simultaneamente, foram avaliadas no delineamento de blocos casualizados com cinco repetições e parcelas de quatro linhas de cinco metros. Utilizando dados de produtividade de grãos foi estimado o potencial de obtenção de linhagens superiores, por meio da estimativa de  $m+a'$ , que fornece a média das linhagens na geração  $F_\infty$  e pela probabilidade de uma dada população produzir linhagens que supere a produtividade da cultivar Pérola em 20%. Na avaliação das famílias, consideraram-se 33 de cada híbrido simples, 65 de cada híbrido duplo e 130 do híbrido múltiplo, perfazendo um total de 392. Essas famílias, juntamente com os oito pais, foram avaliadas, como já mencionado, nas gerações  $F_{2,4}$ ,  $F_{2,5}$  e  $F_{4,6}$  nos dois locais, no delineamento látice triplo 20 x 20. Foram tomados dados de produtividade de grãos por parcela e obtidas estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos. Constatou-se que a interação genótipos x ambientes foi pronunciada quando o ambiente foi tanto locais como gerações. Mesmo assim, houve boa concordância do desempenho dos bulk's ( $F_2$  e  $F_3$ ) e das famílias deles derivadas. A maior probabilidade de se obter linhagens superiores é esperada nas populações derivadas do híbrido simples HS2/4 - (IAPAR 31 x AN 9022180), do híbrido duplo HD2/4//5/7 - [(IAPAR 31 x AN 9022180) x (A 805 x PF 9029975)] e do híbrido múltiplo. Essas populações foram, de modo geral, as que originaram famílias mais produtivas. Os

---

\* Guidance Committee: Magno Antonio Patto Ramalho - UFLA (Major Professor), Ângela de Fátima Barbosa Abreu - Embrapa Arroz e Feijão/UFLA.

mostraram-se promissores como estratégias de escolha de populações segregantes no feijoeiro, especialmente se as avaliações forem realizadas em mais locais e em diferentes épocas de semeadura. Ficou evidenciado que, quando os melhoristas têm objetivos bem definidos e condições de avaliar suas populações segregantes para identificar as mais promissoras, o emprego de cruzamentos múltiplos não é vantajoso.

## ABSTRACT

CARNEIRO, José Eustáquio de Souza. **Alternative strategies for obtaining segregant populations in common beans.** 2002. 134p. Thesis (Doctoral Genetics and Plant Breeding) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. \*

Several strategies to obtain segregating populations can be used in breeding programs of self-pollinated plants. This work was carried out using the common bean to gain information on the relative efficiency, of these strategies. The lines Pérola, FEB 200, MAR 2, H4-10, AN 9022180, PF 9029975, A 805 and IAPAR 31 were crossed pyramidally to obtain four single-cross hybrids, two double-cross hybrids and one multiple-cross hybrid. The potential of the different types of hybrids was evaluated based on the performance of the segregating populations, generations  $F_2$  and  $F_3$  as well as based on the performance of families  $F_{2,4}$ ,  $F_{2,5}$  and  $F_{4,6}$ , derived from them. The experiments were carried out in Lavras and Coimbra, Minas Gerais from 1999 to 2001. The segregating populations in the  $F_2$  generation and also  $F_2$  and  $F_3$  simultaneously, were evaluated following a randomized complete block design with five replications and plots of four lines of 5m long. Grain yield data were used to estimate the potential to obtain high-performance lines by estimating  $m+a'$ , which provides the average of the lines in the  $F_\infty$  generation and by the probability of a given population to produce lines that could surpass grain yield of Pérola cultivar by 20%. There were evaluated 33 families, of each single-cross hybrid, 65 of each double-cross hybrid and 130 of the multiple-cross hybrid, totalling 392 families. These families were set up in generations  $F_{2,4}$ ,  $F_{2,5}$  and  $F_{4,6}$  along with parentals in both places, using a  $20 \times 20$  triple lattice design. Grain yield data were assessed and estimates of genetic and phenotypic parameters were obtained. It was found that genotypes  $\times$  environments interaction was pronounced when the environment was sites or generations. Even so, there was a good agreement in performance of the bulks ( $F_2$  and  $F_3$ ) and derived families. There is a higher probability of obtaining superior lines from populations derived from the single-cross hybrid HS2/4 - (IAPAR 31  $\times$  AN 9022180) the double-cross hybrid HD2/4/5/7 - [(IAPAR 31  $\times$  AN 9022180)  $\times$  (A 805  $\times$  PF 9029975)] and the multiple-cross hybrid. These populations, in general, generated more productive families. The estimates  $m+a'$  and  $d$ , and the probability of a given population to generate lines that could surpass a particular

---

\* Guidance Committee: Magno Antonio Patto Ramalho - UFLA (Major Professor), Ângela de Fátima Barbosa Abreu - Embrapa Arroz e Feijão/UFLA.

(A 805 x PF 9029975)] and the multiple-cross hybrid. These populations, in general, generated more productive families. The estimates  $m+a'$  and  $d$ , and the probability of a given population to generate lines that could surpass a particular standard showed to be promising strategies for choosing segregating common bean populations, especially if evaluations were conducted in more places and under different sowing times. It became evident that when breeders have well - defined objectives and conditions to evaluate the segregating populations, aiming to identify the most promising ones, there is no need to perform multiple.

# 1 INTRODUÇÃO

No melhoramento do feijoeiro utilizando a hibridação, que é o procedimento mais utilizado em plantas autógamas, há importantes decisões a serem tomadas em determinadas etapas do programa, tais como: escolha dos genitores, obtenção das populações segregantes (cruzamentos) e condução das mesmas à homozigose para extração de linhagens.

A escolha de genitores e de populações segregantes tem merecido a atenção da pesquisa já há algum tempo (Ramalho et al., 1988; Cruz, 1990; Takeda et al., 1991; Oliveira et al., 1996; Otubo et al., 1996; Abreu, 1997; Mendonça, 2001), o mesmo ocorrendo no que se refere ao método de condução das populações segregantes (Fouilloux & Bammerot, 1988; Silva et al., 1994; Ranali et al., 1996; Corte et al., 1998; Rosal, 1999; Raposo, 1999; Gonçalves, 2000; Santos, 2001). Contudo, as estratégias de obtenção das populações têm sido pouco avaliadas.

Na obtenção de populações segregantes, os cruzamentos biparentais são os mais freqüentemente utilizados. Assim, a população resultante apresentará 50% dos alelos de cada um dos genitores. A restrição, nesse caso, é a dificuldade de se encontrar dois genitores que se complementem totalmente, ou seja, juntos possuam os fenótipos desejáveis para todos os caracteres sob seleção. Para solucionar esse fato, o melhoramento passa a ser realizado por etapas. Isto é, são cruzadas duas linhagens que possuem parte dos fenótipos desejáveis, a população é avançada por várias gerações e obtêm-se indivíduos que acumulem os alelos favoráveis envolvidos no cruzamento. Esses indivíduos são cruzados com outras linhagens contendo alelos favoráveis não envolvidos no cruzamento anterior e assim por diante. A principal restrição a essa estratégia é o tempo

necessário para se atingir a meta e, sobretudo, a necessidade de persistência e continuidade do programa.

Uma alternativa para solucionar os problemas mencionados é realizar cruzamentos múltiplos envolvendo simultaneamente todos os genitores portadores dos alelos desejáveis. Esta é uma estratégia comum em alguns programas de melhoramento do feijoeiro e tem sido apregoada por alguns melhoristas (Fouilloux & Bannerot, 1988; Singh, 1997; Kelly et al., 1997; Singh, 2001).

Considerando que a maioria dos caracteres de importância econômica, como produtividade de grãos, é governadas por muitos genes, para acumular a maioria dos alelos favoráveis é necessário o envolvimento de um grande número de genitores. Quanto maior esse número, maior o número de ciclos de cruzamentos necessários e maior deve ser o número de sementes  $F_1$ , para se manterem os alelos favoráveis de todos os genitores (Ramalho et al., 1993). Além disso, envolvendo maior número de genitores, reduz-se a probabilidade de obter um genótipo com todos os alelos desejáveis (Ramalho, 1997).

Nos programas de melhoramento do feijoeiro é comum utilizarem-se diferentes alternativas na obtenção das populações segregantes. Como são escassas as informações a respeito de comparações entre cruzamentos biparentais, duplos e múltiplos, foi realizado o presente trabalho, com o objetivo de avaliar essas diferentes estratégias.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Biologia floral e sistema reprodutivo do feijoeiro

No Brasil, as primeiras descrições da biologia floral e reprodução do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) foram feitas por Vieira (1967). Mais recentemente, Santos & Gavilanes (1998) descreveram, de forma detalhada, a inflorescência do feijoeiro da seguinte forma:

*"Flores agrupadas em racemos, que nascem nas axilas das folhas, a partir de gemas floríferas e, mais raramente, de gemas mistas. Cada flor apresenta uma bráctea e duas bractéolas, estas na base do pedúnculo floral. São flores do tipo papilionácea com simetria bilateral. O cálice é gamossépalo, tubuloso (campanulado) na base e subdividido em três ou cinco dentes no ápice. A corola é pentâmera e apresenta uma quilha, que resulta da fusão de duas pétalas inferiores, a qual encerra os estames e o pistilo. No gênero Phaseolus, o ápice da quilha é enrolado em espiral, enquanto nos gêneros próximos, como por exemplo Vigna, é curvo, mas não enrolado. Existem ainda, na corola, duas pétalas laterais à quilha, as asas (alas), e uma pétala bem maior que envolve as outras, o estandarte, em posição superior. A coloração das pétalas, no feijão comum, varia de branco a arroxeadado e está relacionada principalmente com diferenças genéticas entre as cultivares, embora dependa também da idade da flor e das condições ambientais. Os estames que no seu conjunto formam o androceu, no início de seu crescimento aparecem em duas fileiras de cinco. Posteriormente, nove deles soldam-se pelas bases e o décimo fica livre, de modo que na flor adulta exista um tubo estaminal de nove estames unidos pelas bases e um livre. Este último fica em posição posterior, oposto ao estandarte. O gineceu é súpero, desenvolve-se, a princípio, como uma protuberância em forma de meia-lua, que logo se fecha. Na sua porção dorsal, existe um feixe vascular,*



*bem desenvolvido, e na sua porção ventral, dois feixes de menor tamanho. O carpelo pode ser comparado com uma folha que apresenta uma nervura mediana, dorsal, bem desenvolvida e duas nervuras menores, ventrais, que seriam os bordos, através dos quais vai ocorrer a união da folha para constituir um só corpo. Apresenta, internamente, os óvulos, conectados, alternadamente, a cada um dos feixes ventrais. Os óvulos estão aderidos à placenta pelo funículo, através do qual passa um feixe vascular, derivado de um dos feixes vasculares ventrais. No ápice do ovário, alongado e comprimido, desenvolve-se o estilete, curvo, agudo e comprimido, com pêlos; na extremidade do estilete apresenta-se o estigma, de forma arredondada."*

Pelo exposto, observa-se que a morfologia floral do feijoeiro favorece o mecanismo de autopolinização. As anteras estão situadas no mesmo nível do estigma e envolvidas completamente pela quilha. Quando ocorre a deiscência das anteras (antese), os grãos de pólen caem diretamente sobre o estigma. É importante salientar que a deiscência das anteras e a polinização ocorrem no momento ou pouco antes da abertura da flor, fenômeno este denominado de cleistogamia. Desse modo, a flor, quando abre, já está polinizada, tornando a autofecundação seu sistema obrigatório de reprodução. (Ramalho et al., 1993). Todavia, pode ocorrer fecundação cruzada natural, às vezes, em proporções que dificultam os trabalhos de melhoramento, pelo fato das segregações não ocorrerem exatamente como o esperado.

A fecundação cruzada natural no feijoeiro depende principalmente da presença de insetos polinizadores grandes, especialmente as mamangavas (Buishand, 1956). Assim, a taxa de fecundação cruzada varia com a distância entre as diferentes cultivares e sofre influência das condições ambientais, que, por sua vez, afetam a população e a atividade dos insetos polinizadores. Vários trabalhos já foram realizados visando estimar a taxa de fecundação cruzada no feijoeiro. No Brasil, na maioria dos trabalhos, esses valores ficaram abaixo de

2% (Vieira, 1960; Pompeu, 1963; Pacova & Rocha, 1975; Junqueira Neto & Lasmar Filho, 1971; Pereira Filho & Cavarani, 1984; Marques Júnior & Ramalho, 1995; Royer et al., 1999). Contudo, há alguns relatos de taxas bem superiores a esse valor (Costa & Antunes, 1975; Wells et al., 1988). Taxas de fecundação cruzada ligeiramente superiores foram observadas no período das águas, associadas a uma maior população de insetos, principalmente trips (Royer et al., 1999). Observa-se que o tamanho da flor influencia a taxa de fecundação cruzada, sendo que cultivares com flores menores, de modo geral, apresentam menor taxa de fecundação cruzada (Marques Júnior & Ramalho, 1995; Royer et al., 1999).

## **2.2 Híbridação artificial em *Phaseolus vulgaris* L.**

O principal objetivo dos programas de melhoramento genético de plantas autógamas é reunir em um indivíduo o maior número de alelos favoráveis que se encontram distribuídos em vários genitores. Dessa forma, é indiscutível a importância da híbridação artificial para a criação de variabilidade genética, visando à obtenção de linhagens superiores.

No feijoeiro, a obtenção de sementes híbridas é dificultada pelo reduzido tamanho da flor e pela pequena quantidade de sementes produzidas por vagem. Além disso, o sucesso da híbridação artificial é dependente de vários fatores ambientais. Entre os fatores que atuam desfavoravelmente, podem-se citar a temperatura muito alta ou muito baixa, a luminosidade deficiente muitas vezes nas casas de vegetação, provocando estiolamento das plantas e a baixa umidade relativa em determinadas épocas e regiões. Além desses fatores, a habilidade e a experiência do operador são extremamente importantes.

Os métodos para realização dos cruzamentos em feijão e os principais cuidados para maior chance de êxito nas híbridações foram descritos em várias oportunidades (Buishand, 1956; Vieira, 1967; Antunes et al., 1980; Ramalho et

al., 1993; Peternelli & Borém, 1999). Como já mencionado, o feijão é uma planta com flores hermafroditas e cleistógamas. Portanto, a mesma flor apresenta as estruturas reprodutivas masculinas e femininas muito próximas e envoltas pela quilha, o que faz com que, quando o botão floral abre, já tenha ocorrido a autopolinização. Assim, os métodos utilizados para a realização dos cruzamentos artificiais no feijoeiro devem necessariamente envolver algum mecanismo que impeça que as anteras maduras entrem em contato com o estigma, por ocasião da polinização. Para isso, no método tradicional realiza-se a emasculação, que consiste em abrir o botão, retirar as asas e a quilha e eliminar as anteras (Vieira, 1967). Este procedimento, além de muito trabalhoso, muitas vezes danifica o botão floral e o pegamento fica altamente dependente da habilidade do operador.

O procedimento alternativo de hibridação no feijoeiro, o método sem emasculação, consiste em expor o estigma, pressionando delicadamente as asas para baixo, de modo que o mesmo fique para fora da quilha, impedindo o seu contato com as anteras por ocasião da autopolinização. Independente do método utilizado, a polinização é executada esfregando-se o estigma de uma flor aberta do genitor masculino, pois esse está impregnado de grande quantidade de pólen viável, no estigma da planta-mãe ou, o que é mais conveniente, engancha o estigma da planta polinizadora no estigma exposto do botão floral da planta-mãe.

Wester & Jorgensen (1950) estudaram métodos de hibridação em feijão fava, *Phaseolus lunatus* L., sob condições de casa de vegetação. Concluíram que a polinização sem emasculação é mais eficiente que o método convencional (com emasculação), permitindo ainda um maior número de polinizações por unidade de tempo e menor dano ao botão floral. Resultados semelhantes foram obtidos por Antunes et al. (1980), Vilarinho et al. (2001) e Fernandes et al. (2001), no feijoeiro comum. Segundo estes autores, a taxa de autofecundação

que ocorreu utilizando esta técnica foi inferior a 0,1% e comparável à técnica com emasculação, o que justifica a sua adoção. Apesar das vantagens mencionadas, a técnica de cruzamento sem emasculação ainda é pouco difundida e colocada como de maior risco quanto às possíveis autofecundações.

Os resultados obtidos quanto à taxa de pegamento de cruzamentos é extremamente variável e dependente de uma série de fatores, principalmente condições climáticas (Wade, 1943; Buishand, 1956; Gonzalez, 1981; Antunes et al., 1980). Estações do ano com dias mais frescos e maior umidade relativa, são as mais apropriadas. Além disso, para uma maior eficiência nos cruzamentos, deve-se evitar ao máximo danos ao estigma do genitor feminino, polinizar nos primeiros botões florais, não fazer número demasiado de cruzamentos por planta e eliminar as flores e vagens remanescentes (Lepiz, citado por Gonzalez, 1981).

A maioria dos melhoristas realiza seus cruzamentos pela manhã. Um questionamento que surge é sobre a possibilidade de realização dos cruzamentos à tarde, uma vez que as temperaturas noturnas são mais amenas, o que contribuiria para um maior pegamento. Entretanto, Hernández & Tay, citados por Gonzalez (1981), registraram taxas de pegamento de 74% ao polinizar pela manhã e de 64% ao polinizar à tarde. Os autores atribuem esta diferença à maior temperatura e menor umidade, registrados durante o período da tarde.

De modo geral, consegue-se de 30% a 50% de sucesso em polinizações realizadas sob condições de casas teladas, podendo chegar a valores bem superiores quando se tem um controle melhor da umidade e da temperatura, como acontece em certos tipos de casa de vegetação. Taxas de pegamento de até 80% foram observadas por Fernandes et al. (2001), mesmo em condições de casa telada, com pouco controle ambiental. Esse fato evidencia que a hibridação artificial não é um empecilho aos programas de melhoramento, desde que as condições ambientais sejam favoráveis e o operador tenha experiência para realizar o trabalho.

## **2.3 Controle genético de alguns caracteres do feijoeiro**

Antes de iniciar qualquer programa de melhoramento, deve-se ter em mente qual ou quais caracteres receberão maior ênfase. Para esses caracteres, é importante ter informações sobre o controle genético para orientar o melhorista nas estratégias a serem adotadas no programa. No caso do feijoeiro, já há uma gama considerável de informações para vários caracteres. Assim, os melhoristas devem recorrer à literatura, visando à obtenção dessas informações antes de iniciar o trabalho.

### **2.3.1 Cor do tegumento**

A cor dos grãos do feijoeiro, ou seja, do tegumento da semente, é o principal fator na adoção de uma nova cultivar pelos agricultores. Assim, esse caráter é de fundamental importância no melhoramento dessa espécie. Devido a esse fato, o controle genético da cor do tegumento vem sendo estudado há mais de nove décadas e, apesar dos avanços obtidos, muitos aspectos relacionados a esse caráter ainda permanecem obscuros. Isso se deve à complexidade desse caráter, pois, além de muitos genes envolvidos, diferentes pesquisadores os simbolizam de formas diferentes, fornecendo também diferentes explicações para o seu funcionamento (Bassett, 1996). O autor afirma, ainda, que entre os pesquisadores não há consenso, nem mesmo quanto ao número de genes envolvidos. Para Bassett (1988), doze genes controlam a cor do tegumento e quatro controlam a cor do halo, havendo interações complexas desses genes com outros e alguns têm alelos múltiplos.

Embora não haja acordo sobre o número total de genes envolvidos no controle genético da cor do tegumento, há alguns fatos que são aceitos por todos que se dedicaram ao estudo desse caráter. Ou seja, existem genes fundamentais

ou básicos, genes complementares ou de coloração, modificadores e genes envolvidos no aparecimento de coloração parcial.

Os genes fundamentais ou básicos são responsáveis pela formação de substâncias indispensáveis à produção de cor nas sementes. No entanto, somente a presença destes não é suficiente para a produção de cor, sendo necessário que os genes complementares também estejam presentes.

Os primeiros estudos a respeito dos genes fundamentais ou básicos levaram a crer que se tratava de dois genes, P e Gri. Entretanto, Bassett (1994) demonstrou que Gri, é na verdade, um alelo do loco P ( $p^{gr}$ ), sendo P dominante sobre  $p^{gr}$  e este parcialmente dominante sobre p. Assim, plantas de genótipo P\_, na presença de alelos dominantes de genes complementares, normalmente têm tegumento colorido. Plantas de genótipo  $p^{gr} p^{gr}$  apresentam tegumento branco-acinzentado e  $p^{gr}p$ , tegumento branco-acinzentado mais claro, devido à dominância parcial.

Os genes complementares ou de coloração são aqueles cujos alelos dominantes, na presença de P\_, produzem colorações diferentes do branco no tegumento. Alguns autores citam os seguintes genes como complementares: C, J, Ins, Can, G, B, V e R (Basset, 1996). Entretanto, outros autores discordam, nomeando alguns desses genes como modificadores. Os genes modificadores são aqueles que se expressam apenas quando estão presentes os alelos dominantes dos genes fundamentais e complementares, modificando as cores por eles produzidas.

Há inúmeros outros genes descritos, tais como o gene T, que define se as sementes são total ou parcialmente coloridas (Leakey, 1988; Basset & McClean, 2000). O alelo recessivo do gene T (tt) faz com que as sementes sejam parcialmente coloridas e permite que os vários genes que controlam os padrões de coloração parcial se expressem. A área colorida do tegumento pode ter as mais variadas cores, exceto o branco, que é a cor da área não colorida.

O brilho do tegumento é um importante atributo que determina a aceitação de uma nova cultivar. À exceção do feijão vermelho, consumido na Zona da Mata de Minas Gerais, no Brasil, a preferência é por feijões de tegumento opaco. Segundo Lamprecht (1940), esta característica é controlada por um único gene, designado Asper (Asp), sendo que o tegumento brilhante domina sobre o opaco. De acordo com estudos realizados por Brick, et al. (2000), feijões opacos apresentam uma camada epicuticular cerosa e grossa na superfície do tegumento, enquanto que nos feijões brilhantes essa camada não aparece. Nesses estudos também constatou-se que a presença ou ausência do brilho parece não influenciar a taxa de absorção de água.

### **2.3.2 Arquitetura da planta**

Um outro caráter que tem recebido grande atenção dos melhoristas de feijão nos últimos anos é a arquitetura da planta. Procuram-se plantas eretas, que facilitem os tratos culturais e a colheita mecanizada e, sobretudo, para reduzirem as perdas na colheita se esta coincidir com período de chuvas intensas, evitando o contato das vagens com o solo úmido.

Quando se fala de arquitetura de planta em feijoeiro, o primeiro aspecto a se considerar são os tipos básicos de crescimento: determinado e indeterminado. Nas plantas de crescimento determinado, o eixo principal e as ramificações laterais terminam em inflorescência, não apresentando alongamento do caule após o aparecimento das primeiras flores, que são produzidas do ápice para a base da planta. Já nas plantas de crescimento indeterminado, a primeira inflorescência origina-se de uma gema axilar localizada em um nó do eixo principal ou secundário e as demais, progressivamente, nos nós que são acrescidos durante o desenvolvimento da planta. O eixo principal e as ramificações laterais apresentam, na sua parte terminal, um meristema vegetativo, isto é, a planta continua crescendo, mesmo

após iniciar o florescimento (Debouck, 1991). Nesse caso, o período de floração normalmente é maior e a maturação é mais desuniforme.

Em relação ao crescimento determinado ou indeterminado, é quase consenso que o controle genético se deve à ação de um único gene, denominado *Fin*, com dominância do alelo que condiciona hábito indeterminado (Lamprecht, 1935; Vieira, 1967; Coyne & Steadman, 1977; Ram & Prasad, 1985). Contudo, vale ressaltar que Singh et al. (1996), avaliando  $F_1$ 's de cruzamentos entre linhagens de crescimento indeterminado da raça Durango e linhagens da raça Nova Granada de hábito determinado, observaram que o tipo determinado foi completamente dominante.

Devido à diversidade na arquitetura da planta de feijão, elas têm sido classificadas em quatro tipos (Vilhordo et al., 1980), baseado principalmente na orientação de suas ramificações.

Plantas do tipo I caracterizam-se pelo hábito determinado arbustivo, com ramificação ereta e fechada. Normalmente, as plantas são baixas, apresentam menor número de nós e entrenós (geralmente de 4 a 8), o período de floração é mais curto e a maturação é mais uniforme. Como exemplo nesse grupo, podem-se citar as cultivares Goiano Precoce, Manteigão Fosco 11 e Ouro Branco, todas de ciclo precoce.

O tipo II caracteriza-se pelo hábito indeterminado arbustivo. O caule é ereto e as ramificações laterais são fechadas e em menor número que no tipo III. Quando apresenta "guia" é de média a curta. Normalmente, plantas do tipo II também apresentam maturação mais uniforme, sendo mais adaptadas à colheita mecanizada. Como exemplo, citam-se as cultivares Carioca MG, Rudá, FT-Nobre, Meia Noite e Xamego.

As plantas do tipo III, onde enquadram-se cultivares prostradas como Carioca e Ouro Negro, apresentam hábito indeterminado, com muitas



ramificações laterais, abertas e bem desenvolvidas, "guia" longa, período de floração longo (20 a 25 dias) e maturação mais desuniforme que os tipos I e II.

O tipo IV, indeterminado trepador, caracteriza-se pela forte dominância apical. Assim, poucas ramificações laterais se desenvolvem. Os entrenós são longos e a haste principal chega a dois metros de comprimento, necessitando normalmente de tutoramento. As cultivares com esse tipo de planta apresentam longo período de floração (além dos 25 dias) e são mais tardias. Podem-se citar como exemplo as cultivares Puebla 152, Flor de Mayo e Cargamanto.

Apesar do hábito de crescimento ser uma característica de controle genético simples, o porte da planta, que mais tem interessado aos melhoristas, parece ter um controle mais complexo e acentuada influência das condições ambientais, tornando mais difícil o seu estudo (Collicchio et al., 1997). Utilizando cultivares do tipo I, II e III, Teixeira et al. (1999) realizaram trabalhos visando estudar o controle genético do porte do feijoeiro. Constatou-se que, entre os caracteres morfológicos associados ao porte, o comprimento dos entrenós foi o que mostrou maior variação, havendo predominância do efeito aditivo no controle desse caráter. A avaliação do porte por meio de notas, utilizando plantas individuais, revelou ser de baixa eficiência. Contudo, quando se utilizaram famílias, apesar da acentuada influência do ambiente na expressão do caráter, as estimativas dos parâmetros genéticos evidenciaram a possibilidade de sucesso com a seleção, especialmente se esta for realizada após a avaliação em algumas gerações e/ou ambientes.

Tem sido observado que muitas cultivares de porte ereto apresentam senescência tardia do caule ("stay green"), tornando-se, portanto, uma característica alvo de estudo quando se trata do melhoramento visando plantas de porte ereto. Estudando o controle genético desse caráter, Aguiar et al. (2000) verificaram que houve predominância dos efeitos de dominância e que o

controle genético se deve a um ou poucos genes, havendo também influência do ambiente na sua expressão.

O tamanho das sementes é outra característica importante e que, de certa forma, tem sido associada ao porte do feijoeiro. Tem sido observado que, de modo geral, plantas eretas, tipo II, possuem grãos pequenos, portanto, indesejáveis do ponto de vista do melhoramento. Contudo, com base em estudos realizados nos últimos anos, observa-se que é possível obter plantas eretas com sementes médias ou grandes, uma vez que não se verificou nenhuma associação entre o porte da planta e o tamanho dos grãos (Acquaah et al., 1991; Kornegay et al., 1992; Brothers & Kelly, 1993; Collicchio et al., 1997).

### 2.3.3 Resistência à antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*)

A antracnose do feijoeiro comum, tendo como agente causal o fungo *Colletotrichum lindemuthianum*, apresenta ampla distribuição no Brasil, especialmente nas regiões sul e sudeste e em áreas serranas onde as temperaturas moderadas favorecem o seu desenvolvimento. Este patógeno apresenta grande diversidade e muitas raças já foram identificadas no Brasil (Rava et al., 1994; Andrade et al., 1999). Em Minas Gerais, as raças 73, 81 e 89 são as observadas com maior frequência em condições de campo (Rava et al., 1994; Alzate-Marin, comunicação pessoal). Cultivares plantadas no estado, como Carioca, Pérola e Rudá, são suscetíveis a essas raças (Lanza et al., 1996).

Mecanismos de resistência a *C. lindemuthianum* têm sido identificados em feijoeiro comum, demonstrando que níveis de resistência genética extremamente altos estão sob o controle de um ou poucos genes maiores (Pastor-Corrales et al., 1994; Alzate-Marin, 1996; Arruda, 1998; Young et al., 1998). O controle da antracnose, utilizando resistência genética, tem sido feito por meio da transferência de alelos presentes em cultivares como a Cornell 49-242, México

222, TO, TU, AB 136 e G2333. As principais fontes de resistência e seus respectivos alelos de resistência são apresentados na Tabela 1.

No Brasil, Rava et al. (1994) relataram que as linhagens AB 136 e G 2333 apresentaram resistência a todos os isolados de *C. lindemuthianum* coletados em várias regiões produtoras de feijão. Também nesse trabalho, a linhagem TO apresentou resistência a 22 raças, sendo suscetível às raças 339, 343 e 453; a linhagem Cornell 49-242 apresentou resistência a 17 das 25 raças, sendo suscetível às raças 8, 72, 73, 75, 79, 89, 95 e 585.

Utilizando a nova nomenclatura para designar os alelos de resistência à *C. lindemuthianum*, proposta por Kelly & Young (1996), foram classificados, até o presente momento, os seguintes alelos (Tabela 1): *Co-1 (A)*, encontrado na cultivar andina Michigan Dark Red Kidney; *Co-2 (Are)*, encontrado em diferentes cultivares mesoamericanas, como a Cornell 49-242; *Co-3 (Mex. 1)*, encontrado na cultivar mesoamericana México 222; *Co-3<sup>2</sup>*, um alelo alternativo para o loco *Co-3*, encontrado na cultivar mesoamericana México 227; *Co-4 (Mex. 2)*, encontrado na cultivar diferenciadora TO; *Co-4<sup>2</sup>*, um alelo alternativo para o loco *Co-4*, encontrado na cultivar G 2333; *Co-5 (Mex. 3)*, encontrado nas cultivares mesoamericanas TU, G 2333 e Seleção 1360; *Co-6*, encontrado na cultivar diferenciadora mesoamericana AB 136; *Co-7*, encontrado na cultivar diferenciadora mesoamericana G 2333 e *co-8*, encontrado na cultivar AB 136.

Mais recentemente, trabalhos realizados pelo Bioagro/UFV e pela UFLA têm contribuído efetivamente para o melhor entendimento do controle genético da resistência a *C. lindemuthianum*, conferida por importantes fontes de resistência, como é o caso das cultivares TO, AB 136 e G 2333. De acordo com Arruda (1998), a resistência conferida pela cultivar TO à raça 65 se deve a um único alelo dominante, corroborando com os resultados obtidos por outros autores. O mesmo foi observado em relação à resistência da cultivar AB 136 às raças 64 e 89 (Alzate-

Marin et al., 1997a,b); os autores relataram que, para a raça 73, dois alelos, um dominante e um recessivo, controlam a resistência.

TABELA 1. Principais fontes de resistência a *C. lindemuthianum*, utilizadas nos programas de melhoramento do feijoeiro.

Fontes de resistência	Origem <sup>1</sup>	Alelo de resistência <sup>2</sup>	Resistente às raças	Referência
Michigan Dark Red Kidney	A	Co-1 (A)	453 e 585	Kelly & Young (1996)
Cornell 49242 e Blackhawk	M	Co-2 (Are)	7, 23, 55, 64, 65, 67, 81, 83, 87, 97, 101, 117, 119, 339, 343, 453	Kelly & Young (1996)
México 222	M	Co-3 (Mexique-1)	8, 9, 129, 133, 136, 385, 521, 901, 905,	Kelly & Young (1996)
México 227	M	Co-3 <sup>2</sup> (Mexique-1)		Kelly & Young (1996)
TO	M	Co-4 (Mexique-2)	7, 8, 23, 55, 64, 65, 67, 72, 73, 75, 79, 81, 83, 87, 89, 95, 97, 101, 102, 117, 119, 585	Kelly & Young (1996)
G 2333	M	Co-4 <sup>2</sup> (Mexique-2)	Resistente a todas as raças <sup>3</sup>	Young et al. (1998)
TU, G 2333, Seleção 1360	M	Co-5 (Mexique-3)		Young et al. (1998)
Catrachita (linha derivada de AB 136)	M	Co-6	Resistente a todas as raças <sup>3</sup>	Kelly & Young (1996)
AB 136	M	Co-6	Resistente a todas as raças <sup>3</sup>	Kelly & Young (1996)
G 2333 e Seleção 1308 de G 2333	M	Co-7	Resistente a todas as raças <sup>3</sup>	Pastor-Corrales et al. (1994)
AB 136	M	co-8	Resistente a todas as raças <sup>3</sup>	Alzate-Marin et al. (1997a)

<sup>1</sup> A: Andina e M: Mesoamericana.

<sup>2</sup> Entre parênteses, nomenclatura antiga de identificação dos alelos de resistência.

<sup>3</sup> Considerando às raças predominantes no Brasil.

Com relação à resistência conferida pela cultivar G 2333, pelos resultados obtidos por Alzate-Marin et al. (2001b), foi constatado que dois genes independentes com alelos dominantes são responsáveis pela resistência às raças 73 e 89. Resultados semelhantes já haviam sido observados por Pastor-Corrales et al. (1994), em relação à raça 521. Young et al. (1998) propõem três alelos de resistência para a cultivar G 2333, sendo o *Co-4<sup>2</sup>*, um alelo alternativo para o loco *Co-4 (Mex. 2)* da cultivar diferenciadora TO; o alelo *Co-5 (Mex. 3)*, encontrado nas cultivares TU e Seleção 1360 e o alelo *Co-7*, identificado por Pastor-Corrales et al. (1994). É importante salientar que a linhagem G 2333 é uma importante fonte de resistência, tanto para as raças 73 e 89, que são encontradas com frequência em Minas Gerais, bem como para todas as raças relatadas no Brasil e no mundo (Pastor-Corrales et al., 1994; Rava et al., 1994).

Praticamente todos os alelos de resistência ao *C. lindemuthianum* já foram identificados por marcadores moleculares estreitamente associados a eles (Young & Kelly, 1997; Young et al., 1998; Silva, 2000; Alzate-Marin et al., 2001a,b). Desse modo, a seleção assistida por marcadores moleculares poderá constituir-se numa ferramenta promissora no melhoramento para resistência a esse patógeno.

#### **2.3.4 Resistência a mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola*)**

A mancha angular, cujo agente causal é o fungo *Phaeoisariopsis griseola* (Sacc.) Ferr., é de ocorrência generalizada em praticamente todas as regiões produtoras de feijão do Brasil. Ela pode ocasionar perdas na produtividade de grãos, que variam de 7% a 70%, dependendo da cultivar, da época de cultivo e do momento em que ocorre a infecção pelo patógeno (Sartorato & Rava, 1992).

A variabilidade patogênica de *P. griseola* tem sido estudada por vários autores, sugerindo grande variabilidade dos isolados deste patógeno em

diferentes regiões; mais de 50 patótipos já foram identificados na América Latina (Pastor-Corrales & Jara, 1995; Pastor-Corrales & Paula Jr., 1996; Nietsche, 1997; Nietsche et al., 1999; Aparício, 1998; Sartorato, 2001).

Trabalhos de grande importância sobre a diversidade genética de *P. griseola* e sua coevolução com o feijoeiro na América Latina foram efetuados por Pastor-Corrales & Jara (1995). Os resultados obtidos com esses trabalhos confirmam a grande diversidade de *P. griseola* na América Latina e a separação dos fenótipos de virulência em dois grupos; o primeiro deles denominado de isolados Andinos, pelo fato de atacarem somente as cultivares de origem Andina; o segundo grupo foi denominado de isolados Mesoamericanos por atacarem tanto cultivares Andinas como Mesoamericanas. Os resultados obtidos sugerem, ainda, que os isolados andinos tiveram evolução paralela com cultivares de origem Andina, de grãos grandes, enquanto que os isolados Mesoamericanos tiveram evolução concomitantemente com cultivares de grão médio e pequeno, de origem Mesoamericana.

Pastor-Corrales & Paula Jr. (1996), avaliando 27 isolados de *P. griseola*, provenientes do Brasil, verificaram, além da grande variabilidade, que todos pertenciam ao acervo genético Mesoamericano. O mesmo foi observado por Sartorato (2001), quando avaliou uma coleção de 51 isolados provenientes de campos de produção dos estados de Santa Catarina, Paraná, Goiás, Minas Gerais e Paraíba. Neste estudo, os isolados foram agrupados em sete patótipos, todos pertencentes ao grupo de patótipos Mesoamericanos. Entre os patótipos identificados, o 63.31 foi o que apresentou a maior distribuição geográfica e o 63.63 (39,2% dos isolados) foi o mais virulento, quebrando a resistência de todas as cultivares diferenciadoras. Isso foi também observado em relação a AND 277, G5686 e MAR2, tidas como boas fontes de resistência (Nietsche et al., 2000b).

Estudando a variabilidade de 30 isolados de *P. griseola*, provenientes de cinco regiões produtoras de feijão de Minas Gerais, Nietsche et al. (1997)

identificaram treze raças, o que demonstra expressiva variabilidade do fungo no Estado. As principais raças encontradas foram 31.21, 31.23, 63.23, 63.39 e 63.55, sendo que a raça 63.23 foi a mais freqüente, estando amplamente distribuída nas regiões estudadas. O fenótipo de virulência indicou que as raças estudadas pertencem ao grupo Mesoamericano, o que foi confirmado quando os 30 isolados foram comparados com padrões Andinos e Mesoamericanos, utilizando-se marcadores RAPD. Em 1999, os mesmos autores, avaliando mais 30 isolados coletados em Minas Gerais, caracterizaram 16 raças, sendo que dez não haviam ainda sido caracterizadas. As principais raças encontradas foram 63.31, 63.39 e 63.23.

O trabalho publicado por Aparício (1998) sobre variabilidade genética de *P. griseola* no Brasil confirma a grande variabilidade deste fungo já reportada por vários autores. O autor avaliou 66 isolados monospóricos provenientes de oito estados brasileiros (Minas Gerais, Santa Catarina, Paraná, Goiás, Espírito Santo, Rondônia, Pernambuco e Paraíba), sendo caracterizados 30 patótipos; as raças mais frequentes foram 15.39, 31.23, 63.23 e 63.31.

A maioria das cultivares utilizadas no Brasil são, em maior ou menor grau, suscetíveis à mancha angular. Entretanto, fontes de resistência são freqüentemente relatadas. As linhagens México 54, AND 277, Cornell 49-242, MAR 2, G 5685 e BAT 332 têm se destacado como importantes fontes de resistência para uso nos programas de melhoramento do Brasil (Nietsche et al., 1998; Aparício, 1998; Nietsche et al., 2000b; Sartorato, 2001).

Pelos estudos já realizados, a resistência do feijoeiro a *P. griseola* é controlada por um, dois ou três genes, tendo sido considerada dominante em alguns casos e recessiva em outros. Barros et al. (1957), em estudos conduzidos na Colômbia, observaram para a maioria dos cruzamentos efetuados, que a resistência encontrada foi recessiva e controlada por dois ou três genes independentes. Em alguns cruzamentos foi observado que a resistência era

dominante. Cardona-Alvarez (1962), estudando o cruzamento da cultivar "Algarrobo" e da linhagem 223, ambas suscetíveis, com a linhagem resistente 0258, observou segregação de três plantas resistentes para uma suscetível, indicando, portanto, resistência monogênica e dominante.

No Brasil, Santos Filho et al. (1976) constataram que a resistência era condicionada por um alelo recessivo a partir do cruzamento entre as cultivares Caracota 260 (resistente) e Venezuela 350 (suscetível). Resultado semelhante foi obtido por Singh & Saini (1980), na Colômbia. Recentemente, demonstrou-se que a resistência das cultivares AND 277, MAR-2, Mexico 54 e Cornell 49-242 a *P. griseola* foi devido a um alelo dominante (Carvalho et al., 1998; Ferreira et al., 1999; Nietsche et al., 2000a; Sartorato et al., 2000).

### **2.3.5 Resistência ao oídio (*Erysiphe polygoni*)**

O oídio do feijoeiro causado pelo fungo *Erysiphe polygoni* é considerado uma doença de importância secundária no Brasil (Sartorato & Rava, 1994). Temperaturas moderadas (20° a 25°C) e baixa umidade relativa do ar e do solo constituem-se em condições favoráveis à doença (Vale & Zambolim, 1997). Assim, com a expansão das lavouras irrigadas, onde o feijão é cultivado no outono-inverno, esta doença tem aumentado de importância, podendo ocasionar perdas significativas na produção, quando cultivares de feijoeiro suscetíveis são utilizadas pelos agricultores (Arriel et al., 1991).

A doença manifesta-se inicialmente nas folhas, podendo atingir toda a parte aérea da planta. Os primeiros sintomas são manchas verde-escuras na parte superior da folha, que se desenvolvem em pequenas massas branco-acinzentadas de aspecto pulverulento, podendo tomar toda a superfície foliar. Quando a infecção é severa, pode ocorrer desfolha prematura e as vagens apresentam-se malformadas e podem cair (Vieira, 1983). Tem sido constatada maior severidade desta doença em cultivares do grupo "manteigão", como a Jalo EEP 558, Goiano



Precoce, Manteigão Fosco 11, entre outras (Vieira, 1983; Rezende et al., 1996). Vale salientar que a cultivar Jalo EEP 558 é uma das mais cultivadas na região noroeste de Minas Gerais, no outono-inverno.

No Brasil, a maioria das cultivares utilizadas pelos agricultores é de origem Mesoamericana, possuindo grãos de tamanho médio a pequeno, hábito de crescimento indeterminado e elevada resistência a *Erysiphe polygoni*. Entretanto, algumas linhagens Mesoamericanas de grãos tipo carioca, como IAPAR 31, MAR 2 e AN 9022180, têm se mostrado extremamente suscetíveis, descartando uma possível associação por meio de pleiotropia das características de grão com o gene de reação ao oídio.

No Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Colômbia, foram identificados como altamente resistentes ao oídio as linhagens Aeté-2, A 40, BAT 799, BAT 838, BAT 871, BAT 1113 e Porrilo Sintético (Schwartz et al., 1981). No Brasil, entre 498 linhagens avaliadas quanto à reação ao oídio, foram consideradas resistentes as seguintes: 9021704, 9021705, 9022171, 9115880, CB 9021928, AN 9022253, FE 732880, BZ 1977-6 e Pampa (Sartorato et al., 1993).

O controle genético da reação ao oídio é bastante controverso, mas há evidências de que existam alguns genes de maior efeito que conferem resistência vertical e outros vários genes de menor efeito que conferem resistência do tipo horizontal ou quantitativa (Melo, 2000).

O primeiro trabalho visando elucidar o controle genético da resistência do *P. vulgaris* ao *E. polygoni* foi realizado por Dundas (1936), o qual verificou existir um alelo de resistência à raça de oídio utilizada. Posteriormente, em 1942, o autor observou, em outro estudo, que determinadas cultivares de feijoeiro possuem um alelo dominante que lhes conferem resistência a 12 das 14 raças estudadas do patógeno.

A ocorrência de dois genes complementares controlando a resistência ao *E. polygona* é relatada por Bett & Michaels (1995). Num deles, a resistência deve-se ao alelo dominante e, no outro, ao recessivo e ambos os genes devem estar presentes para a resistência se expressar.

Rezende et al. (1999) avaliaram plantas  $F_2$  e famílias  $F_{2:3}$  provenientes do cruzamento da cultivar Jalo EEP 558 com a linhagem ESAL 686. Os resultados indicaram a existência de epistasia recessiva dupla no controle do caráter. No entanto, em trabalho posterior, envolvendo o mesmo cruzamento, mas com avaliações de outras gerações segregantes (retrocruzamento), Rezende (2000) verificou que a segregação, na realidade, envolvia apenas um gene no controle dessa característica.

Melo (2000) avaliou reação de famílias provenientes do cruzamento Carioca x Flor de Mayo ao oídio. Os altos valores encontrados para as estimativas dos coeficientes  $b$  (relação entre coeficiente de variação genético e ambiental) e da herdabilidade sugerem, segundo o autor, que o controle genético da reação ao oídio seja devido a poucos genes, em concordância com o que tem sido relatado por outros autores (Rezende et al., 1999; Rezende, 2000).

### 2.3.6 Produtividade de grãos

Com relação à ação gênica para o caráter produtividade de grãos e seus componentes primários, os resultados encontrados na literatura não são totalmente coincidentes. Isso ocorre em função de alguns fatores, tais como: metodologia utilizada, cultivares envolvidas, manejo da cultura e interação genótipos por ambientes. Existem evidências de que a variância aditiva é o principal componente da variância genética, quando o plantio é feito na densidade normal da cultura, onde a competição entre plantas é maior (Hamblin & Evans, 1976; Hamblin & Morton, 1977; Quiñones, 1969; Santos et al., 1985; Abreu et al., 1989; Takeda et al., 1991).

No trabalho conduzido por Santos et al. (1985), utilizando um dialelo envolvendo plantas  $F_2$ , verificou-se que a variância genética aditiva foi predominante no controle da produtividade de grãos em Lavras. Já em Patos de Minas, houve tendência da presença de dominância.

A predominância da interação alélica aditiva no controle genético da produtividade de grãos do feijoeiro foi também verificada em outros trabalhos (Nienhuis & Singh, 1988; Ramalho et al., 1988; Abreu et al., 1990, Takeda et al., 1991; Vizgarra, 1991). A existência de heterose é também mencionada em algumas oportunidades (Gutiérrez & Singh, 1985; Nienhuis & Singh, 1986; Abreu, 1997; Mendonça, 2001).

Na literatura, é constatada a associação entre os valores de alta herdabilidade com a expressão de caracteres controlados por poucos genes e a de baixa herdabilidade com a expressão de caracteres controlados por muitos genes (Badan, 1999). Assim, fica evidente a maior dificuldade no melhoramento de caracteres governados por muitos genes, como é o caso da produtividade de grãos. Na Tabela 2 são apresentadas algumas estimativas de herdabilidade para produtividade de grãos, considerando somente experimentos de avaliação de famílias oriundas de populações segregantes, na cultura do feijoeiro. Observa-se ampla variação para as estimativas obtidas, o que é esperado, uma vez que a herdabilidade é influenciada pelas condições ambientais onde foram realizados os estudos, pela diversidade da população e pela precisão experimental, entre outros.

TABELA 2. Estimativas de herdabilidade no sentido amplo ( $h_a^2$ ) e restrito ( $h_r^2$ ) da produtividade de grãos em feijão.

Local	Método utilizado	$h_a^2$ (%)	$h_r^2$ (%)	Fonte
Colômbia	Progênes F <sub>5</sub>	17 a 56		Camacho et al., 1964
Índia	Linhagens	60		Aggarwal & Singh, 1973
Inglaterra	Progênes F <sub>4</sub> , RC <sub>11</sub> , RC <sub>21</sub>	34		Davis & Evans, 1977
Brasil	Linhagens	28 a 45		Ramalho et al., 1979
E. Unidos	P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub> , F <sub>1</sub> , F <sub>2</sub> , RC <sub>11</sub> , RC <sub>21</sub>	23		Zimmermann et al., 1984
Brasil	Progênes S <sub>1</sub> e S <sub>2</sub>	37		Gonçalves, 1995
Brasil	Progênes F <sub>5</sub>	66		Collicchio, 1995
Itália	Progênes S <sub>2</sub>	62 a 65		Ranalli, 1996
Brasil	Progênes S <sub>1</sub>	19 a 45		Souza et al., 2000
Brasil	Famílias F <sub>5;7</sub>	18 a 52		Abreu, 1997
Brasil	Famílias F <sub>2;4</sub>	29 a 62		Ferreira, 1998
Brasil	Famílias F <sub>5;7</sub> e F <sub>5;8</sub>	45 a 50		Ferreira, 1998
Brasil	Famílias F <sub>2;3</sub> a F <sub>2;6</sub>	41		Rosal, 1999
Brasil	Famílias F <sub>2;6</sub> , F <sub>3;6</sub> e F <sub>4;6</sub>	24 a 61		Raposo, 1999
Brasil	Famílias F <sub>3;4</sub> e F <sub>3;5</sub>	40 a 53		Santos, 2001
Brasil	Famílias F <sub>3;4</sub>	32 a 60		Mendonça, 2001
Brasil-Lavras	Dialelo	46	24	Santos et al., 1985
Brasil-Patos	Dialelo	71	52	Santos et al., 1985
Costa Rica	P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub> , F <sub>1</sub> , F <sub>2</sub> , RC <sub>11</sub> , RC <sub>21</sub>		25 a 30	Paniagua & Pinchinat, 1976
Brasil	P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub> , F <sub>1</sub> , F <sub>2</sub> , RC <sub>11</sub> , RC <sub>21</sub>		60	Santos et al., 1986
Colômbia	Dialelo		21	Nienhuis & Singh, 1988
Brasil	Famílias F <sub>5;7</sub> e F <sub>5;8</sub>		11	Abreu et al., 1990
Brasil	F <sub>3</sub> , RC <sub>11</sub> a <sup>1</sup> e RC <sub>21</sub> a		35	Peternelli et al., 1994

<sup>1</sup>retrocruzamentos autofecundados

Fonte: Adaptado de Ramalho et al. (1993).

## **2.4 Evolução do melhoramento genético do feijoeiro no Brasil**

Os primeiros trabalhos de pesquisa com feijão no Brasil iniciaram-se na década de 1930 no Instituto Agronômico de Campinas (IAC), Campinas, SP e pela Escola Superior de Agricultura e Veterinária de Viçosa (ESAV), Viçosa, MG (Vieira, 1996; Voysest, 2000). Contudo, nessa época, os trabalhos com feijão eram incipientes, principalmente tratando-se do melhoramento genético. A maioria das informações apresentadas a seguir fundamentou-se nos relatos dos referidos autores.

Na década de 1950 foram realizados os primeiros testes de cultivares de feijão em Minas Gerais, São Paulo e Rio Grande do Sul. Eles incluíram não só material local e regional, mas também oriundo de introduções de outros países. Nessa ocasião, a ESAV, na pessoa do Prof. Clibas Vieira e a Estação Experimental de Patos, representada pelo Dr. Ricardo José Guazelli, realizaram importantes trabalhos de coleta e de introdução de cultivares dos Estados Unidos, Costa Rica, México, Venezuela e Guatemala. Como exemplo, pode-se citar a cultivar Rico 23, introduzida da Costa Rica, em 1954, recomendada inicialmente em Minas Gerais (Vieira, 1959) e depois para mais seis estados.

Antes de 1960, as pesquisas agronômicas no Brasil ficavam a cargo de institutos regionais, denominados institutos agronômicos e das estações experimentais, representadas em Minas Gerais pelas Estações de Patos de Minas, Uberaba, Sete Lagoas e Belo Horizonte. Estas instituições, exceto a estação experimental de Belo Horizonte, eram subordinadas ao Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas (SNPA), órgão vinculado ao Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas (CNEPA).

Em 1960, em substituição ao CNEPA, foi criado o Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária (DNPEA), composto por sete institutos regionais: IPEAS (RS e SC), IPEAME (PR e SP), IPEACS (RJ e ES), IPEACO (MG, GO e MT), IPEAL (BA e SE), IPEANE (PE e AL) E IPEAN (PA). Por

intermédio do DNPEA, o Ministério da Agricultura, em 1963, criou a Comissão Brasileira de Feijão (CBF), com o objetivo de estabelecer metodologias e normas para experimentação em feijão. Feitos importantes da CBF foi o estabelecimento do Ensaio Nacional de Feijão e a realização do I Simpósio Brasileiro de Feijão, em 1971, em Campinas, SP. Essa comissão teve uma atuação marcante no período de 1964 a 1972, com a realização de dez reuniões envolvendo representantes dos diversos órgãos de pesquisa daquela época. Importantes instituições, como o Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR) e o Instituto Pernambucano de Pesquisa Agropecuária (IPA), iniciaram seus trabalhos de melhoramento nessa época.

Posteriormente, na tentativa de dar maior apoio às pesquisas agropecuárias no país, o DNPEA instituiu, por meio do Ministério da Agricultura, os programas especiais de pesquisa agropecuária (PEPA), financiados em parte pela USAID. Assim foi criado, em 1972, o Programa Nacional de Feijão (PNF), chegando a contar, no seu início, com o apoio de melhoristas estrangeiros sediados no Brasil. Este programa, embora criado com bons propósitos, foi logo extinto em função da criação da Embrapa, em substituição ao DNPEA.

A década de 1970 foi marcada por eventos importantes no melhoramento genético do feijoeiro: i) criação do Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão, atualmente Embrapa Arroz e Feijão e das Empresas Estaduais de Pesquisa; ii) estabelecimento do Programa Feijão do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT, Colômbia); iii) início dos trabalhos de melhoramento do feijoeiro em outras universidades além da UFV, inclusive a UFPA; iv) lançamento da cultivar de feijão "Carioca", com profundas alterações nos padrões de grãos produzidos e consumidos no Brasil (Almeida, 2000).

Com a criação da Embrapa, em 1973 e, posteriormente, do CNPAF, os institutos regionais foram absorvidos por esta empresa e outros institutos, como

o IAC, o IAPAR e o IPA, foram mantidos. Entretanto, passou a ser responsabilidade da Embrapa/Cnpaf a coordenação da pesquisa com feijão no país.

O período de 1976 a 1982 foi marcado pela entrada no Brasil dos Viveiros Internacionais (IBYAN), organizados pelo CIAT. Foram introduzidas nesse período 198 linhagens, das quais 12 foram recomendadas como novas cultivares.

Em 21/07/81, foi instituída a Comissão Regional de Avaliação e Recomendação de Cultivares de Feijão (CRC-Feijão), pela Portaria MA 178. Sua finalidade era coordenar e promover a avaliação e recomendação de cultivares no país, com o objetivo de fornecer ao Ministério da Agricultura Abastecimento e Reforma Agrária (MAPA), anualmente, uma relação das cultivares recomendadas e suas áreas de atuação. Dessa forma, havia uma recomendação oficial de cultivares.

Em 1982, foram criadas, pela Embrapa, as Comissões Técnicas Regionais com o objetivo de subsidiar a CRC na sua função. Seguindo o mesmo critério da CRC, o Brasil foi dividido em três regiões, sendo a Região I composta pelos estados do sul (RS, SC e PR), a Região II pelos Estados da região centro-oeste e sudeste (MT, MS, GO/DF, MG, SP, RJ e ES) e a Região III pelos estados do nordeste e norte (BA, SE, PE, AL, PB, RN, PI, CE, MA, PA, AM, AC, RO, TO, RR e AP). Assim, foi instituída uma estratégia de avaliação de linhagens de forma integrada e participativa, envolvendo todas as instituições de pesquisa do país. Tal estratégia foi viabilizada por meio dos ensaios nacionais, em que cada instituição tinha a oportunidade de avaliar o comportamento de suas linhagens em outras regiões, assim como introduzir linhagens de outros programas de melhoramento. No período de 1982 a 1995, foram difundidas, no Brasil, 1.122 linhagens, oriundas de diversas instituições.

Dessas, 68 foram recomendadas, sendo que 35 foram introduzidas via ensaio nacional.

Até 1992, as instituições de pesquisa recebiam os ensaios nacionais e com base em seus resultados, selecionavam as melhores linhagens para os ensaios estaduais. A partir de 1993, foi criado o ensaio regional, composto pelas melhores linhagens do ensaio nacional, numa dada região (I, II ou III, conforme apresentado anteriormente). Assim, a Embrapa passou a ter a responsabilidade de enviar os ensaios nacionais e regionais a todas as instituições de pesquisa que os solicitassem. Com isso, o ensaio regional passou a ser o ensaio final ou estadual, de onde se obtinham informações que subsidiavam a recomendação de novas cultivares.

Com a aprovação da Lei de Proteção de Cultivares no Brasil (Lei 9456 de 25/04/97) e as conseqüentes portarias e regulamentações, foi abolido o conceito de "recomendação oficial de cultivares". Toda a responsabilidade da recomendação foi transferida ao obtentor da cultivar, que também passou a assumir toda a responsabilidade perante o Código de Direito do Consumidor. Por meio da Lei de Proteção de Cultivares foi introduzido o direito de proteção. A Portaria 527, de 31/12/97, extinguiu as antigas CRCs e instituiu o Registro Nacional de Cultivares (RNC) como única listagem oficial de cultivares habilitadas para produção e comercialização de sementes em todo o território nacional.

Para orientar os obtentores de cultivares, o Ministério da Agricultura, por meio da Portaria 294 de 14/10/98, estabeleceu as regras para determinar o valor de uma nova cultivar visando o seu registro, denominado Valor de Cultivo e Uso (VCU). Trata-se de uma exigência básica para que uma cultivar obtenha o registro no RNC.

Apesar das modificações no processo de recomendação de cultivares, no caso específico do feijoeiro, ainda não houve tempo para se observar profundas



mudanças no processo. Esta é uma fase de transição e as instituições de pesquisa dão continuidade ao processo de avaliação de linhagens sem maiores modificações, permanecendo, ainda, os ensaios nacional e regional, correspondendo o último ao atual VCU. As reuniões anuais coordenadas pela Embrapa Arroz e Feijão, embora não oficiais, continuam acontecendo.

Acredita-se que, para culturas como o feijoeiro, predominante de agricultura familiar, com baixa taxa de utilização de sementes, a Lei de Proteção de Cultivares não trará grandes mudanças, sobretudo no aspecto relativo ao estabelecimento de programas de melhoramento pela iniciativa privada. Contudo, conforme esperado, começam a surgir algumas restrições em termos de intercâmbio de germoplasma e de informações técnicas.

Atualmente, o melhoramento genético do feijoeiro no Brasil é realizado principalmente por empresas públicas, concentrando-se nas regiões sul, sudeste e centro-oeste, com um contingente cada vez menor de melhoristas com atuação exclusiva na cultura (Vieira et al., 1999). Alguns objetivos são comuns aos vários programas, destacando-se os seguintes: boa qualidade comercial e culinária dos grãos; resistência a doenças, especialmente antracnose e mancha angular, porte ereto da planta e alta produtividade de grãos.

## **2.5 Métodos de melhoramento aplicados à cultura do feijoeiro no Brasil**

As estratégias normalmente utilizadas no melhoramento genético do feijoeiro são basicamente as mesmas utilizadas para plantas autógamas e se enquadram em três categorias principais (Ramalho et al., 2001). A primeira, e ainda muito utilizada, tem sido a introdução de linhagens superiores desenvolvidas pelos programas de melhoramento do país ou do exterior. Utilizando este procedimento, diversas linhagens desenvolvidas pelo Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) foram recomendadas no Brasil (Voyses, 2000).

Vieira (1996) exemplifica bem a importância da introdução de plantas como estratégia de melhoramento com a cultivar "Rico 23". Segundo o autor, quando contratado como professor pela UREMG, se instalou em uma sala onde ele mesmo realizou uma faxina. Esquecidos sobre uma mesa, junto com outros papéis, encontrou dois pacotes contendo sementes de caupi e de um feijão preto identificado com o nome de "Rico", segundo o autor, introduzido da Costa Rica pelo Prof. Paulo de Tarso Alvin. Este feijão foi incluído nos experimentos de avaliação de cultivares e se sobressaiu de tal forma que, em 1959, foi recomendado para cultivo em Minas Gerais, com o nome de "Rico 23" (Vieira, 1959). Posteriormente, esta cultivar foi recomendada para outros estados, sendo cultivada por mais dez anos.

A segunda estratégia de melhoramento visa utilizar a variabilidade natural disponível no material em uso pelos agricultores. Isto é, no caso do feijoeiro, que é uma cultura tipicamente de subsistência, os agricultores normalmente reutilizam os grãos colhidos como semente para plantio da safra seguinte. Sendo esse processo repetido por vários ciclos, é esperado que ocorra variabilidade advinda de mutações e cruzamentos naturais que, mesmo sendo em frequência muito baixa, considerando o grande número de plantas que são anualmente cultivadas, assume uma grande magnitude. Para aproveitar essa variabilidade, tem sido normalmente utilizado o procedimento seleção de linhas puras (Ramalho et al., 1993). Essa estratégia de melhoramento é bem ilustrada no feijoeiro, pois foi utilizando essa variabilidade natural que foram obtidas as cultivares Carioca e Pérola, o maiores sucessos no melhoramento dessa espécie no Brasil.

O caso da cultivar Carioca é muito parecido com o do "Rico 23". Sementes de um feijão creme, com estrias marrom, oriundas de Palmital, SP, foram enviadas pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) a Seção de Leguminosa do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), no início de 1966 (Almeida et al., 1971). A cor dos grãos e o desenho ondulado do feijão, parecido

com as calçadas das praias de Copacabana, no Rio de Janeiro, levaram os pesquisadores a batizá-lo de Carioca (A revolução ..., 2000). Não se sabe ao certo a origem dessa cultivar, mas tudo indica que esse material seja proveniente de mutações ou de cruzamentos naturais em cultivares utilizadas pelos produtores na época (A revolução ..., 2000). Essa cultivar foi incluída na rede estadual de avaliação de cultivares e, pelo seu excelente desempenho, foi recomendada para São Paulo, no final da década de 1960 (Almeida et al., 1971). Posteriormente, teve sua recomendação estendida para todo o Brasil.

Outras cultivares foram obtidas utilizando a variabilidade natural. A "Manteigão Fosco 11", por exemplo, que está entre os feijões de cor que foram mais utilizados na Zona da Mata, originou-se de uma seleção massal realizada em amostras do grupo Manteiga (Vieira, 1960). De modo análogo, foram obtidas outras cultivares, como Jalo EEP 558 e Jalo Precoce.

A terceira estratégia de melhoramento, que é o procedimento mais utilizado pelos melhoristas, consiste na geração de variabilidade por meio de cruzamentos artificiais. Assim, espera-se combinar, em uma nova cultivar, fenótipos favoráveis, de interesse agrônômico, que estão distribuídos em diferentes linhagens parentais.

### **2.5.1 Melhoramento por hibridação na cultura do feijoeiro**

Na condução de um programa de melhoramento por hibridação, há algumas importantes decisões a serem tomadas em determinadas etapas do programa. Entre elas: escolha dos genitores, obtenção das populações segregantes (cruzamentos) e condução das mesmas à homozigose para extração de linhagens.

#### **2.5.1.1 Escolha de genitores e/ou das populações segregantes**

O sucesso de um programa de melhoramento utilizando a hibridação depende da eficiência na escolha dos genitores, os quais devem ser cuidadosamente

avaliados. Desse modo, é de fundamental importância a experiência e a vivência do melhorista com a cultura. Entre outros fatores, essa escolha depende dos caracteres a serem melhorados, do tipo de herança e da fonte de germoplasma disponível (Fehr, 1987). Em geral, os cruzamentos são feitos entre genitores cujos fenótipos são complementares e necessários para solucionar os problemas de uma determinada região.

A escolha de genitores é facilitada quando o caráter a ser melhorado for de herança simples, isto é, controlado por poucos genes e pouco influenciado pelo ambiente. Neste caso, basta ter um dos genitores com boa adaptação e o outro portador do alelo de interesse. Entretanto, quando se trata de caracteres de herança complexa, como a produtividade de grãos, a escolha de genitores é dificultada, pois estes devem ser escolhidos de modo a gerar populações segregantes que associem média, alta e grande variabilidade genética (Abreu, 1997). Nesse sentido, alguns procedimentos podem auxiliar o melhorista (Baenziger & Peterson, 1991; Abreu, 1997), tais como: a) desempenho "per se" dos pais (média dos experimentos de avaliação de cultivares), b) divergência genética entre os pais (coeficiente de parentesco, técnicas multivariadas, marcadores moleculares) e c) comportamento das progênes oriundas dos cruzamentos (cruzamentos dialélicos, estimativa de  $m+a$  e  $d$  e a metodologia de Jinks & Pooni, 1976). A cultura do feijoeiro é provavelmente a que mais tem utilizado esses procedimentos na escolha das populações segregantes (Oliveira et al., 1996; Otubo et al., 1996; Abreu, 1997; Mendonça, 2001).

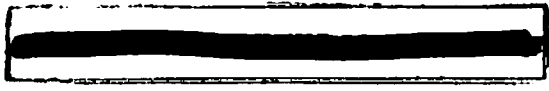
### 2.5.1.2 Obtenção das populações segregantes

Pelo exposto anteriormente, os principais caracteres que os melhoristas de feijão têm no seu objetivo são controlados por muitos genes. Assim, para se ter sucesso, é necessário levar em consideração esse aspecto. Nesse contexto, a forma como será obtida a população segregante merece atenção especial.

Contudo, as estratégias de obtenção das populações segregantes no feijoeiro têm sido pouco avaliadas, sobretudo sobre as vantagens dos cruzamentos múltiplos em relação aos biparentais. Fehr (1987) comenta as diferentes opções para realização dos cruzamentos. Envolvendo somente dois genitores, podem-se realizar os cruzamentos biparentais ou retrocruzamentos. Com três genitores ( $P_1$ ,  $P_2$  e  $P_3$ ) pode-se fazer os híbridos triplos  $(P_1 \times P_2) \times P_3$ ,  $(P_2 \times P_3) \times P_1$  ou  $(P_1 \times P_3) \times P_2$  e, com quatro, os híbridos duplos. Para o híbrido duplo, o mais comum é obter os híbridos simples e depois o híbrido duplo  $(P_1 \times P_2)(P_3 \times P_4)$ , gastando-se, assim, somente dois ciclos de cruzamentos. Outra opção é  $[(P_1 \times P_2) \times P_3] \times P_4$ . Entretanto, gastam-se três ciclos para cruzar os quatro genitores.

Os cruzamentos envolvendo mais de quatro genitores para formar a população são denominados múltiplos ou complexos. Teoricamente, os cruzamentos múltiplos fornecem a oportunidade para combinar alelos favoráveis que se encontram presentes em vários genitores. A vantagem potencial de um cruzamento múltiplo, comparado com um cruzamento biparental, é que o número de possíveis alelos na população, para cada loco, aumenta com o número de genitores utilizados, assim como a probabilidade de heterozigose em múltiplos locos (Fouilloux & Bannerot, 1988).

Na obtenção de populações segregantes, em que são envolvidos apenas dois genitores, os cruzamentos biparentais são os mais freqüentemente utilizados. Assim, a população resultante apresentará 50% dos alelos de cada um dos genitores. A restrição, nesse caso, é a dificuldade de encontrar dois genitores que se complementam totalmente, isto é, juntos possuam os fenótipos desejáveis para todos os caracteres sob seleção. Para solucionar esse fato, o melhoramento passa a ser realizado por etapas, isto é, são cruzadas duas linhagens que possuem parte dos fenótipos desejáveis. A população é avançada por várias gerações e obtêm-se indivíduos que acumulem os alelos favoráveis envolvidos no cruzamento. Esses indivíduos seriam cruzados com outras linhagens contendo



alelos favoráveis não envolvidos no cruzamento anterior. Seriam selecionados indivíduos contendo os alelos favoráveis das três linhagens e o processo é repetido periodicamente. Desse modo, o melhoramento é tipicamente uma acumulação de vantagens por etapas. A principal restrição a essa estratégia é o tempo necessário para se atingir a meta e, sobretudo, a necessidade de persistência e continuidade do programa.

Para solucionar os problemas mencionados, uma alternativa é realizar cruzamentos múltiplos envolvendo todos os genitores portadores dos alelos desejáveis. Esta é uma estratégia utilizada no melhoramento do feijoeiro por várias instituições de pesquisa (Fouilloux & Banerot, 1988; Singh, 1997; Kelly et al., 1997).

Uma restrição aos cruzamentos múltiplos é que, quanto maior o número de genitores envolvidos para formar a população, maior o número de ciclos de cruzamentos necessários e maior deve ser o tamanho da população  $F_1$ , para se manterem os alelos favoráveis de todos os genitores. Ramalho et al., (1993) simulam uma situação envolvendo oito genitores e um gene favorável com distribuição independente para cada um dos genitores. As estimativas do número de cruzamentos necessários em cada ciclo para se obter pelo menos uma planta com os alelos favoráveis serão 4, 32 e 256, para primeiro, segundo e terceiro ciclos de cruzamentos, respectivamente. Considerando uma probabilidade de 95% de que esta planta ocorra no último ciclo, o número de cruzamentos necessários seria de 765. Nesse caso, a dificuldade para obtenção de tal quantidade de sementes híbridas é apontada como principal limitação desse método.

Segundo Ramalho (1997), outra limitação dos cruzamentos envolvendo vários genitores é a pequena probabilidade em obter um genótipo com todos os alelos desejáveis. Considerando quatro genitores e um caráter controlado por 11 genes, a probabilidade de obter um indivíduo com todos os alelos favoráveis, em

homozigose ou heterozigose, é de 1/49152 na geração F<sub>2</sub> e 1/360448 na F<sub>3</sub>. Com o decorrer das autofecundações, essa probabilidade é praticamente nula. Além do mais, com o decorrer das gerações e das autofecundações sucessivas, se um alelo favorável não estiver presente, ele nunca irá ocorrer junto com os demais. Considerando que a maioria dos caracteres de importância econômica, como produtividade, são governados por muitos genes, observa-se que a dificuldade da utilização dos cruzamentos múltiplos ainda é maior.

Um argumento interessante que pode aumentar o otimismo em relação a utilização dos cruzamento múltiplos é apresentado por Fouilloux & Bannerot (1988). Suponha que se deseje acumular 16 alelos favoráveis. Partindo-se de uma população heterozigótica para os 16 locos, a probabilidade de se obter tal linhagem será:  $P = (1/2)^n = (1/2)^{16} = 1/65536$ . Supondo que se plante uma parcela de 1m<sup>2</sup> para avaliar cada família, serão gastos cerca de 6,6 ha para identificar tal combinação. Caso a população esteja segregando, não para 16 locos, mas sim para 20 locos, a probabilidade, neste caso, de se obter a tal linhagem com, pelo menos, 16 alelos favoráveis, será:  $P(16)+P(17)+P(18)+P(19)+P(20) = 1/167$ . Isto é, usando o mesmo argumento anterior, com apenas 167 m<sup>2</sup>, é esperada, pelo menos, uma família com o número de alelos desejáveis. De acordo com essa teoria, aumentando-se a variabilidade na população, aumenta-se a probabilidade de sucesso no programa de melhoramento, ou seja, aumenta-se a probabilidade de obter indivíduos que reúnam maior número de alelos favoráveis. O comentário feito pelos autores é de grande importância, pois normalmente há limitação de recursos e área experimental para realização dos trabalhos de pesquisa.

Um dos estudos sobre comparação de sistemas de cruzamento foi feito por Singh et al. (1998), visando ao melhoramento para resistência à ferrugem da folha em trigo. Os autores, avaliando dois tipos de cruzamentos (biparental e triplo), observaram maior eficiência dos cruzamentos triplos em relação aos

biparentais, quando consideraram resistência a doença. Entretanto, para produtividade, as diferenças a favor do triplo foram mínimas. Bai et al. (1998), utilizando análise de RAPD, avaliaram o relacionamento genético entre populações de três ciclos de cruzamento (cruzamentos cônicos), por meio das distâncias genéticas entre oito genitores, dez indivíduos de oito populações do ciclo 1 de cruzamento, dez de seis populações do ciclo 2 e dez de duas populações do ciclo 3. Analisando a geração  $F_2$  dos vários ciclos de intercruzamento, os autores observaram que a proporção de locos polimórficos entre indivíduos dentro de populações aumentou do ciclo 1 para o ciclo 3 e, entre populações dentro de ciclos, reduziu do ciclo 1 para o 3, sugerindo que ocorreu maior variabilidade genética nas populações de cruzamentos múltiplos. Deve-se considerar que este trabalho foi realizado com uma amostra de apenas dez plantas por população  $F_2$ .

No caso específico do feijoeiro, não foi encontrada nenhuma referência da comparação entre cruzamentos biparentais, duplos ou múltiplos na obtenção de populações segregantes com boa performance média e grande variabilidade para os caracteres sob seleção.

### **2.5.1.3 Condução das populações segregantes**

Os métodos tradicionais para condução de populações segregantes normalmente utilizados em plantas autógamas são: o método genealógico ou "pedigree", o método da população ou "bulk" e o "SSD" (descendência por uma única semente). Mais recentemente, o método "bulk" dentro de famílias derivadas de plantas  $F_2$  ou  $F_3$  vem sendo muito utilizado.

O método genealógico, além de ser um método muito trabalhoso, com inúmeras anotações, é pouco eficiente quando se trata do melhoramento de caracteres de baixa herdabilidade. Essa característica deve-se ao fato de se



praticar basicamente seleção visual, que constitui sua principal desvantagem (Patiño & Singh, 1989; Cutrim et al., 1997; Raposo, 1999).

O método da população ou "bulk" constitui-se num método simples e prático de condução das populações segregantes, permitindo avançar várias populações ao mesmo tempo com grande número de indivíduos. Contudo, no feijoeiro, as principais limitações desse método são a perda de combinações genotípicas devido à amostragem e o efeito de competição que pode atuar, diminuindo a frequência de genótipos com alelos favoráveis para certos caracteres, tais como porte ereto e precocidade (Gonçalves, 2000). Um fato que merece destaque nesse método é que, durante o avanço das gerações, a seleção natural atua contribuindo para a manutenção dos indivíduos mais adaptados, ou seja, com alta taxa de multiplicação (Allard, 1971). Isto pode ser útil se características desejáveis são positivamente correlacionadas com a taxa de multiplicação, mas isto pode ser desvantajoso em caso oposto, como, por exemplo, seleção para sementes de tamanho maior no feijoeiro (Gonçalves, 2000).

O método "SSD", amplamente utilizado no melhoramento da soja no Brasil (Tuneo et al., 1999), constitui-se numa alternativa para alcançar rapidamente a homozigose e, assim, partir para a extração de linhas puras. No caso do feijoeiro, isto não o torna tão atrativo, uma vez que, no Brasil, pode-se fazer duas a três gerações por ano, na maioria das regiões. Uma segunda vantagem normalmente atribuída ao "SSD", principalmente em relação ao "bulk", refere-se à melhor amostragem dos indivíduos da população. Contudo, segundo Fouilloux & Bannerot (1988), têm sido observadas perdas de 10% a 20% de linhas por geração, o que, após quatro gerações de "SSD", poderia reduzir o tamanho da população a 40% do tamanho original.

Atualmente, um método que tem sido muito utilizado no melhoramento de espécies autógamas é o "bulk" dentro de famílias  $F_2$ , que consiste

basicamente numa associação do método genealógico com o método do "bulk". A proposição inicial desse método foi de Frey (1954) e, no feijoeiro, tem sido utilizado com algumas modificações. Consiste, normalmente, na avaliação das famílias  $F_{2,3}$ ,  $F_{2,4}$  e  $F_{2,5}$  em ensaios com repetições e, quando possível, em diferentes safras e locais, atenuando os efeitos da interação genótipos x ambientes. Desse modo, após análise conjunta, procede-se a uma seleção muito mais criteriosa entre as famílias, sobretudo para caracteres de baixa herdabilidade, como produtividade de grãos.

No Brasil, a eficiência dos métodos genealógico, "bulk", "SSD", "bulk" dentro de  $F_3$  e "bulk" dentro de  $F_2$  foi comparada na cultura do feijoeiro por Raposo (1999). Para isso, foi utilizada a população segregante do cruzamento entre as cultivares Carioca x Flor de Mayo. Observou-se ligeira superioridade dos métodos "bulk" e "SSD" em relação aos demais, especialmente quando comparados com o genealógico. Ranalli et al. (1996) também demonstraram a superioridade do "SSD" em relação ao "bulk" dentro de  $F_2$ . Entretanto, os pesquisadores não descartaram a utilização do "bulk" dentro de  $F_2$ , associado ao "SSD". Já em outro trabalho conduzido na Colômbia, Urrea & Singh (1994) obtiveram resultados contraditórios. O "bulk", dentro de  $F_2$ , demonstrou ser mais eficiente que o método "bulk" e "SSD", visando à identificação de famílias superiores. Contudo, os próprios autores salientam problemas de amostragem no referido trabalho.

Finalmente, na decisão sobre qual método de seleção utilizar, está o custo envolvido na sua condução. O método do "bulk" é o menos oneroso, sobretudo porque, no seu manuseio, antes da avaliação das famílias, o gasto com área experimental e mão-de-obra na condução da população segregante é pequeno. No caso do "SSD", o gasto com área é ainda menor. Contudo, especialmente a mão-de-obra no momento da colheita, de uma vagem por planta, acarreta incremento em relação ao "bulk". Os métodos que envolvem a

avaliação de famílias desde o início evidentemente são os mais caros, especialmente o "bulk"/F<sub>2</sub> ou o "bulk"/F<sub>3</sub>. Eles necessitam da condução de experimentos com repetições, já a partir das gerações precoces, o que acarreta maior tempo no preparo do material, maior área, maior quantidade de insumos e dedicação do melhorista na condução e nas análises dos dados.

Independente do método de condução das populações segregantes observa-se ampla variação no número de famílias avaliadas (Abreu, 1997; Raposo, 1999; Pirola, 2000; Souza et al., 2000; Santos, 2001; Mendonça, 2001). Um questionamento feito, principalmente no "bulk" dentro de famílias F<sub>2</sub>, é sobre o número de famílias a ser avaliado para representar a população sob seleção. A maioria das informações disponíveis foi obtida a partir de simulações. Fouilloux & Bannerot (1988), por exemplo, mostraram que o sucesso do melhoramento é praticamente o mesmo quando se avalia um número relativamente pequeno de famílias, como 50, ou um número grande, acima de 500. Nesse caso, a principal restrição é que foi considerada herdabilidade igual a 100%, o que não é fato comum na prática. Ferreira (1998), simulando o efeito do número de famílias avaliadas, concluiu que, nas condições da precisão experimental em que são conduzidos os programas de melhoramento do feijoeiro na região sul de Minas, devem-se avaliar pelo menos 100 famílias, principalmente quando se trata de caracteres de baixa herdabilidade.

Apesar dos resultados apresentados por Ferreira (1998), alguns melhoristas argumentam que, a partir de uma quantidade fixa de parcelas experimentais, possível de ser manuseada no programa, é preferível avaliar um maior número de cruzamentos em detrimento do número de famílias de cada cruzamento. Cooper (1988) apresenta uma proposta de melhoramento com a cultura da soja, que reforça essa observação. O autor ressalta que seria preferível, num programa que tem condições para avaliar 3000 parcelas, realizar

100 cruzamentos por ano e avaliar 30 famílias por cruzamento, em vez de realizar somente dez cruzamentos e avaliar 300 famílias de cada cruzamento.

## **2.6 Interação genótipos por ambientes**

No Brasil, o feijoeiro é cultivado em praticamente todos os estados, nas mais variadas condições edafoclimáticas e em diferentes épocas e sistemas de cultivo. Aliado a isso, ocorre ampla variação no nível tecnológico, que vai desde o agricultor de subsistência até o empresário agrícola. Portanto, fica evidente a grande dificuldade para realizar com sucesso o melhoramento do feijoeiro nas condições brasileiras. Além do mais, nas condições tropicais, o melhorista tem um desafio muito maior do que aqueles das regiões temperadas. A instabilidade climática e a heterogeneidade dos solos são muito maiores nas condições tropicais, exigindo que as cultivares recomendadas aos agricultores devam aliar alta produtividade de grãos e maior estabilidade (Patemiani, 1986).

A manifestação fenotípica (F), em um determinado ambiente, é o resultado da ação do genótipo (G) sob influência do meio ambiente (A). Quando se consideram vários ambientes, detecta-se, além dos efeitos genéticos e de ambientes, um efeito adicional, proporcionado pela interação dos mesmos (GxA). Assim, a interação genótipos por ambientes ocorre porque o desempenho dos genótipos não é consistente nos vários ambientes, o que se deve ao comportamento diferenciado dos genótipos em resposta às variações ambientais (Souza Júnior & Vencovsky, 1989). Quando ocorre resposta diferencial dos genótipos com a variação dos ambientes mas a classificação não é alterada, este tipo de interação é denominada simples e não acarreta maiores problemas para a seleção. Por outro lado, quando ocorre alteração na ordem de classificação dos genótipos, a interação é denominada complexa (Cruz & Regazzi, 1997).

Segundo Ramalho et al. (1993), a interação não só interfere na recomendação de cultivares, como dificulta o trabalho do melhorista em relação

a vários aspectos. Por exemplo, a interação interfere na obtenção dos verdadeiros valores das estimativas dos componentes da variância genética, estimativas estas muito utilizadas para fins de melhoramento. Além do mais, a ocorrência de interação complexa entre as progênes irá diminuir a eficiência do programa de melhoramento, porque a seleção é normalmente realizada na média dos vários ambientes, o que não garante a seleção das melhores progênes para cada ambiente. Portanto, é consenso que a interação  $G \times A$  é um desafio para os melhoristas, pois afeta diretamente o progresso com a seleção (Ramalho et al., 1993).

Estudos comprovando a interação  $G \times A$  vêm sendo realizados utilizando principalmente ensaios finais, ou seja, um grupo pequeno de linhagens é avaliado em diferentes locais, anos e épocas de cultivo. Entretanto, em vários estudos realizados no feijoeiro em que se avaliaram progênes em diferentes gerações e/ou locais, observou-se também marcante interação (Abreu et al., 1990; Takeda et al., 1991; Raposo, 1999; Pirola, 2000; Santos, 2001). Este é um sério problema no melhoramento do feijoeiro pois, com raras exceções, as populações segregantes são avançadas ou submetidas à seleção em um único local. Assim, pode-se estar selecionando linhagens com adaptação a um ambiente específico, o que reduz a região de abrangência de recomendação da cultivar e a eficiência dos programas de melhoramento. Isto foi observado no estudo realizado por Pirola (2000), quando avaliou progênes  $F_{14:16}$  oriundas de uma população conduzida em "bulk" em três localidades distintas no Sul de Minas. O resultado mais expressivo desse trabalho foi que a seleção natural atuou preservando os indivíduos mais adaptados a um ambiente particular.

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Locais

Os experimentos foram conduzidos em Lavras e Coimbra, nas regiões sul e Zona da Mata de Minas Gerais, respectivamente. Em Lavras, situada a 918m de altitude, 21°14' S de latitude e 45°00' W de longitude, foi utilizada a área experimental do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras (UFLA). No município de Coimbra, os experimentos foram conduzidos na Estação Experimental de Coimbra, pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizado geograficamente a 690m de altitude, 20°45' S de latitude e 42°51' W de longitude.

### 3.2 Obtenção das populações segregantes

Foram utilizados como genitores, oito linhagens de feijoeiro de grãos tipo carioca, portadoras de fenótipos de interesse e obtidas em diferentes instituições (Tabela 3).

Os oito genitores foram cruzados utilizando-se do método piramidal (Fehr, 1987; Fouilloux & Bannerot, 1988). No primeiro ciclo de cruzamentos, foram obtidos quatro F<sub>1</sub> simples ou biparentais (HS): HS1/3 - (Pérola x FEB 200), HS6/8 - (H4-10 x MAR 2), HS2/4 - (AN 9022180 x IAPAR 31) e HS5/7 - (PF 9029975 x A 805). No segundo ciclo foram cruzados os quatro F<sub>1</sub> de modo a obter dois cruzamentos duplos (HD): HD1/3//6/8 e HD2/4//5/7. Por fim, no terceiro ciclo de cruzamentos, os dois F<sub>1</sub> duplos foram cruzados, obtendo-se assim o híbrido múltiplo HM1/3//6/8//2/4//5/7.

Os cruzamentos foram realizados de forma a obter aproximadamente cem sementes de cada híbrido simples e duplo, e trezentas do híbrido múltiplo, utilizando o método sem emasculação (Antunes et al., 1980). As sementes F<sub>1</sub>

foram multiplicadas, visando à obtenção de cerca de 5.000 sementes  $F_2$  de cada população. Parte das sementes foi utilizada para avaliação das populações segregantes  $F_2$  e parte foi guardada em câmara fria para a segunda avaliação envolvendo as gerações  $F_2$  e  $F_3$ , em um único experimento.

TABELA 3. Linhagens utilizadas na obtenção das populações segregantes.

Linhagens	Hábito		AN <sup>1</sup>	MA <sup>2</sup>	OI <sup>3</sup>	Tipo de grão	Origem
	Cresc.	Porte					
Pérola (1)	II/III	Semi-prostrado	S <sup>4</sup>	MR <sup>5</sup>	R <sup>6</sup>	Carioca/padrão	Embrapa
AN 9022180 (2)	II	Semi-ereto	S	MR	S	Carioca/padrão	Embrapa
FEB 200 (3)	II	Ereto	MR	S	R	Carioca/escuro	CIAT
IAPAR 31 (4)	II	Semi-ereto	MR	MR	S	Carioca/pintado	IAPAR
PF 9029975 (5)	II	Ereto	S	S	R	Carioca/escuro	UFLA
H 4-10 (6)	II/III	Semi-prostrado	MR	S	MR	Carioca/padrão	UFLA
A 805 (7)	II	Ereto	MR	S	R	Carioca/padrão	CIAT
MAR 2 (8)	III	Prostrado	-	R	S	Carioca/brilhante	CIAT

<sup>1</sup>AN - antracnose; <sup>2</sup>MA - mancha angular; <sup>3</sup>OI - oídio; <sup>4</sup>S - suscetível; <sup>5</sup>MR - moderadamente resistente; <sup>6</sup>R - resistente

### 3.3 Avaliação das populações segregantes

#### 3.3.1 Avaliação da geração $F_2$

As populações  $F_2$ , provenientes dos híbridos simples, duplos e múltiplo, foram avaliadas juntamente com os oito genitores. Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, com cinco repetições em parcelas de quatro linhas de cinco metros, espaçadas de 0,5m, numa densidade de 15 sementes por metro. Ao todo, foram avaliadas 20 parcelas por bloco, ou seja: oito parcelas dos genitores, sendo uma de cada; quatro dos híbridos simples, uma de cada; quatro dos híbridos duplos, duas de cada e quatro do híbrido múltiplo. Este procedimento foi adotado partindo do princípio de que o melhorista normalmente dispõe de

uma certa área experimental e, quase sempre, o tamanho da população vai depender do número de cruzamentos que ele está explorando.

Os experimentos foram conduzidos em Lavras e Coimbra, no inverno de 1999, com semeadura em julho. No plantio, foi empregado o equivalente a 400 kg/ha do fertilizante da fórmula 8-28-16 e, aos 25 dias após a emergência das plantas, 150 kg/ha de sulfato de amônio, em cobertura. Os experimentos conduzidos em Lavras foram instalados em áreas sob plantio direto, mais especificamente sobre palhada de milho. O suprimento de água, nos períodos de deficiência hídrica, foi mantido por irrigações suplementares, com lâminas de aproximadamente 25mm, semanalmente. Por meio do uso de herbicidas, em pré-plantio e em pós-emergência, as plantas foram mantidas livres de competição com plantas daninhas. O controle de doenças não foi efetuado em nenhum experimento e o de pragas somente quando a população das mesmas atingiam níveis extremamente altos.

No experimento de Lavras, além da produtividade de grãos por parcela, foram tomados dados de severidade de oídio (*Erysiphe polygoni*), arquitetura de planta e produção por planta, utilizando uma amostra de 25 plantas tomadas ao acaso em cada parcela. As avaliações de doença (severidade de oídio) e arquitetura de planta foram feitas conforme escalas propostas pelo CIAT (1987):

- **ocorrência de doenças:** escala diagramática, com notas variando de 1 (plantas sem nenhum sintoma da doença) a 9 (plantas totalmente infectadas pelo patógeno);
- **arquitetura de planta:** escala descritiva com notas variando de 1 a 9, sendo 1 (plantas sem nenhuma ramificação, eretas e nenhuma vagem tocando o solo) a 9 (plantas muito ramificadas e prostradas, “guia” longa e a maioria das vagens em contato com o solo).



### 3.3.2 Avaliação simultânea das gerações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>

Este experimento foi conduzido também em Lavras e Coimbra, na safra da seca de 2000, com semeadura em fevereiro, no delineamento de blocos ao acaso, de modo semelhante ao já apresentado para a avaliação da geração F<sub>2</sub>. Foram avaliadas as linhagens parentais e as gerações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub> de cada híbrido. Nos dois locais, foram obtidos dados de produtividade de grãos, arquitetura de planta e severidade de mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola*). Em Lavras, além das avaliações já mencionadas, foi também obtida a produção por planta, utilizando uma amostra de 25 plantas tomadas ao acaso em cada parcela. Os tratamentos culturais foram os mesmos empregados na avaliação da geração F<sub>2</sub>.

### 3.3.3 Análise genético-estatística - avaliação das populações F<sub>2</sub> e F<sub>2</sub> mais F<sub>3</sub>, simultaneamente

Os dados dos caracteres avaliados foram, inicialmente, submetidos à análise de variância por experimento, considerando os efeitos de tratamentos e a média como fixos, conforme o modelo estatístico:

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

em que:

$Y_{ij}$ : observação referente ao tratamento  $i$  dentro do bloco  $j$ ;

$m$ : média geral do experimento;

$t_i$ : efeito do tratamento  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, 20$  para a avaliação da geração F<sub>2</sub>;  $i = 1, 2, \dots, 32$  para a avaliação das gerações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>, simultaneamente).

$r_j$ : efeito da repetição  $j$  ( $j = 1, 2, 3, 4$  e  $5$ );

$e_{ij}$ : erro experimental associado à observação  $Y_{ij}$ , assumindo que os erros são independentes e normalmente distribuídos, com média zero e variância  $\sigma_e^2$ .

Posteriormente, foram realizadas as análises de variância conjunta dos locais por geração, ou seja, F<sub>2</sub> e F<sub>2</sub> mais F<sub>3</sub>, conforme Ramalho et al. (2000).

Vale salientar que, inicialmente, foi aplicado o teste de Hartley, certificando-se assim da homogeneidade de variância do erro, indicando, portanto, a possibilidade de realização das referidas análises conjuntas. Todos os efeitos foram considerados como fixos, exceto o efeito de bloco e o erro médio:

$$Y_{ijk} = m + t_i + r_{j(k)} + a_k + (ta)_{ik} + \bar{e}_{ijk}$$

em que:

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

$m$  : média geral do experimento;

$t_i$  : efeito do tratamento  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, 20$  para a avaliação da geração  $F_2$ ;  $i = 1, 2, \dots, 32$  para a avaliação das gerações  $F_2$  e  $F_3$ , simultaneamente).

$r_{j(k)}$  : efeito da repetição  $j$  dentro do local  $k$  ( $j = 1, 2, 3, 4$  e  $5$ );

$a_k$  : efeito do local  $k$  ( $k = 1, 2$ );

$(ta)_{ik}$  : efeito da interação entre o tratamento  $i$  e o local  $k$ ;

$\bar{e}_{ijk}$  : erro experimental médio associado à observação  $Y_{ijk}$ .

As estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos foram obtidas por meio dos dados de produtividade de grãos por planta, utilizando-se 25 plantas por parcela tomadas ao acaso em cada experimento, gerações  $F_2$  e/ou  $F_3$ . Inicialmente, estimou-se a variância fenotípica ( $\sigma_F^2$ ) de cada parcela e, posteriormente, a média das variâncias das parcelas que receberam os mesmos tratamentos nas diferentes repetições. Para cada população, na geração  $F_2$  ou  $F_3$ , foram estimadas a variância genética ( $\sigma_G^2$ ) e a herdabilidade no sentido amplo ( $h_a^2$ ), pelas seguintes expressões:

$$\sigma_{G_{2i}}^2 = \sigma_{F_{2i}}^2 - \sigma_{E_i}^2 \text{ ou } \sigma_{G_{3i}}^2 = \sigma_{F_{3i}}^2 - \sigma_{E_i}^2$$

$$h_a^2 = \frac{\sigma_{G_i}^2}{\sigma_{F_i}^2} \times 100$$

em que:

$\sigma_{G_{2i}}^2$  : variância genética da população i na geração F<sub>2</sub>;

$\sigma_{G_{3i}}^2$  : variância genética da população i na geração F<sub>3</sub>;

$\sigma_{F_{2i}}^2$  : variância fenotípica da população i na geração F<sub>2</sub>;

$\sigma_{F_{3i}}^2$  : variância fenotípica da população i na geração F<sub>3</sub>;

$\sigma_{E_i}^2$  : variância ambiental da população i, estimada a partir da média das variâncias fenotípicas dentro dos genitores envolvidos nos cruzamentos.

### 3.3.3.1 Predição do potencial dos híbridos com base nas estimativas dos componentes de média $m + a'$ e $d$

As estimativas dos componentes  $m+a'$  e  $d$  foram obtidas utilizando procedimento semelhante ao adotado por Oliveira et al. (1996), em que  $m$  é a média fenotípica de todas as linhagens possíveis, na geração F<sub>∞</sub>, do cruzamento de pais completamente contrastantes;  $a'$  é o somatório dos efeitos dos locos fixados com alelos favoráveis ou desfavoráveis nos genitores, ou seja, dos locos em que eles não são contrastantes e  $d$  é a soma algébrica dos efeitos dos locos em heterozigose, ou seja, é o desvio dos heterozigotos em relação à média. Na geração F<sub>∞</sub>, quando a homozigose completa for atingida, a média das linhagens será igual a  $m+a'$ , pois, nos locos que estão segregando, os efeitos dos homozigotos se anulam. Assim, a média das  $n$  linhagens possíveis irá depender apenas dos locos que estão fixados nos parentais.

Considerando que  $\bar{F}_{2i} = m + a'_i + \frac{1}{2} d_i$  e  $\bar{F}_{3i} = m + a'_i + \frac{1}{4} d_i$ , em que  $\bar{F}_{2i}$  e  $\bar{F}_{3i}$  são as médias das gerações  $F_2$  e  $F_3$ , respectivamente, da população  $i$ , o contraste  $2\bar{F}_{3i} - \bar{F}_{2i}$  é o estimador de  $m + a'_i$  e  $4(\bar{F}_{2i} - \bar{F}_{3i})$  de  $d_i$ .

### 3.3.3.2 Predição do potencial dos híbridos com base no procedimento de Jinks & Pooni (1976)

Por este método, estima-se a probabilidade da população em apreço originar linhagens que superem um determinado padrão. Essa probabilidade corresponde à área à direita de um determinado valor de  $x$  na abscissa da distribuição normal. Essa área foi calculada utilizando-se as propriedades de uma distribuição normal padronizada estimando a variável  $Z$  pela expressão  $Z = (x - m)/s$ , em que  $x$  é a média da linhagem considerada como padrão ( $\bar{L}$ ) que, no presente caso, foi a média da cultivar Pérola acrescida de 20%;  $m$  é a média das linhagens na geração  $F_\infty$  que, em um modelo sem dominância e no presente caso, corresponde à média da geração  $F_2$  ou  $F_3$ , isto é,  $m = \bar{F}_m$  e  $s$  é o desvio padrão fenotípico entre as linhagens ( $s = \sqrt{\sigma_{F_L}^2}$ ).

A variância genética entre as linhagens ( $\sigma_{G_i}^2$ ) corresponde a duas vezes a variância genética aditiva ( $\sigma_A^2$ ) presente na geração  $F_2$ . Considerando um modelo sem dominância, a variância fenotípica de  $F_2$  ( $\sigma_{F_2}^2$ ) contém  $\sigma_A^2 + \sigma_E^2$ . Assim,  $2\sigma_A^2 = 2\sigma_{F_2}^2 - 2\sigma_E^2$ . Considerando que a variância ambiental entre as linhagens seja semelhante à variância ambiental da geração  $F_2$ , tem-se que  $s = \sqrt{\sigma_{F_L}^2} = \sqrt{2\sigma_A^2 + \sigma_E^2} = \sqrt{2\sigma_{F_2}^2 - \sigma_E^2}$ . Portanto, para uma dada população  $i$ ,  $Z_i = (\bar{L} - \bar{F}_{2i}) / \sqrt{2\sigma_{F_2}^2 - \sigma_E^2}$ .

No caso da geração  $F_3$ , a variância fenotípica ( $\sigma_{F_3}^2$ ) contém  $1,5\sigma_A^2 + \sigma_E^2$ . Assim,  $\sigma_A^2 = \frac{\sigma_{F_3}^2 - \sigma_E^2}{1,5}$ . Novamente considerando que a variância ambiental entre as linhagens seja semelhante à variância ambiental da geração  $F_3$ , tem-se que  $\sqrt{\sigma_{F_i}^2} = \sqrt{2\sigma_A^2 + \sigma_E^2} = \sqrt{1,33\sigma_{F_3}^2 - 0,33\sigma_E^2}$ . Nesse caso,  $Z_i = (\bar{L} - \bar{F}_{3i}) / \sqrt{1,33\sigma_{F_3}^2 - 0,33\sigma_E^2}$

### 3.4 Avaliação de famílias

As populações segregantes oriundas dos diferentes tipos de híbridos foram conduzidas utilizando dois métodos comuns ao melhoramento de plantas autógamas: linhas derivadas de  $F_2$  ("bulk" dentro de famílias derivadas de plantas  $F_2$ ) e o método da população ou "bulk". As famílias provenientes dos dois métodos foram avaliadas conforme descrito a seguir.

#### 3.4.1 Método do "bulk" dentro de famílias derivadas de plantas $F_2$

Nas populações segregantes  $F_2$  foram tomadas, ao acaso, 392 plantas, sendo 33 de cada híbrido simples, 65 de cada híbrido duplo e 130 do híbrido múltiplo. As sementes de cada planta  $F_2$  foram multiplicadas visando obter quantidade suficiente para proceder à avaliação das famílias na geração  $F_4$ . Assim, as 392 famílias  $F_{2,4}$ , juntamente com os oito genitores, foram avaliadas quanto à produtividade de grãos em Lavras e Coimbra, no plantio do inverno de 2000, utilizando um látice triplo 20x20, com parcelas constituídas de duas linhas de dois metros, espaçadas de 0,5 metro. A adubação e os tratos culturais utilizados foram os já mencionados na avaliação da geração  $F_2$ .

Na safra da seca de 2001, os oito genitores e as famílias  $F_{2:5}$ , oriundas da colheita em "bulk" de cada família  $F_{2:4}$ , foram também avaliadas em Lavras e Coimbra, utilizando os mesmos procedimentos experimentais descritos em  $F_{2:4}$ .

### 3.4.2 Método do "bulk"

Parte das sementes  $F_2$  provenientes dos híbridos simples, duplos e múltiplo foram avançadas em "bulk" até a obtenção de sementes na geração  $F_4$ , em Lavras. Nessa geração foi realizada seleção para tipo de grão, sendo eliminados todos os grãos fora do padrão comercial "carioca". Posteriormente, as sementes selecionadas em cada híbrido foram semeadas em "bulk" no campo e, por ocasião da colheita, foram tomadas ao acaso 33 plantas de cada híbrido simples, 65 de cada híbrido duplo e 130 do híbrido múltiplo. As sementes destas plantas foram multiplicadas, originando assim famílias  $F_{4:5}$ . Na geração seguinte ( $F_6$ ), as 392 famílias  $F_{4:6}$ , juntamente como os genitores, foram avaliadas em Lavras e Coimbra, no inverno de 2001, utilizando um látice triplo 20x20 e parcelas de duas linhas de dois metros.

### 3.4.3 Análise genético-estatística - avaliação das famílias $F_{2:4}$ , $F_{2:5}$ e $F_{4:6}$

Procedeu-se às análises de variância da produtividade de grãos por local e geração, segundo o modelo seguinte, considerando todos os efeitos aleatórios, exceto a média.

$$Y_{ijp} = m + t_i + r_j + b_{p(j)} + e_{ijp}$$

em que:

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

$m$ : média geral do experimento;

$t_i$ : efeito do tratamento  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, 400$ );

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

$b_{p(j)}$ : efeito do bloco  $p$  dentro da repetição  $j$  ( $p = 1, 2, \dots, 20$ );

$e_{ijp}$ : erro experimental associado à observação  $Y_{ijp}$ , assumindo que os erros são independentes e normalmente distribuídos, com média zero e variância  $\sigma^2$ .

O modelo da ANAVA e as respectivas esperanças de quadrado médio são apresentadas na Tabela 4.

TABELA 4. Esquema da análise de variância por ambiente k (local ou geração) com as respectivas esperanças dos quadrados médios - E(QM).

Fonte de variação	QM	E(QM)
Entre todas as famílias ajustadas	$Q_1$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{G_k}^2$
Entre todas as famílias de HS	$Q_{11}$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{G_{1k}}^2$
Entre famílias de HS13	$Q_{111}$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{G_{11k}}^2$
Entre famílias de HS68	$Q_{112}$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{G_{12k}}^2$
Entre famílias de HS24	$Q_{113}$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{G_{13k}}^2$
Entre famílias de HS57	$Q_{114}$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{G_{14k}}^2$
Entre todas as famílias de HD	$Q_{12}$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{G_{2k}}^2$
Entre famílias de HD1368	$Q_{121}$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{G_{21k}}^2$
Entre famílias de HD2457	$Q_{122}$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{G_{22k}}^2$
Entre famílias de HM	$Q_{13}$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{G_{3k}}^2$
Erro efetivo	$Q_2$	$\sigma_e^2$

A partir das esperanças matemáticas dos quadrados médios, obtidas conforme recomendações de Vencovsky & Barriga (1992) e Ramalho et al. (2000), foram estimados os componentes de variância e alguns parâmetros genéticos e fenotípicos, ou seja:

- variância fenotípica entre as médias de todas as famílias no local k em cada geração ( $\hat{\sigma}_{F_k}^2$ )

$$\hat{\sigma}_{\bar{F}_k}^2 = \frac{Q_1}{r};$$

- b) variância fenotípica entre as médias das famílias dentro de cada tipo de híbrido, simples, duplo e múltiplo (o), no local k, em cada geração ( $\hat{\sigma}_{\bar{F}_{1ok}}^2$ )

$$\hat{\sigma}_{\bar{F}_{1ok}}^2 = \frac{Q_{1ok}}{r};$$

- c) variância fenotípica entre as médias das famílias dentro de cada híbrido simples q no local k, em cada geração ( $\hat{\sigma}_{\bar{F}_{11qk}}^2$ )

$$\hat{\sigma}_{\bar{F}_{11qk}}^2 = \frac{Q_{11qk}}{r};$$

- d) variância fenotípica entre as médias das famílias dentro de cada híbrido duplo s no local k, em cada geração ( $\hat{\sigma}_{\bar{F}_{12sk}}^2$ )

$$\hat{\sigma}_{\bar{F}_{12sk}}^2 = \frac{Q_{12sk}}{r};$$

- e) variância genética entre todas as famílias no local k, em cada geração ( $\hat{\sigma}_{G_k}^2$ )

$$\hat{\sigma}_{G_k}^2 = \frac{Q_1 - Q_2}{r}.$$

Utilizando-se as expressões apresentadas por Barbin (1993) e Ramalho et al. (2000), foram estimados os limites inferior e superior dos intervalos de confiança (IC), associados às estimativas das variâncias genéticas entre famílias:

$$IC = P \left[ \frac{Vp\sigma_{G_k}^2}{\chi_{\alpha/2}^2} < \sigma_{G_k}^2 < \frac{Vp\sigma_{G_k}^2}{\chi_{(1-\alpha)/2}^2} \right] = (1-\alpha)100\%$$

em que:



$\alpha$  : nível de significância (0,05);

$\hat{\sigma}_{G_k}^2$  : já definido anteriormente;

$Vp$  : número de graus de liberdade associados ao componente da variância genética, obtido segundo Sattertwhaite (1946):

$$Vp = \frac{(Q_1 - Q_2)^2}{\frac{(Q_1)^2}{gl_1} + \frac{(Q_2)^2}{gl_2}}$$

em que:

$Q_1$  : quadrado médio de famílias no local k, em cada geração;

$Q_2$  : quadrado médio do erro no local k, em cada geração;

$gl_1$  e  $gl_2$  : graus de liberdade associados aos quadrados médios respectivos;

$\chi_{\alpha/2}^2$  e  $\chi_{(1-\alpha)/2}^2$  : valores da distribuição teórica de  $\chi^2$  (qui-quadrado) para  $Vp$  graus de liberdade.

Foram também estimadas as herdabilidades ( $h^2$ ) no sentido amplo, na média das famílias, utilizando a expressão citada por Ramalho et al. (1993):

$$h_{m_k}^2 = \frac{\hat{\sigma}_{G_k}^2}{\hat{\sigma}_{F_k}^2} \times 100$$

em que:

$h_{m_k}^2$  : herdabilidade estimada em porcentagem relativa a todas as famílias no local k, em cada geração;

$\hat{\sigma}_{G_k}^2$  e  $\hat{\sigma}_{F_k}^2$  : já definidos anteriormente.

Foram também obtidos os limites inferior (LI) e superior (LS) das estimativas de  $h_{m_x}^2$ , pelas expressões apresentadas por Knapp et al. (1985), com confiança de  $1 - \alpha = 0,95$ :

$$LI = \left\{ 1 - \left[ \left( \frac{Q_1}{Q_2} \right)_{F_{(1-\alpha)/2; gl_2; gl_1}} \right]^{-1} \right\}$$

$$LS = \left\{ 1 - \left[ \left( \frac{Q_1}{Q_2} \right)_{F_{\alpha/2; gl_2; gl_1}} \right]^{-1} \right\}$$

em que:

$F$ : valor tabelado a  $(1-\alpha)/2$  e  $\alpha/2$ . É obtido invertendo-se os graus de liberdade e tomando-se o recíproco do valor tabelado;

$Q_1$  e  $Q_2$ : já definidos anteriormente;

$gl_1$  e  $gl_2$ : graus de liberdade de  $Q_1$  e  $Q_2$ , respectivamente.

Por fim, foi estimado o ganho esperado com a seleção das dez melhores famílias, conforme expressão apresentada por Ramalho et al. (1993):

$$G.S.(%) = ds \times h^2$$

em que:

$ds$ : diferencial de seleção, ou seja, a diferença entre a média das famílias selecionadas e a média geral de todas as famílias;

$h^2$ : herdabilidade do caráter, obtida conforme já apresentado anteriormente.

Com base no procedimento utilizado na estimativa da variância genética entre todas as famílias e seguindo o mesmo raciocínio utilizado nas estimativas da variância fenotípica (itens b, c e d), foram estimadas as variâncias genética,

herdabilidades e ganho esperado com a seleção, para famílias de cada tipo de híbrido, famílias de cada híbrido simples e famílias de cada híbrido duplo.

Utilizando-se as médias ajustadas de produtividade de grãos provenientes das análises individuais, foram realizadas as seguintes análises conjuntas: F<sub>2:4</sub>, Lavras e Coimbra; F<sub>2:5</sub>, Lavras e Coimbra e F<sub>4:6</sub>, Lavras e Coimbra. Todos os efeitos foram considerados como aleatório, exceto a média e local. Todas as análises de variância, inclusive as individuais, foram realizadas utilizando-se o programa MSTAT-C (1991). O modelo adotado foi o seguinte:

$$Y_{ijk} = m + t_i + r_{j(k)} + a_k + (ta)_{ik} + \bar{e}_{ijk}$$

em que:

$Y_{ijk}$ : observação referente ao tratamento  $i$ , na repetição  $j$ , no local  $k$ ;

$m$ : média geral do experimento;

$t_i$ : efeito do tratamento  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, 400$ );

$r_{j(k)}$ : efeito da repetição  $j$  dentro do local  $k$  ( $j = 1, 2, 3$ );

$a_k$ : efeito do local  $k$  ( $k = 1, 2$ );

$(ta)_{ik}$ : efeito da interação entre o tratamento  $i$  e o local  $k$ ;

$\bar{e}_{ijk}$ : erro efetivo médio.

As esperanças dos quadrados médios, E(QM), das análises de variância conjuntas encontram-se na Tabela 5.

**TABELA 5. Esquema da análise de variância conjunta dos locais em uma mesma geração com as respectivas esperanças dos quadrados médios .**

Fonte de variação	QM	E(QM)
Entre todas as famílias (G)	$Q_3$	$\sigma_e^2 + ar\sigma_{G'}^2$
Entre todas as famílias do HS ( $G_1$ )	$Q_{31}$	$\sigma_e^2 + ar\sigma_{G'_1}^2$
Entre famílias do HSq ( $G_{1q}$ )	$Q_{31q}$	$\sigma_e^2 + ar\sigma_{G'_{1q}}^2$
Entre todas as famílias do HD ( $G_2$ )	$Q_{32}$	$\sigma_e^2 + ar\sigma_{G'_2}^2$
Entre famílias do HDs ( $G_{2s}$ )	$Q_{32s}$	$\sigma_e^2 + ar\sigma_{G'_{2s}}^2$
Entre famílias do HM ( $G_3$ )	$Q_{33}$	$\sigma_e^2 + ar\sigma_{G'_3}^2$
G x locais	$Q_4$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{GL}^2$
$G_1$ x locais	$Q_{41}$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{G_1L}^2$
$G_{1q}$ x locais	$Q_{41q}$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{G_{1q}L}^2$
$G_2$ x locais	$Q_{42}$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{G_2L}^2$
$G_{2s}$ x locais	$Q_{42s}$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{G_{2s}L}^2$
$G_3$ x locais	$Q_{43}$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{G_3L}^2$
Erro efetivo médio	$Q_5$	$\sigma_e^2$

A partir das esperanças matemáticas dos quadrados médios foram estimados os componentes de variância e alguns parâmetros genéticos e fenotípicos, conforme descritos a seguir:

a) variância fenotípica entre as médias de todas as famílias na geração n ( $\hat{\sigma}_{\bar{F}_n}^2$ )

$$\hat{\sigma}_{\bar{F}_n}^2 = \frac{Q_3}{ar};$$

b) variância fenotípica entre as médias das famílias dentro de cada tipo de híbrido, simples, duplo e múltiplo (o), na geração n ( $\hat{\sigma}_{\bar{F}_{3on}}^2$ )

$$\hat{\sigma}_{\bar{F}_{3on}}^2 = \frac{Q_{3on}}{ar};$$

- c) variância fenotípica entre as médias das famílias dentro de cada híbrido simples q na geração n ( $\hat{\sigma}_{\bar{F}_{31qn}}^2$ )

$$\hat{\sigma}_{\bar{F}_{31qn}}^2 = \frac{Q_{31qn}}{ar};$$

- d) variância fenotípica entre as médias das famílias dentro de cada híbrido duplo s na geração n ( $\hat{\sigma}_{\bar{F}_{32m}}^2$ )

$$\hat{\sigma}_{\bar{F}_{32m}}^2 = \frac{Q_{32m}}{ar};$$

- e) variância da interação entre médias de todas as famílias x locais, na geração n ( $\hat{\sigma}_{GL_n}^2$ )

$$\hat{\sigma}_{GL_n}^2 = \frac{Q_4 - Q_5}{r};$$

- f) variância da interação entre médias das famílias dentro de cada tipo de híbrido, simples, duplo e múltiplo (o) x locais, na geração n ( $\hat{\sigma}_{G_1L_{4on}}^2$ )

$$\hat{\sigma}_{G_1L_{4on}}^2 = \frac{Q_{4on} - Q_5}{r};$$

- g) variância da interação entre médias das famílias dentro de cada híbrido simples q x locais, na geração n ( $\hat{\sigma}_{G_{1q}L_{41qn}}^2$ )

$$\hat{\sigma}_{G_{1q}L_{41qn}}^2 = \frac{Q_{41qn} - Q_5}{r};$$

- h) variância da interação entre médias das famílias dentro de cada híbrido duplo s x locais, na geração n ( $\hat{\sigma}_{G_{2s}L_{42m}}^2$ )

$$\hat{\sigma}_{G_{2sL \times 2sn}}^2 = \frac{Q_{42sn} - Q_5}{r};$$

i) variância genética ( $\sigma_{G_n}^2$ ) entre todas as famílias em cada geração n, sem a presença da interação,  $\sigma_{GL_n}^2$ . Esta estimativa foi obtida por meio da covariância do desempenho médio das famílias nos dois locais ( $COV_{kk'}$ ), ou seja:

$$COV_{kk'} = \frac{\sum x_k x_{k'} - \frac{(\sum x_k)(\sum x_{k'})}{n}}{n-1} = \sigma_{G_n}^2$$

em que:

$x_k$  e  $x_{k'}$ : médias das famílias nos locais 1 e 2;

$n$ : número de famílias.

Com base nas estimativas da covariância, obteve-se também a herdabilidade entre médias de todas as famílias para cada geração, pela expressão:

$$h^2 = \frac{COV_{kk'}}{\sigma_{F_n}^2} = \frac{COV_{kk'}}{(Q_3 / ar)}$$

em que:

$Q_3$ : quadrado médio de todas as famílias;

$a$  e  $r$ : número de locais e de repetições, respectivamente.

Também foi estimado o ganho esperado com a seleção das dez melhores famílias, conforme expressão já apresentada anteriormente.

Com base no procedimento utilizado na estimativa da variância genética entre todas as famílias e seguindo o mesmo raciocínio utilizado nas estimativas da variância fenotípica (itens b, c e d), foram obtidas estimativas de variância

genética, herdabilidade e ganho esperado com a seleção, para famílias de cada tipo de híbrido, de cada híbrido simples e de cada híbrido duplo.

Para compreender melhor as interações ( $\sigma_{GL}^2$ ), procedeu-se à sua decomposição em partes simples e complexa, conforme expressão apresentada por Vencovsky & Barriga (1992):

$$\sigma_{GL}^2 = 1/2(\sigma_{G_k} - \sigma_{G_{k'}})^2 + \sigma_{G_k} \cdot \sigma_{G_{k'}} (1 - r_G)$$

em que:

$\sigma_{G_k}$  e  $\sigma_{G_{k'}}$ : desvio genético entre as famílias, nos locais k e k', em cada geração;

$r_G$ : correlação genética entre as médias das famílias nos dois locais, em cada geração, obtida pela expressão:

$$r_G = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_{G_k} \cdot \sigma_{G_{k'}}$$

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Avaliação das populações F<sub>2</sub>

Os resumos das análises de variância relativos à avaliação das populações segregantes na geração F<sub>2</sub>, em Lavras e Coimbra, dos caracteres produtividade de grãos, arquitetura de planta e severidade de oídio, são apresentados na Tabela 1A. Na maioria dos casos, os coeficientes de variação foram baixos, indicando boa precisão experimental na avaliação das diferentes características.

Foram observadas diferenças significativas ( $P \leq 0,01$ ) entre os pais para todos os caracteres avaliados. O mesmo foi observado com relação às populações segregantes, exceto para produtividade de grãos, em Lavras. As diferenças mais pronunciadas ocorreram entre os híbridos simples. Contudo, exceto para arquitetura de planta, não houve diferença significativa entre os tipos de híbridos, isto é, o desempenho médio dos híbridos simples (HS), duplos (HD) e múltiplo (HM) foi semelhante (Tabela 1A). Foram avaliadas, no caso dos híbridos duplos (HD), duas amostras de cada e, do híbrido múltiplo (HM), quatro, para se ter o mesmo número de parcelas dos híbridos simples (HS). As fontes de variação entre amostras de HD1/3//6/8, entre amostras de HD2/4//5/7 e entre amostras de híbrido múltiplo, não apresentaram diferenças significativas para todos os caracteres, indicando que a amostra utilizada foi suficiente para representar bem as populações segregantes.

Utilizando as médias de produtividade de grãos dos dois ambientes, Lavras e Coimbra, foi realizada a análise conjunta e os resultados são apresentados na Tabela 6. Observaram-se diferenças significativas ( $P \leq 0,01$ ) para as fontes de variação pais, pais versus híbridos e entre os híbridos simples. Da mesma forma que nas análises individuais (Tabela 1A), não foram observadas



diferenças significativas entre as amostras dos híbridos duplos e também do híbrido múltiplo, realçando o que já foi comentado nas análises individuais.

**TABELA 6. Resumo da análise de variância conjunta da produtividade de grãos (kg/ha) referente aos experimentos de avaliação de populações F<sub>2</sub> oriundas de híbridos simples (HS), duplos (HD) e múltiplo (HM). Lavras e Coimbra, MG, inverno/1999.**

FV	GL	QM
Locais	1	40843177,100 **
Tratamentos	19	689961,675 **
Entre pais	7	384576,436 **
Pais vs híbridos	1	7640786,190 **
Entre híbridos	11	252297,003 **
Entre híbridos simples	3	781316,500 **
Entre híbridos duplos	1	17172,736
Entre tipos de híbridos	2	103337,870
Entre amostras de HD1/3//6/8	1	78450,340
Entre amostras de HD2/4//5/7	1	38421,380
Entre amostras de múltiplo	3	30199,120
Tratamentos x locais	19	141087,325 *
Entre pais x locais	7	299508,035 **
Pais vs híbridos x locais	1	3103,204
Entre híbridos x locais	11	52774,490
Entre híbridos simples x locais	3	71285,000
Entre híbridos duplos x locais	1	143400,630
Entre tipos de híbridos x locais	2	55723,340
Entre amostras de HD1/3//6/8 x locais	1	10237,815
Entre amostras de HD2/4//5/7x locais	1	94187,815
Entre amostras de múltiplo x locais	3	2488,960
Erro	152	73923,630
CV (%)		7,130
Média		3043,350

\* e \*\* Significativo pelo teste F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Apesar da significância da interação tratamentos x locais ( $P \leq 0,05$ ), não foi detectada significância para a fonte de variação híbridos x locais, indicando que as populações híbridas se comportaram de forma coincidente nos dois ambientes considerados. O mesmo não foi observado em relação aos pais, pois a interação pais x locais apresentou teste de F significativo a 1% de probabilidade.

Na Tabela 7 são apresentadas as médias de produtividade de grãos, arquitetura de planta e severidade de oídio dos pais e das populações segregantes. Confirmando a significância detectada pela análise de variância conjunta (Tabela 6), as linhagens parentais diferiram em produtividade de grãos. Estas variaram, na média dos dois locais, de 2.537 kg/ha (MAR 2) a 3.172 kg/ha (PF 9029975). Em Lavras, a linhagem H4-10 (2743 kg/ha) apresentou a menor produtividade, enquanto que, em Coimbra, essa linhagem foi uma das mais produtivas, evidenciando o efeito da interação pais x locais. Destaque especial deve ser dado para o parental PF 9029975, pois obteve a maior produtividade nos dois locais de avaliação.

Entre as populações segregantes, as médias de produtividade de grãos variaram de 2.811 kg/ha, para o híbrido simples HS6/8 (MAR 2 x H4-10) a 3.451 kg/ha, para o híbrido simples HS2/4 (IAPAR 31 x AN9022180). Os demais híbridos diferiram significativamente do HS6/8, mas não diferiram do HS2/4, mostrando assim uma boa performance.

Vale destacar que a produtividade média de grãos das populações segregantes foi 13,5% superior à observada para a média dos pais. Embora não estivessem envolvidas todas as combinações dos pais, esses participaram na mesma frequência, permitindo demonstrar a ocorrência de uma heterose média, o que possibilita inferir sobre a existência de alguma dominância no controle desse caráter.

**TABELA 7. Médias de produtividade de grãos (kg/ha), arquitetura de planta e severidade de oídio, referentes às populações F<sub>2</sub> oriundas de híbridos simples (HS), duplos (HD) e múltiplo (HM). Lavras e Coimbra, MG, inverno/1999.**

Pais/populações	Produtividade			Arquitetura (Lavras)	Oídio (Lavras)
	Lavras	Coimbra	Média		
PÉROLA (1) <sup>1</sup>	3495 B <sup>1</sup>	2321 B	2908 B	5,6 C	2,8 B
IAPAR 31 (2)	3159 C	2579 A	2869 B	5,0 B	7,0 D
FEB 200 (3)	3499 B	2374 B	2936 B	3,1 A	2,0 A
AN 9022180 (4)	3364 B	2314 B	2839 B	5,0 B	6,4 D
A 805 (5)	3531 B	2469 B	3000 B	3,5 A	1,8 A
MAR 2 (6)	3030 C	2044 B	2537 C	8,0 D	5,8 D
PF 9029975 (7)	3679 A	2665 A	3172 A	4,6 B	2,6 B
H4-10 (8)	2743 D	2579 A	2661 C	5,7 C	5,0 C
<b>Média dos pais</b>	<b>3313</b>	<b>2418</b>	<b>2865</b>	<b>5,1</b>	<b>4,2</b>
HS1/3	3877 a <sup>1</sup>	2673 a	3275 a	4,7 b	2,8 b
HS6/8	3341 b	2281 b	2811 b	7,0 d	5,6 d
HS2/4	3884 a	3019 a	3451 a	4,8 b	6,2 d
HS5/7	3749 a	2898 a	3323 a	3,2 a	2,0 a
HD1/3//6/8	3783 a	2809 a	3296 a	6,5 d	2,8 b
HD2/4//5/7	3705 a	2971 a	3338 a	4,7 b	4,5 c
HM1/3//6/8//2/4//5/7	3702 a	2820 a	3261 a	5,8 c	3,7 b
<b>Média dos híbridos</b>	<b>3720</b>	<b>2782</b>	<b>3251</b>	<b>5,2</b>	<b>3,9</b>
Média - HS	3713 1 <sup>1</sup>	2718 1	3215 1	4,9 1	4,2 1
Média - HD	3744 1	2890 1	3317 1	5,6 2	3,7 1
Média - HM	3702 1	2820 1	3261 1	5,8 2	3,7 1

<sup>1</sup> Médias seguidas da mesma letra ou número, na vertical, não diferem entre si (Scott e Knott, P≤0,05).

As linhagens IAPAR 31, AN 9022180, MAR 2 e H4-10 apresentaram suscetibilidade ao oídio, com notas variando de 5 a 7, numa escala de 1 (ausência de sintomas) a 9 (plantas totalmente infectadas) (Tabela 7). Isso também foi constatado nos híbridos simples oriundos dos cruzamentos envolvendo esses parentais. As linhagens parentais Pérola, FEB 200, A 805 e PF

9029975 foram as mais tolerantes ao oídio, com notas de severidade inferior a 3 e apresentaram também as maiores produtividades de grãos. Considerando somente as linhagens parentais, a estimativa da correlação genética ( $r_G$ ) entre severidade de oídio e produtividade de grãos foi relativamente alta e negativa (-0,65), indicando que a ocorrência desse patógeno teve reflexo na produtividade de grãos.

Quanto à arquitetura da planta, destacaram-se como sendo de porte mais ereto as linhagens FEB 200, A 805 e PF 9029975. Os híbridos HS1/3, HS2/4, HS5/7 e HD2/4//5/7 são os mais promissores em termos de potencial para geração de linhagens de porte ereto, conforme pode-se observar na Tabela 7. Já as populações híbridas HS6/8 e HD1/3//6/8 apresentaram as piores notas de arquitetura, ou seja, uma predominância, nessas populações, de plantas do tipo III, prostradas e com ramificação exuberante.

Nas Figuras 1, 2 e 3 são apresentadas as distribuições de frequência da produtividade de grãos por planta das populações segregantes, referentes ao experimento de Lavras. Considerando apenas as populações segregantes dos híbridos simples (Figura 1), verifica-se que as distribuições de frequência foram semelhantes, embora a amplitude de variação da população HS6/8 mostrasse ligeiramente superior. Com relação às populações dos híbridos duplos (Figura 2), as distribuições de frequência foram muito semelhantes às dos híbridos simples, embora fosse avaliado maior número de indivíduos de cada população. Na Figura 3 observam-se as distribuições de frequência dos três tipos de híbridos, em que são considerados o mesmo número de indivíduos por população. Novamente fica evidente que as distribuições de frequência são semelhantes; o mesmo ocorreu com a amplitude de variação.

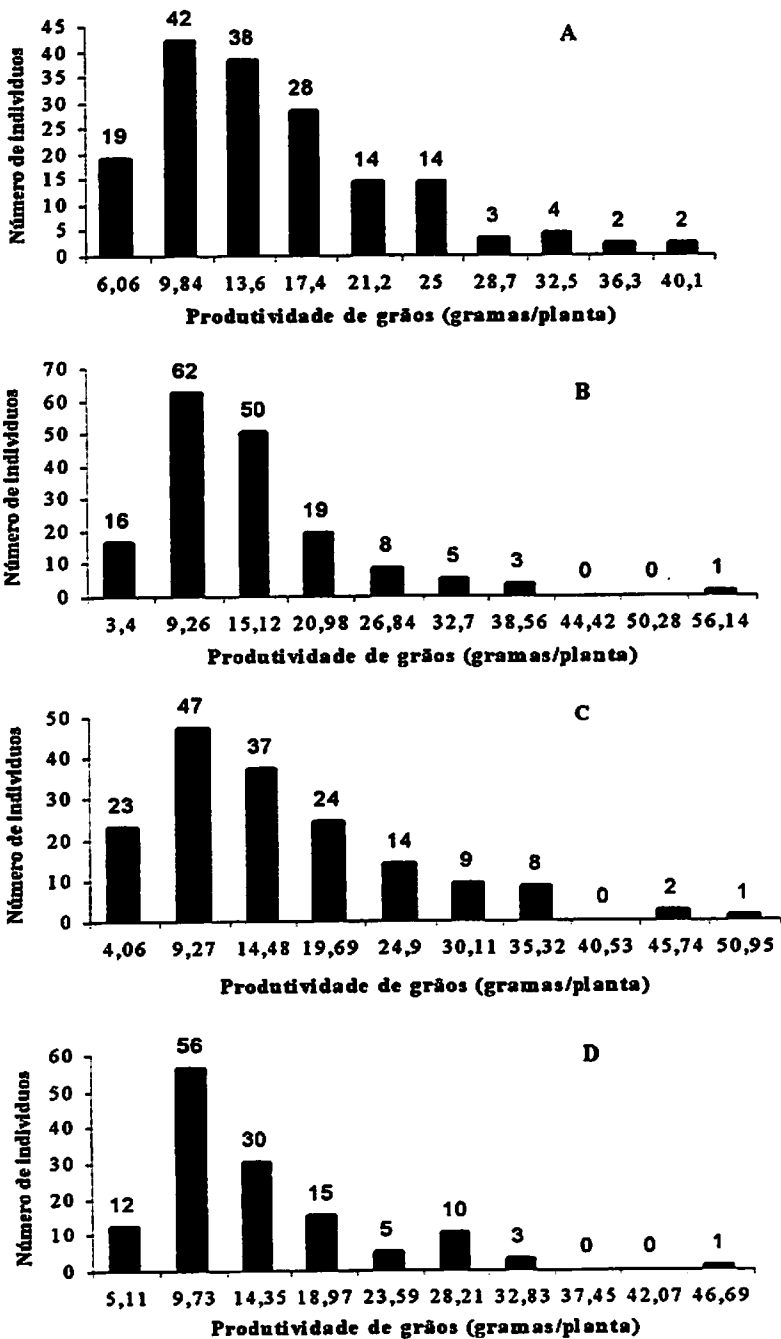


FIGURA 1. Distribuição de freqüência da produtividade de grãos (g/planta) de populações F<sub>2</sub> oriundas dos híbridos simples HS1/3 (A), HS6/8 (B), HS2/4 (C) e HS5/7 (D). Lavras, MG, inverno/1999.

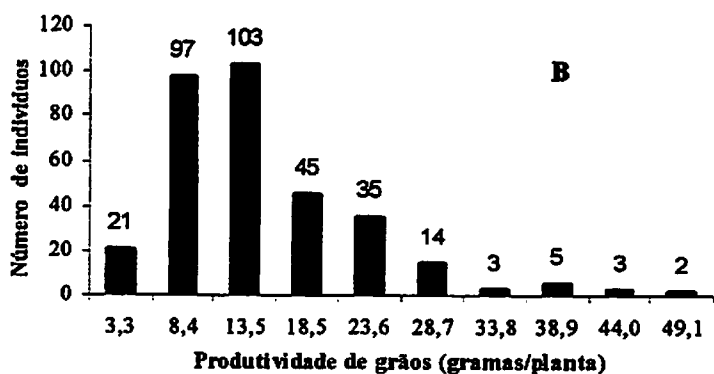
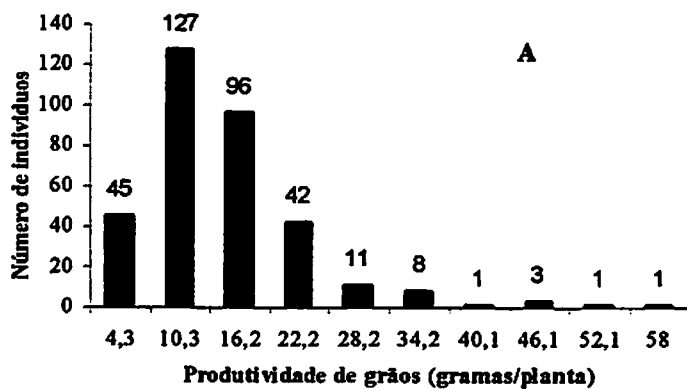


FIGURA 2. Distribuição de frequência da produtividade de grãos (g/planta) de populações F<sub>2</sub> oriundas dos híbridos duplos HD2/4/5/7 (A) e HD1/3/6/8 (B). Lavras, MG, inverno/1999.

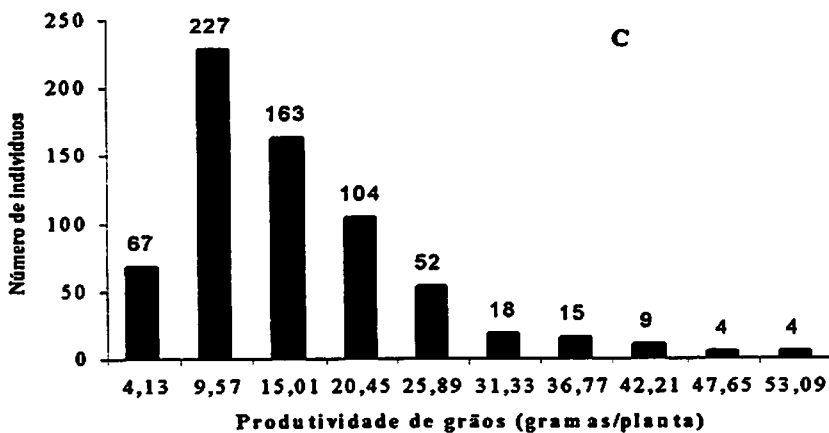
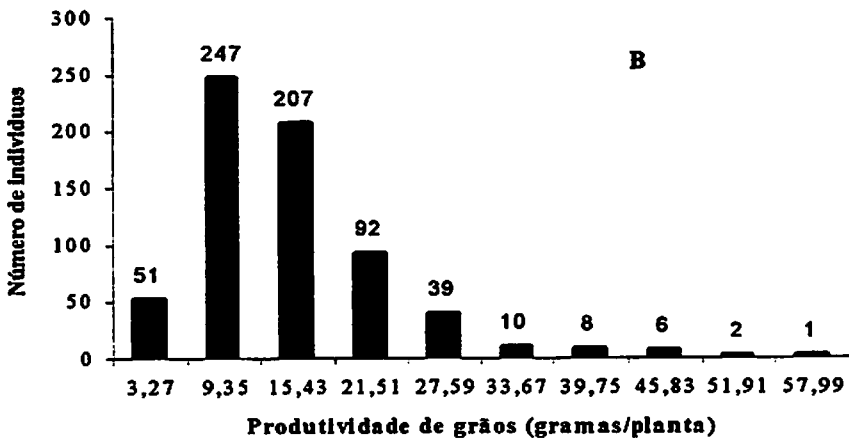
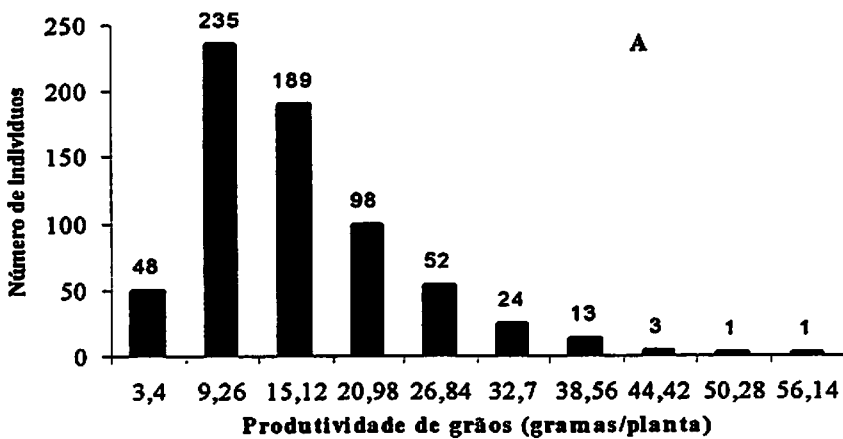


FIGURA 3. Distribuição de freqüência da produtividade de grãos (g/planta) de populações F<sub>2</sub> oriundas dos híbridos simples, duplos (B) e múltiplo (C). Lavras, MG, inverno/1999.

As estimativas da variância genética e herdabilidade no sentido amplo, para cada população, são apresentadas na Tabela 8. Observa-se que a estimativa da variância genética foi nula para a população HS5/7. O valor máximo dessa estimativa (31,8) foi observado na população derivada do híbrido simples HS2/4. Com base nesses resultados, pode-se inferir, a princípio, que a população HS5/7, apesar de ter apresentado boa produtividade de grãos, é limitada em termos de potencial para extração de linhagens superiores. Variância genética de magnitude semelhante à do híbrido simples HS2/4 também foi observada para o híbrido múltiplo. As estimativas de herdabilidade evidenciam que há possibilidade de sucesso com a seleção em todas as populações, exceto no HS5/7, cuja herdabilidade foi nula. Fica evidenciado também que as populações com maior probabilidade de sucesso com a seleção foram as provenientes do híbrido simples HS2/4, do híbrido duplo HD1/3//6/8 e do híbrido múltiplo, com estimativas de herdabilidade superior a 30%.

As estimativas das probabilidades, em porcentagem, de obtenção de linhagens superiores a cultivar Pérola (PSP), utilizado como padrão, conforme metodologia de Jinks & Pooni (1976), estão apresentadas na Tabela 8. Essas estimativas variaram de 25,2% para o híbrido simples HS5/7 a 43,7% para o híbrido simples HS2/4. De acordo com essa estimativa, as populações HS2/4, HD1/3//6/8, e HM foram as mais promissoras. Esses resultados corroboram com os já apresentados anteriormente, em relação às estimativas da herdabilidade.



TABELA 8. Médias de produtividade de grãos (g/planta) e estimativas da variância fenotípica ( $\sigma_{Fi}^2$ ), da variância ambiental ( $\sigma_{Ei}^2$ ), da variância genética ( $\sigma_{Gi}^2$ ), da herdabilidade ( $h^2$ ) e da probabilidade, em porcentagem, de obtenção de linhagens que superem o cultivar Pérola em 20% (PSP), referentes às populações F<sub>2</sub> de híbridos simples (HS), duplos (HD) e múltiplo (HM). Lavras, MG, inverno/1999.

Pais/populações	g/planta	$\sigma_{Fi}^2$	$\sigma_{Ei}^2$	$\sigma_{Gi}^2$	$h^2$	PSP (%)
PÉROLA (1) <sup>1</sup>	14,2	63,1	63,1	-	-	-
IAPAR 31 (2)	13,6	48,4	48,4	-	-	-
FEB200 (3)	13,8	32,0	32,0	-	-	-
AN9022180 (4)	12,4	37,3	37,3	-	-	-
A805 (5)	13,9	37,7	37,7	-	-	-
MAR2 (6)	13,1	37,6	37,6	-	-	-
PF9029975 (7)	13,7	58,1	58,1	-	-	-
H4-10 (8)	12,7	36,5	36,5	-	-	-
<b>Média dos genitores</b>	<b>13,4</b>	<b>43,8</b>	<b>43,8</b>	-	-	-
HS1/3	15,4	52,9	47,5	5,3	9,9	37,6
HS6/8	13,8	52,0	37,0	11,8	22,8	34,9
HS2/4	15,4	74,7	42,9	31,8	42,6	43,7
HS5/7	14,0	43,4	47,9	-4,5	0	25,2
HD1/3//6/8	14,8	64,1	42,3	20,3	39,0	40,8
HD2/4//5/7	14,5	56,0	45,4	10,6	19,0	38,1
HM	15,2	64,5	43,8	29,8	46,3	42,2

<sup>1</sup> Valores entre parênteses referem-se ao número do genitor.

#### 4.2 Avaliação simultânea das populações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>

Nas Tabelas 2A e 3A são apresentados os resumos das análises de variância por local, dos caracteres produtividade de grãos (kg/ha), arquitetura de planta e severidade de mancha angular. De modo geral, os experimentos apresentaram boa precisão experimental. Coeficientes de variação abaixo de 10% foram observados para produtividade de grãos e arquitetura de planta. Para severidade de mancha angular, o coeficiente de variação foi de 21,8% em Lavras

e de 18,9% em Coimbra. As fontes de variação que apresentaram teste de F significativo foram praticamente as mesmas observadas na avaliação da geração F<sub>2</sub>, apresentada anteriormente.

Os resumos das análises de variância conjuntas, da produtividade de grãos, arquitetura de planta e severidade de mancha angular, relativos à avaliação das populações nas gerações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>, em Lavras e Coimbra, são apresentados na Tabela 9. Chama a atenção, inicialmente, a significância ( $P \leq 0,01$ ) para a fonte de variação locais. A produtividade de grãos em Lavras foi 5,5% superior à observada em Coimbra (Tabelas 2A e 3A). Embora, para arquitetura de planta e severidade de mancha angular, fosse detectado efeito significativo de locais, as médias de notas dos referidos caracteres, nos dois locais, foram muito semelhantes (Tabelas 2A e 3A).

Novamente foi constatada diferença significativa entre os pais ( $P \leq 0,01$ ), para os três caracteres (Tabela 9). Assim como na geração F<sub>2</sub>, a interação pais x locais também foi significativa ( $P \leq 0,01$ ) para produtividade de grãos. As linhagens A 805 e MAR 2 estiveram entre as piores em Lavras e entre as melhores em Coimbra. Contudo, as linhagens parentais Pérola, IAPAR 31 e PF 9029975 apresentaram comportamento excelente e consistente nos dois ambientes, enquanto que as linhagens FEB 200 e H4-10 tiveram as piores performances (Tabela 10).

As linhagens parentais A 805 e PF 9029975 destacaram-se das demais quanto à arquitetura de planta (Tabela 11), com notas abaixo de 5, portanto apresentando plantas eretas. O mesmo foi observado no híbrido simples HS5/7, proveniente do cruzamento entre esses dois genitores. O oposto também ocorreu, pois as linhagens MAR 2 e H4-10, com notas altas de arquitetura, portanto prostradas, deram origem ao híbrido simples HS6/8, de pior desempenho quanto à arquitetura de planta, ou seja, plantas com alto grau de ramificação e prostradas.

Localis (L)		1	2048000,000 **	3,405 **	11,820 **
Tratamentos (T)		31	416621,250 **	4,640 **	16,450 **
Entre pais (P)		7	760442,100 **	9,305 **	35,730 **
Pais vs populações		1	3451201,615 **	0,735	19,375 **
Entre populações		23	180041,845 **	3,390 **	10,455 **
Entre geradores (G)		1	223931,504	0,817	2,017
Entre híbridos (H)		11	302748,804 **	6,893 **	21,168 **
Entre hib. simples		3	766607,846 **	17,711 **	64,636 **
Entre hib. duplos		3	89046,813	7,171 **	10,245 **
Entre amostras de HD1/3//6/8		1	93219,025	0,400	0,100
Entre amostras de HD2/4//5/7		1	476,100	0,100	0,006
HD1/3//6/8 vs HD2/4//5/7		1	173445,314	21,013 **	30,629 **
Entre amostras de hib. múltiplo		3	131416,813	0,086	0,608
Entre tipos de híbridos		2	184511,214	0,459	3,191 *
Híbridos x geradores		11	533209,141	0,123	0,508
Tratamentos x locais		31	195999,030 **	0,370 *	1,120 *
Pais x locais		7	411131,385 **	0,605 *	0,770
Pais vs populações x locais		1	3010,295	0,910	0,580
Populações x locais		23	138914,780 **	0,275	1,250 *
Híbridos x locais		11	210463,295 **	0,287	1,408 *
Entre hib. simples x locais		3	588116,646 **	0,236	1,461
Entre hib. duplos x locais		3	65623,746	0,471	3,203 **
Entre amostras de HD1/3//6/8 x locais		1	18447,025	0,000	0,100
Entre amostras de HD2/4//5/7 x locais		1	170563,600	0,400	0,056
HD1/3//6/8 vs HD2/4//5/7 x locais		1	7860,613	1,013 *	9,453 **
Entre amostras de hib. múltiplo x locais		3	15007,146	0,136	0,142
Entre tipos de híbridos x locais		2	154426,816	0,314	0,535
Geradores x locais		1	77364,504	0,017	0,417
H x G x L		11	73201,559	0,287	1,171
HS x G x L		3	54922,413	0,228	1,420
HD x G x L		3	55217,413	0,171	1,053
HM x G x L		3	87908,079	0,328	1,708
Tipos de híbridos x G x L		2	105536,717	0,488	0,169
Erro		248	63584,080	0,250	0,723
CV (%)	6,6	4,750	11,300	4,190	4,190
Média	3000	5,720	11,300	4,190	4,190

e \*\* Significativo pelo teste F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

TABELA 9. Resumo da análise de variância conjunta dos caracteres produtividade de grãos (kg/ha), arquitetura de planta e severidade de mancha angular, dos experimentos de avaliação de populações de híbridos simples (HS), duplos (HD) e múltiplo (HM), Lavras e Coimbra, MG, seca/2000.

Quadrado médio

Arquitetura

Mancha angular

TABELA 10. Médias de produtividade de grãos (kg/ha) dos pais e das populações segregantes F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub> oriundas de híbridos simples (HS), duplos (HD) e múltiplo (HM). Lavras e Coimbra, MG, seca/2000.

Pais/populações	Produtividade média de grãos (kg/ha)								
	Lavras			Coimbra			Média		
	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	Média	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	Média	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	Média
PÉROLA (1)			3255 B <sup>1</sup>			3001 A			3128 A
IAPAR 31 (2)			3496 A			2889 A			3193 A
FEB 200 (3)			2226 E			2653 B			2440 C
AN 9022180 (4)			3005 C			2367 B			2686 C
A 805 (5)			2428 E			2800 A			2614 C
MAR 2 (6)			2887 C			2853 A			2870 B
PF 9029975 (7)			3239 B			2816 A			3028 B
H4-J0 (8)			2705 D			2497 B			2601 C
Média dos pais			2905			2735			2820
HS1/3	2882	2922	2902 c	2921	2773	2847 a	2901	2848	2874 b
HS6/8	2999	2782	2891 c	3143	2889	3016 a	3071	2835	2953 b
HS2/4	3686	3492	3589 a	2967	3053	3010 a	3326	3272	3299 a
HSS/7	2794	2863	2829 c	3030	2960	2995 a	2912	2912	2912 b
HD1/3//6/8	3091	3093	3092 c	2911	2975	2943 a	3001	3034	3017 b
HD2/4//5/7	3191	3140	3165 b	3115	2997	3056 a	3152	3068	3110 a
HM1/3//6/8//2/4//5/7	3328	3137	3233 b	2954	3002	2978 a	3141	3070	3105 a
Média híbridos	3139	3061	3100	3006	2950	2978	3072	3006	3039

<sup>1</sup> Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si (Scott e Knott, P<0,05).

Quanto à resistência à mancha angular (Tabela 11), destacaram-se os genitores MAR 2, Pérola e AN 9022180, com notas abaixo de 4 na escala de severidade de mancha angular. A linhagem A 805 mostrou-se extremamente suscetível à mancha angular; isso manifestou-se também na população segregante HSS/7, onde a referida linhagem foi utilizada como um dos genitores.

O contraste pais versus populações segregantes foi significativo (P<0,01), exceto para arquitetura de planta (Tabela 9). Contudo, a interação desse contraste x locais foi não significativa. O desempenho médio das populações segregantes (3.039 kg/ha) foi 7,8% superior à média dos pais,

corroborando com os resultados relatados anteriormente, para a geração F<sub>2</sub>. Por outro lado, a fonte de variação gerações foi não significativa, indicando que as médias da geração F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub> foram semelhantes. Esse último resultado demonstra a predominância de efeito aditivo no controle do caráter. Novamente, a fonte de variação amostras dentro dos híbridos duplos e múltiplo foram não significativas (Tabela 9), evidenciando que não houve efeito de amostragem nas avaliações realizadas.

TABELA 11. Médias de notas de arquitetura de planta e severidade de mancha angular dos pais e das populações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub> oriundas de híbridos simples (HS), duplos (HD) e múltiplo (HM). Lavras e Coimbra, MG, seca/2000.

	Arquitetura			Mancha angular		
	Lavras	Coimbra	Média	Lavras	Coimbra	Média
PÉROLA (1)	6,0	6,1	6,0 C <sup>1</sup>	2,2	2,3	2,2 A
IAPAR 31 (2)	5,6	5,7	5,6 C	5,0	4,1	4,7 C
FEB 200 (3)	5,2	5,5	5,3 B	5,8	6,0	5,9 D
AN 9022180 (4)	5,0	5,7	5,3 B	3,6	3,6	3,6 B
A 805 (5)	4,0	4,1	4,0 A	7,0	7,3	7,1 D
MAR 2 (6)	7,6	6,8	7,3 D	1,6	2,2	1,8 A
PF 9029975 (7)	4,8	5,1	4,9 B	5,6	6,5	5,9 D
H4-10 (8)	6,8	6,2	6,6 D	5,2	5,9	5,5 C
<b>Média dos pais</b>	<b>5,6</b>	<b>5,7</b>	<b>5,6</b>	<b>4,5</b>	<b>4,7</b>	<b>4,6</b>
HS1/3	5,3	5,8	5,6 c <sup>1</sup>	3,9	5,1	4,5 c
HS6/8	6,9	7,0	7,0 d	2,3	3,0	2,7 a
HS2/4	5,3	5,8	5,6 c	3,1	3,0	3,1 b
HSS/7	4,6	4,8	4,7 b	6,4	6,9	6,6 d
HD1/3//6/8	6,3	6,2	6,3 c	3,6	3,4	3,5 b
HD2/4//5/7	5,1	5,4	5,2 b	4,2	5,3	4,7 c
HM1/3//6/8//2/4//5/7	5,7	6,0	5,8 c	3,7	4,0	3,8 b
<b>Média - HS</b>	<b>5,5</b>	<b>5,9</b>	<b>5,7</b>	<b>3,9</b>	<b>4,5 2<sup>1</sup></b>	<b>4,2 2</b>
<b>Média - HD</b>	<b>5,7</b>	<b>5,8</b>	<b>5,8</b>	<b>3,9</b>	<b>4,4 2</b>	<b>4,1 2</b>
<b>Média - HM</b>	<b>5,7</b>	<b>6,0</b>	<b>5,8</b>	<b>3,7</b>	<b>4,0 1</b>	<b>3,8 1</b>
<b>Média dos híbridos</b>	<b>5,6</b>	<b>5,9</b>	<b>5,8</b>	<b>3,7</b>	<b>4,3</b>	<b>4,0</b>

<sup>1</sup> Médias seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Scott e Knott, P<0,05).

Os resultados da análise conjunta, no que se refere às populações segregantes, foram semelhantes aos já comentados para a geração  $F_2$  (Tabelas 6 e 9). Novamente, a diferença mais expressiva foi entre os híbridos simples. O mesmo ocorreu quando consideraram-se as interações híbridos x locais. Nesse caso a única significância, para a produtividade de grãos, foi entre híbridos simples x locais. Entre as populações segregantes, a maior produtividade foi obtida pelo híbrido simples HS2/4 (3.589 kg/ha) em Lavras, diferindo estatisticamente dos demais (Tabela 10). Em Coimbra, todas as populações segregantes tiveram comportamento semelhante. Considerando os dois locais, as populações segregantes HS2/4, HD2/4//5/7 e HM foram as de melhor desempenho.

Com relação à arquitetura de planta e severidade de mancha angular, as populações segregantes apresentaram comportamento consistente nos dois ambientes (Tabelas 11). A população oriunda do híbrido simples HS5/7 apresentou notas de arquitetura inferiores a 5, destacando-se das demais quanto a esta característica. Contudo, essa população apresentou as piores notas de severidade de mancha angular. As demais populações, com notas médias de severidade de mancha angular inferiores a 5, mostraram-se mais resistentes a essa doença.

Para avaliar o potencial das populações segregantes, um dos critérios utilizados foi obter as estimativas de  $m+a'$  e da depressão por endogamia ( $d$ ). Considerando o desempenho médio nos dois locais (Tabela 12), verifica-se que as populações segregantes, onde se espera maior média das linhagens na geração  $F_{\infty}$ , maior estimativa de  $m+a'$ , são as oriundas do híbrido simples HS2/4 (IAPAR 31 x AN 9022180), dos híbridos duplos HD1/3//6/8 [(Pérola x FEB 200) x (MAR 2 x H4-10)] e HD2/4//5/7 [(IAPAR 31 x AN 9022180) x (A 805 x PF 9029975)] e do híbrido múltiplo (HM).

A maior estimativa de  $d$  é indicativo da existência de maior número de locos em heterozigose, que deverão segregar e, portanto, irão gerar maior variabilidade entre as linhagens na geração  $F_{\infty}$ . Nesse caso, o híbrido simples HS6/8 (MAR 2 x H4-10), com maior estimativa de  $d$ , é o que se espera maior variabilidade genética. Destaque especial deve ser dado para o híbrido simples HS2/4, o duplo HD2/4//5/7 e o múltiplo, que associam valores altos da estimativa de  $m+a'$  e também de  $d$ . Isto indica que essas três populações são as mais promissoras quanto à geração de linhagens superiores. Contudo, vale destacar que a contribuição de  $d$  em relação a  $m+a'$  foi de pequena magnitude. Em média, a estimativa de  $d$  correspondeu a 9,3% da estimativa de  $m+a'$ . Esse resultado reforça as observações anteriores, de que a contribuição da dominância não foi expressiva para o caráter produtividade de grãos nos dois locais.

TABELA 12. Estimativas dos componentes de média ( $m+a'_i$  e  $d_i$ ) de populações segregantes oriundas de híbridos simples (HS), duplos (HD) e múltiplo (HM), avaliadas nas gerações  $F_2$  e  $F_3$ , simultaneamente. Lavras e Coimbra, MG, seca/2000.

Populações (híbridos)	Lavras		Coimbra		Média	
	$m+a'_i$	$d_i$	$m+a'_i$	$d_i$	$m+a'_i$	$d_i$
HS1/3	2962	-160	2625	592	2794	214
HS6/8	2565	868	2635	1016	2599	944
HS2/4	3298	776	3139	-344	3218	216
HS5/7	2932	-276	2890	280	2912	2
HD1/3//6/8	3096	-10	3038	-254	3066	-131
HD2/4//5/7	3090	202	2880	470	2984	336
HM1/3//6/8//2/4//5/7	2946	764	3050	-192	2998	286

No caso do experimento de Lavras, foram coletados também dados de produtividade de grãos de plantas individuais e estimada a variância fenotípica e genética (Tabela 13). A obtenção de dados de plantas individuais, em feijão, é de baixa precisão, o que contribuiu para que não ocorresse uma perfeita concordância nas estimativas obtidas quando se consideraram as gerações  $F_2$  e  $F_3$ . Mesmo assim, algumas observações importantes podem ser obtidas. A população do híbrido simples HS1/3 liberou pouca variabilidade, a herdabilidade ( $h^2$ ) foi nula em  $F_2$  e de pequena magnitude em  $F_3$ . A mesma observação é válida para o híbrido simples HS5/7. A população com maior estimativa de  $d$ , HS6/8 (Tabela 12) não foi a de maior magnitude na estimativa de  $h^2$  (Tabela 13), como esperado. Mesmo assim, na média das duas gerações, ela foi superior a 27%. O destaque foi o híbrido múltiplo, cuja  $h^2$ , nas duas gerações, foi superior a 41%.

Com base na metodologia proposta por Jinks & Pooni (1976), foi estimado o potencial de cada híbrido para geração de linhagens superiores, utilizando as gerações  $F_2$  e  $F_3$ . As estimativas das probabilidades, em porcentagem, de obtenção de linhagens que superem em 20% a cultivar Pérola (PSP), estão apresentadas na Tabela 13. Essas estimativas, na média das duas gerações, variaram de 9,8% para o híbrido simples HS1/3 a 42,2% para o híbrido múltiplo. Como já relatado na avaliação anterior (geração  $F_2$ ), as populações HS2/4, HD1/3//6/8, HD2/4//5/7 e HM mostraram-se superiores às demais quanto ao potencial para geração de linhagens superiores. Esse fato é também comprovado pelas estimativas de herdabilidade obtidas (Tabela 13) e pelas estimativas de  $m+a'$  e  $d$ , apresentadas anteriormente (Tabela 12).



Genitores/populações	g/planta	$\sigma^2_{F_H}$	$\sigma^2_{E_H}$	$\sigma^2_{G_H}$	$h^2(\%)$	PSP
PEROLA (1)	14,190	48,720	48,720	48,720		
IAPAR 31 (2)	14,620	47,740	47,740	47,740		
FEB 200 (3)	11,680	26,960	26,960	26,960		
AN 9022180 (4)	13,260	37,310	37,310	37,310		
A 805 (5)	12,770	29,760	29,760	29,760		
MAR 2 (6)	12,910	43,120	43,120	43,120		
PF 9029975 (7)	13,700	52,250	52,250	52,250		
H4-10 (8)	14,710	47,050	47,050	47,050		
-----						
Média dos pais	13,480	41,610	41,610	41,610		
F2-HS1/3	12,345	30,868	37,840	-6,972	0	0
F2-HS6/8	13,273	56,219	45,085	11,134	19,80	32,490
F2-HS2/4	15,656	64,083	42,525	21,558	33,60	44,240
F2-HSS7	13,774	50,892	41,005	9,887	19,40	33,940
F2-HD1/3//6/8	14,590	69,090	41,463	27,627	40,00	40,320
F2-HD2/4//5/7	15,560	67,570	41,770	25,800	38,20	44,080
F2-HM	15,830	71,911	41,616	30,295	42,10	45,380
F3-HS1/3	11,447	40,885	37,840	3,045	7,40	19,545
F3-HS6/8	13,728	69,354	45,085	24,269	35,00	35,495
F3-HS2/4	14,355	68,967	42,525	26,442	38,30	38,209
F3-HSS7	12,330	36,828	41,005	-4,177	0	0
F3-HD1/3//6/8	14,148	65,560	41,463	24,097	36,80	36,957
F3-HD2/4//5/7	14,407	46,313	41,770	4,543	9,80	35,383
F3-HM	14,488	71,566	41,616	29,950	41,80	39,051

TABELA 13. Médias de produtividade de grãos (g/planta) e estimativas da variância fenotípica ( $\sigma^2_{F_H}$ ), da variância ambiental ( $\sigma^2_{E_H}$ ), da variância genética ( $\sigma^2_{G_H}$ ), da herdabilidade ( $h^2$ ) e da probabilidade, em porcentagem, de obtenção de linhagens superiores à cultivar Perola (PSP), referentes às populações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub> oriundas de híbridos simples (HS), duplos (HD) e múltiplo (HM). Lavras, seca/2000.

### **4.3 Avaliação de famílias derivadas de plantas F<sub>2</sub>**

Utilizando famílias derivadas de plantas F<sub>2</sub> foram avaliadas as gerações F<sub>4</sub> e F<sub>5</sub>, ou seja, famílias F<sub>2:4</sub> e F<sub>2:5</sub>. Os resumos das análises de variância por experimento (locais e gerações), para produtividade de grãos, são apresentados na Tabela 4A. A precisão experimental, avaliada pelo coeficiente de variação (CV), foi boa, pois este variou de 13,5% a 20,3%. A produtividade média obtida foi superior a 2.400 kg/ha em todos os ambientes e, no caso específico do experimento da seca de 2000, em Lavras, a média foi superior a 3.500 kg/ha. Esses resultados indicam que as condições ambientais foram favoráveis à cultura do feijoeiro.

Com relação à significância do teste de F para cada ambiente, verifica-se que elas foram muito semelhantes para as diferentes fontes de variação (Tabela 4A). Assim, em todas as condições, foi detectada diferença significativa ( $P \leq 0,01$ ) entre as famílias e entre os pais. No desdobramento da fonte de variação famílias, em todos os ambientes, apenas não foi detectada diferença significativa entre as famílias do híbrido simples HS5/7 (A 805 x PF 9029975). Merece ser salientado que resultado semelhante foi observado quando da avaliação das populações segregantes, gerações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub> (Tabelas 8 e 13), confirmando assim a menor variabilidade genética presente nessa população.

Na Tabela 14 são apresentados os resultados das análises de variância conjuntas dos locais por geração (F<sub>2:4</sub> e F<sub>2:5</sub>), referentes à produtividade de grãos. A média de produtividade dos experimentos de Lavras foi sempre superior à obtida em Coimbra, sendo essa superioridade mais acentuada (36,5%) quando da avaliação das famílias F<sub>2:4</sub> (Tabela 4A).

TABELA 14. Resumo das análises de variância conjuntas da produtividade de grãos (kg/ha), por geração, referentes aos experimentos de avaliação de famílias ( $F_{24}$  e  $F_{25}$ , oriundas de híbridos simples (HS), duplos (HD) e múltiplo (HM). Lavras e Coimbra, MG, seca e inverno de 2000.

Quadrado médio		Fontes de variação	
$F_{25}$	$F_{24}$	GL	
110223919,26 **	540409000,08 **	1	Locais (L)
1177306,43 **	737920,50 **	399	Tratamentos (T)
1187532,74 **	735354,68 **	391	Entre famílias
1043594,29 **	876759,37 **	131	Entre famílias de HS
790369,03 **	1684225,15 **	32	Entre famílias do HS1/3
759530,80 **	383373,80 **	32	Entre famílias do HS6/8
683149,70 **	498631,81 **	32	Entre famílias do HS2/4
319308,80	259154,65	32	Entre famílias do HS5/7
18345128,95 **	8162665,53 **	3	Entre HS
1252504,00 **	542153,49 **	129	Entre famílias de HD
1663755,00 **	463340,13 **	64	Entre famílias do HD1/3//6/8
816728,00 **	481287,84 **	64	Entre famílias do HD2/4//5/7
2822057,55 **	9480948,75 **	1	Entre HD
1129013,00 **	622494,40 **	129	Entre famílias de HM
10155080,69 **	11180149,90 **	2	Entre tipos de híbridos
774071,30 **	946936,61 **	7	Entre pais
1465,51	282534,00	1	Pais vs híbridos
651269,67 **	261386,34 **	399	Tratamentos x locais
642488,32 **	262371,43 **	391	Entre famílias x L
647681,11 **	293900,86 **	131	Entre famílias de HS x L
340472,64	597901,38 **	32	Entre famílias de HS1/3 x L
267494,53	138374,93	32	Entre famílias de HS6/8 x L
426533,34 **	182033,99	32	Entre famílias de HS2/4 x L
331403,86	179177,17	32	Entre famílias de HS5/7 x L
13713525,34 **	1123979,97 **	3	Entre tipos de HS x L
562905,13 **	210892,16	129	Entre famílias de HD x L
713361,04 **	219852,54	64	Entre famílias de HD1/3//6/8 x L
348977,71 *	198835,73	64	Entre famílias de HD2/4//5/7 x L
4624620,00 **	403698,75	1	Entre tipos de HD x L
721931,93 **	280710,56 **	129	Entre famílias de HM x L
312995,79	328057,65	2	Entre tipos de híbridos x L
1232512,69 **	206309,46	7	Entre pais x L
16099,24	261083,80	1	Pais vs híbridos x L
243758,15	189175,71	1482	Erro médio
17,4	9,6		CV (%)
2681	3072		Média

\* e \*\* Significativo, pelo teste F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Diferenças significativas entre pais foram observadas em ambas as gerações. Contudo, a interação pais x locais foi significativa apenas na geração F<sub>2:5</sub> (inverno/2000), evidenciando que, nessa geração, o comportamento dos pais não foi coincidente nos dois locais (Tabela 14). As médias de produtividade de grãos das linhagens parentais e dos híbridos estão apresentadas na Tabela 15. Nas duas safras (gerações F<sub>2:4</sub> e F<sub>2:5</sub>), o contraste pais vs híbridos foi não significativo para produtividade de grãos (Tabela 14), indicando predominância de ação gênica aditiva no controle desse caráter.

TABELA 15 Médias de produtividade de grãos (kg/ha) dos pais e das famílias F<sub>2:4</sub> e F<sub>2:5</sub>, oriundas de híbridos simples (HS), duplos (HD) e múltiplo. Lavras e Coimbra, MG, seca e inverno de 2000.

Pais/famílias	F <sub>2:4</sub>			F <sub>2:5</sub>		
	Lavras	Coimbra	Média	Lavras	Coimbra	Média
<b>Média dos pais</b>	<b>3695</b>	<b>2600</b>	<b>3147</b>	<b>2883</b>	<b>2490</b>	<b>2686</b>
Pérola (1)	4132 A <sup>1</sup>	2376 B	3254 A	3522 A	2478 B	3000 A
IAPAR 31 (2)	4033 A	3156 A	3595 A	2776 B	1750 B	2263 B
FEB 200 (3)	3191 B	2127 B	2659 B	3383 A	2080 B	2732 A
AN 9022180 (4)	4091 A	2621 B	3356 A	2470 B	2186 B	2328 B
A 805 (5)	3195 B	2120 B	2658 B	2869 B	1936 B	2403 B
MAR 2 (6)	3481 B	2547 B	3014 B	2186 B	3170 A	2678 A
PF 9029975 (7)	4227 A	3181 A	3704 A	3582 A	3069 A	3326 A
H4-10 (8)	3208 B	2668 B	2938 B	2273 B	3253 A	2763 A
<b>Hib. simples (HS)</b>	<b>3407 2<sup>1</sup></b>	<b>2462 3</b>	<b>2934 2</b>	<b>2748 2</b>	<b>2361 3</b>	<b>2555 3</b>
HS1/3	3227 b <sup>1</sup>	2108 c	2668 d	2752 b	2114 c	2433 c
HS6/8	3278 b	2527 b	2902 c	2499 c	2864 a	2682 b
HS2/4	3619 a	2666 a	3143 a	2421 c	1981 c	2201 d
HS5/7	3503 a	2546 b	3025 b	3321 a	2487 b	2904 a
<b>Hib. duplo (HD)</b>	<b>3620 1</b>	<b>2632 2</b>	<b>3126 1</b>	<b>2947 1</b>	<b>2481 2</b>	<b>2714 2</b>
HD1/3//6/8	3487	2544	3016	2930	2618	2774
HD2/4//5/7	3753	2719	3236	2964	2344	2654
<b>Hib. múltiplo (HM)</b>	<b>3606 1</b>	<b>2700 1</b>	<b>3153 1</b>	<b>2994 1</b>	<b>2557 1</b>	<b>2776 1</b>
<b>Média dos híbridos</b>	<b>3544</b>	<b>2597</b>	<b>3070</b>	<b>2896</b>	<b>2466</b>	<b>2681</b>

<sup>1</sup> Médias seguidas da mesma letra ou número, na vertical, não diferem entre si (Scott e Knott, P≤0,05).

Na avaliação das famílias  $F_{2,4}$  (seca/2000), destacaram-se as linhagens PF 9029975 (3.704 kg/ha) e IAPAR 31 (3.595 kg/ha); o pior desempenho foi observado pelas linhagens FEB 200 (2.659 kg/ha) e A 805 (2.658 kg/ha). Já na safra seguinte em Lavras, geração  $F_{2,5}$ , as maiores produtividades foram obtidas pelas linhagens PF 9029975 e Pérola (Tabela 15). Contudo, em Coimbra, nessa mesma geração, as linhagens que apresentaram as maiores médias de produtividade (H4-10 e MAR 2) foram as de menor produtividade em Lavras, realçando a ocorrência da interação pais x locais, detectada na avaliação do inverno de 2000.

A ocorrência da interação pais x locais fica bem evidenciada também pela estimativa do coeficiente de correlação classificatória de Spearman do desempenho médio dos pais nos dois locais (geração  $F_{2,5}$ ), que foi até negativo ( $r = -0,29$ ). Isso indica que o comportamento dos pais foi bem diferente nos dois locais.

Nas análises conjuntas dos locais por geração também não foram detectadas diferenças significativas somente entre famílias do híbrido simples HS5/7, como já ocorrido nas análises de variância individuais (Tabela 4A). A menor variabilidade genética nessa população é também confirmada pelos resultados apresentados na Tabela 16. Verifica-se que, em todos os ambientes (locais e gerações), as menores amplitudes de variação ocorreram entre as famílias provenientes do referido híbrido simples. A pequena magnitude da estimativa da variância genética ( $\sigma_G^2$ ) e herdabilidade ( $h^2$ ) desse híbrido também corroboram com esses resultados (Tabela 17). Todos esses resultados são coerentes com os já relatados da avaliação dos bulks  $F_2$  e  $F_3$  (Tabelas 8 e 13).

Quando se considera a variação das demais combinações híbridas, verifica-se que, na avaliação das famílias  $F_{2,4}$ , em ambos os locais, a maior amplitude de variação foi observada para o híbrido simples HS1/3. Já entre as famílias  $F_{2,5}$ , quando se consideraram os dois locais simultaneamente, a maior

amplitude de variação foi observada para o híbrido duplo HD1/3//6/8. Esses resultados são, até certo ponto, coerentes com as estimativas das variâncias genética e herdabilidades apresentadas na Tabela 17.

TABELA 16. Limite inferior (LI), limite superior (LS) e amplitude de variação (AV) da produtividade de grãos de famílias  $F_{2,4}$  e  $F_{2,5}$ , provenientes de híbridos simples (HS), duplos (HD) e múltiplo (HM), avaliadas em Lavras e Coimbra, MG, seca e inverno de 2000.

Famílias	Lavras			Coimbra			Conjunta		
	LI	LS	AV	LI	LS	AV	LI	LS	AV
$F_{2,4}$									
HS1/3	889	4172	3283 (102) <sup>1</sup>	1119	2923	1804 (86)	1004	3487	2483 (93)
HS6/8	2615	4035	1420 (43)	2118	3018	900 (36)	2415	3457	1042 (36)
HS2/4	2796	4407	1611 (45)	1893	3255	1362 (51)	2345	3734	1389 (44)
HSS/7	2778	4011	1233 (35)	2096	3097	1001 (39)	2700	3387	687 (23)
HD1/3//6/8	2648	4294	1646 (47)	1813	3354	1541 (61)	2406	3581	1175 (39)
HD2/4//5/7	2813	4496	1683 (45)	2000	3364	1364 (50)	2571	3876	1305 (40)
HM	2037	4738	2701 (75)	1711	3507	1796 (67)	1991	4084	2093 (66)
HS - Total	889	4407	3518 (103)	1119	3255	2136 (87)	1004	3734	2730 (93)
HD - Total	2648	4496	1848 (51)	1813	3364	1551 (59)	2406	3876	1470 (47)
Híbridos-Total	889	4738	3849 (109)	1119	3507	2388 (92)	1004	4084	3080 (100)
$F_{2,5}$									
HS1/3	1575	3528	1953 (71)	1153	2788	1635 (77)	1751	3158	1407 (58)
HS6/8	1775	3091	1316 (53)	1739	4076	2337 (82)	2042	3332	1290 (48)
HS2/4	1431	3341	1910 (79)	944	2731	1787 (90)	1529	2717	1188 (54)
HSS/7	2561	4015	1454 (44)	1955	3122	1167 (47)	2424	3491	1067 (37)
HD1/3//6/8	1626	4252	2626 (90)	1351	3925	2574 (98)	1489	3925	2436 (88)
HD2/4//5/7	2113	3961	1848 (62)	1329	3319	1990 (85)	1721	3389	1668 (63)
HM	2043	4210	2167 (72)	1086	4206	3120 (122)	1766	3817	2051 (74)
HS - Total	1431	4015	2584 (94)	944	4076	3132 (133)	1569	3491	1922 (75)
HD - Total	1626	4252	2626 (89)	1329	3925	2596 (105)	1489	3925	2436 (90)
Híbridos-Total	1431	4252	2821 (97)	944	4206	3262 (132)	1489	3925	2436 (91)

<sup>1</sup> Porcentagem em relação à média do referido híbrido, apresentada na Tabela 15.

TABELA 17. Estimativas de variância genética ( $\sigma_G^2$ ) e herdabilidade ( $h_a^2$ ) relativas à produtividade de grãos (kg/ha) das famílias F<sub>2:4</sub> e F<sub>2:5</sub>, oriundas de híbridos simples (HS), duplos (HD) e múltiplo (HM). Lavras e Coimbra, MG, seca e inverno de 2000.

Famílias	F <sub>2:4</sub>					
	Lavras		Coimbra		Conjunta	
	$\sigma_G^2 \times 1000$	$h_a^2$ (%)	$\sigma_G^2 \times 1000$	$h_a^2$ (%)	$\sigma_G^2 \times 1000$	$h_a^2$ (%)
Híbridos	136,7 (110,1; 173,2) <sup>1</sup>	64 (57; 70)	69,7 (55,2; 91,4)	58 (50; 65)	78,8	64
HS	180,9 (131,0; 263,4)	70 (61; 77)	83,2 (58,4; 128,9)	63 (51; 71)	97,1	66
HS1/3	537,4 (324,0; 1003,8)	88 (78; 92)	97,2 (51,9; 240,9)	66 (40; 78)	181,1	64
HS6/8	39,3 (12,8; 296,4)	34 (-16; 58)	8,5 (1,1; 5661,8)	15 (-51; 45)	40,8	64
HS2/4	50,5 (19,6; 303,3)	40 (-6; 62)	50,3 (23,0; 184,8)	50 (12; 68)	52,8	63
HS5/7	14,3 (2,2; 11145,6)	16 (-49; 46)	5,7 (0,4; 19,5)	10 (-58; 43)	13,3	31
HD	83,6 (54,4; 142,8)	52 (37; 63)	41,3 (25,7; 79,7)	45 (28; 58)	55,2	61
HD1/3//6/8	62,5 (31,9; 157,7)	45 (19; 61)	39,1 (20,2; 107,3)	44 (17; 60)	40,6	53
HD2/4//5/7	71,1 (37,6; 165,0)	48 (23; 63)	29,5 (13,3; 93,7)	37 (7; 55)	47,1	59
HM	119,3 (82,1; 185,9)	61 (48; 70)	55,6 (36,3; 93,8)	53 (38; 63)	57,0	55
F <sub>2:5</sub>						
Híbridos	168,3 (137,9; 211,0)	68 (62; 73)	279,2 (233,9; 338,5)	77 (73; 81)	90,8	44
HS	194,2 (141,7; 283,3)	71 (62; 77)	207,0 (150,6; 299,5)	71 (62; 78)	66,0	46
HS1/3	109,8 (53,6; 307,8)	58 (26; 73)	104,6 (50,3; 317,0)	56 (22; 72)	75,0	57
HS6/8	46,7 (18,1; 416,7)	37 (-11; 60)	133,1 (68,7; 364,5)	62 (32; 75)	82,0	57
HS2/4	103,6 (51,5; 324,3)	57 (24; 72)	103,8 (49,9; 312,5)	56 (22; 72)	42,8	65
HS5/7	30,5 (9,9; 1449,7)	28 (-27; 54)	23,9 (5,1; 731,4)	22 (-37; 50)	-2,0	38
HD	169,2 (121,1; 250,7)	68 (58; 75)	273,4 (203,9; 388,0)	77 (69; 82)	114,9	55
HD1/3//6/8	211,9 (137,3; 360,2)	73 (60; 81)	417,9 (289,1; 673,2)	83 (75; 88)	158,4	57
HD2/4//5/7	129,8 (80,3; 255,0)	62 (44; 73)	96,2 (55,2; 211,5)	54 (31; 67)	78,0	57
HM	110,5 (75,8; 180,2)	58 (45; 68)	344,0 (259,8; 479,0)	81 (74; 85)	67,8	36

<sup>1</sup> Valores entre parênteses referem-se ao intervalo de confiança, considerando P≤0,05.

A interação famílias x locais foi significativa ( $P \leq 0,01$ ) nas duas gerações (Tabela 14). Entretanto, no desdobramento dessa fonte de variação, os resultados não foram coincidentes nas duas gerações. Na avaliação das famílias  $F_{2,4}$ , o teste de F foi significativo ( $P \leq 0,01$ ), somente para as interações famílias de híbrido simples HS1/3 x locais e famílias de híbrido múltiplo x locais. Na geração seguinte, o teste de F só não foi significativo quando se consideraram as interações famílias de HS1/3 x locais, famílias de HS6/8 x locais e famílias de HS5/7 x locais.

Para estudar melhor essas interações, foi estimado o componente de variância da interação ( $\sigma_{GE}^2$ ) e sua decomposição em parte simples e complexa (Tabela 18). Verifica-se que, como era esperado, a maior estimativa de  $\sigma_{GE}^2$  foi observada na avaliação das famílias  $F_{2,4}$  do híbrido simples HS1/3 ( $\sigma_{GE}^2 = 136200$ ), valor esse correspondente a 75% da estimativa da variância genética. É importante salientar, contudo, que houve predominância da parte simples da interação. Quando da avaliação das famílias  $F_{2,5}$ , a contribuição da variância da interação em relação à variância genética foi muito mais expressiva, exceto no caso dos híbridos simples HS1/3 e HS6/8 e do duplo HD2/4//5/7. Adicionalmente, nessa geração, constatou-se predominância da parte complexa da interação. Esse fato fica bem realçado pelas menores estimativas da correlação genética do desempenho médio das famílias nos dois locais.

Procurou-se também verificar o efeito da interação entre gerações, dentro de um mesmo local. Para isto, foram estimadas as correlações genéticas do desempenho das famílias nas duas condições (Tabela 19). Veja que a variação nas estimativas foi muito mais acentuada em Coimbra, indicando que, nesse local, as diferenças na contribuição da interação famílias x gerações foi muito mais expressiva. Contudo, em ambos os locais, as correlações foram de



magnitude menor que as apresentadas na Tabela 18, indicando que as interações com locais são menos expressivas que com época de semeadura (gerações).

TABELA 18. Estimativas, por geração, de coeficientes de correlação genética entre locais ( $r_{G_{LC}}$ ) e de componentes da interação famílias x locais ( $\sigma_{GE}^2$ ), considerando o desempenho de famílias provenientes de híbridos simples (HS), duplos (HD) e múltiplo (HM), avaliadas nas gerações F<sub>4</sub> (famílias F<sub>2,4</sub>) e F<sub>5</sub> (famílias F<sub>2,5</sub>), em Lavras e Coimbra, MG, seca e inverno de 2000.

Famílias	$r_{G_{LC}}$	$\sigma_{GE}^2$			$\sigma_{GE}^2 / \sigma_G^2$
		Simples	Complexa	Total	
<b>F<sub>2,4</sub> - Lavras e Coimbra, seca/2000</b>					
Híbridos	0,81	5588,6	18811,4	24400,0	0,31
Híbridos simples (HS)	0,79	9368,0	25582,0	34950,0	0,36
HS1/3	0,79	88749,6	47450,4	136200,0	0,75
HS6/8	2,23	5623,0	-22523,0	-16900	0
HS2/4	1,05	0,1	-2400,1	-2400,0	0
HS5/7	1,47	971,7	-4271,7	-3300,0	0
Híbridos duplos (HD)	0,94	3690,5	3559,5	7250,0	0,13
HD1/3//6/8	0,82	1365,7	8834,3	10200,0	0,25
HD2/4//5/7	1,03	4502,1	-1302,1	3200,0	0,07
Híbrido múltiplo (HM)	0,70	6006,3	24443,7	30450,0	0,53
<b>F<sub>2,5</sub> - Lavras e Coimbra, inverno/2000</b>					
Híbridos	0,42	6979,7	125970,3	132950,0	1,46
Híbridos simples (HS)	0,33	102,1	134497,9	134600,0	2,04
HS1/3	0,70	31,5	32168,5	32200,0	0,43
HS6/8	1,04	11059,9	-3159,9	7900,0	0,10
HS2/4	0,41	0	60900,0	60900,0	1,42
HS5/7	-0,07	200,9	28999,1	29200,0	∞
Híbridos duplos (HD)	0,53	6220,3	100179,7	106400,0	0,93
HD1/3//6/8	0,53	17321,4	139178,6	156500,0	1,00
HD2/4//5/7	0,70	1255,8	33744,2	35000,0	0,45
Híbrido múltiplo (HM)	0,35	32283,3	127166,7	159450,0	2,35

**TABELA 19.** Estimativas, por local, de coeficientes de correlação genética entre gerações ( $r_{GF_{2,4},F_{2,5}}$ ), considerando o desempenho de famílias provenientes de híbridos simples (HS), duplos (HD) e múltiplo (HM), avaliadas nas gerações  $F_4$  (famílias  $F_{2,4}$ ) e  $F_5$  (famílias  $F_{2,5}$ ), em Lavras e Coimbra, MG, seca e inverno de 2000.

Famílias	$r_{GF_{2,4},F_{2,5}}$	
	Lavras	Coimbra
Híbridos	0,47	0,43
Híbridos simples (HS)	0,41	0,24
HS1/3	0,64	0
HS6/8	0,93	1,61
HS2/4	0,79	1,08
HS5/7	0,78	0,66
Híbridos duplos (HD)	0,48	0,46
HD1/3//6/8	0,76	0,32
HD2/4//5/7	0,53	0,70
Híbrido múltiplo (HM)	0,48	0,58

A existência de interação famílias x locais e famílias x gerações pode ser constatada também na Tabela 15, onde são apresentadas as médias de produtividade de grãos das famílias  $F_{2,4}$  e  $F_{2,5}$  derivadas dos diferentes híbridos. Observa-se que, na geração  $F_{2,4}$ , destacaram-se as famílias do híbrido duplo HD2/4//5/7. Entre os híbridos simples, o HS2/4 foi o que apresentou o melhor desempenho nessa geração. Na geração seguinte ( $F_{2,5}$ ), as maiores médias de produtividade foram obtidas pelas famílias dos híbridos simples HS5/7 e HS6/8, em Lavras e Coimbra, respectivamente.

Para auxiliar na avaliação do potencial dos diferentes híbridos para geração de linhagens superiores, foi estimado o ganho esperado com a seleção

Para auxiliar na avaliação do potencial dos diferentes híbridos para geração de linhagens superiores, foi estimado o ganho esperado com a seleção das dez famílias mais produtivas, com base na avaliação das famílias  $F_{2:4}$  e  $F_{2:5}$ , em Lavras e Coimbra (Tabela 20). Na avaliação das famílias  $F_{2:4}$ , em ambos os locais, o híbrido simples HS1/3, seguido pelo híbrido múltiplo, apresentaram os maiores ganhos, enquanto que, na geração seguinte, os híbridos duplos e múltiplo destacaram-se entre os demais. O híbrido simples HS5/7 em todos os ambientes apresentou o menor ganho esperado com a seleção, confirmando os resultados obtidos anteriormente, em relação ao referido híbrido.

Na Tabela 20, também é apresentado o número de famílias de cada híbrido, que estão entre as 50 mais produtivas do experimento. Apesar de as avaliações terem sido realizadas somente em dois locais, esta informação é de grande importância. Considerando a média dos dois locais, na avaliação das famílias  $F_{2:4}$ , destacaram-se o híbrido duplo HD2/4//5/7 e o múltiplo. Entre os híbridos simples, o HS2/4 apresentou o melhor desempenho com quatro famílias entre as 50 mais produtivas. Na avaliação seguinte ( $F_{2:5}$ ), o destaque foi para os híbridos HD1/3//6/8 e o múltiplo. Nessa geração, o híbrido simples HS5/7 superou os demais híbridos simples.

Chama atenção o fato de que nem sempre os maiores ganhos estiveram associados ao maior número de famílias elites. É o caso, por exemplo, do híbrido simples HS1/3, na geração  $F_{2:4}$ , que apresentou o maior ganho em Coimbra e nenhuma de suas famílias está entre as 50 mais produtivas (Tabela 20). Contudo, na maioria dos casos, os resultados foram coerentes com os já relatados anteriormente.

TABELA 20. Estimativas do ganho esperado com a seleção [GS/m (%)] das dez famílias mais produtivas (10+) e número de famílias entre as 50 mais produtivas [NF (50+)], em função dos híbridos e das avaliações realizadas nas gerações F<sub>4</sub> (famílias F<sub>2,4</sub>) e F<sub>5</sub> (famílias F<sub>2,5</sub>). Lavras e Coimbra, MG, seca e inverno de 2000.

Famílias	Lavras			Coimbra			Conjunta		
	Média (10+)	GS/m (%)	NF (50+)	Média (10+)	GS/m (%)	NF (50+)	Média (10+)	GS/m (%)	NF (50+)
F <sub>2,4</sub>									
Híbridos	4505	17,4	50	3384	17,6	50	3814	15,5	50
HS	4128	14,8	8	3069	15,5	7	3476	12,2	7
HS1/3	3926	19,1	4	2532	13,3	-	3154	11,7	2
HS6/8	3625	3,6	-	2839	1,9	1	3186	6,3	1
HS2/4	4030	4,5	4	2998	6,2	5	3418	5,5	4
HS5/7	3844	1,6	-	2813	1,0	1	3270	2,5	-
HD	4370	10,8	20	3206	9,8	20	3696	11,1	19
HD1/3//6/8	4043	7,2	4	3034	8,5	6	3419	7,1	3
HD2/4//5/7	4363	7,8	16	3128	5,6	14	3692	8,3	16
HM	4413	13,7	22	3359	12,9	23	3742	10,3	24
F <sub>2,5</sub>									
Híbridos	4035	26,7	50	3900	44,8	50	3750	17,5	50
HS	3696	24,5	13	3384	30,8	7	3255	12,6	8
HS1/3	3234	10,2	1	2603	13,0	-	2870	10,2	1
HS6/8	2882	5,7	-	3383	11,2	7	3089	8,6	3
HS2/4	2886	10,9	-	2439	12,9	-	2588	11,4	-
HS5/7	3696	3,2	12	2870	3,4	-	3163	3,4	4
HD	3950	23,1	21	3589	34,4	20	3566	17,3	21
HD1/3//6/8	3800	21,7	10	3589	30,8	18	3559	16,1	15
HD2/4//5/7	3730	16,0	11	2949	13,9	2	3185	11,4	6
HM	3837	16,3	16	3815	39,9	23	3636	11,2	21

#### 4.4 Avaliação de famílias derivadas de plantas F<sub>4</sub>

Conforme já descrito no item 3.4.2, as populações F<sub>2</sub> provenientes dos híbridos simples, duplos e múltiplo foram avançadas em "bulk" até a geração de sementes F<sub>4</sub>. Nessa geração foi realizada seleção para tipo de grão, sendo eliminados todos os grãos fora do padrão comercial "carioca". Posteriormente, as sementes selecionadas foram semeadas em campo e, por ocasião da colheita, foram tomadas ao acaso 33 plantas de cada híbrido simples, 65 de cada híbrido duplo e 130 do híbrido múltiplo. As sementes destas plantas foram multiplicadas, originando assim famílias F<sub>4,5</sub>. Na geração seguinte (F<sub>6</sub>), as

famílias F<sub>4,6</sub> foram avaliadas em Lavras e Coimbra, com semeadura em julho de 2001 (inverno). Na Tabela 5A são apresentados os resumos das análises de variância individuais da produtividade de grãos.

A análise conjunta dos locais é apresentada na Tabela 21. Observou-se que a maioria das fontes de variação apresentou teste de F significativo ( $P \leq 0,01$ ). Somente não foram detectadas significâncias para as interações famílias do híbrido simples HS5/7 x locais, híbridos duplos x locais e pais x locais. As médias de produtividade de grãos são apresentadas na Tabela 22. Verifica-se que, como já ocorrera nas avaliações anteriores, a produtividade média obtida no experimento de Lavras (4.632 kg/ha) foi superior à obtida em Coimbra (3.816 kg/ha). As linhagens parentais de melhor desempenho foram: Pérola (4.754 kg/ha), PF 9029975 (4.269 kg/ha) e AN 9022180 (4.080 kg/ha). As demais linhagens parentais não diferiram estatisticamente entre si.

O desempenho médio das famílias dos híbridos simples foi semelhante, exceto no caso do cruzamento MAR 2 x H4-10 (HS6/8), cuja produtividade média dos dois locais (3.845 kg/ha) foi 12,3% inferior à média dos demais (4.317 kg/ha). No caso dos híbridos duplos, o maior destaque foi o híbrido duplo HD2/4//5/7. Quando se considera a média das famílias dos diferentes tipos de híbridos, embora a diferença fosse significativa, ela foi de pequena magnitude.

A existência de variabilidade entre as famílias dentro de cada tipo de híbrido, detectada na análise de variância (Tabela 21), fica bem evidenciada na Tabela 23, onde são apresentadas as estimativas da variância genética e da herdabilidade, e também na Tabela 24, pela amplitude de variação apresentada. Em ambos os locais, as estimativas de herdabilidade foram todas de magnitude superior a 40%, exceto a das famílias do híbrido simples HS5/7, em Lavras. Veja que, em termos de amplitude de variação, o mesmo resultado foi observado, pois para o híbrido simples HS5/7 a amplitude de variação, em Lavras, foi menor e correspondeu a 36% da média geral desse híbrido.

TABELA 21. Resumo da análise de variância conjunta da produtividade de grãos (kg/ha), referente aos experimentos de avaliação de famílias F<sub>4</sub> oriundas de híbridos simples (HS), duplos (HD) e múltiplo (HM). Lavras e Coimbra, MG, inverno/2001.

Fontes de variação		GL	QM
Locais (L)		1	133037409,62 **
Tratamentos (T)		399	1126973,34 **
Entre famílias		391	1120346,29 **
Entre famílias de HS		131	1348066,61 **
Entre famílias do HS1/3		32	961430,91 **
Entre famílias do HS6/8		32	731606,62 **
Entre famílias do HS2/4		32	1495661,65 **
Entre famílias do HS5/7		32	1108494,29 **
Entre HS		3	13032900,34 **
Entre famílias de HD		129	1142128,63 **
Entre famílias do HD1/3//6/8		64	960120,57 **
Entre famílias do HD2/4//5/7		64	1255300,97 **
Entre HD		1	5536488,75 **
Entre famílias de HM		129	869838,26 **
Entre tipos de híbridos		2	966687,39 *
Entre pais		7	1064242,26 **
Pais vs híbridos		1	4163334,00 **
Tratamentos x locais		399	711051,99 **
Entre famílias x L		391	712047,78 **
Entre famílias de HS x L		131	706217,77 **
Entre famílias de HS1/3 x L		32	687627,18 **
Entre famílias de HS6/8 x L		32	704433,47 **
Entre famílias de HS2/4 x L		32	956168,48 **
Entre famílias de HS5/7 x L		32	340179,53
Entre HS x L		3	2166198,41 **
Entre famílias de HD x L		129	618733,80 **
Entre famílias de HD1/3//6/8 x L		64	584115,56 **
Entre famílias de HD2/4//5/7 x L		64	662990,47 **
Entre HD x L		1	2388,75
Entre famílias de HM x L		129	766785,57 **
Entre tipos de híbridos x L		2	3587071,65 **
Entre pais x L		7	535356,83
Pais vs híbridos x L		1	1549603,44 *
Erro médio		1482	290217,74
CV (%)			11,5
Média			4224

\* e \*\* Significativo, pelo teste F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

TABELA 22. Média de produtividade de grãos (kg/ha) dos pais e das famílias F<sub>4-6</sub>, oriundas de híbridos simples (HS), duplos (HD) e múltiplo, avaliadas em Lavras e Coimbra, MG, no inverno de 2001.

Pais/híbridos	Produtividade		
	Lavras	Coimbra	Média
<b>Média dos pais</b>	<b>4163</b>	<b>3703</b>	<b>3933</b>
Pérola (1)	5391	4116	4754 A <sup>1</sup>
LAPAR 31 (2)	4041	3259	3650 B
FEB 200 (3)	4031	3705	3868 B
AN 9022180 (4)	4648	3512	4080 A
A 805 (5)	3803	3703	3753 B
MAR 2 (6)	3762	3152	3457 B
PF 9029975 (7)	4181	4357	4269 A
H4-10 (8)	3444	3820	3632 B
<b>Hib. simples (HS)</b>	<b>4658 1<sup>1</sup></b>	<b>3739 2</b>	<b>4199 2</b>
HS1/3	4936 a <sup>1</sup>	3978 a	4457 a
HS6/8	4268 c	3421 c	3845 c
HS2/4	4858 a	3673 b	4266 b
HS5/7	4571 b	3884 a	4228 b
<b>Hib. duplo (HD)</b>	<b>4602 1</b>	<b>3934 1</b>	<b>4268 1</b>
HD1/3//6/8	4519	3848	4184
HD2/4//5/7	4684	4020	4352
<b>Hib. múltiplo (HM)</b>	<b>4665 1</b>	<b>3784 2</b>	<b>4225 2</b>
<b>Média dos híbridos</b>	<b>4642</b>	<b>3819</b>	<b>4231</b>

<sup>1</sup> Médias seguidas da mesma letra ou número, na vertical, não diferem entre si (Scott e Knott, P<0,05).

TABELA 23. Estimativas de variância genética ( $\sigma_G^2$ ) e herdabilidade ( $h_a^2$ ) relativas à produtividade de grãos (kg/ha) das famílias  $F_{4,6}$ , oriundas de híbridos simples (HS), duplos (HD) e múltiplo (HM). Lavras e Coimbra, MG, inverno de 2001.

Famílias	Lavras		Coimbra		Conjunta	
	$\sigma_G^2 \times 1000$	$h_a^2$ (%)	$\sigma_G^2 \times 1000$	$h_a^2$ (%)	$\sigma_G^2 \times 1000$	$h_a^2$ (%)
Híbridos	187,1 (150,0 ; 238,4) <sup>1</sup>	63 (56 ; 69)	230,2 (191,8 ; 283,0)	74 (69 ; 78)	68,1	36
HS	287,1 (210,8 ; 417,0)	72 (63 ; 78)	204,3 (148,2 ; 294,6)	71 (62 ; 78)	107,0	48
HS1/3	129,8 (62,9 ; 442,9)	54 (19 ; 71)	226,5 (128,6 ; 513,5)	73 (53 ; 83)	45,6	28
HS6/8	214,3 (113,4 ; 525,9)	66 (40 ; 78)	71,0 (30,0 ; 284,0)	46 (5 ; 66)	4,5	4
HS2/4	508,1 (297,3 ; 995,9)	82 (68 ; 89)	115,8 (57,2 ; 328,3)	58 (27 ; 73)	90,0	36
HS5/7	48,1 (14,7 ; 636,2)	30 (-23 ; 55)	241,4 (135,8 ; 520,1)	75 (55 ; 84)	128,1	69
HD	118,9 (77,7 ; 206,8)	52 (36 ; 63)	274,7 (203,5 ; 386,0)	77 (69 ; 82)	87,2	46
HD1/3//6/8	85,4 (43,0 ; 228,3)	43 (16 ; 60)	235,9 (154,9 ; 400,6)	74 (62 ; 81)	62,7	39
HD2/4//5/7	142,1 (82,5 ; 293,9)	56 (35 ; 69)	304,0 (206,3 ; 506,9)	79 (68 ; 85)	98,7	47
HM	156,1 (106,0 ; 249,2)	58 (45 ; 68)	196,0 (142,1 ; 287,3)	70 (61 ; 77)	17,2	12

<sup>1</sup> Valores entre parênteses referem-se ao intervalo de confiança, considerando  $P \leq 0,05$ .

TABELA 24. Limite inferior (LI), limite superior (LS) e amplitude de variação (AV) da produtividade de grãos de famílias  $F_{4,6}$ , provenientes de híbridos simples (HS), duplos (HD) e múltiplo (HM). Lavras e Coimbra, MG, inverno/2001.

Famílias	Lavras			Coimbra			Conjunta		
	LI	LS	AV	LI	LS	AV	LI	LS	AV
HS1/3	3476	5581	2105 (43) <sup>1</sup>	2589	4920	2331 (59)	3378	4962	1584 (36)
HS6/8	3059	5263	2204 (52)	2356	4213	1857 (54)	2796	4415	1619 (42)
HS2/4	2966	6231	3265 (67)	2799	4555	1756 (48)	3308	5157	1849 (43)
HS5/7	3673	5331	1658 (36)	2916	5141	2225 (57)	3546	5045	1499 (35)
HD1/3//6/8	3262	5812	2550 (56)	2571	5315	2744 (71)	3404	5206	1802 (43)
HD2/4//5/7	3370	5978	2608 (56)	2765	5272	2507 (62)	3408	5452	2044 (47)
HM	3457	5792	2335 (50)	2558	4998	2440 (64)	3454	5082	1628 (39)
HS	2966	6231	3265 (70)	2356	5141	2785 (74)	2796	5157	2361 (56)
HD	3262	5978	2716 (59)	2571	5315	2744 (70)	3404	5452	2048 (48)
Híbridos	2966	6231	3265 (70)	2356	5315	2959 (77)	2796	5452	2656 (63)

<sup>1</sup> Percentagem em relação à média do referido híbrido, apresentada na Tabela 22.



Considerando todas as famílias dentro de cada tipo de híbrido, cuja comparação é mais apropriada, pois envolve o mesmo número de famílias, verifica-se que, em Coimbra, não ocorreu diferença na estimativa da herdabilidade. Já em Lavras, a estimativa obtida para o híbrido simples foi superior à observada para os híbridos duplo e múltiplo (Tabela 23). Esse fato é também comprovado pela amplitude de variação apresentada na Tabela 24.

A produtividade média de todas as famílias avaliadas, nos dois locais, foi 7,6% superior à média dos pais (Tabela 22). Observe contudo que especialmente o parental Pérola apresentou produtividade acima da média de todas as famílias. Vale salientar que, em todos os cruzamentos, exceto o híbrido simples HS6/8, foram encontradas famílias cuja média de produtividade foi superior ao referido parental (Tabela 22). Esses resultados evidenciam o potencial das famílias avaliadas.

Como já comentado anteriormente, a maioria das interações foi significativa (Tabela 21). Na Tabela 25 são apresentadas as estimativas do componente de interação ( $\sigma_{GE}^2$ ). Observa-se que estas foram de grande magnitude, exceto no caso do HS5/7, superando as estimativas da variância genética. Além do mais, a interação foi predominantemente complexa, o que é realçado pela pequena magnitude da correlação genética do desempenho médio das famílias nos dois locais. Fica bem evidenciado assim, que o comportamento das famílias, exceto no caso do HS5/7, não foi coincidente nos dois locais.

Devido à ocorrência da interação, e essa ser predominantemente complexa, foi estimado o ganho esperado com a seleção das dez melhores famílias de cada híbrido por local e na média dos locais (Tabela 25). De início, fica evidente o reflexo da interação no progresso genético. Em termos percentuais, o ganho esperado na média dos locais foi bem inferior ao esperado se a seleção fosse efetuada em cada local. Considerando todas as 392 famílias e a seleção das dez melhores na média dos locais, o ganho seria de 7,8%. Em

Lavras seria de 17,5% e em Coimbra de 24,7%, ou seja, uma redução média de 63% no ganho esperado com a seleção, devido à interação das famílias x locais. Vale salientar que o maior reflexo da interação famílias x locais foi observado entre as famílias do híbrido múltiplo, já que o ganho esperado com a seleção em cada local foi de grande magnitude e, na conjunta, de pequena magnitude.

Considerando todas as famílias dentro de cada tipo de híbrido, verifica-se que, em Lavras, o progresso genético foi maior no híbrido simples. Já em Coimbra não ocorreu diferença expressiva no ganho percentual esperado com a seleção (Tabela 26). Entre os híbridos simples, houve diferença no ganho esperado com a seleção das melhores famílias. Em Lavras, o maior sucesso com a seleção seria entre famílias do híbrido simples HS2/4 e, em Coimbra, do híbrido simples HS5/7. No caso dos híbridos duplos, o HD2/4//5/7, em ambos os locais, propiciaria maior ganho com a seleção.

TABELA 25. Estimativas de coeficientes de correlação genética entre locais ( $r_{G_{LC}}$ ) e de componentes da interação famílias x locais ( $\sigma_{GE}^2$ ), considerando o desempenho de famílias  $F_{4,6}$ , provenientes de híbridos simples (HS), duplos (HD) e múltiplo (HM), avaliadas em Lavras (L) e Coimbra (C), MG, inverno de 2001.

Famílias	$r_{G_{LC}}$	$\sigma_{GE}^2$			$\sigma_{GE}^2 / \sigma_G^2$
		Simples	Complexa	Total	
Híbridos	0,33	1115,86	139442,19	140558,05	2,06
Híbridos simples (HS)	0,44	3513,03	135188,77	138701,80	1,30
HS1/3	0,27	6686,60	125871,29	132557,88	2,91
HS6/8	0,04	19299,69	118848,03	138147,71	30,70
HS2/4	0,37	69384,59	152573,65	221958,23	2,47
HS5/7	1,19	36994,07	-20344,32	16649,75	0,13
Híbridos duplos (HD)	0,48	16074,16	93525,62	109599,78	1,26
HD1/3//6/8	0,44	18713,89	79242,93	97956,82	1,56
HD2/4//5/7	0,48	15207,75	109137,96	124345,72	1,26
Híbrido múltiplo (HM)	0,10	1134,02	157721,74	158855,76	9,24

**TABELA 26. Estimativa do ganho esperado com a seleção [GS/m (%)] das dez famílias mais produtivas (10 +) e número de famílias entre as 50 mais produtivas [NF (50 +)], em função dos híbridos e das avaliações realizadas na geração F<sub>6</sub> (famílias F<sub>4,6</sub>). Lavras e Coimbra, MG, inverno de 2001.**

Famílias	Lavras			Coimbra			Conjunta		
	Média (10 +)	GS/m (%)	NF (50 +)	Média (10 +)	GS/m (%)	NF (50 +)	Média (10 +)	GS/m (%)	NF (50 +)
Híbridos	5928	17,5	50	5094	24,7	50	5150	7,8	50
HS	5820	18,0	21	4743	19,1	11	5016	9,3	19
HS1/3	5395	5,0	8	4511	9,8	4	4840	2,4	8
HS6/8	4901	9,8	1	3823	5,4	-	4198	0,4	0
HS2/4	5764	15,3	10	4140	7,4	1	4860	5,0	6
HS5/7	5045	3,1	2	4583	13,5	6	4747	8,5	5
HD	5593	11,2	11	5028	21,4	26	5080	8,8	18
HD1/3//6/8	5193	6,4	3	4702	16,4	8	4818	5,9	4
HD2/4//5/7	5490	9,6	8	4962	18,5	18	5000	7,0	14
HM	5565	11,2	18	4765	18,1	13	4910	1,9	13

Desconsiderando a origem das famílias e supondo a identificação das 50 com melhor desempenho, verifica-se, coerentemente, como já comentado anteriormente, que em Lavras o maior número de famílias superiores seria oriundo dos híbridos simples, enquanto que em Coimbra seria dos híbridos duplos (Tabela 26). Isso contribuiu para que, na média dos ambientes, os híbridos simples e duplos participassem com maior número de famílias entre as 50 melhores.

## 5 DISCUSSÃO

Os locais foram escolhidos de modo a obter uma boa divergência em condições ambientais e que refletissem no desempenho da cultura e, por conseguinte, nas inferências genéticas a respeito dos resultados obtidos. Houve sucesso nessa escolha, pois as condições de Lavras sempre foram mais favoráveis, sobretudo pela menor incidência de patógenos. Em Coimbra, devido às características do solo, já que foi utilizado solo aluvial, e principalmente à maior umidade relativa, embora não fosse feita avaliação de doenças, observou-se uma maior ocorrência de patógenos, especialmente *Phaeoisariopsis griseola*, *Colletotrichum lindemuthianum*, *Uromyces appendiculatus* e *Sclerotinia sclerotiorum*.

Essas diferenças nas condições ambientais fizeram com que a produtividade média dos experimentos fosse sempre superior em Lavras (Tabelas 1A a 5A). Além disso, como será comentado posteriormente, também contribuiu para que a interação genótipos x ambientes, em praticamente todas as avaliações realizadas, fosse expressiva. Assim, pode-se inferir que os resultados obtidos podem ser generalizados para uma grande parte das áreas que cultivam feijão no estado de Minas Gerais.

Um outro aspecto importante a ser considerado nas inferências a serem feitas, a partir dos resultados obtidos, é a precisão experimental. Na cultura do feijoeiro, uma série de fatores podem afetar a precisão dos experimentos. Esses fatores estão presentes durante a implantação e condução dos experimentos, como também na pós-colheita (Souza et al., 2000). Isso contribui para que a precisão experimental, avaliada pelo coeficiente de variação (CV), nem sempre seja a almejada pelos melhoristas. Contudo, neste trabalho, a despeito do tamanho dos experimentos, já que foi avaliado um grande número de parcelas, a

precisão experimental pode ser considerada boa, pois na maioria dos casos o CV para produtividade de grãos foi inferior a 17%. Esse valor está abaixo da média das estimativas dos coeficientes de variação relatados para experimentos com a cultura do feijoeiro na região (Marques Júnior & Ramalho, 1997).

Os programas de melhoramento do feijoeiro, principalmente na região do Sul de Minas, visam basicamente à obtenção de linhagens com grãos tipo carioca, isto é, creme com estrias marrom. A obtenção de populações segregantes apenas com esse tipo de grão poderia restringir a variabilidade genética, interferindo, assim, nos resultados obtidos e nas inferências a serem feitas. Contudo, observou-se, em todos os experimentos, que ocorreu diferença significativa entre as linhagens parentais utilizadas, indicando que, embora possuíssem tipos de grãos semelhantes, apresentavam variabilidade para produtividade de grãos e outros caracteres. Isso contribuiu, como será enfatizado posteriormente, para uma ampla variação nas populações segregantes e também entre as famílias delas derivadas. Os parentais utilizados nesse trabalho tiveram origens diferentes (Tabela 7). Isso indica que os vários programas de melhoramento do feijoeiro do tipo carioca, embora tenham todos praticamente o mesmo objetivo, utilizam de diferentes estratégias de melhoramento e certamente de diferentes genitores nos programas de hibridação.

Esse resultado, até certo ponto, contradiz os comentários de alguns autores (Nienhuis & Singh, 1988; Singh & Urrea, 1995), de que a variabilidade genética, para produtividade de grãos, é restrita quando o cruzamento é realizado dentro do mesmo conjunto gênico.

As interações pais x ambientes foram significativas na maioria dos casos (Tabelas 6, 9, 14 e 21). Por exemplo, na avaliação das famílias  $F_{2,5}$ , em Lavras e Coimbra, a classificação das linhagens parentais foi drasticamente alterada, como foi comprovado pela estimativa da correlação classificatória de Spearman ( $r = -0,29$ ). Mesmo assim, as linhagens Pérola e PF 9029975 destacaram-se em

quase todas as avaliações. No caso da cultivar Pérola, esse resultado era esperado, já que é uma cultivar com ampla adaptação, conforme por diversos (Ramalho et al., 1999; Carneiro et al., 1999; Andrade et al., 1999; Braz et al., 1999). Já a linhagem PF 9029975 é um material experimental que associa alta produtividade e boa arquitetura. Contudo, é suscetível à *Phaeoisariopsis griseola*, atualmente um dos patógenos de grande importância na cultura do feijoeiro. Mesmo com a ocorrência desse patógeno em alguns experimentos, essa linhagem apresentou sempre um bom desempenho. É provável que, nestes casos, a infecção do fungo tenha ocorrido tardiamente, não chegando, portanto, a afetar a produtividade de grãos (Sartorato & Rava, 1994).

O desempenho das demais linhagens foi pouco consistente nas diferentes avaliações. Por exemplo, as linhagens IAPAR 31, AN 9022180 e MAR 2, por serem muito suscetíveis ao fungo *Erysiphe polygoni*, agente causal do oídio, tiveram prejuízos na produtividade de grãos em condições de alta incidência desse patógeno (Tabela 7). O efeito pronunciado do oídio na produtividade já foi relatado em experimentos conduzidos na região (Arriel et al., 1991). Essa flutuação no desempenho dos pais, em função das condições ambientais que contribuíram para maior ou menor incidência de determinados patógenos, teve evidente reflexo no comportamento das populações segregantes.

O presente trabalho foi conduzido em duas etapas. Na primeira, procurou-se avaliar as populações segregantes nas gerações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>. Na segunda, foram avaliadas as famílias derivadas dessas populações. Como será detalhado posteriormente, embora a interação seja alta, houve boa concordância nos resultados obtidos nas duas etapas.

O desempenho médio das populações segregantes (F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>) foi sempre superior aos dos pais (Tabelas 7 e 10). Esse fato, por si só, indica a ocorrência de heterose (Vencovsky, 1987). Na média de todas as avaliações, a heterose correspondeu a 10% da média dos pais. A existência de heterose para

produtividade de grãos no feijoeiro já foi mencionada em algumas oportunidades (Gutiérrez & Singh, 1985; Nienhuis & Singh, 1986; Abreu, 1997; Mendonça, 2001).

A ocorrência de heterose é dependente da existência de divergência entre os pais e da presença de interação alélica de dominância no controle do caráter (Falconer & Makay, 1996). A existência de divergência entre os pais já foi relatada anteriormente. Como já salientado, pressupondo também a ocorrência de dominância no controle do caráter, é esperado que ocorra depressão por endogamia, ou seja, a média da geração  $F_2$  deveria ser superior à da geração  $F_3$ . Esse resultado contudo, não foi observado, pois o contraste geração  $F_2$  vs geração  $F_3$ , foi não significativo (Tabelas 2A, 3A e 9). Porém, esse fato pode ocorrer. Lamkey & Edwards (1999) comentam que, se há heterose e não há depressão por endogamia, essa é uma boa evidência de que a heterose é dependente da epistasia do tipo aditiva x aditiva. Infelizmente, não existem muitos relatos da ocorrência de epistasia no controle genético de caracteres do feijoeiro.

Por outro lado, a predominância da interação alélica aditiva no controle genético da produtividade de grãos do feijoeiro é frequentemente relatada na literatura (Nienhuis & Singh, 1988; Ramalho et al., 1988; Abreu et al., 1990; Takeda et al., 1991; Vizgarra, 1991). Esse fato foi também constatado neste trabalho, haja vista que a contribuição dos locos em heterozigose (d), que avalia o efeito de dominância, explicou, em média, apenas 8,3% do desempenho médio da população. Para outras espécies, como o milho, por exemplo, a contribuição dos locos em heterozigose, para produtividade de grãos é superior a 50% (Ferreira et al., 1995; Pacheco et al., 1998; Lima et al., 2000; Souza Sobrinho, 2001). Evidencia-se, assim, como já é conhecido, que a dominância é mais importante em plantas alógamas do que nas plantas autógamas, como o feijão.



Na ausência de dominância no controle do caráter, a produtividade média é bom indicador do potencial das populações segregantes para a extração de linhagens superiores. Nesse contexto, vale salientar que na média das seis avaliações, populações  $F_2$  em duas safras e dois locais e  $F_3$  em dois locais, praticamente não se constatou diferença na média dos híbridos simples (3.078 kg/ha) em relação aos híbridos duplos (3.148 kg/ha) e múltiplo (3.157 kg/ha). Este, aliás, é também um argumento da predominância da interação alélica aditiva no controle do caráter. Assim, a média por si só, não possibilita inferir sobre a vantagem de se promover cruzamentos múltiplos.

Considerando-se o que foi discutido anteriormente, procurou-se utilizar outras alternativas para comparar o potencial das populações para a extração de linhagens e, assim, inferir sobre o tipo de cruzamento mais apropriado. Levando-se em consideração que a população ideal é aquela que associa média e variância altas, foram obtidas as variâncias de plantas individuais dentro de cada população segregante e dos pais, o que possibilitou estimar a variância genética e a herdabilidade entre plantas (Tabelas 8 e 13). Não houve boa concordância nos valores obtidos nas diferentes gerações, dada, sobretudo, a ocorrência de interação e a baixa precisão quando se avaliam plantas individualmente. Contudo, em termos de valores relativos, os resultados foram bem coerentes.

Quando se compara a média da herdabilidade dos híbridos simples, duplos e múltiplo, essa foi ligeiramente maior no híbrido múltiplo (Tabelas 8 e 13), o que não deixa de ser uma vantagem para essa alternativa de obtenção da população segregante. Contudo, quando se compara entre os híbridos simples, o híbrido HS2/4 (IAPAR 31 x AN 9022180) apresentou herdabilidade semelhante ao do híbrido múltiplo, ou seja, tem o mesmo potencial para seleção.

Uma outra opção para se comparar populações segregantes é a estimativa de  $m+a'$  e  $d$ . O  $m+a'$  fornece a média das linhagens na geração  $F_\infty$  e o  $d$ , como já foi mencionado, é a contribuição dos locos em heterozigose (Kearsey



& Pooni, 1998). Considerando todos os locos com a mesma contribuição, a população com maior estimativa de  $d$  deve possuir maior número de locos em heterozigose que, portanto, irão segregar. O ideal, então, é a população que associe maior estimativa de  $m+a'$  e de  $d$  (Abreu, 1997).

Como já mencionado nesse trabalho, a participação da estimativa de  $d$  foi pequena, mas, mesmo assim, pode-se inferir que a população com maior número de locos que irão segregar é a do híbrido simples HS6/8 (MAR 2 x H4-10). Contudo, essa população apresentou uma das menores estimativas de  $m+a'$ . Chama a atenção novamente o híbrido simples HS2/4 (IAPAR 31 x AN 9022180), que associou alta estimativa de  $m+a'$  e  $d$ , na média dos dois ambientes (Tabela 12). Aqui também os híbridos múltiplo e o duplo HD2/4//5/7 mostraram-se promissores.

A metodologia de Jinks & Pooni (1976) estima a probabilidade de se obter, em uma população segregante, linhagens que superem, em produtividade, um determinado padrão, partindo de dados das primeiras gerações segregantes. Quando se utiliza apenas a geração  $F_2$  ou qualquer geração isolada, exige a pressuposição da ausência de dominância, o que, em parte, ocorreu no presente estudo, como já mencionado. O padrão utilizado nesse trabalho foi a cultivar Pérola, a de maior produtividade média entre as linhagens parentais. Considerando que se deseja obter linhagens com produtividade superior à do Pérola, a produtividade do padrão foi acrescida de 20%. Nesse caso, a estimativa fornece a probabilidade de se obter linhagens que superem a cultivar Pérola em 20%, e que portanto, possam contribuir efetivamente para o avanço genético na cultura. Como se observa, as estimativas das probabilidades (Tabelas 8 e 13) foram coerentes com as estimativas de  $m+a'$  e  $d$ , relatadas anteriormente. Considerando as três condições em que as estimativas foram obtidas, as populações com maior probabilidade para extração de linhagens superiores foram as oriundas do híbrido simples HS2/4, dos híbridos duplos e do múltiplo.

Na segunda etapa do trabalho, como já salientado, foram avaliadas as famílias extraídas das populações segregantes. Optou-se por utilizar, inicialmente, famílias derivadas de plantas  $F_2$ , que é procedimento comum em alguns programas de melhoramento no Brasil (Vieira et al., 1999). Nesse caso, entre as famílias, independente da geração que é avaliada, é explorada uma (1) variância aditiva e as alterações genéticas que ocorrem a partir da primeira avaliação são apenas dentro das famílias (Ramalho et al., 1993). Posteriormente, foram avaliadas famílias  $F_{4,6}$ , que seria uma situação comum quando se utiliza o método do "bulk", que tem mostrado ser uma boa opção na cultura do feijoeiro (Raposo, 1999; Gonçalves, 2000). Além do mais, entre as famílias  $F_{4,6}$  são explorados 7/4 da variância aditiva. Desse modo, as comparações entre as alternativas de se obter à população segregante abrangeram também duas condições bem discrepantes no que se refere a liberação da variabilidade.

Em termos da produtividade média das famílias dos diferentes tipos de híbridos, simples, duplo e múltiplo, os resultados foram semelhantes aos relatados anteriores para as populações segregantes. Isto é, as médias dos híbridos simples (3229 kg/ha), dos híbridos duplos (3369 kg/ha) e do múltiplo (3385 kg/ha), nas gerações  $F_{2,4}$ ,  $F_{2,5}$  e  $F_{4,6}$ , foram muito semelhantes (Tabelas 15 e 22). Por esse ângulo, não se observa vantagem de se obter híbridos duplos e especialmente múltiplo. Resultado semelhante foi obtido por Singh et al. (1998) na cultura do trigo. O autor, avaliando cruzamentos biparentais e triplos, relata que, para produtividade de grãos, a vantagem do cruzamento triplo em relação ao biparental foi mínima.

A ocorrência de interação famílias x ambientes (gerações e locais) foi muito pronunciada e com predominância da parte complexa, evidenciando que a classificação das famílias não foi coincidente nos diferentes ambientes. A principal causa dessa interação foi, sem dúvida alguma, a ocorrência de

patógenos, como já mencionado quando se discutiu a ocorrência de interação dos pais.

A ocorrência de interação famílias x ambientes é fato comum na cultura do feijoeiro na região (Abreu et al., 1990; Takeda et al., 1991). Sem dúvida nenhuma, é o principal complicador do trabalho dos melhoristas, dada a diversidade de época de semeadura e condições de cultivo a que a cultura é constantemente submetida. Por exemplo, o desempenho médio das famílias do híbrido simples HS2/4 (IAPAR 31 x AN 9022180) foi o melhor na geração  $F_{2,4}$  e o pior na geração  $F_{2,5}$ . O contrário aconteceu com o desempenho médio das famílias do híbrido simples HS5/7 (PF 9029975 x A 805). Esse resultado é explicado considerando que a avaliação das famílias  $F_{2,4}$  foi realizada na safra da seca de 2000, época em que a ocorrência de oídio é pequena e a de mancha angular é grande. Já na avaliação das famílias  $F_{2,5}$  (inverno de 2000), ocorreu o contrário no que se refere à ocorrência dessas duas doenças, pois essa época favorece a ocorrência de oídio. Como as linhagens parentais envolvidas nos cruzamentos diferem quanto à reação aos patógenos causadores dessas doenças (Tabelas 7 e 11), é esperado que em ambientes onde predomina determinado patógeno, as populações oriundas de cruzamentos onde foram envolvidos genitores suscetíveis fiquem com seu desempenho prejudicado.

Considerando o efeito pronunciado da interação, o ideal seria identificar as populações mais promissoras para cada ambiente ou região específica (Cruz & Regazzi, 1994), o que é praticamente inviável para uma cultura como o feijoeiro. Por outro lado, com raras exceções, as populações segregantes são avançadas e submetidas à seleção em um único local. Nesse caso, conforme constatado por Pirola (2000), pode-se estar selecionando linhagens com adaptação a um ambiente específico, o que reduz a região de abrangência de recomendação da cultivar e a eficiência dos programas de melhoramento. Assim, a melhor estratégia seria avaliar as populações segregantes em ambientes

representativos de uma região de abrangência e explorar aquelas de ampla adaptação e que reúnam o maior número de fenótipos favoráveis.

Pelo que foi comentado a respeito dos métodos de avaliação das populações segregantes, estimativas de  $m+a'$  e  $d$  e a probabilidade das linhagens superarem um determinado padrão, as populações mais promissoras seriam as provenientes dos híbridos simples HS2/4, duplo HD2/4//5/7 e múltiplo. Em termos de comportamento médio, os resultados foram coerentes, exceto na avaliação das famílias  $F_{2,5}$  no que se refere ao HS2/4, pelas razões já expostas. Isso indica que essas estimativas podem ser úteis quando da tomada de decisão pelos melhoristas na escolha das populações segregantes.

Conforme já relatado, é bem evidente a existência de variabilidade genética entre as famílias em praticamente todos os híbridos avaliados. Nas diferentes gerações, as estimativas de herdabilidade para produtividade de grãos foram, de modo geral, de magnitude até superior às observadas na literatura, conforme apresentado na Tabela 7. Embora neste trabalho tenha sido estimada a herdabilidade entre famílias envolvendo a variância genética total, e não apenas a aditiva como consta em alguns casos da Tabela 7, é preciso salientar que a presença de dominância no controle do caráter, como já exposto, é pequena. Mesmo que esta fosse expressiva, a sua contribuição para a estimativa da herdabilidade seria muito pequena, haja vista que, entre famílias  $F_{2,4}$  e  $F_{2,5}$ , e principalmente  $F_{4,6}$ , a participação da variância de dominância é muito pequena (Ramalho et al., 1993). Desse modo, as estimativas obtidas nesse trabalho são comparáveis às relatadas na literatura.

É esperado que a herdabilidade entre famílias  $F_{4,6}$  seja superior à obtida entre famílias  $F_{2,4}$  e  $F_{2,5}$  porque aquela explora 7/4 da variância aditiva total, ao passo que, entre famílias  $F_{2,4}$  e  $F_{2,5}$ , explora apenas uma (1) variância aditiva. Deve ser enfatizado, contudo, que, antes da obtenção das famílias  $F_{4,6}$ , foi efetuada uma rigorosa seleção para tipo de grãos. Mesmo assim, as estimativas

de  $h^2$  entre as famílias  $F_{4:6}$  foram de magnitude superior à das outras famílias avaliadas (Tabelas 17 e 23). Esse resultado é muito importante porque, embora a cor dos grãos seja controlada por muitos genes (Leakey, 1988; Basset, 1996), provavelmente distribuídos em todos os cromossomos, esses não são proximamente ligados com os genes que controlam a produtividade de grãos. Estes também devem ser muitos e provavelmente localizados em todos os cromossomos.

Resultados semelhantes aos apresentados anteriormente foram obtidos por Santos (2001). Isso permite inferir que a seleção precoce para tipo de grão possibilita ao melhorista concentrar os seus esforços na seleção de outros caracteres, apenas nas famílias com grãos comercialmente aceitáveis, reduzindo o trabalho e ampliando a probabilidade de sucesso. Vale salientar que essa é uma estratégia já utilizada, principalmente pelos melhoristas de feijão do tipo carioca.

No que se refere à liberação de variabilidade, avaliada pela estimativa da variância genética e da herdabilidade entre as famílias, não foi possível fazer nenhuma inferência a respeito da melhor alternativa para obtenção de populações segregantes. Isso porque que as estimativas de herdabilidade variaram relativamente pouco; a maioria delas dentro dos intervalos de confiança obtidos. Além do mais, devido à interação, ocorreu flutuação nas estimativas da herdabilidade nas diferentes avaliações. Embora, nas análises individuais referentes à avaliação das famílias, as estimativas da herdabilidade do híbrido múltiplo sempre fossem de grande magnitude, nas análises conjunta por locais, nas gerações  $F_{2:5}$  e  $F_{4:6}$ , estas foram bem inferiores, o que não era esperado.

Contudo, é evidente, em todas as avaliações, o potencial das famílias avaliadas. Em todos os tipos de híbridos foram identificadas famílias com desempenho acima dos genitores com melhor performance (Tabelas 15, 16, 22 e 24). Esse fato é comprovado pela estimativa do ganho esperado com a seleção

das melhores famílias em cada população (Tabelas 20 e 26). Considerando, por exemplo, as famílias  $F_{4,6}$  em Lavras, verifica-se que as estimativas foram quase sempre altas e com média das famílias selecionadas bem acima da média dos pais nessa mesma condição (Tabelas 20 e 26). Fica evidente, novamente, o efeito da interação das famílias x locais no ganho com a seleção, que sofreu uma drástica redução, quando se consideraram as análises conjuntas, corroborando com o que é relatado na literatura (Ramalho et al., 1993).

Considerando a geração  $F_{4,6}$ , na média dos dois locais, não haveria vantagem de se obter híbrido múltiplo, pois o ganho esperado com a seleção foi inferior ao obtido com os híbridos simples e duplos (Tabela 26). A mesma observação, porém com diferenças não tão expressivas, é verificada nas avaliações das famílias  $F_{2,4}$  e  $F_{2,5}$  (Tabela 20).

Tomando como referência as famílias de cada híbrido simples, de cada duplo e do múltiplo, e considerando a contribuição de cada híbrido para as 50 famílias mais produtivas entre as 392 avaliadas, verifica-se, em todas as gerações, que o híbrido múltiplo teve uma participação muito mais expressiva que os híbridos simples. Esse fato, a princípio, é um argumento muito forte a favor da utilização de híbrido múltiplo. Entretanto, é preciso salientar que, no caso do híbrido múltiplo, foram avaliadas 132 famílias ao passo que, de cada híbrido simples, foram apenas 32.

Essa estratégia de avaliar número diferente de famílias de cada tipo de cruzamento foi adotada considerando que os melhoristas têm recursos limitados e avaliam número finito de parcelas anualmente. Se forem obtidos, por exemplo, quatro híbridos simples ou um múltiplo envolvendo todos os genitores, no híbrido múltiplo o número de famílias deveria ser quatro vezes mais para compensar o trabalho envolvido.

Comentando a esse respeito, Comstock (1964) utilizou, para ilustrar o efeito do tamanho da amostra, uma tabela semelhante à apresentada por Steel et

al. (1997). Essa tabela mostra a amplitude de variação esperada em relação ao desvio padrão com o aumento do tamanho da amostra. Assim, por exemplo, se forem avaliadas 30 famílias, a amplitude de variação será de 4,1 vezes o desvio padrão. Com 130 famílias avaliadas, esse número é superior a 5 vezes, o que não deixa de ser uma grande vantagem, aumento de 25% na amplitude. Desse modo, parte da vantagem atribuída ao híbrido múltiplo deve ser creditada ao maior número de famílias avaliadas.

Na literatura, existem alguns relatos da vantagem do emprego dos cruzamentos múltiplos. Um desses foi fundamentado no emprego da análise de RAPD (Bai et al., 1998). Os autores mostraram que locos polimórficos são mais frequentes nos cruzamentos múltiplos. Infelizmente, os locos utilizados não foram associados com nenhum caráter de importância econômica em particular, o que restringe a utilidade da informação para os melhoristas.

Fouilloux & Bannerot (1988) comentam que a probabilidade de sucesso com a seleção aumenta com o número de locos segregando para um dado caráter, o que é fácil de ser visualizado. Os resultados obtidos no presente trabalho não possibilitaram inferir que, no cruzamento múltiplo, o número de locos segregando fosse maior do que em todas as demais combinações híbridas avaliadas.

Já Singh (2001) apregoa o uso dos cruzamentos múltiplos, considerando a vantagem de associar vários caracteres ao mesmo tempo. Entretanto, se esses caracteres são controlados por muitos genes, é impossível associar todos os alelos favoráveis ao mesmo tempo. Se o objetivo almejado na hibridação está bem definido, ou seja, a atenção concentrada em um ou poucos caracteres, é questionável o emprego de cruzamentos múltiplos. O próprio autor (Singh, 2001) chega a essa conclusão ao enfatizar ser possível, em um cruzamento biparental, entre linhagens com bom desempenho, obter progressos substanciais.

Não deve ser esquecido que a obtenção de cruzamentos múltiplos tem também algumas restrições de caráter prático, tais como: demandar mais tempo para promover os intercruzamentos e a necessidade de se realizar um maior número de hibridações com o avanço dos ciclos de intercruzamento, para se ter chance de manter a maioria dos alelos favoráveis (Ramalho et al., 1993). No caso do feijoeiro, mesmo considerando que se dispõe de técnicas de hibridação artificial relativamente simples e eficientes (Ramalho et al., 1993; Peternelli & Borém, 1999), a dificuldade para a obtenção de quantidade suficiente de sementes híbridas nos vários ciclos de intercruzamento é apontada como a principal limitação dessa estratégia.

Por fim, um questionamento normalmente feito é: qual a melhor estratégia? Avaliar poucos híbridos e um grande número de famílias de cada ou poucas famílias de um grande número de combinações híbridas? Estudos teóricos mostram que a segunda alternativa é a melhor (Baker, 1984; Fouilloux & Bannerot, 1988). Essa conclusão foi obtida com base em trabalhos de simulação considerando a herdabilidade do caráter como sendo um (1). Entretanto, esse argumento somente é válido quando a herdabilidade é alta. Para caracteres de baixa herdabilidade, como a produtividade de grãos, quando se utiliza um pequeno número de famílias a probabilidade de sucesso no processo seletivo é muito pequena (Ferreira, 1998). O mesmo argumento é também apresentado por Witcombe & Virk (2001). Contudo, a prática de promover, anualmente, um grande número de cruzamentos e avaliar um pequeno número de famílias de cada um deles é freqüente (Cooper, 1988).

Assim, para caracteres de baixa herdabilidade, os melhoristas têm duas opções. A primeira é realizar o maior número de cruzamentos biparentais e, utilizando qualquer dos métodos de escolha das populações segregantes, identificar uma ou um pequeno número delas que se mostrem mais promissoras. Dessas populações, deve-se avaliar o maior número possível de famílias para



aumentar a chance de obter linhagens com grande amplitude de variação, como apregoado por Comstock (1964). Nesse caso, bastaria que, a partir da geração  $F_2$ , as populações segregantes fossem avaliadas em experimentos com repetições. Se for adotado o método do "bulk", em todas as gerações seriam realizadas as avaliações, de preferência em diferentes locais e épocas de semeadura, e identificadas aquelas com maior chance de sucesso para serem mais intensamente trabalhadas.

A segunda opção, realizar o cruzamento múltiplo e avaliar o maior número possível de famílias, seria utilizada quando não fosse possível empregar algum método de escolha da população segregante. Como já relatado anteriormente, esse procedimento demandaria mais trabalho e tempo na obtenção da população. Contudo, seria compensado pela maior amplitude de variação colocada à disposição dos melhoristas quando se avalia maior número de famílias de um dado cruzamento. Os resultados obtidos neste trabalho confirmam que essas estratégias são pertinentes nos programas de melhoramento.

## 6 CONCLUSÕES

Embora a interação genótipos x ambientes tenha sido pronunciada, houve boa concordância do desempenho dos bulks (gerações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>) e das famílias deles derivadas.

De modo geral, destacaram-se as populações oriundas do híbrido simples HS2/4 (LAPAR 31 x AN 9022180), do híbrido duplo HD2/4//5/7 [(LAPAR 31 x AN 9022180) x (A 805 x PF 9029975)] e do híbrido múltiplo.

Os procedimentos, estimativa de  $m+a'$  e  $d$  e estimativa da probabilidade de uma dada população gerar linhagens que superem um determinado padrão mostraram-se promissores como estratégias de escolha de populações segregantes no feijoeiro, especialmente se as avaliações forem realizadas em mais locais e em diferentes épocas de semeadura.

Ficou evidenciado que, quando os melhoristas têm objetivos bem definidos e condições de avaliar suas populações segregantes para identificar as mais promissoras, o emprego de cruzamentos múltiplos não é vantajoso.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A. de F. B. **Predição do potencial genético de populações segregantes do feijoeiro utilizando genitores inter-raciais.** 1997. 95p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- ABREU, A. de F. B.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; PEREIRA FILHO, I. A. **Effects genotype x envioment interaction on estimations of genetic and phenotypic parameters of common beans.** *Revista Brasileira de Genética*, Ribeirão Preto, v. 13, n. 1, p. 75-82, Mar. 1990.
- ABREU, A. de F.B. **Avaliação de progênes de feijoeiro do cruzamento 'Carioca 80' x 'Rio Tibagi' em diferentes densidades de plantio.** 1989. 63p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- ACQUAAH, G.; ADAMS, M. W.; KELLY, J. D. **Identification of effective indication of erect plant arquitetura in dry bean ideotype.** *Crop Science*, Madison, v. 31, n. 2, p. 261-264, Mar./Apr. 1991.
- AGGARWAL, V. D.; SINGH, T. P. **Genetic variability and interrelation in agronomic traits in kidney-bean (*Phaseolus vulgaris* L. ).** *Indian Journal Agricultural Sicence*, New Delhi, v. 43, n. 9, p. 845-848, Sept. 1973.
- AGUIAR, A. M.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. **Controle genético do 'stay green' no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. ).** *Revista Ceres*, Viçosa, v. 47, n. 270, p. 155-167, jan./fev. 2000.
- ALLARD, R. W. **Princípios do melhoramento genético das plantas.** Tradução de Almiro Blumenschein, Ernesto Paterniani, José T. do Amaral Gurgel, Roland Vencovsky. São Paulo: Edgard Blucher, 1971. 381p. Tradução de Principles of plant breeding.
- ALMEIDA, L. D'A. de. **O feijão Carioca: reflexos de sua adoção.** Campinas: IAC, 2000. n.p.
- ALMEIDA, L. D'A. de; LEITÃO FILHO, H. F.; MIYASAKA, S. **Características do feijão carioca, um novo cultivar.** *Bragantia*, Campinas, v. 30, p. XXXIII-XXXVIII, Abr. 1971. Nota 7.

ALZATE-MARIN, A. L. Resistência à antracnose do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.): diversidade genética de raças de *Colletotrichum lindemuthianum*, herança de resistência e identificação de marcadores moleculares. 1996. 65p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ALZATE-MARIN, A. L.; ARRUDA, M. C.; CORREA, R. X.; NIETSCH, 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. Anais... Goiânia: SBMP, 2001a. CD-ROM.

ALZATE-MARIN, A. L.; BAÍA, G. S.; PAULA JR, T. J.; CARVALHO, G. A.; 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, Sept. 1997a.

ALZATE-MARIN, A. L.; MENARIM, H.; BAÍA, G. S.; PAULA JR, T. J.; SOUZA, K. A.; COSTA, M. R.; BARROS, E. G.; MOREIRA M. A. Inheritance of anthracnose resistance in the common bean differential cultivar G2333 and identification of a new molecular marker linked to the Co-4<sup>2</sup> gene. *Journal of Phytopathology*, Berlin, v. 149, n. 5, p. 259-264, May 2001b.

ALZATE-MARIN, A. L.; PAULA JR, T. J.; MENARIM, H.; QUEIROZ, F. N. T.; BARROS E. G.; MOREIRA M. A. Use of RAPD markers to understand the dominant nature of anthracnose resistance genes present in common bean cultivar AB 136. *Annual Report Bean Improvement Cooperative*, New York, v. 40, n. 40, p. 132-133, 1997b.

ANDRADE, E. M.; COSTA, J. G. C.; RAVA, C. A. Variabilidade patogênica de isolados de *Colletotrichum lindemuthianum* de algumas regiões brasileiras. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 6., 1999, Salvador. Anais... Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. v. 1, p.242-244. Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 99.

ANDRADE, W. E. de B.; SOUZA FILHO, B. F.; FERNANDES, G. M. B.; SANTOS, J. G. C. Avaliação de genótipos de feijão do grupo carioca no estado do Rio de Janeiro. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 6., 1999, Salvador. Anais... Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. v. 1, p.272-274. Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 99.

- ANTUNES, I. F.; TEIXEIRA, M. G.; ZIMMERMANN, M. J. de O. Relative performance among crossing techniques under field and greenhouse conditions on beans. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, New York, v. 23, p. 117-119, 1980.
- APARICIO, B. H. E. Caracterización de la diversidad molecular y la virulencia de aislamentos del hongo *Phaeoisariopsis griseola* de Brasil e Bolivia. Cali, Colombia: Universidade del Valle, 1998. Trabalho de grado.
- ARRIEL, E. F.; SANTOS, J. B. dos; RAMALHO, M. A. P. Efeito do oídio no rendimento da cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 6, p. 849-852, jun. 1991.
- 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. 97p. Dissertação – (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- A REVOLUÇÃO DO CARIOQUINHA. **Informação Apta**. São Paulo, v. 1, n. 1, p. 3-5, maio/jun. 2000.
- BADAN, A. C. C. Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos em duas populações de arroz de sequeiro e implicações para o melhoramento. 1999. 51p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.
- BAENZIGER, P. S.; PETERSON, C. J. Genetic variation: its origin and use for breeding self-pollinated species. In: STALKER, H. T.; MURPHY, J. P. (Ed.). **Plant Breeding in the 1990's**. Raleigh: North Carolina State University, 1991. p.69-100.
- BAI, Y.; MICHAELS, T. E.; PAULS, K. P. Determination of genetic relationships among *Phaseolus vulgaris* populations in a conical cross from RAPD marker analyses. **Molecular Breeding**, Dordrecht, v. 4, n. 5, p. 395-406, 1998.
- BAKER, R. J. Quantitative genetic principles in plant breeding. In: GUSTAFSON, J. P. (Ed.). **Gene manipulation in plant improvement**. Columbia: Universidade of Missouri, 1984. p.147-176.
- BARBIN, D. Componentes de variância. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/Departamento de Matemática, 1993. 108p.

- BARROS, O.; CARDEÑOSA, R.; SKILES, R. L. The severity and control of angular leaf spot of beans in Colombia. *Phytopathology*, St. Paul, v. 47, n. 1, p. 3-4, 1957.
- BASSET, M. J. The griseoalbus (gray-white) seedcoat color is controlled by na allele ( $p^{gr}$ ) at the P locus in common bean. *HortScience*, Alexandria, v. 29, n. 10, p. 1178-1179, Oct. 1994.
- BASSET, M. J. Linkage mapping of marker genes in common bean. In: GEPTS, P. (Ed. ). *Genetic resources in Phaseolus beans*. Boston: Klumer Academic Publishers, 1988. p.329-353.
- BASSET, M. J. List of genes - *Phaseolus vulgaris* L. *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative*, New York, v. 39, n. 39, p. 1-19, Mar. 1996.
- BASSET, M. J.; McCLEAN, P. A brief review of the genetics of partly colored seed coats in common bean. *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative*, New York, v. 43, n. 43, p. 99, Mar. 2000.
- BETT, K. E.; MICHAELS, T. E. A two-gene model for powdery mildew resistance in common bean. *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative*, New York, v. 38, p. 145-146, 1995.
- BRAZ, A. J. B. P.; PIMENTA, F. F.; TOBIAS, R. C.; DEL PELOSO, M. J.; CARNEIRO, G. E. S. Avaliação de genótipos de feijão dos grupos carioca e roxo/rosinha irrigado em Rio Verde - GO. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 6., 1999, Salvador. *Anais... Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão*, 1999. v. 1, p.275-277. Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 99.
- BRICK, M. A.; GUL, G.; SCHWARTZ, H. F. Morfological features of the seed coat surface of shiny and opaque black bean seed. *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative*, New York, v. 43, n. 43, p. 15, Mar. 2000.
- BROTHERS, M. E.; KELLY, J. D. Interrelationship of plant architecture and yield components in the pinto bean ideotype. *Crop Science*, Madison, v. 33, n. 6, p. 1234-1238, Nov./Dec. 1993.
- BUIHAND T. J. The crossing of beans (*Phaseolus* spp. ). *Euphytica*, Wageningen, v. 5, n. 1, p. 41-50, Feb. 1956.
- CAMACHO, L. H.; CARDONA, C.; OROZOCO, S. H. Genotypic and phenotypic correlation of components of yield in kidney beans. *Annual Report Bean Improvement Cooperative*, Cali, v. 7, p. 8-9, Jan. 1964.

**CARDONA-ALVAREZ, C.** Herencia de la resistencia a la mancha angular en frijol. *Agronomía Tropical*, Maracay, v. 18, n. 3, p. 330-331, oct./dic. 1962.

**CARNEIRO, G. E. S.; ZIMMERMANN, F. J.; DEL PELOSO, M. J.** Avaliação de linhagens de feijão dos grupos carioca e preto nas regiões sudeste e centro-oeste do Brasil. In: **REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO**, 6., 1999, Salvador. *Anais...* Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. v. 1, p. 280-282. Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 99.

**CARVALHO, G. A.; PAULA JR., T. J.; ALZATE-MARIN, A. L.; NIETSCH, 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, dez. 1998.

**CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL.** Sistema estándar para la evaluación de germoplasma de frijol. Cali: CIAT, 1987. 56p.

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

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

**COMSTOCK, R. E.** Selection procedures in corn improvement. In: **ANNUAL HYBRID CORN INDUSTRIAL RESEARCH CONFERENCE**, 19., 1964. *Proceedings...* 1964. p87-94.

**COOPER, R. L.** Mejoramiento por rendimiento en soya: prueba de generacion temprana y adaptacion especifica a ambientes de alto rendimiento versus ambientes de bajo rendimiento. In: **BEEBE, S. (Ed.). Temas actuales en mejoramiento genético del frijol comum: programa del frijol.** Cali: CIAT, 1988. p.301-323. Documento de trabajo, 47.

**CORTE, H. R.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A de F. B.** Ganho genético com a seleção natural após 12 gerações de endogamia em populações segregantes do feijoeiro. In: **ENCONTRO MINEIRO DE GENETICISTAS**, 5., 1998, Viçosa. *Anais...* Viçosa: UFV, 1998. p.68.

- COSTA, J. G. C. da; ANTUNES, I. F. Determinação da porcentagem de cruzamentos naturais em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) no município de Pelotas, RS. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 27., 1975, Belo Horizonte. Resumos.... Belo Horizonte: SBPC, 1975. p.252.
- COYNE, D. P.; STEADMAN, J. R. Inheritance and association of some traits in a *Phaseolus vulgaris* L. cross. *The Journal of Heredity*, Baltimore, v. 68, n. 1, p. 60-62, Jan. 1977.
- CRUZ, C. D. Aplicações de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas. 1990. 188 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: UFV, 1994. 390p.
- CUTRIM, V. dos A.; RAMALHO, M. A. P.; CARVALHO, A. M. Eficiência da seleção visual na produtividade de grãos de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 32, n. 6, p. 601-606, jun. 1997.
- DAVIS, J. H. C.; EVANS, A. M. Selection indices using type characteristics in navy beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *The Journal of Agricultural Science*, Cambridge, v. 89, n. 2, p. 341-348, Oct. 1977.
- DEBOUCK, D. Systematics and morphology. In: SCHOONHOVEN, A. V.; VOYSEST, O. (Ed.). *Common beans: research for crop improvement*. Cali: CIAT, 1991. p.55-118.
- DUNDAS, B. Breeding beans for resistance to powdery mildew and rust. *Phytopathology*, St. Paul, v. 32, n. 9, p. 828, Sept. 1942.
- DUNDAS, B. Inheritance of resistance to powdery mildew in beans. *Hilgardia*, Berkeley, v. 10, n. 8, p. 241-253, Nov. 1936.
- FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. *Introduction to quantitative genetics*. Malaysia: Longman, 1996. 463p.
- FEHR, W. R. *Principles of cultivar development: teoria e técnica*. New York: MacMillan, 1987. 536 p.



FERNANDES, F. R.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; CARNEIRO, J. E. S. Alternativas de hibridação artificial em programas de seleção recorrente do feijoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1., 2001, Goiânia. Anais... Goiânia: SBMP, 2001. CD-ROM.

FERREIRA, C. F.; BORÉM, A.; CARVALHO, G. A.; NIETSCH, S.; PAULA Jr., T. J.; 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, set. 1999.

FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. de; SANTOS, M. X. dos; RAMALHO, M. A. P. Métodos de avaliação da divergência genética em milho e suas relações com os cruzamentos dialélicos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 30, n. 9, p. 1189-1194, set. 1995.

FERREIRA, W. D. Implicações do número de famílias no processo seletivo na cultura do feijoeiro. 1998. 68p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

FOUILLOUX, G.; BANNEROT, H. Selection methods in the common bean (*Phaseolus vulgaris*). In: GEPTS, P. (Ed.). *Genetic Resources of Phaseolus Beans: their maintenance, domestication, evolution and utilization*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1988. p.503-542.

FREY, K. J. The use of F<sub>2</sub> lines in predicting the performance of F<sub>3</sub> selections in two barley cross. *Agronomy Journal*, Madison, v. 46, n. 12, p. 541-544, Dec. 1954.

GONÇALVES, F. M. A. Seleção natural em populações segregantes do feijoeiro. 2000. 98p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

GONÇALVES, P. R. Obtenção de linhagens de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) com grão tipo Carioca resistente a antracnose e mancha angular. 1995. 65p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

GONZALES, S. N. Estudio de algunos factores que afetam el cruzamiento artificial en frijol comum *Phaseolus vulgaris* L. de riego. *Agricultura Técnica em México*, México, v. 7, n. 2, p. 83-95, jul./Dic. 1981.

GUTIÉRREZ, J. A.; SINGH, S. P. Heterosis and inbreeding depression in dry bush beans, *Phaseolus vulgaris* L. **Canadian Journal Plant Science**, Ottawa, v. 65, n. 2, p. 243-249, Apr. 1985.

HAMBLIN, J.; EVANS, A. M. The estimation of cross yield using early generation and parental yields in dry beans (*Phaseolus vulgaris* L. ). **Euphytica**, Wageningen, v. 25, n. 2, p. 515-520, June 1976.

HAMBLIN, J.; MORTON, J. R. Genetic interpretations of the effects of bulk breeding on four populations of beans (*Phaseolus vulgaris* L. ). **Euphytica**, Wageningen, v. 26, n. 1, p. 75-83, Feb. 1977.

JINKS, J. L.; POONI, H. S. Predicting the properties of recombinant inbred lines derived by single seed descent. **Heredity**, Edinburgh, v. 36, n. 2, p. 253-266, Feb. 1976.

JUNQUEIRA NETO A.; LASMAR FILHO, J. Taxa de alogamia do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L. ) em Lavras, Minas Gerais. **Agros**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 19-21, jan. 1971.

KEARSEY, M. J.; POONI, H. S. **The genetical analysis of quantitative traits**. Birmingham: University of Birmingham, 1998. 381p.

KELLY, J. D.; KOLKMAN, J. M.; SCHNEIDER, K. A. Breeding for High Yield in Common Bean. In: **TALLER DE MEJORAMIENTO DE FRJOL PARA EL SIGLO**, 21., 1996, Cali, Colombia. **Bases para una estrategia para América Latina**. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1997. p.187-204.

KELLY, J. D.; YOUNG, R. A. Proposed symbols for anthracnose resistance genes. **Annual Report Bean Improvement Cooperative**, New York, v. 39, p. 20-24, 1996.

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

KORNEGAY, J.; WHITE, J. W.; CRUZ, O. O. de la. Growth habit and gene pool effects on inheritance of yield in common bean. **Euphytica**, Wageningen, v. 62, n. 3, p. 171-180, Dec. 1992.

LAMKEY, K. R.; EDWARDS, J. W. Quantitative Genetics of Heterosis. In: COORS, J. G.; PANDEY, S. **Genetics and exploitation of heterosis in crops**. Madison: American Society of Agronomy, 1999. p.31-48.

LAMPRECHT, H. Zur genetik von *Phaseolus vulgaris*. XVII-XVIII. Zwei neue Gene für Abzeichen auf der Testa, Punc und Mip, sowie über die Wirkung von V und Inh. **Hereditas, Landskrona**, v. 26, n. 3/4, p. 292-304, 1940.

LAMPRECHT, H. Zur genetik von *Phaseolus vulgaris* x über infloreszenztypen und ihre vererbung. **Hereditas, Landskrona**, v. 20, n. 1, p. 71-93, Jan. 1935.

LANZA, M. A.; PAULA JR., T. J.; MENARIM, H.; QUEIROZ, T. F. N.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Comportamento de variedades de feijão recomendadas para Minas Gerais quanto à resistência à antracnose. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 5., 1996, Goiânia. **Resumos... Goiânia: EMBRAPA-CNPAF-APA**, 1996. v. 1, p.313-315. Embrapa-CNPAF. Documentos, 69.

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

LIMA, M. W. P.; SOUZA, E. A.; RAMALHO, M. A. P. Procedimento para escolha de populações de milho promissoras para extração de linhagens. **Bragantia, Campinas**, v. 59, n. 2, p. 153-158, 2000.

MARQUES JÚNIOR, O. G.; RAMALHO, M. A. P. Determinação da taxa de fecundação cruzada do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) nas diferentes épocas de semeadura em Lavras-MG. **Ciência e Prática, Lavras**, v. 19, n. 3, p. 339-341, jul./set. 1995.

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

MELO, L. C. Mapeamento de QTL's em feijoeiro, por meio de marcadores RAPD, em diferentes ambientes. 2000. 148p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

**MENDONÇA, H. A. de. Escolha de populações segregantes de feijoeiro utilizando parâmetros genéticos, fenotípicos e marcadores RAPD. 2001. 100p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG..**

**MSTAT-C. A software program for the design, management and analysis of agronomic research experiments. [S. 1]: Michigan State University, 1991. p. irr.**

**NIENHUIS, J.; SINGH, S. P. Combining ability analyses and relationships among yield, yield components and architectural traits in dry bean. Crop Science, Madison, v. 26, n. 1, p. 21-27, Jan. /Feb. 1986.**

**NIENHUIS, J.; SINGH, S. P. Genetics of seed yield and its components in common bean (*Phaseolus vulgaris* L. ) of Middle-American origins. I. General combiningability. Plant Breeding, Cambridge, v. 101, n. 2, p. 143-154, June 1988.**

**NIETSCHÉ, S. Identificação de raças de *Phaeoiosariopsis griseola* e determinação de fontes de resistência em *Phaseolus vulgaris*. 1997. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.**

**NIETSCHÉ, S.; BORÉM, A.; CARVALHO, G. A.; PAULA JR., T. J.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Fontes de resistência à mancha-angular do feijoeiro em Minas Gerais. Revista Ceres, Viçosa, v. 45, n. 262, p. 567-571, 1998.**

**NIETSCHÉ, S.; BORÉM, A.; CARVALHO, G. A.; ROCHA, R. C.; PAULA JR., T. J.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. RAPD and SCAR markers linked to a gene conferring resistance to angular leaf spot in common bean. Phytopathology, St. Paul, v. 148, p. 117-121, 2000a.**

**NIETSCHÉ, S.; BORÉM, A.; ROCHA, R. C.; CAIXETA, E. T.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Fontes de resistência à mancha-angular do feijoeiro-comum no Brasil. Revista Ceres, Viçosa, v. 47, n. 273, p. 567-572, nov./dez. 2000b.**

**NIETSCHÉ, S.; BORÉM, A.; ROCHA, R. C.; CAIXETA, E. T.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Identificação de raças de *Phaeoiosariopsis griseola* no estado de Minas Gerais. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 6., 1999, Salvador. Anais... Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. v. 1, p.198-200. Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 99.**

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

OLIVEIRA, L. B. de; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; FERREIRA, D. F. 1996. Alternative procedures for parent choice in a breeding program for the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Brazilian Journal of Genetics*, Ribeirão Preto, v. 19, n. 4, p. 611-615, Dec. 1996.

OTUBO, S. T.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; SANTOS, J. B. dos. Genetic control of low temperature tolerance in germination of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Euphytica*, Wageningen, v. 89, n. 3, p. 313-317, Mar. 1996.

PACHECO, C. A. P.; SANTOS, M. X.; CRUZ, C. D.; GUIMARÃES, P. E. O.; PARENTONI, S. N.; GAMA, E. E. G.; CARVALHO, H. W. L.; VIEIRA, P. A.; SILVA, A. E. Avaliação da depressão por endogamia em 28 populações elites de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 22., 1998, Recife. *Anais... Recife*, 1998. CD-ROM.

PACOVA, B. E. V.; ROCHA, A. C. de M. Hibridação natural no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em Linhares, Espírito Santo. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 22, n. 120, p. 157-158, mar./abr. 1975.

PANIAGUA, C. V.; PINCHINAT, A. M. Cráterios de selección para mejorar el rendimiento de grano en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Turrialba*, San Jose, Costa Rica, v. 26, n. 2, p. 126-131, abr./jun. 1976.

PASTOR-CORRALES, M. A.; ERAZO, O.; ESTRADA, E.; SINGH, S. P. Inheritance of anthracnose resistance in common bean accession G2333. *Plant Disease*, St. Paul, v. 78, n. 10, p. 959-962, Oct. 1994.

PASTOR-CORRALES, M. A.; JARA, C. E. La evolución de *P. griseola* com el frijol comum en América Latina. *Fitopatologia Colombiana*, Cali, v. 19, n. 1, p. 15-23, 1995.

PASTOR-CORRALES, M. A.; PAULA JR., T. J. Estudo da diversidade genética de *Phaeoiosariopsis griseola* no Brasil. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 5., 1996, Goiânia. *Anais... Goiânia: EMBRAPA-CNPAF-APA*, 1996. v. 1, p.39-241. Documentos, 69.

PATERNIANI, E. Interação genótipo x ambiente em climas tropicais e subtropicais. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 16., Belo Horizonte, 1986. Anais... Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 1986. p.378-382.

PATÍÑO, H.; SINGH, S. P. Visual selection for seed yield em the F<sub>2</sub> and F<sub>3</sub> generation of nine common bean crosses. Annual Report Bean Improvement Cooperative. New York, v. 32, p. 79-80, 1989.

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

PETERNELLI, L. A.; BOREM, A. Hibridação em feijão. In: BOREM, A. (Ed.). Hibridação artificial de plantas, Viçosa: UFV, 1999. p.269-294.

PETERNELLI, L. A.; CARDOSO, A. A.; CRUZ, C. D.; VIEIRA, C.; FURTADO, M. R. Herdabilidade e correlações do rendimento do feijão e seus componentes primários no monocultivo e no consórcio com o milho. Revista Ceres, Viçosa, v. 41, n. 235, p. 306-316, maio/jun. 1994.

PIROLA, L. H. Seleção natural e a interação famílias x locais na cultura do feijoeiro. 2000. 52p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

POMPEU, A. S. Polinização cruzada natural no feijoeiro. Bragantia, Campinas, v. 22, n. 1, p. 53-57, jan. 1963.

QUINONES, F. A. Relationships between parents and selections in crosses of dry beans. Crop Science, Madison, v. 9, n. 5, p. 673-675, Sept./Oct. 1969.

RAM, H. H.; PRASAD, N. B. Linkage among genes for growth habitat, plant height, pod size and shape in *Phaseolus vulgaris* L. Crop Improvement, v. 12, n. 1, p. 14-17, Feb. 1985.

RAMALHO, M. A. P. Melhoramento do feijoeiro. In: SIMPÓSIO SOBRE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1997, Lavras. Anais... Lavras: UFLA, 1997. p.167-196.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; GONÇALVES, F. M. A.; CORTE, H. R. Desempenho de linhagens de feijão do programa de melhoramento da UFLA/EPAMIG em vários ambientes. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 6., 1999, Salvador. Anais... Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. v. 1, p.335-338. Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 99.

- RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; SANTOS, J. B. dos. Melhoramento de espécies autógamas. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S. de; VALADARES-INGLIS, M. C. (Ed.). Recursos genéticos e melhoramento: plantas. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p.201-230.
- RAMALHO, M. A. P.; ANDRADE, L. A. de B.; TEIXEIRA, N. C. S. Correlações genéticas e fenotípicas entre caracteres do feijão (*Phaseolus vulgaris* L. ). Ciência e Prática, Lavras, v. 3, n. 1, p. 63-70, jan./mar. 1979.
- RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. Experimentação em genética e melhoramento de plantas. Lavras: UFLA, 2000. 326p.
- RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; PEREIRA FILHO, I. A. Choice of parents for dry bean (*Phaseolus vulgaris* L. ) breeding. I. Interações of mean components by generation and by location. Revista Brasileira de Genética, Ribeirão Preto, v. 11, n. 2, p. 391-400, Jun. 1988.
- RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; ZIMMERMANN, M. J. de O. Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro. Goiânia: UFG, 1993. 271p.
- RANALLI, P. Phenotypic recurrent selection in common bean (*Phaseolus vulgaris* L. ) based on performance of S<sub>2</sub> progenies. Euphytica, Wageningen, v. 87, n. 1-2, p. 127-132, Jan. 1996.
- RANALLI, P.; RUARO, G.; DEL RE, P.; FAETI, V. Comparison of early generation yield testing and a single seed descent procedure in two bean (*Phaseolus vulgaris* L. ) crosses. Journal of Genetics and Breeding, Rome, Italy, v. 50, n. 2, p. 103-108, Jun. 1996.
- RAPOSO, F. V. Comparação de métodos de condução de populações segregantes de feijoeiro. 1999. 72p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- RAVA, C.; 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.

**REZENDE, V. F. Caracteres agronômicos e marcadores RAPD associados ao gene de reação ao agente causal do oídio no feijoeiro. 2000. 60p. Dissertação – (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.**

**REZENDE, V. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Comportamento de linhagens de feijão com relação ao nível de resistência ao oídio. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 5., 1996, Goiânia. Anais... Goiânia: Embrapa-CNPAF-APA, 1996. p.329-331.**

**REZENDE, V. F.; RAMALHO, M. A. P.; CORTE, H. R. Genetic control of common bean (*Phaseolus vulgaris*) resistance to powdery mildew (*Erysiphe polygoni*). *Genetics and Molecular Biology*, Ribeirão Preto, v. 22, n. 2, p. 233-236, June 1999.**

**ROSAL, C. J. de S. Seleção precoce para produtividade no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. ). 1999. 51p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.**

**ROYER, M. R.; VIDIGAL, M. C. G.; SCAPIM, C. A. Hibridação natural em feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L. ), em Maringá, Paraná. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 6., 1999, Salvador, BA. Resumos expandidos... Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. p.376-378.**

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

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

**SANTOS, P. C. dos; CARDOSO, A. A.; VIEIRA, C.; SILVA, J. C. Herdabilidade e correlações do rendimento com seus componentes dos cruzamentos de feijão. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 33, n. 189, p. 404-412, maio/jun. 1986.**

**SANTOS, V. da S. Implicações da seleção precoce para tipo de grão no melhoramento genético do feijoeiro comum. 2001. 57p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.**



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

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

SARTORATO, A.; NIETSCH, 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, dez. 2000.

SARTORATO, A.; RAVA, C. A. Influência da cultivar e do número de inoculações na severidade de mancha angular (*Isariopsis griseola*) e nas perdas na produção do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*). Fitopatologia Brasileira, Brasília, v. 17, n. 3, p. 247-251, set. 1992.

SARTORATO, A.; RAVA, C. A. Principais doenças do feijoeiro comum e seu controle. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 300p. EMBRAPA – CNPAF. Documentos, 50.

SARTORATO, A.; RAVA, C. A.; COSTA, J. G. C. Resistência do feijoeiro comum ao oídio (*Erysiphe polygoni*): resultados preliminares. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 4., 1993, Londrina. Anais... Londrina, 1993. Resumos 37.

SATTERTHWAITTE, F. E. An approximate distribution of estimates of variance components. Biometrics, Raleigh, v. 2, n. 6, p. 110-114, Dec. 1946.

SCHWARTZ, H. F.; KATHERMAN, M. J.; THUNG, M. D. T. Yield response and resistance of dry beans to powdery mildew in Colombia. Plant Disease, Washington, v. 65, n. 9, p. 737-738, 1981.

SILVA, H. D.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; MARTINS, L. A. Efeito da seleção precoce para produtividade de grãos em populações segregantes do feijoeiro. II seleção de famílias. Ciência e Prática, Lavras, v. 18, n. 2, p. 181-185, abr./jun. 1994.

SILVA, M. V. Identificação de marcador RAPD ligado ao alelo Co-7 de resistência do feijão ao agente causal da antracnose. 2000. 78p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SINGH, A. K.; SAINI, S. S. Inheritance of resistance to angular leaf spot (*Isariopsis griseola* Sacc. ) in french bean (*Phaseolus vulgaris* L. ). *Euphytica*, Wageningen, v. 29, n. 1, p. 175-176, Feb. 1980.

SINGH, R. P.; RAJARAM, S.; MIRANDA, A.; HUERTA-ESPINO, J.; AUTRIQUE, E. Comparison of two crossing and four selection schemes for yield, yield traits and slow rusting resistance to leaf rust in wheat. *Euphytica*, Wageningen, v. 100, n. 1, p. 35-43, 1998.

SINGH, S. P. Progreso, problemas y el futuro del mejoramiento de frijoles mesoamericanos e la mejora genética integrada. In: TALLER DE MEJORAMIENTO DE FRIJOL PARA EL SIGLO 21., 1997, Cali, Colombia. Bases para una estrategia para América Latina. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1997. p.334-350.

SINGH, S. P. Broadening the genetics base of common bean cultivars: a review. *Crop Science*, Madison, v. 41, n. 6, p. 1659-1667, Nov./Dec. 2001.

SINGH, S. P.; MUÑOS, C. G.; TERÁN, H. Determinacy of growth habit in common bean, *Phaseolus vulgaris* L. *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative*, New York, v. 39, p. 211-212, 1996.

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, June 1995.

SOUZA, E. A.; GERALDI, I. O.; RAMALHO, M. A. P. Alternativas experimentais na avaliação de famílias em programas de melhoramento genético do feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 35, n. 9, p. 1765-1771, set. 2000.

SOUZA JR., C. L.; VENCOVSKY, R. Covariância entre parentes na presença da interação genótipo x ambientes. In: SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA, 1989, Lavras. Resumos... Lavras: ESAL, 1989. p.50-51.

SOUZA SOBRINHO, F. Divergência genética de híbridos simples e alternativas para obtenção de híbridos duplos de milho. 2001. 96p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

**STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H.; DICKEY, D. A. Principles and procedures of statistics: a Biometrical Approach. 3. ed. New York: Mc Graw Hill, 1997. 666p.**

**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, jun. 1991.**

**TEIXEIRA, F. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Genetic control of plant architecture in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Genetics and Molecular Biology*, Ribeirão Preto, v. 22, n. 4, p. 577-582, Dec. 1999.**

**TUNEO, S.; TEIXEIRA, R. de C.; REIS, M. S. Melhoramento da soja. In: BORÉM, A. (Ed.). *Melhoramento de espécies cultivadas*. Viçosa: UFV, 1999. p.488-533.**

**URREA, C. A.; SINGH, S. P. Comparison of mass,  $F_2$  – derived family, and single-seed-descent selection method in an interracial population of common bean. *Canadian Journal of Plant Science*, Ottawa, v. 74, n. 3, p. 461-464, July 1994.**

**VALE, F. X. R. do; ZAMBOLIM, L. Controle de doenças de plantas: grandes culturas. Viçosa: UFV/ Departamento de Fitopatologia, 1997. v. 2, p. 335-435.**

**VENCOVSKY, R. Herança Quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIÉGAS, G. P. (Ed.). *Melhoramento e produção do milho no Brasil*. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.122-201.**

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

**VIEIRA, C. Doenças e pragas do feijoeiro. Viçosa: UFV, 1983. 231p.**

**VIEIRA, C. O feijão e eu: memórias de um ex-aluno da ESAV. Viçosa: UFV, 1996. 178p.**

**VIEIRA, C. O feijoeiro comum: cultura, doenças e melhoramento. Viçosa: UFV. 1967. 220p.**

VIEIRA, C. Manteigão Fosco 11, variedade de feijão para a Zona da Mata, Minas Gerais. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 11, n. 62, p. 98-102, Jan./jun. 1960.

VIEIRA, C. Rico 23, nova variedade de feijão preto para a Zona da Mata, Minas Gerais. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 11, n. 61, p. 22-26, maio/dez. 1959.

VIEIRA, C. Sobre a hibridação natural em *Phaseolus vulgaris* L. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 11, n. 63, p. 103-107, jul./dez.1960.

VIEIRA, C.; BORÉM, A.; RAMALHO, M. A. P. Melhoramento do feijão. In: BORÉM, A. (Ed.). *Melhoramento de espécies cultivadas*. Viçosa: UFV, 1999. p.273-349.

VILARINHO, L. B. O.; CAIXETA, E. T.; OLIVEIRA, E. J. de; BORÉM, A. Hibridação em feijão e seus respectivos índices de autofecundação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1., 2001, Goiânia. *Anais... Goiânia: SBMP, 2001. CD-ROM*.

VILHORDO, B. W.; MULLER, L.; EWALD, L. F.; LEÃO, M. L. Hábito de Crescimento em Feijão (*Phaseolus vulgaris* L. ). *Agronomia Sulriograndense*, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 79-98, 1980.

VIZGARRA, O. N. Capacidade de combinação de algumas cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L. ) com diferentes mecanismos de resistência ao vírus do mosaico dourado. 1991. 78p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG.

VOYSEST, O. V. Mejoramiento genético del frijol (*Phaseolus vulgaris* L. ): legado de variedades de América Latina 1930 - 1999. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 2000. 195p.

WADE, R. B. An improvement in bean crossing technique. *Proceeding of the America Society for Horticultural Science*, Mount, v. 43, p. 187-188, 1943.

WELLS, W.; ISOM, W. H.; WAINES, J. G. Outcrossing rates of six common bean lines. *Crop Science*, Madison, v. 28, n. 1, p. 177-178, Jan./Feb. 1988.

WESTER, R. E.; JORGENSEN, H. Emasculation unnecessary in hybridizing lima beans. *Proceeding of the America Society for Horticultural Science*, Mount, v. 55, p. 384-390, 1950.

**WITCOMBE, J. R.; VIRK, D. S.** Number of crosses and population size for participatory and classical plant breeding. *Euphytica*, Wageningen, v. 122, n.3, p. 451-462, 2001.

**YOUNG, R.; KELLY, J. D.** RAPD markers linked to three major anthracnose resistance genes in common bean. *Crop Science*, Madison, v. 37, n. 3, p. 940-946, May/June 1997.

**YOUNG, R.; MELOTTO, M.; NODARI R, O.; KELLY, J. D.** Marker-assisted dissection of oligogenic anthracnose resistance in the common bean cultivar, 'G 2333'. *Theoretical and Applied Genetics*, Berlin, v. 96, n. 1, p. 87-94, 1998.

**ZIMMERMANN, M. J. O.; ROSIELLE, A. A.; WAINES, J. G.; FOSTER, K. W.** A heritability and correlation study and harvest index of common bean in soil crop and intercrop. *Field Crops Research*, Netherlands, v. 9,n. 1, p. 109-118, Jan. 1984.

## ANEXO

### ANEXO A

	<b>Página</b>
<b>TABELA 1A</b> Resumo das análises de variância por local, dos caracteres produtividade de grãos (kg/ha), severidade de oídio e arquitetura de planta, referente aos experimento de avaliação de populações F <sub>2</sub> oriundas de híbridos simples (HS), duplos (HD) e múltiplo (HM). Lavras e Coimbra, MG, inverno/1999.....	130
<b>TABELA 2A</b> Resumo da análise de variância dos caracteres produtividade de grãos (kg/ha), arquitetura de planta e severidade de mancha angular, dos experimentos de avaliação de populações F <sub>2</sub> e F <sub>3</sub> oriundas de híbridos simples (HS), duplos (HD) e múltiplo (HM). Lavras, MG, seca/2000.....	131
<b>TABELA 3A</b> Resumo da análise de variância dos caracteres produtividade de grãos (kg/ha), arquitetura de planta e severidade de mancha angular, do experimento de avaliação de populações F <sub>2</sub> e F <sub>3</sub> oriundas de híbridos simples (HS), duplos (HD) e múltiplo (HM). Coimbra, MG, seca/2000.....	132
<b>TABELA 4A</b> Resumo das análises de variância da produtividade de grãos (kg/ha), referente aos experimentos de avaliação de famílias F <sub>2.4</sub> e F <sub>2.5</sub> oriundas de híbridos simples (HS), duplos (HD) e múltiplo (HM). Lavras e Coimbra, MG, seca e inverno de 2000.....	133
<b>TABELA 5 A</b> Resumo das análises de variância da produtividade de grãos (kg/ha), referente aos experimentos de avaliação de famílias F <sub>4.6</sub> , oriundas de híbridos simples (HS), duplos (HD) e múltiplo (HM). Lavras e Coimbra, MG, inverno/2001.....	134

**TABELA 1A.** Resumo das análises de variância por local, dos caracteres produtividade de grãos (kg/ha), severidade de oídio e arquitetura de planta, referente aos experimentos de avaliação de populações F<sub>2</sub> oriundas de híbridos simples (HS), duplos (HD) e múltiplo (HM). Lavras e Coimbra, MG, inverno/1999.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		Produtividade de grãos (kg/ha)		Arquitetura (Lavras)	Oídio (Lavras)
		Lavras	Coimbra		
Tratamentos	19	445434,734**	385572,299**	7,536**	12,651**
Entre pais	7	485730,270**	198381,775*	11,315**	22,140**
Pais vs híbridos	1	3972320,670**	3671427,794**	3,300**	2,535
Entre híbridos	11	99166,100	205979,650**	5,575**	7,530**
Entre híbridos simples	3	326552,135**	526369,600**	12,245**	21,250**
Entre híbridos duplos	1	30654,450	129894,960	16,200**	14,450**
Entre tipos de híbridos	2	9573,320	149268,760	4,020**	1,400
Entre amostras HD1/3//6/8	1	16000,000	72692,675	0,100	0,400
Entre amostras HD2/4//5//7	1	6200,100	126697,535	0,100	0,900
Entre amostras de múltiplo	3	13056,600	19615,038	0,046	0,183
Erro	76	72935,112	74912,163	0,159	0,749
CV (%)		7,59	10,32	7,54	21,75
Média		3557	2653	5,29	3,98

\* e \*\* Significativo, pelo teste F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

TABELA 2A Resumo da análise de variância dos caracteres produtividade de grãos (kg/ha), arquitetura de planta e severidade de mancha angular dos experimentos de avaliação de populações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub> oriundas de híbridos simples (HS), duplos (HD) e múltiplo (HM). Lavras, MG, seca/2000.

Quadrado médio					
FV	GL	Produtividade	Arquitetura	M. angular	
Repetição	4	378179,240 **	0,053	3,578 **	
Tratamento	31	456178,430 **	3,076 **	7,923 **	
Entre pais	7	944695,480 **	6,654 **	17,429 **	
Pais vs populações	1	1623664,350 **	0,002	13,33 **	
Entre populações	23	256739,070 **	2,120 **	4,794 **	
Entre gerações (G)	1	282270,000	0,300	0,300	
Entre híbridos (H)	11	448196,550 **	4,124 **	9,024 **	
Entre hb. simples (HS)	3	1289950,290 **	9,492 **	31,492 **	
Entre hb. duplos (HD)	3	81853,800	5,292 **	1,092	
Entre amostras HD1/3//6/8	1	97301,250	0,200	0,200	
Entre amostras HD2/4//5/7	1	94531,250	0,050	0,050	
Entre tipos de HD	1	53728,900	15,626 **	3,026 *	
Entre amostras de HM	3	52747,230	0,167	0,133	
Entre tipos de híbridos	2	328254,060 *	0,255	0,556	
Híbridos x gerações	11	62960,600	0,282	0,973	
Erro	124	73869,680	0,308	0,759	
CV (%)		8,8	9,9	21,8	
Média		3079,8	5,6	4,0	

\* e \*\* Significativo, pelo teste F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.



TABELA 3A Resumo da análise de variância dos caracteres produtividade de grãos (kg/ha), arquitetura de planta e severidade de mancha angular, do experimento de avaliação de populações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub> oriundas de híbridos simples (HS), duplos (HD) e múltiplo (HM).  
Columbra, MG, seca/2000.

Quadrado médio			FV	GL	Produtividade	Arquitetura	M. angular
Repetição	4	611870,806 **	0,978 **	2,870 **			
Tratamento	31	156531,223 **	1,935 **	9,649 **			
Entre pais	7	227149,968 **	3,257 **	19,071 **			
Pais vs populações	1	1830270,007 **	1,628 **	6,646 **			
Entre populações	23	62267,310	1,546 **	6,912 **			
Entre gerações (G)	1	19026,008	0,533	2,133			
Entre híbridos (H)	11	65015,548	3,056 **	13,552 **			
Entre hbr. simples (HS)	3	64774,200	8,456 **	34,606 **			
Entre hbr. duplos (HD)	3	72816,758	2,350 **	12,356 **			
Entre amostras HD1/3//6/8	1	14364,800	0,200	0,000			
Entre amostras HD2/4//5/7	1	76508,450	0,450	0,013			
Entre tipos de HD	1	127577,024	6,400 **	37,595 **			
Entre amostras hbr. múltiplo (HM)	3	93676,733	0,056	0,617			
Entre tipos de híbridos	2	10683,977	0,515	3,167 *			
Híbridos x gerações	11	63450,099	0,129	0,706			
Erro	124	53298,468	0,191	0,686			
CV (%)		7,91	7,50	18,89			
Média		2919,67	5,83	4,38			

\* e \*\* Significativo, pelo teste F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Fontes de variação		F <sub>24</sub>				F <sub>25</sub>			
GL		Lastras	Colmbra	Lastras	Colmbra	Lastras	Colmbra	Lastras	Colmbra
Tratamentos	399	639644,36 **	359706,99 **	744473,49 **	1084062,83 **	639563,97 **	358162,14 **	742919,55 **	1087101,50 **
Entre famílias	391								
Entre famílias de HS	131	772197,78 **	398462,45 **	820624,17 **	870651,23 **				
Entre famílias de HS1/3	32	1841589,30 **	440537,40 **	567459,71 **	563381,98 **				
Entre famílias de HS6/8	32	347481,30 *	174267,51	378064,15 *	648961,13 **				
Entre famílias de HS2/4	32	380964,30 *	299701,50 **	548663,59 **	561019,46 **				
Entre famílias de HS5/7	32	272199,90	166131,93	329353,03	321359,63				
Entre tipos de HS	3	3405624,75 **	5881020,75 **	16410066,75 **	15651669,03 **				
Entre famílias de HD	129	480208,76 **	272836,89 **	745665,41 **	1069743,42 **				
Entre famílias de HD1/3//6/8	64	417075,90 **	266116,71 **	873827,84 **	1503288,35 **				
Entre famílias de HD2/4//5/7	64	442803,00 **	237320,61 **	627423,05 **	538282,62 **				
Entre tipos de HD	1	6898710,00 **	2985937,50 **	112710,00	7319910,00 **				
Entre famílias de HM	129	587408,70 **	315796,20 **	569335,87 **	1281609,12 **				
Entre tipos de híbridos	2	5563890,33 **	5890666,42 **	6670424,63 **	3807197,92 **				
Entre pais	7	656585,70 *	496660,20 **	937304,52 **	1069279,50 **				
Pais vs híbridos	1	539673,32	122,87	3974,88	13547,52				
Erro	741	229436,49	148914,93	237983,21	249533,09				
CV (%)		13,50	14,90	16,90	20,30				
Média		3546	2597	2895	2467				

\*\* e \*\*\* Significativo, pelo teste F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

TABELA 4A Resumo das análises de variância da produtividade de grãos (kg/ha) referente aos experimentos de avaliação de famílias F<sub>24</sub> e F<sub>25</sub> oriundas de híbridos simples (HS), duplos (HD), e múltiplo (HM). Lastras e Colmbra, MG, seca e inverno de 2000.

**TABELA 5A** Resumo das análises de variância da produtividade de grãos (kg/ha) referente aos experimentos de avaliação de famílias F<sub>4-6</sub>, oriundas de híbridos simples (HS), duplos (HD) e múltiplo (HM). Lavras e Coimbra, MG, inverno/2001.

Fontes de variação	Quadrado médio		
	GL	Lavras	Coimbra
Tratamentos	399	909448,97 **	928657,61 **
Entre famílias	391	894449,28 **	938047,80 **
Entre famílias de HS	131	1194240,00 **	860211,00 **
Entre famílias de HS1/3	32	722482,05 **	926750,45 **
Entre famílias de HS6/8	32	975964,10 **	460313,90 **
Entre famílias de HS2/4	32	1857217,10 **	594676,92 **
Entre famílias de HS5/7	32	477202,10	971667,11 **
Entre tipos de HS	3	9139440,75 **	6059559,53 **
Entre famílias de HD	129	689678,64 **	1071206,46 **
Entre famílias de HD1/3//6/8	64	589123,69 **	955043,95 **
Entre famílias de HD2/4//5/7	64	759256,74 **	1159210,98 **
Entre tipos de HD	1	2672196,91 **	2873317,53 **
Entre famílias de HM	129	801360,69 **	835375,38 **
Entre tipos de híbridos	2	467367,24	4071483,91 **
Entre pais	7	1106562,78 **	492031,65 *
Pais vs híbridos	1	5396452,32 **	313464,53
Erro	741	333049,12	247386,36
CV (%)		12,50	13,00
Média		4632	3816

\* e \*\* Significativo, pelo teste F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.