

**IMPLICAÇÕES DA SELEÇÃO PRECOCE
PARA TIPO DE GRÃO NO
MELHORAMENTO GENÉTICO DO
FEIJOEIRO COMUM**

VANDERLEI DA SILVA SANTOS

2001

51241

MPV 36203

VANDERLEI DA SILVA SANTOS

**IMPLICAÇÕES DA SELEÇÃO PRECOCE PARA TIPO DE GRÃO NO
MELHORAMENTO GENÉTICO DO FEIJOEIRO COMUM**

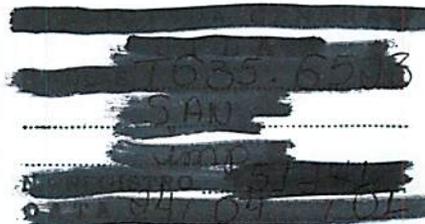


Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador

Prof. Magno Antonio Patto Ramalho

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2001



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

Santos, Vanderlei da Silva

Implicações da seleção precoce para tipo de grão no melhoramento genético do feijoeiro comum / Vanderlei da Silva Santos. Lavras : UFLA, 2001.

57 p. : il.

Orientador: Magno Antonio Patto Ramalho.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Feijão. 2. Phaseolus vulgaris. 3. Variabilidade genética. 4. Espécies autógamas. 5. Melhoramento genético. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-635.6523

VANDERLEI DA SILVA SANTOS

**IMPLICAÇÕES DA SELEÇÃO PRECOCE PARA TIPO DE GRÃO NO
MELHORAMENTO GENÉTICO DO FEJJOEIRO COMUM**

Dissertação 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 "Mestre"

APROVADA em 02 de fevereiro de 2001

Pesq. Dra. Ângela de Fátima Barbosa Abreu EMBRAPA/UFLA

Prof. João Bosco dos Santos UFLA



Prof. Magno Antonio Patto Ramalho

UFLA

(Orientador)

**LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL**

DEDICATÓRIA

Aos meus pais

**Derival Ribeiro dos Santos
e
Celice da Silva Santos,**

**pelo sacrifício que fizeram para
que eu pudesse chegar até aqui**

Ao povo brasileiro,

**cujos impostos custearam
os meus estudos, desde o início**

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos;

À EPAMIG, pela disponibilização do campo experimental da Estação de Patos de Minas e pela ajuda na condução do experimento;

Ao professor Magno Antonio Patto Ramalho, pela orientação dedicada e segura e pela boa vontade em atender a qualquer dia e hora;

Ao professor José Eustáquio, pela excelente co-orientação;

Aos amigos Geraldo Arquimedes Dias de Souza, Arildo da Silveira Machado e Eliseu da Silveira Machado, pela inestimável ajuda que me prestaram;

A Márcio Antônio Martins Santana, camarada e amigo de fé, nos bons e nos maus momentos;

Ao pesquisador Francisco Vilela Resende, pelos primeiros ensinamentos na pesquisa científica;

Ao pesquisador Pedro Hélio Estevam Ribeiro, pela amizade e lealdade demonstradas;

Ao professor Rovilson José de Souza, pela confiança que teve em mim durante a Iniciação Científica;

Aos professores João Bosco dos Santos e Ângela de Fátima Barbosa Abreu, pela cuidadosa revisão da Tese e pela participação na defesa;

Aos amigos da república, Alex, Eduardo, João Luís e Pedro, pelo excelente convívio;

Ao Departamento de Biologia e em especial ao setor de Genética, pela oportunidade de cursar o Mestrado e pela excelente formação que me proporcionou;

Aos colegas do Mestrado, cujos nomes não citarei, para não correr o risco de esquecer alguém;

Aos professores Augusto Ramalho, César Brasil, Renzo Garcia e Samuel Carvalho, pelos conhecimentos transmitidos;

E finalmente, a todos os amigos que de alguma maneira me ajudaram a chegar até aqui e a realizar esse trabalho.

SUMÁRIO

| | Página |
|---|---------------|
| RESUMO..... | i |
| ABSTRACT..... | iii |
| INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO..... | 3 |
| 2.1 Sistemática, origem e domesticação do feijoeiro..... | 3 |
| 2.2 O feijão carioca no Brasil..... | 4 |
| 2.3 Controle genético da cor do tegumento..... | 6 |
| 2.4 Métodos de melhoramento aplicados à cultura do feijoeiro..... | 9 |
| 2.5 Seleção precoce..... | 14 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS..... | 18 |
| 3.1 Locais..... | 18 |
| 3.2 Genitores..... | 18 |
| 3.3 Obtenção das sementes híbridas..... | 19 |
| 3.4 Avaliação das famílias F _{3,4} | 19 |
| 3.5 Avaliação das famílias F _{3,5} | 20 |
| 3.6 Análise dos dados..... | 20 |
| 4 RESULTADOS..... | 26 |
| 5 DISCUSSÃO..... | 41 |
| 6 CONCLUSÕES..... | 48 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 49 |
| ANEXOS..... | 55 |

RESUMO

SANTOS, Vanderlei da Silva. Implicações da seleção precoce para tipo de grão no melhoramento genético do feijoeiro comum. Lavras: UFLA, 2001. 57 p. (Dissertação - Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas)*

Entre os fatores que afetam a aceitação de uma cultivar de feijão, a cor dos grãos merece destaque, sendo esse um detalhe fundamental na adoção de uma nova cultivar pelos agricultores, uma vez que esses só conseguem a comercialização do seu produto e por um bom preço, se a cor dos grãos atender às exigências dos atacadistas e consumidores. O tipo de grão que é praticamente unanimidade em quase todo o país é o carioca, isto é, grãos de fundo creme com listras marrons, sem halo e com a cor creme o mais clara possível. Como a cor dos grãos do feijoeiro é controlada por um grande número de genes, provavelmente distribuídos em todos os cromossomos, espera-se que na seleção precoce para esse caráter ocorra uma redução expressiva na variabilidade para outros caracteres, tais como a produtividade de grãos, que é o objetivo primordial da maioria dos programas de melhoramento. Assim, esse trabalho teve como objetivo verificar o efeito da seleção efetuada na geração F_2 para o caráter tipo de grãos sobre a produção de grãos, cuja seleção é efetuada em gerações mais avançadas. Para atingir esse objetivo, foi utilizada uma geração F_2 do cruzamento entre as cultivares Ouro Negro, de grãos pretos e Pérola, de grãos tipo carioca. As sementes colhidas foram divididas em duas partes, selecionando-se em uma delas os grãos dentro do padrão carioca, enquanto na outra não se fez nenhuma seleção. Dessa forma, foram constituídas duas subpopulações que, posteriormente, foram semeadas em condições de campo. As plantas F_3 de ambas as subpopulações foram colhidas individualmente, obtendo-se 199 famílias por subpopulação. Essas 398 famílias $F_{3,4}$ e as cultivares genitoras foram avaliadas na safra da seca de 2000 em Lavras, num látice 20 x 20 com duas repetições e parcelas de uma linha de um metro. No inverno de 2000, as famílias $F_{3,5}$ foram avaliadas em látice com três repetições, parcelas de uma linha de dois metros, em Lavras e Patos de Minas. Considerando o caráter produtividade de grãos, constatou-se que, na média, não ocorreram diferenças entre as famílias selecionadas para o tipo de grãos e as não selecionadas. Observou-se também que as estimativas da herdabilidade foram altas e semelhantes. Infere-se, então, que o fato de ter sido efetuada a seleção precoce para tipo de grãos na geração F_2 não reduziu o potencial da população para a

* Comitê Orientador: Magno Antonio Patto Ramalho - UFLA (Orientador).

extração de linhagens superiores. Fica assim evidenciado que a estratégia de promover uma rigorosa seleção para o tipo de grãos na geração F_2 possibilita aos melhoristas concentrar os seus esforços na seleção de outros caracteres, apenas nas famílias com grãos comercialmente aceitáveis, ampliando a chance de sucesso.

ABSTRACT

SANTOS, Vanderlei da Silva. Consequences of early selection for grain type in common bean breeding. Lavras: UFLA, 2001. 57p. (Dissertation - Major in Genetics and Plant Breeding)*

Grain color is one of the most important traits regarding acceptance of new common bean cultivars, since farmers will prefer to adopt cultivars that can be commercialized at good price and they will only be successful if the cultivar meets the color demands of wholesalers and consumers. The “carioca” grain type (color), the lightest possible cream colored grain with brown stripes and without a yellow corona, is almost unanimously accepted throughout Brazil. The common bean grain color is controlled by a large number of genes, probably distributed in all the chromosomes. Therefore, early selection for this trait is likely to cause an expressive reduction in the variability of other traits such as grain yield, which is the main objective of most breeding programs. This study was carried out to check the effect of early (F_2 generation) selection for grain type on grain yield in more advanced generations. The F_2 population from the cross between the Ouro Negro (black grains) and Pérola (“carioca”) type grains cultivars was used. The harvested seeds were divided into two groups, one with “carioca” grains and another of mixed type, where no selection was applied. Therefore, two sub-populations were formed for sowing under field conditions. The F_3 plants of both sub-populations were individually harvested resulting in 199 families per sub-population. These 398 $F_{3,4}$ families and the parent cultivars were assessed in the year 2000 dry season in Lavras, in 1m single row plots of a 20 x 20 lattice design with two replications. In the winter of 2000, the $F_{3,5}$ families were assessed in a lattice design with three replications in 2 m single row plots, in Lavras and in Patos de Minas. On average, no yield differences among the non-selected and selected for grain type family means were detected. It was also observed that the heritability estimates were high and similar. It is, therefore, inferred that early (F_2 generation) selection for grain type did not reduce the potential of the population for selection of superior inbred lines. Consequently, strong selection for grain color in the F_2 generation, to screen out undesirable types, will enable breeders to concentrate their efforts on the selection of other traits in the advanced generations. Only families with commercially acceptable grain type will be submitted to selection, increasing the chances of success.

* Adviser Professor: Magno Antonio Patto Ramalho – UFLA.

1 INTRODUÇÃO

Entre os vários caracteres que afetam a aceitação comercial de uma cultivar de feijão, a cor dos grãos merece destaque. Ela é fundamental na adoção de uma nova cultivar pelos agricultores, pois esses só conseguem a comercialização do seu produto a bons preços, se a cor dos grãos atender às exigências dos atacadistas e consumidores.

A cultura do feijoeiro apresenta uma enorme variabilidade para uma série de caracteres (Hidalgo, 1993). Ela é particularmente expressiva para os caracteres associados aos grãos, especialmente tamanho e cor. Nesse último caso, é possível encontrar as mais variadas cores, com diferentes padrões de distribuição dessas cores nos grãos. Embora haja ampla variabilidade para esse caráter, os consumidores têm certas preferências, que variam com a região. No Brasil, por exemplo, nos estados do sul, no Rio de Janeiro e em algumas regiões do estado de Minas Gerais, a preferência é por cultivares de grãos pretos, enquanto na região nordeste, o tipo de feijão comum preferido é o mulatinho. Contudo, o tipo de grão que é unanimidade em quase todo o país é o carioca, isto é, grão creme com listras marrons, sem halo amarelo e com a cor creme o mais clara possível.

Em função da importância dessa característica, os programas de melhoramento devem dar ênfase à seleção para determinados tipos de grãos, especialmente o carioca. Essa seleção deve ser realizada logo nas gerações iniciais, para se evitar a perda de recursos e de tempo na avaliação de famílias cujos grãos não terão aceitação comercial.

Considerando que esse caráter é controlado por muitos genes (Leakey, 1988; Basset, 1996), provavelmente distribuídos em todos os cromossomos, espera-se que na seleção precoce ocorra uma redução expressiva na

variabilidade para outros caracteres, principalmente a produtividade de grãos, que é o objetivo primordial da maioria dos programas de melhoramento. Embora a seleção precoce, na geração F_2 para o tipo de grão seja amplamente realizada na cultura do feijoeiro, são restritas as informações sobre o seu efeito na variabilidade liberada para outros caracteres em gerações mais avançadas.

Sendo assim, esse trabalho tem por objetivo verificar o efeito da seleção efetuada na geração F_2 para o caráter tipo de grão na produção de grãos, para o qual a seleção normalmente é realizada em gerações mais avançadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sistemática, origem e domesticação do feijoeiro

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.), a exemplo de outras plantas alimentícias importantes, teve origem no Novo Mundo, tendo sido levado para o Velho Mundo após o descobrimento da América (Zimmerman e Teixeira, 1996). Essa espécie tem uma distribuição bastante ampla pelo continente americano, sendo os tipos selvagens distribuídos da província de San Luis, no norte da Argentina, ao estado de Chihuahua, no norte do México, cobrindo uma extensão quase contínua de aproximadamente 7.000 km de zonas montanhosas, de 500 a 2.500 m de altitude (Vieira, Borém e Ramalho, 1999).

Pertence à ordem Rosales; família Fabaceae (Leguminosae); subfamília Faboidae (Papilionoidae); tribo Phaseolae; gênero *Phaseolus*; espécie *Phaseolus vulgaris* L. (Vilhordo *et al.* 1996). Todas as espécies de *Phaseolus* são diplóides ($2n = 22$) e, embora esse gênero compreenda muitas espécies, apenas quatro são cultivadas: *Phaseolus vulgaris* L., *Phaseolus coccineus* L., *Phaseolus acutifolius* Gray var. *latifolius* Frem e *Phaseolus lunatus* var. *lunatus* (Zimmerman e Teixeira, 1996). O feijoeiro comum é a espécie mais cultivada, contribuindo com cerca de 95% da produção mundial de *Phaseolus* (Yokoyama, Banno e Kluthcouski, 1996).

Os estudos mais recentes, baseados em padrões eletroforéticos de faseolina (principal proteína de reserva do feijoeiro), sugerem a existência de dois centros primários de domesticação (Mesoamérica e Sul dos Andes), originando dois grupos principais de cultivares: os de faseolina S e T, respectivamente (Gepts e Debouck, 1991). Propôs-se também um centro de domesticação adicional (faseolinas B e CH), mais recente, localizado na

Colômbia, sendo esse um centro secundário. Com relação à introdução desse cereal no Brasil, Gepts *et al.* (1988) sugerem que houve, no mínimo, duas, mas possivelmente três rotas distintas: uma para os feijões pequenos, mesoamericanos, seria originária do México, seguindo para o Caribe, Colômbia, Venezuela e daí para o Brasil; uma segunda rota seria a dos feijões grandes, com faseolina T, como a cultivar jalo, que deve ser proveniente dos Andes (Peru) e a terceira rota seria proveniente da Europa, sendo os feijões trazidos pelos imigrantes italianos (introduções mais recentes). Esta última rota parece a mais provável para o caso do feijão carnaval, preferido por imigrantes italianos (Zimmerman e Teixeira, 1996).

2.2 O feijão carioca no Brasil

Um agricultor do município de Palmital (São Paulo) encontrou, em 1966, uma planta com sementes bem diferentes das que ele havia semeado. Colheu a planta separadamente e a levou a um extensionista, que a enviou ao Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). No IAC, no mesmo ano, essa amostra foi multiplicada e, em seguida, a linhagem foi incluída nos campos de observação em comparação com outras cultivares. Logo de início mostrou o seu potencial, chamando a atenção dos melhoristas que, após alguns testes, a recomendaram para o estado de São Paulo, com o nome de “carioca”. Como será relatado a seguir, essa cultivar é um dos exemplos de maior sucesso no melhoramento de plantas, pois, em um tempo relativamente curto, passou a ser conhecida e cultivada em praticamente todo o Brasil.

Essa linhagem possui grãos de cor creme com estrias marrons, sendo essas estrias a razão do nome “carioca”, já que elas se assemelham às calçadas da avenida Copacabana, no Rio de Janeiro, que estava no auge do sucesso,

sobretudo em função da repercussão da Bossa Nova e de ser intróito da maioria dos filmes produzidos no Brasil na época.

Apesar do excelente desempenho dessa linhagem, inicialmente houve um temor por parte dos técnicos de que ela não fosse aceita pelo mercado, pelo fato de possuir duas cores, uma vez que, nessa época, os produtores e as donas-de-casa não estavam acostumados com feijões de duas cores nem rajados (A revolução...2000). Contudo, em função de seu excelente desempenho, no final de 1969, procedeu-se a sua recomendação por meio de um plano de distribuição de amostras de sementes juntamente com um folheto que demonstrava as características da nova cultivar. Deve-se destacar que, a partir da divulgação e da multiplicação das sementes, em 1969, a aceitação da nova cultivar pelos produtores e pelas donas-de-casa foi tão grande que, por volta de 1976, essa já era a cultivar mais plantada e comercializada no estado de São Paulo (Almeida, 2000).

Nos anos seguintes, a nova linhagem foi incluída nos ensaios nacionais de competição de cultivares, conseguindo sempre sobressair-se em produtividade, sendo indicada para semeadura em outros estados brasileiros, principalmente Paraná e Minas Gerais. Também naquela ocasião, o material começou a ser incluído em todos os programas de melhoramento existentes no país, em virtude de suas ótimas características. Em Minas Gerais, a cultivar carioca foi avaliada a partir de 1969, destacando-se em quase todos os experimentos. Como havia na região predominância dos grãos de tipo pardo, roxo e pintado, a sua aceitação pelos agricultores e consumidores foi inicialmente lenta, como ocorreu em São Paulo. Entretanto, a partir de 1975, a sua adoção foi rápida. Nas regiões Sul e Alto Paranaíba do estado, o “carioca” tem participado dos experimentos de avaliação de cultivares nos últimos 27 anos, sendo poucos os materiais melhorados atuais que superam o seu

desempenho, especialmente se não há ocorrência de patógenos (Ramalho e Abreu, 1998).

A partir de 1977, a cultivar foi colocada nos ensaios internacionais de competição coordenados pelo Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT, figurando entre as mais produtivas por diversos anos e sendo considerada por essa instituição como testemunha internacional nos ensaios de avaliação por vários anos.

2.3 Controle genético da cor do tegumento

Na cultura do feijoeiro ocorre ampla variabilidade para os caracteres relativos aos grãos, especialmente a cor. Como os caracteres relacionados aos grãos têm grande importância na aceitação comercial de uma determinada cultivar, o conhecimento do seu controle genético poderá auxiliar os melhoristas na condução do processo seletivo para essa característica.

Estudos sobre o controle genético da cor dos grãos do feijoeiro vêm despertando a atenção dos geneticistas há tempos. Um dos primeiros relatos foi o de Emerson, no início do século. Merecem destaque também as contribuições dadas por Lamprecht e Prakken, que dedicaram grande parte de suas vidas à elucidação desse tema. Algumas revisões a esse respeito foram publicadas ao longo do tempo (Vieira, 1967; Leakey, 1988; Singh, 1991; Basset, 1996) e embora o número de trabalhos publicados seja enorme, ainda existem mais dúvidas que respostas. As dificuldades estão relacionadas a alguns fatores; o primeiro deles é a descrição da cor, que varia entre os autores, sem considerar que os artigos são publicados em diferentes idiomas e a caracterização perfeita da cor é praticamente impossível. Ressalte-se ainda o fato de que os diferentes geneticistas empregam nomenclaturas diferentes para o mesmo gene, provocando uma enorme confusão. Deve ser enfatizado o enorme esforço do

pesquisador norte-americano M. J. Basset para uniformizar essa nomenclatura e assim, possibilitar a sua padronização. Certamente, esse trabalho (Basset, 1996) será fundamental para o melhor entendimento da expressão do caráter cor dos grãos, na cultura do feijoeiro.

Embora haja controvérsias, alguns aspectos a respeito desse caráter já foram bem elucidados. O mais importante deles é a existência de um gene P, que é necessário para que haja a produção de cor. Ao que tudo indica, esse gene possui três alelos, P, p^{gr} e p, sendo P dominante sobre os outros dois alelos e p^{gr} parcialmente dominante sobre p (Basset, 1994). Sementes portadoras do genótipo pp são brancas, independentemente de qualquer outro loco. Se tiverem o genótipo P-, elas serão coloridas, sendo a cor dependente dos genes de coloração. Aquelas de genótipo $p^{gr}p^{gr}$ serão branco-acinzentadas e as de genótipo $p^{gr}p$, branco-acinzentadas, porém mais claras. Detalhes sobre a atuação do gene P são apresentados por Leakey (1988). Segundo esse autor, as plantas de genótipo pp produzem flores e tegumento brancos e não desenvolvem as cores vermelha, rosa ou malva em nenhum de seus tecidos vegetativos. A interpretação fornecida por ele para a atuação desse gene é que o alelo recessivo não produz ou produz um nível menor de uma das enzimas requeridas em um dos passos metabólicos que levam à formação de glicosídeos de flavonóis ou antocianinas, que são pigmentos responsáveis pela cor das sementes e, provavelmente, também impedem a formação de proantocianidinas e outros flavonóides incolores. Vale ressaltar que esse gene P tem efeito pleiotrópico sobre outros caracteres, tais como a cor do hipocótilo e das flores.

Uma outra categoria de genes é a dos complementares. Vários deles foram descritos, porém, a simbologia empregada dificulta uma conclusão precisa a esse respeito. Em realidade, estão envolvidos muitos genes, cuja relação é apresentada por Basset (1996), sendo um complicador adicional o fato de eles

interagirem não somente com o gene P, mas também entre si. Destes, merece destaque o gene J, que afeta a cor do tegumento, do halo e o brilho das sementes.

Segundo Leakey (1988), J é sinônimo de Sh (shiney = brilho), contudo ele prefere o símbolo J a Sh, em virtude desse gene ter efeitos prejudiciais sobre o armazenamento das sementes e a sua qualidade alimentar, o que, segundo ele, é muito mais importante que o brilho do tegumento. Sementes de genótipo J- sempre têm círculo escuro no halo e são brilhantes, devido ao acúmulo de leucocompostos na camada parenquimatosa. Esse genótipo também torna as sementes escuras, duras ao cozimento e diminuem a sua digestibilidade, com o envelhecimento (Leakey, 1988).

Até recentemente, acreditava-se que a existência de brilho no tegumento fosse um indicador de que os grãos teriam dificuldade na absorção de água e, conseqüentemente, na capacidade de cocção, o que é uma restrição séria à aceitação de uma determinada cultivar. Contudo, num trabalho em que utilizaram-se cortes do tegumento e fizeram-se análises com o auxílio da microscopia eletrônica, comparando feijões de grãos brilhantes com os de grãos opacos, demonstrou-se que não há diferenças entre esses, em termos de absorção de água (Brick, Gul e Schwartz, 2000).

Há inúmeros outros genes descritos, tais como o gene T, que define se as sementes são total ou parcialmente coloridas (Basset e McClean, 2000), os que controlam a cor do halo e suas partes componentes, e a ocorrência de estrias no grão. Pelo que foi exposto, percebe-se que há muita informação a respeito do controle genético da cor do tegumento da semente do feijoeiro, embora os resultados não sejam conclusivos. Estima-se que haja pelo menos 18 genes controlando esse caráter, vários deles com alelos múltiplos e, além de serem muitos, eles interagem entre si, o que dificulta o entendimento do seu modo de ação (Leakey, 1988).

Como o feijoeiro possui 11 cromossomos, é possível que haja genes envolvidos no controle da cor do tegumento distribuídos em todos eles e que, provavelmente, muitos desses genes estejam ligados a outros que controlam outros caracteres de interesse, inclusive a produtividade de grãos.

2.4 Métodos de melhoramento aplicados à cultura do feijoeiro

O feijoeiro comum é uma espécie autógama, ou seja, em que predomina a autopolinização, em virtude de a deiscência das anteras se dar no momento ou pouco antes da abertura da flor, processo conhecido como cleistogamia. A taxa de polinização cruzada natural varia com a região, com as cultivares, as condições climáticas e com a população de insetos polinizadores, sendo esse percentual normalmente inferior a 5%, embora haja citações na literatura de taxas bem maiores de polinização cruzada, sempre associadas a uma frequência alta de insetos polinizadores (Marques Júnior e Ramalho, 1995).

Assim, os métodos empregados no melhoramento dessa cultura são aqueles normalmente utilizados nas espécies autógamas, ou seja, métodos que utilizam a variabilidade natural, como a introdução de linhagens e/ou cultivares e a seleção de linhas puras e aqueles que utilizam a variabilidade produzida pela hibridação entre duas ou mais linhagens diferentes – método genealógico, massal ou ‘bulk’, SSD, etc. Comentários a respeito desses métodos são apresentados em várias publicações (Allard, 1971; Fehr, 1987; Borém, 1997).

A introdução de linhagens e/ou cultivares pode possibilitar a disponibilização rápida de uma cultivar para os agricultores, pois uma vez testada e selecionada em experimentos de competição de cultivares, ela pode ser recomendada para plantio. Inúmeras cultivares que foram e que ainda são recomendadas em alguns estados do Brasil foram obtidas por esse método (Ramalho e Abreu, 1998).

A seleção de linhas puras baseia-se no fato de que, como o feijoeiro é uma espécie de autopolinização, uma cultivar é, na verdade, uma mistura de linhas puras; daí o nome do método. Os produtores de feijão normalmente não compram as sementes, o que faz com que eles utilizem, na realidade, uma mistura de linhas puras, cuja variabilidade se origina por meio de mutações, as quais, embora ocorram em frequência baixa, tomam proporções expressivas, devido aos milhões de plantas semeadas anualmente. Além do mais, pode ocorrer mistura mecânica de linhagens durante o manuseio das sementes. Essa variabilidade é ainda ampliada por meio de cruzamentos naturais que, embora tenham frequência baixa, tomam dimensões consideráveis em função do grande número de plantas que compõem uma dada população. A seleção de linhas puras é um método que visa ao aproveitamento dessa variabilidade (Ramalho, Santos e Zimmerman, 1993).

A hibridação tem o objetivo de combinar, em um indivíduo, fenótipos favoráveis que se encontravam em indivíduos diferentes. Assim, a variabilidade genética gerada por um dado cruzamento pode ser explorada, a partir da geração F_2 , por meio de alguns métodos que serão comentados sucintamente a seguir.

No método da população ou *bulk*, a partir da geração F_2 , as plantas são colhidas em conjunto (massalmente), sendo tomada uma amostra de sementes para a obtenção da população F_3 . O processo se repete por algumas gerações, normalmente até a geração F_5 ou F_6 , quando o *bulk* é “aberto”, ou seja, são colhidas plantas individuais, que darão origem às famílias para serem avaliadas em experimentos com repetições, até que sejam identificadas as melhores linhas puras. Essas linhas são incluídas em experimentos regionais de competição de cultivares. No método, como proposto inicialmente, não é efetuada seleção para nenhum caráter até que a maioria dos locos esteja em homozigose. Contudo, na maioria dos casos, seleciona-se a partir da geração F_2 , para caracteres de alta

herdabilidade, tais como a cor dos grãos e a resistência a determinados patógenos (Ramalho, Abreu e Santos, 2001)

Existem alguns questionamentos sobre a utilização do *bulk*. O primeiro deles é qual o número de indivíduos que deve-se ter a cada geração. Na prática, tem-se usado um número entre 1.000 e 2.000. Este aspecto deve ser bem considerado, pois a principal desvantagem atribuída a esse método é a perda de alelos favoráveis por amostragem. A esse respeito, Fouilloux e Bannerot (1988) afirmam que o método do *bulk* leva a uma perda substancial de linhas de uma geração a outra e utilizam, para ilustrar, o seguinte exemplo: considere uma população F_2 , constituída de 100 plantas, cada uma das quais produz 20 sementes. Serão colhidas, portanto, 2000 sementes no total, das quais 100 serão selecionadas para constituir a geração F_3 . As 100 plantas F_3 representam de fato a progênie de apenas 65 plantas F_2 , ou seja, terão sido perdidos 35% das linhas em apenas uma geração. Os autores argumentam, contudo, que, embora à primeira vista essa observação não favoreça o método do *bulk*, a perda substancial de linhas não leva a uma redução correspondente da variabilidade genética, uma vez que a perda de linhas devido à amostragem está associada com um aumento da variabilidade dentro das linhas remanescentes, pois muitas plantas remanescentes são heterozigotas.

O problema da amostragem se agrava com o avanço das gerações, pois o número de combinações genotípicas contendo pelo menos um alelo favorável em cada loco diminui com o aumento da endogamia. Contudo, considerando a facilidade de condução do método, que envolve basicamente a semeadura e a colheita de uma área com o material da geração anterior, o problema da amostragem pode ser sensivelmente reduzido utilizando-se um número de indivíduos apropriado e crescente a cada geração.

O segundo questionamento é sobre quando abrir o *bulk*. Na geração F_1 , 100% dos locos estão em heterozigose; na geração F_2 , essa proporção será de

50%, ou seja, a cada geração de autofecundação ocorre uma redução de 50% na frequência de locos em heterozigose que, assim, é rapidamente dissipada. Em F_3 , por exemplo, espera-se que 93,75% dos locos estejam em homozigose. A partir de então, o acréscimo na proporção de homozigotos é menor, não havendo vantagem em se protelar mais a abertura do *bulk*.

O método genealógico ou do *pedigree* foi proposto no final do século passado na Suécia e França e é o mais empregado no melhoramento de espécies autógamias. Tem como princípio a seleção de plantas individuais a partir da geração F_2 , as quais são colhidas separadamente e suas sementes são plantadas em linhas na geração F_3 , quando é feita a seleção das melhores famílias e dos melhores indivíduos de cada família. O processo se repete até que a maioria dos locos estejam em homozigose, quando são selecionados os melhores indivíduos para serem incluídos em experimentos regionais de competição de cultivares (Ramalho, Abreu e Santos, 2001).

Uma das vantagens atribuídas ao método genealógico é o acompanhamento da genealogia. Com esse procedimento é possível identificar a origem de uma linhagem em qualquer geração. Entretanto, as anotações da genealogia são muito trabalhosas e sua utilidade é questionável, pois o fato de uma família ter originado uma linhagem superior não é indicação de que se possa selecionar novamente, na mesma família, uma linhagem com desempenho igual ou superior (Ramalho, Abreu e Santos, 2001).

Entre as desvantagens do método está o fato de que a seleção em praticamente todas as etapas é realizada visualmente e sabe-se que a seleção visual tem eficiência baixa quando se trata de caracteres quantitativos (Cutrim, Ramalho e Carvalho, 1997; Silva *et al.*, 1994).

O *bulk* dentro de famílias associa os dois principais métodos de condução das populações segregantes de espécies autógamias, o genealógico e o *bulk*, tendo sobre os dois isolados, a vantagem de reduzir o efeito da amostragem

existente no *bulk* e o trabalho com a anotação da genealogia, próprio do método genealógico. A principal diferença entre esse método e o *bulk* original é que nele a abertura das famílias é feita mais precocemente. Assim, ao contrário do que acontece no *bulk* original, em que as famílias ao serem abertas (normalmente na geração F₃ ou F₆) já são praticamente homozigóticas, no *bulk* dentro de famílias essas ainda estão segregando e, assim, são conduzidas por mais algumas gerações, sendo posteriormente selecionadas as melhores famílias e as melhores linhagens dentro dessas famílias, com base no seu desempenho durante essas gerações.

A adoção desse método possibilita a avaliação das famílias com base em resultados experimentais e não em seleção visual e, além disso, como a avaliação é feita em mais de um ano agrícola, a seleção é mais segura, uma vez que é baseada na performance média das famílias, o que atenua a interação dos genótipos por ambientes (Ramalho, Santos e Zimmerman, 1993).

O método da descendência de uma única semente (Single Seed Descent-SSD) foi proposto com a finalidade de reduzir o tempo requerido para atingir uma proporção alta de locos em homozigose, por meio do avanço das gerações fora da época normal de semeadura da cultura. Consiste em avançar as gerações segregantes tomando uma única semente de cada indivíduo, já a partir da geração F₂, para obter a geração seguinte. Repete-se o procedimento até que se atinja o nível de homozigose desejado. A redução do espaço necessário para o avanço das gerações é uma das vantagens do método, podendo esse avanço ser feito até mesmo em casa de vegetação. Outra característica do método é a não ocorrência da seleção natural, o que evita a eliminação de fenótipos desejáveis. Como a seleção só é efetuada após haver uma proporção significativa de locos em homozigose, a condução das gerações pode ser realizada fora das épocas normais de semeadura e em condições diferentes daquelas de cultivo.

Há uma desvantagem, normalmente não mencionada, que é a perda de variabilidade dentro das famílias, sendo necessário, para evitar essa perda, que a geração F_2 seja a maior possível. Outra desvantagem é que, com a perda de um indivíduo, perde-se toda a representatividade da planta F_2 . Para atenuar esse problema, tem sido proposta, no caso de leguminosas, a utilização da descendência de uma vagem em vez de uma única semente (Ramalho, Abreu e Santos, 2001).

2.5 Seleção precoce

Entende-se por seleção precoce aquela efetuada na geração F_2 ou numa geração próxima a essa. Pode-se fazer a seleção de uma população ou de indivíduos e/ou famílias dentro da população. Esse último tipo de seleção é o que receberá atenção nessa revisão.

Para entender a importância da seleção precoce é preciso ter em mente o que ocorre com as frequências genotípicas nas gerações sucessivas de autofecundação. Seja um gene hipotético G . Levando em conta apenas esse loco, todos os indivíduos da geração F_1 terão o genótipo Gg . A autofecundação desses indivíduos originará uma geração F_2 , cujas frequências genotípicas serão $\frac{1}{4} gg$, $\frac{1}{2} Gg$ e $\frac{1}{4} GG$. Na geração F_3 , essas frequências serão $\frac{3}{8} gg$, $\frac{1}{4} Gg$ e $\frac{3}{8} GG$ e, na geração F_4 , $\frac{7}{16} gg$, $\frac{1}{8} Gg$ e $\frac{7}{16} GG$, ou seja, a cada geração de autofecundação, a proporção de homozigotos aumenta à custa da dos heterozigotos, cuja frequência reduz-se pela metade. Admitindo o alelo G como o desejável, tem-se que a frequência de indivíduos que o possuem (GG e Gg) é de $\frac{3}{4}$ na geração F_2 , $\frac{5}{8}$ na F_3 e $\frac{9}{16}$ na geração F_4 , ou seja, a frequência de indivíduos com o alelo desejável reduz-se a cada geração. Se for considerado um número maior de genes, por exemplo 11 e admitindo que cada um deles esteja localizado em um cromossomo diferente, de modo que eles se distribuam

independentemente e origem indivíduos heterozigotos para todos os 11 locos, na geração F_2 , a frequência de indivíduos com pelo menos um alelo favorável em cada um dos 11 locos é de $(3/4)^{11}$ ou 1 em cada 24 indivíduos. Na geração F_3 , essa frequência passa a ser de $(5/8)^{11}$ ou 1 em 175 e, na geração F_4 , de $(9/16)^{11}$ ou 1 em 560, ou seja, para manter os indivíduos heterozigotos na população, é necessário aumentar o tamanho dessa a cada geração.

Assim, é praticamente impossível, em gerações mais avançadas, ter-se o número de indivíduos e/ou famílias suficiente para manter todos os alelos favoráveis, quando se trata de caracteres controlados por muitos genes. A opção que resta é realizar a seleção a partir da geração F_2 ou numa geração próxima a essa, na qual a chance de manter todos os alelos envolvidos no controle de um dado caráter é maior e, assim, aumentar a chance de reter todos os alelos favoráveis, com o aumento da endogamia.

O exemplo a seguir ilustra a vantagem da realização da seleção nas gerações iniciais de endogamia. Utilizando novamente o gene hipotético G e considerando que o alelo recessivo g seja o indesejável, na geração F_2 , após a eliminação das plantas de genótipo gg, a população passará a ser composta por $1/3$ GG e $2/3$ Gg. Esses $2/3$ Gg segregarão na proporção de $1/4$ GG, $1/2$ Gg e $1/4$ gg, de modo que, na geração F_3 , a população passará a ter as frequências genotípicas de $6/12$ GG, $4/12$ Gg e $2/12$ gg, ou seja, a seleção faz com que na geração F_3 a frequência de indivíduos com pelo menos um alelo favorável seja de $10/12$ ou 83,3%. Sem a seleção, essa frequência seria de $5/8$ ou 62,5%. Se na geração F_3 se fizer novamente a eliminação dos indivíduos de genótipo gg, as proporções genotípicas na geração F_4 passarão a ser de $28/40$ GG, $8/40$ Gg e $4/40$ gg, ou seja, $36/40$ (90%) dos indivíduos possuirão pelo menos um alelo favorável (G), enquanto que, se não se fizesse seleção, essa proporção seria de $18/32$ ou 56,25%.

Embora, como mostra o exemplo, a seleção precoce seja teoricamente viável, há alguns problemas na sua implementação. O primeiro deles é a dificuldade de se identificarem visualmente os indivíduos geneticamente superiores. Isso é particularmente difícil para caracteres de herdabilidade baixa. No caso da produção de grãos, foram feitos vários trabalhos que demonstraram ser a seleção visual de baixa eficiência (Cutrim, Ramalho e Carvalho, 1997; Silva *et al.*, 1994). Uma outra dificuldade é a ocorrência de interação dos genótipos e/ou indivíduos x ambientes. Dependendo da sua magnitude, a interação pode reduzir acentuadamente a eficiência da seleção precoce. Tanto é assim que vários trabalhos já foram realizados, os quais mostram a ineficiência da seleção precoce em espécies como a soja (Boerma e Cooper, 1975) e o trigo (Whan, Rathjen e Knight, 1981; Whan, Knight e Rathjen, 1982; Lungu, Kaltsikes e Larter, 1987).

Resultados dos efeitos da seleção precoce já foram relatados também na cultura do feijoeiro. Em trabalho conduzido na Itália, Ranalli *et al.* (1996) avaliaram a eficiência da seleção precoce comparando o método do *bulk* dentro de famílias com o SSD. Para isso, foram feitos dois cruzamentos: Taylor's x Granato e Great Northern 31 x ISCI 956/1. Na média dos dois cruzamentos, as famílias obtidas pelo SSD produziram 111,25% e as obtidas pelo *bulk* dentro de famílias F₂, 93,9%, em relação às testemunhas. Os autores concluíram que o SSD parece ser mais eficiente, desde que o material seja avançado por duas ou três gerações em casa de vegetação, sendo requeridos pouco espaço e trabalho. Ressaltaram, entretanto, que isso não exclui o uso da seleção precoce para produção na identificação das linhas mais desejáveis, uma vez que as famílias mais produtivas podem ser selecionadas na geração F₃ e avançadas pelo SSD até a geração F₅ ou F₆.

No Brasil, mais especificamente em Lavras, Rosal *et al.*, (2000) verificaram a eficiência da seleção precoce utilizando famílias derivadas da

geração F_2 , da F_2 do RC_1 e da F_2 do RC_2 do cruzamento entre Carioca e FT-Tarumã. Foram extraídas 64 famílias de cada uma dessas populações. Essas 192 famílias $F_{2,3}$ mais os dois genitores e duas testemunhas adicionais (Carioca MG e Pérola) foram avaliadas até a geração $F_{2,6}$. Com o intuito de observar a eficiência da seleção precoce, simulou-se a seleção das 20 famílias mais produtivas e das 20 menos produtivas. As estimativas do ganho com a seleção (G.S.%) demonstraram que, no caso da seleção na geração $F_{2,3}$, houve ganhos em todas as demais gerações, exceto a $F_{2,5}$. Considerando as 20 famílias mais produtivas e a resposta à seleção sendo obtida na geração $F_{2,6}$, o ganho foi de 3,47% para a seleção simulada na geração $F_{2,3}$, 10,60% com a seleção simulada na $F_{2,4}$ e 5,84% com a seleção na geração $F_{2,5}$. A interação das famílias x gerações só não foi significativa quando compararam-se as gerações $F_{2,3}$ e $F_{2,4}$. A decomposição da interação em parte simples e complexa revelou a predominância da parte complexa, indicando que a interação ocorreu principalmente devido à alteração na classificação das famílias no decorrer das gerações. A seleção precoce foi eficiente em eliminar as famílias menos produtivas, o que reduz o trabalho dos melhoristas no avanço das gerações. Os autores ressaltaram ainda a necessidade de se avaliarem as famílias em mais de uma geração e local, em virtude da importância da interação genótipos por ambientes sobre a seleção precoce.

Apesar de os resultados conseguidos com a seleção precoce evidenciarem que, na maioria dos casos, ela é ineficiente, Bernardo (1991) demonstrou claramente quais são as condições para que ela possa ser eficiente. Demonstrou que a correlação genética (r_G) entre o desempenho fenotípico de uma família na geração n (F_n) e o seu desempenho genotípico na geração n' ($G_{n'}$) é fornecida por $r_{F_n G_{n'}} = r_{G_n G_{n'}} h_n$, isto é, é função da raiz quadrada da herdabilidade e da correlação genética entre as gerações G_n e $G_{n'}$, que, ainda segundo o autor, é função apenas do coeficiente de endogamia

$(I_{G_n G_n} = [(1 + F_n)/(1 + F_n')]^{0.5}$. Como esse coeficiente é normalmente grande, a eficiência da seleção depende basicamente da herdabilidade do caráter. Assim, se a herdabilidade é baixa, a seleção precoce não será eficiente, o que coincide com praticamente todos os resultados na literatura.

Embora seja relativamente grande o número de trabalhos com o objetivo de verificar a viabilidade da seleção precoce, não há relatos de estudos sobre o efeito dessa seleção quando efetuada para um caráter de herdabilidade alta como a cor dos grãos, sobre a variabilidade liberada para um caráter de herdabilidade baixa, como a produtividade de grãos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Locais

Os experimentos foram conduzidos nas safras da seca e do inverno de 2000, no campo experimental do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras, situado em Lavras-MG, a 918 m de altitude, latitude de 21°14' S e longitude de 40°17' W, com precipitação média anual de 1529,7 mm e temperatura média de 19,14°C. Na safra de inverno, além de Lavras, o experimento foi instalado em Patos de Minas (18° 35' S de latitude e 46° 31' W de longitude), situada na região do Alto Paranaíba do estado de Minas Gerais.

3.2 Genitores

As famílias avaliadas nesse trabalho foram originadas do cruzamento entre as cultivares Ouro Negro e Pérola. A cultivar Ouro Negro possui grãos pretos, é resistente à mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola*) e à antracnose

(*Colletotrichum lindemuthianum*). É bem adaptada, sendo uma das cultivares mais produtivas existentes atualmente.

A Pérola possui grãos do tipo carioca, isto é, creme com estrias marrons e é resistente a *Phaeoisariopsis griseola*. Também é bem adaptada e atualmente é a cultivar mais semeada no país.

3.3 Obtenção das sementes híbridas

Os cruzamentos foram efetuados na casa de vegetação do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras, em cujo campo experimental a geração F_1 foi semeada. As sementes F_2 foram colhidas e novamente semeadas na área experimental, obtendo-se sementes F_3 . Essas foram divididas em duas amostras. Em uma delas foi efetuada a seleção para tipo de grãos. Foram selecionados grãos de cor creme com estrias marrons o mais próximo possível do padrão carioca. Na outra amostra não foi efetuada nenhuma seleção.

Essas duas amostras foram semeadas e tomaram-se, ao acaso, 199 plantas de cada amostra, que originaram as famílias $F_{3,4}$.

3.4 Avaliação das famílias $F_{3,4}$

As 398 famílias mais as duas testemunhas, os genitores, foram avaliadas na safra da seca do ano de 2000, em Lavras. O delineamento utilizado foi látice simples 20 x 20, a parcela era constituída por uma linha de 1 m e o espaçamento foi de 0,5 m com 15 sementes/m. Foram avaliados apenas os dados da produtividade de grãos.

3.5 Avaliação das famílias F_{3:5}

Todas as famílias da geração anterior foram novamente avaliadas na safra de inverno do ano de 2000, com semeadura em julho. Os experimentos foram conduzidos em Lavras e Patos de Minas. O delineamento empregado foi novamente o látice 20 x 20, porém com três repetições. A parcela era constituída por uma linha de 2 m, sendo o espaçamento e a densidade os mesmos da avaliação anterior.

A produtividade de grãos foi avaliada nos dois locais e apenas no experimento de Lavras avaliou-se o aspecto dos grãos. Para isso, adotou-se escala semelhante à utilizada por Ramalho, Pirola e Abreu (1998), com notas variando de 1 a 6, em que: 1- típico grão carioca: cor creme com estrias marrom-claras, fundo claro, sem halo, peso médio de 100 sementes de 22 a 24 g, grãos não achatados; 2- grão tipo carioca com deficiência em uma das características mencionadas no padrão; 3- grão tipo carioca com deficiência em duas das características mencionadas no padrão; 4- grão tipo carioca com deficiência em três características mencionadas no padrão; 5- grãos creme com estrias marrom-escuras, fundo escuro, com halo, peso médio de 100 sementes menor que 22 g, grãos achatados. Os grãos de cor diferente do padrão carioca, como os pretos e pardos, receberam nota 6.

3.6 Análise dos dados

Todos os dados foram submetidos inicialmente à análise de variância por local segundo o seguinte modelo, em que foram consideradas aleatórias todas as fontes de variação, exceto a média.

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

em que:

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

m : efeito fixo da média geral do ensaio;

t_i : efeito aleatório do tratamento i , sendo ($i = 1, 2, 3 \dots 400$);

r_j : efeito aleatório da repetição j , sendo ($j = 1, 2$), no caso do experimento conduzido em Lavras na geração $F_{3:4}$ e ($j = 1, 2, 3$) nos experimentos conduzidos em Lavras e Patos de Minas, na geração $F_{3:5}$;

$b_{k(j)}$: efeito aleatório do bloco k na repetição j , sendo ($k = 1, 2, \dots 20$);

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

No caso da produção de grãos, posteriormente foi efetuada a análise conjunta dos ambientes dois a dois, isto é, das gerações ($F_{3:4}$ e $F_{3:5}$) em Lavras e dos locais (Lavras e Patos de Minas) na geração $F_{3:5}$. O modelo adotado foi o seguinte, considerando como fixo, além da média, o efeito de ambientes (gerações ou locais).

$$Y_{ij} = m + t_i + a_j + b_{k(j)} + (ta)_{ij} + \bar{e}_{ij},$$

em que:

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

m : efeito fixo da média;

t_i : efeito aleatório do tratamento i , sendo ($i = 1, 2, 3, \dots, 400$);

a_j : efeito aleatório do ambiente (geração ou local) j , sendo ($j = 1, 2$);

$b_{k(j)}$: efeito aleatório do bloco k na repetição j , sendo ($k = 1, 2, \dots, 20$);

$(ta)_{ij}$: efeito da interação entre tratamento i e o ambiente (geração ou local) j ;

\bar{e}_{ijk} : erro experimental médio.

As esperanças dos quadrados médios das análises de variância individuais e conjuntas mostrando a decomposição da fonte de variação tratamentos encontram-se na Tabela 1. Os estimadores utilizados na obtenção das estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos estão na Tabela 2.

TABELA 1 Esquema de análise da variância por ambiente e conjunta dos ambientes (locais ou gerações) dois a dois.

| Análises individuais | | | | |
|--|---------------------|----------|--|--|
| Fonte de variação ^{1/} | GL | QM | E (QM) | |
| Entre famílias totais | $N-1$ ^{2/} | Q_1 | $\sigma_{\epsilon_i}^2 + r\sigma_{G_i}^2$ | |
| Entre famílias selecionadas | $n_1 - 1$ | Q_{11} | $\sigma_{\epsilon_i}^2 + r\sigma_{G_{1i}}^2$ | |
| Entre famílias não selecionadas | $n_2 - 1$ | Q_{12} | $\sigma_{\epsilon_i}^2 + r\sigma_{G_{2i}}^2$ | |
| Erro efetivo | | Q_2 | $\sigma_{\epsilon_i}^2$ | |
| Análises conjuntas | | | | |
| Entre famílias totais | $N-1$ | Q_3 | $\sigma_{\epsilon}^2 + ar\sigma_G^2$ | |
| Entre famílias selecionadas | $n_1 - 1$ | Q_{31} | $\sigma_{\epsilon}^2 + ar\sigma_{G_{1i}}^2$ | |
| Entre famílias não selecionadas | $n_2 - 1$ | Q_{32} | $\sigma_{\epsilon}^2 + ar\sigma_{G_{2i}}^2$ | |
| Entre famílias totais x ambientes | $(N-1)(a-1)$ | Q_4 | $\sigma_{\epsilon}^2 + r\sigma_{GE}^2$ | |
| -Entre famílias selecionadas x ambientes | $(n_1 - 1)(a-1)$ | Q_{41} | | |
| -Entre famílias não selecionadas x ambientes | $(n_2 - 1)(a-1)$ | Q_{42} | | |
| Erro médio | | Q_5 | σ_{ϵ}^2 | |

^{1/} Foram colocadas apenas as fontes de variação em que foram estimados os componentes de variância

^{2/} $N = n_1 + n_2$

TABELA 2 Estimadores utilizados na obtenção das estimativas dos componentes da variância genética e fenotípica

| | Famílias | | |
|---|---|--|--|
| | Totais | Selecionadas | Não selecionadas |
| Variância genética entre famílias/ambiente ^{1/} | $\sigma_{G_1}^2 = \frac{Q_1 - Q_2^{2/}}{r}$ | $\sigma_{G_{1i}}^2 = \frac{Q_{11} - Q_2}{r}$ | $\sigma_{G_{2i}}^2 = \frac{Q_{12} - Q_2}{r}$ |
| Variância fenotípica entre médias de famílias/ambiente | $\sigma_{F_1}^2 = \frac{Q_1}{r}$ | $\sigma_{F_{1i}}^2 = \frac{Q_{11}}{r}$ | $\sigma_{F_{2i}}^2 = \frac{Q_{12}}{r}$ |
| Herdabilidade entre médias de famílias/ambiente ^{2/} | $h_i^2 = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ | $h_{1i}^2 = \frac{Q_{11} - Q_2}{Q_{11}}$ | $h_{2i}^2 = \frac{Q_{12} - Q_2}{Q_{12}}$ |
| Variância fenotípica entre médias de famílias | $\sigma_{F_1}^2 = \frac{Q_3}{ar}$ | $\sigma_{F_{1i}}^2 = \frac{Q_{31}}{ar}$ | $\sigma_{F_{2i}}^2 = \frac{Q_{32}}{ar}$ |

^{1/}. ambientes: gerações (F_{3,4} e F_{3,5}) ou locais: (Lavras e Patos de Minas);

^{2/}. Q.M. da análise de variância da Tabela 1.

^{3/}. Os limites inferior (LI) e superior (LS) das estimativas da herdabilidade foram calculados por meio da equação de Knapp, Stoup e Ross (1985), adotando-se a probabilidade de $1 - \alpha = 0,95$.

Estimou-se também a covariância genética entre as médias das famílias nos ambientes (locais ou gerações), dois a dois, pela seguinte expressão:

$$COV_{G_{x_1x_2}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{1i}x_{2i} - \frac{(\sum x_1)(\sum x_2)}{n}}{n-1}, \text{ em que:}$$

x_1 e x_2 : médias das famílias nos ambientes 1 e 2;

n : número de famílias.

As estimativas foram obtidas tanto para as famílias totais como para as selecionadas e não selecionadas. É importante salientar que $COV_{G_{x_1x_2}} = \sigma_G^2$, isto é, a covariância entre o desempenho médio das famílias nos ambientes 1 e 2, corresponde à variância genética entre as famílias sem o efeito da interação (Ramalho, Ferreira e Oliveira, 2000).

Com base nas estimativas da covariância, obteve-se a herdabilidade entre médias de famílias, pela expressão:

$$h_i^2 = COV_{G_{x_1x_2}} / \sigma_F^2 = COV_{G_{x_1x_2}} / (Q_3 / ar), \text{ em que:}$$

Q_3 : quadrado médio de famílias (Tabela 1).

a e r : número de ambientes (locais ou gerações) e de repetições, respectivamente.

A variância da interação famílias x ambientes foi estimada por meio da expressão: $\sigma_{GE}^2 = (\sigma_{G_i}^2 + \sigma_{G_i'}^2) / 2 - \sigma_G^2$, em que:

$\sigma_{G_i}^2$ e $\sigma_{G_i'}^2$: variância genética entre famílias nos ambientes (locais ou gerações) i e i' ;

$\sigma_G^2 = COV_{G_{x_i x_{i'}}$: variância genética entre famílias na análise conjunta entre os ambientes i e i' .

Procedeu-se também à partição da variância da interação de famílias x gerações ou famílias x locais (σ_{GE}^2) por meio da expressão apresentada por Vencovsky (1987):

$$\sigma_{GE}^2 = \frac{1}{2}(\sigma_{G_i} - \sigma_{G_{i'}})^2 + \sigma_{G_i} \cdot \sigma_{G_{i'}} (1 - r_G) , \text{ em que:}$$

σ_{G_i} e $\sigma_{G_{i'}}$: desvio genético entre as famílias, obtido conforme mostrado na Tabela 2, sendo $i = F_{3,4}$ ou Lavras e $i' = F_{3,5}$ ou Patos de Minas;

r_G : é a correlação genética entre as médias das famílias nas gerações $F_{3,4}$ (1) e $F_{3,5}$ (2) e no par Lavras (1) e Patos de Minas (2) na geração $F_{3,5}$, obtida pela expressão:

$$r_G = \frac{COV_{G_{x_i x_{i'}}}}{\sigma_{G_i} \cdot \sigma_{G_{i'}}}, \text{ em que:}$$

$COV_{G_{x_i x_{i'}}$: covariância genética entre médias das gerações $F_{3,4}$ e $F_{3,5}$ em Lavras ou entre Lavras e Patos de Minas na geração $F_{3,5}$.

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

$$G.S.(%) = ds \times h^2, \text{ em que:}$$

ds : diferencial de seleção, ou seja, a diferença entre a média das famílias selecionadas e a média geral de cada grupo de famílias;

h^2 : herdabilidade do caráter, obtida conforme a Tabela 2.

Os erros associados às estimativas da variância genética foram estimados pela seguinte expressão (Ramalho, Ferreira e Oliveira, 2000):

$$\hat{\sigma}_{(\sigma_G^2)} = \sqrt{\left[\frac{2}{r^2} \left(\frac{Q_1^2}{n_1 + 2} + \frac{Q_2^2}{n_2 + 2} \right) \right]}, \text{ em que:}$$

r : número de repetições;

Q_1 : quadrado médio de famílias (selecionadas, não selecionadas ou dos dois grupos, considerados em conjunto);

Q_2 : quadrado médio do erro;

n_1 e n_2 : número de graus de liberdade de famílias e do erro, respectivamente.

4 RESULTADOS

Os resumos das análises de variância da produtividade de grãos nas gerações $F_{3:4}$ em Lavras e $F_{3:5}$ em Lavras e Patos de Minas encontram-se, respectivamente, nas Tabelas 1A e 2A. Inicialmente, é preciso salientar que a precisão experimental, avaliada pelo coeficiente de variação, foi menor no experimento de avaliação de famílias $F_{3:4}$, em Lavras (C.V.=23,83%). A fonte de variação tratamentos foi significativa nas três situações ($P \leq 0,01$). No desdobramento dessa fonte de variação, foram significativas as fontes de variação entre famílias selecionadas e entre famílias não selecionadas nas três análises. Contudo, o contraste famílias selecionadas *versus* famílias não selecionadas foi significativo apenas em Patos de Minas.

Na análise conjunta dos experimentos envolvendo a avaliação das famílias $F_{3:4}$ e $F_{3:5}$ em Lavras, constatou-se que a precisão experimental pode ser considerada média (C.V.=22,09%). Observa-se que a maioria das fontes de variação foi significativa ($P \leq 0,01$), com destaque para as fontes de variação entre famílias selecionadas e entre famílias não selecionadas, o que indica a existência de variação entre as famílias, condição essencial para que possa ser feita a seleção. Contudo, as interações envolvendo essas fontes de variação com as gerações foram também significativas, evidenciando que o comportamento das famílias não foi consistente nas duas gerações avaliadas (Tabela 3). Observou-se também que não foi detectada diferença significativa entre os dois genitores utilizados como testemunhas, indicando que eles possuem o mesmo potencial produtivo. Contudo, como as famílias derivadas do cruzamento entre eles diferiram entre si, pode-se deduzir que eles possuem

TABELA 3 Resumo da análise de variância conjunta da produtividade de grãos (g/m^2) obtida na avaliação de famílias $F_{3,4}$ e $F_{3,5}$ de feijoeiro em Lavras, durante o ano de 2000.

| F. V. | G. L. | Q.M. |
|--|-------|---------------|
| Geração | 1 | 1294759,37 ** |
| Tratamento | 399 | 13734,86** |
| Entre famílias | 397 | 13800,98 ** |
| -Entre famílias selecionadas | 198 | 13209,35 ** |
| -Entre famílias não selecionadas | 198 | 14337,35 ** |
| - Famílias selecionadas vs não selecionadas | 1 | 24746,21 * |
| Entre pais | 1 | 607,81 n. s. |
| Pais vs famílias | 1 | 613,58 n. s. |
| Tratamento x gerações | 399 | 9879,51 ** |
| Entre famílias x gerações | 397 | 9818,98 ** |
| -Entre famílias selecionadas x gerações | 198 | 9245,49 ** |
| -Entre fam. não selecionadas x gerações | 198 | 10424,80 ** |
| -(Selecionadas vs não selecionadas) x gerações | 1 | 3417,71 n. s. |
| Entre pais x gerações | 1 | 9643,44 n. s. |
| (Pais vs fam.) x gerações | 1 | 34144,01 * |
| Erro médio | 1102 | 6199,28 |
| C.V.(%) | | 22,09 |
| Média | | 356,31 |

** e *: Teste de F significativo a 1 % e a 5 % de probabilidade, respectivamente

alelos diferentes para a produtividade de grãos, embora, em média, a contribuição desses alelos seja a mesma em cada pai.

A não significância do contraste pais *versus* famílias é um indicador da não ocorrência de dominância. Chama a atenção a significância ($P \leq 0,05$) da

fonte de variação famílias selecionadas *versus* famílias não selecionadas, que nas análises individuais foi não significativa. Isso indica que, na média geral, houve diferenças em produtividade entre as famílias derivadas de indivíduos selecionados para tipo de grãos e as tomadas ao acaso ou não selecionadas. É importante salientar, entretanto, que a diferença foi muito pequena. Nas duas gerações, a produtividade média das famílias selecionadas foi de 359,95 g/m² e das não selecionadas de 352,75 g/m², ou seja, uma diferença de apenas 2% entre as médias (Tabela 4). A não significância do contraste famílias selecionadas *versus* famílias não selecionadas x gerações é uma indicação de que esse comportamento ocorreu nas duas gerações, como já havia sido evidenciado pelas análises individuais (Tabelas 1A e 2A).

Os resultados da análise conjunta das avaliações das famílias F_{3:5}, em Lavras e em Patos de Minas, apresentados na Tabela 5 são muito semelhantes aos já comentados anteriormente para a análise conjunta das gerações. Nesse caso, entretanto, a precisão foi melhor (C.V.=17,72%) e não se constatou diferença significativa no contraste famílias selecionadas *versus* famílias não selecionadas, embora a interação desse contraste com locais tenha sido significativa ($P \leq 0,01$). Esse último fato ocorreu porque em Patos de Minas, as famílias não selecionadas tiveram produtividade (430,99 g/m²) superior à observada entre as famílias selecionadas (417,26 g/m²), e em Lavras isso não ocorreu, tendo as famílias selecionadas produzido 332,41 g/m² e as não selecionadas, 327,88 g/m² (Tabela 6).

A existência de variação entre as famílias, detectada na análise da variância, pode ser melhor observada nas distribuições de frequência da produtividade de grãos, apresentadas nas Figuras 1, 2 e 3. Chama a atenção inicialmente que as distribuições de frequência das famílias selecionadas foram muito semelhantes às das famílias não selecionadas e se ajustaram bem a uma distribuição normal.

TABELA 4 Estimativas dos componentes da variância genética e fenotípica obtidas na avaliação de famílias F_{3:4} e F_{3:5} de feijoeiro. Lavras, 2000.

| Estimativas | Fam. selec. | Fam. não selec. | Selec. + não selec. |
|--|---------------------------------|--------------------|---------------------|
| Média F _{3:4} | 387,49 | 377,62 | 382,56 |
| Média F _{3:5} | 332,41 | 327,88 | 330,15 |
| Média (2 gerações) | 359,95 | 352,75 | 356,35 |
| $\hat{\sigma}_{GF_{3:4}}^2$ ³ | 2795,827(759,60) ¹ | 3275,880 (803,72) | 3042,191 (594,94) |
| $\hat{\sigma}_{GF_{3:5}}^2$ | 1044,778(251,43) ¹ | 1526,099 (297,92) | 1283,883 (200,67) |
| $\widehat{COV}_{F_{3:4}F_{3:5}} = \overline{\sigma}_G^2$ | 825,80 (280,63) ¹ | 815,11 (303,71) | 829,58 (210,85) |
| $\hat{\sigma}_{F_{3:4}}^2$ | 6943,985 | 7424,038 | 7190,349 |
| $\hat{\sigma}_{F_{3:5}}^2$ | 2412,195 | 2983,516 | 2651,30 |
| $\hat{\sigma}_F^2$ | 2751,947 | 2986,947 | 2875,205 |
| $\hat{\sigma}_{GE}^2$ | 1094,47 | 1585,87 | 1333,46 |
| $\hat{\sigma}_{GE}^2 / \overline{\sigma}_G^2$ | 1,32 | 1,95 | 1,61 |
| -parte simples | 211,21 | 165,07 | 186,72 |
| -parte complexa | 883,26 | 1420,80 | 1146,73 |
| $r_{GF_{3:4}F_{3:5}}$ (%) | 48,3 | 36,4 | 42,0 |
| $h_{F_{3:4}}^2$ | 40,3 (23,0 ; 53,0) ² | 44,1 (28,0 ; 56,0) | 42,3 (29,0 ; 52,0) |
| $h_{F_{3:5}}^2$ | 43,3 (28,0 ; 54,0) ² | 51,2 (40,0 ; 62,0) | 48,4 (38,0 ; 56,0) |
| \bar{h}^2 | 30,0 (12,6 ; 43,0) | 27,3 (9,2 ; 40,8) | 28,9 (16,0 ; 39,3) |

¹: desvio-padrão ²: limites inferior e superior ³: expressões estão na Tabela 2.

TABELA 5 Resumo da análise de variância conjunta da produtividade de grãos (g/m^2), obtida na avaliação de famílias $F_{3,5}$ de feijoeiro em Lavras e Patos de Minas, durante o ano de 2000.

| | F. V. | G.L. | Q.M. |
|--|-------|------|---------------|
| Local | | 1 | 5285818,92 ** |
| Tratamento | | 399 | 11035,82 ** |
| Entre famílias | | 397 | 11009,61 ** |
| -Entre famílias selecionadas | | 198 | 11766,17 ** |
| -Entre famílias não selecionadas | | 198 | 10244,72 ** |
| -Famílias selecionadas vs não selecionadas | | 1 | 12661,57 n.s. |
| Entre pais | | 1 | 23274,26 * |
| Pais vs famílias | | 1 | 9199,47 n.s. |
| Tratamento x locais | | 399 | 6449,87 ** |
| Entre famílias x locais | | 397 | 6477,62 ** |
| -Entre famílias selecionadas x locais | | 198 | 5862,34 ** |
| -Entre fam. não selecionadas x locais | | 198 | 6874,38 ** |
| -(Selecionadas vs não selecionadas) x locais | | 1 | 49745,05 ** |
| Pais x locais | | 1 | 231,16 n.s. |
| (Pais vs famílias) x locais | | 1 | 1650,12 n.s. |
| Erro médio | | 1482 | 4471,24 |
| C.V (%) | | | 17,72 |
| Média | | | 377,27 |

** e *: Teste de F significativo a 1 % e a 5 % de probabilidade, respectivamente

TABELA 6 Estimativas dos componentes da variância genética e fenotípica obtidas na avaliação de famílias F_{3,5} de feijoeiro. Lavras e Patos de Minas, 2000.

| Estimativas | Fam. selec. | Fam. não selec. | Selec. + não selec. |
|---|---------------------------------|--------------------|---------------------|
| Média _{Lavras} | 332,41 | 327,88 | 330,15 |
| Média _{Patos} | 417,26 | 430,99 | 424,12 |
| Média (dois locais) | 374,83 | 379,43 | 377,13 |
| $\hat{\sigma}_{G_{Lavras}}^2$ ³ | 1044,778 (251,43) ¹ | 1526,099 (297,92) | 1283,883 (200,67) |
| $\hat{\sigma}_{G_{Patos}}^2$ | 1850,568 (356,37) ¹ | 1199,440 (293,48) | 1564,368 (240,05) |
| $C\hat{O}V_{Patos:Lavras} = \hat{\sigma}_G^2$ | 983,97 (140,00) ¹ | 561,720 (122,27) | 755,330 (93,88) |
| $\hat{\sigma}_{F_{Lavras}}^2$ | 2412,19 | 2983,52 | 2651,30 |
| $\hat{\sigma}_{F_{Patos}}^2$ | 3465,00 | 2812,85 | 3177,78 |
| $\hat{\sigma}_{\bar{F}}$ | 1961,03 | 1707,45 | 1834,93 |
| $\hat{\sigma}_{GE}^2$ | 463,70 | 801,04 | 668,79 |
| $\hat{\sigma}_{GE}^2 / \hat{\sigma}_G^2$ | 0,502 | 1,426 | 0,862 |
| -parte simples | 57,194 | 9,820 | 6,920 |
| -parte complexa | 406,509 | 791,226 | 661,870 |
| $r_{G_{Patos:Lavras}}$ (%) | 70,7 | 41,5 | 53,3 |
| h_{Lavras}^2 | 43,3 (28,0 ; 54,0) ² | 51,5(40,0 ; 62,0) | 48,4(38,0 ; 56,0) |
| h_{Patos}^2 | 53,4 (41,0 ; 62,0) ² | 42,6 (28,0 ; 53,0) | 49,2 (39,0 ; 57,0) |
| \bar{h}^2 | 50,2 (37,9 ; 59,3) | 32,9 (16,5 ; 45,1) | 41,2 (30,9 ; 49,5) |

¹: desvio-padrão ²: limites inferior e superior ³: expressões estão na Tabela 2.

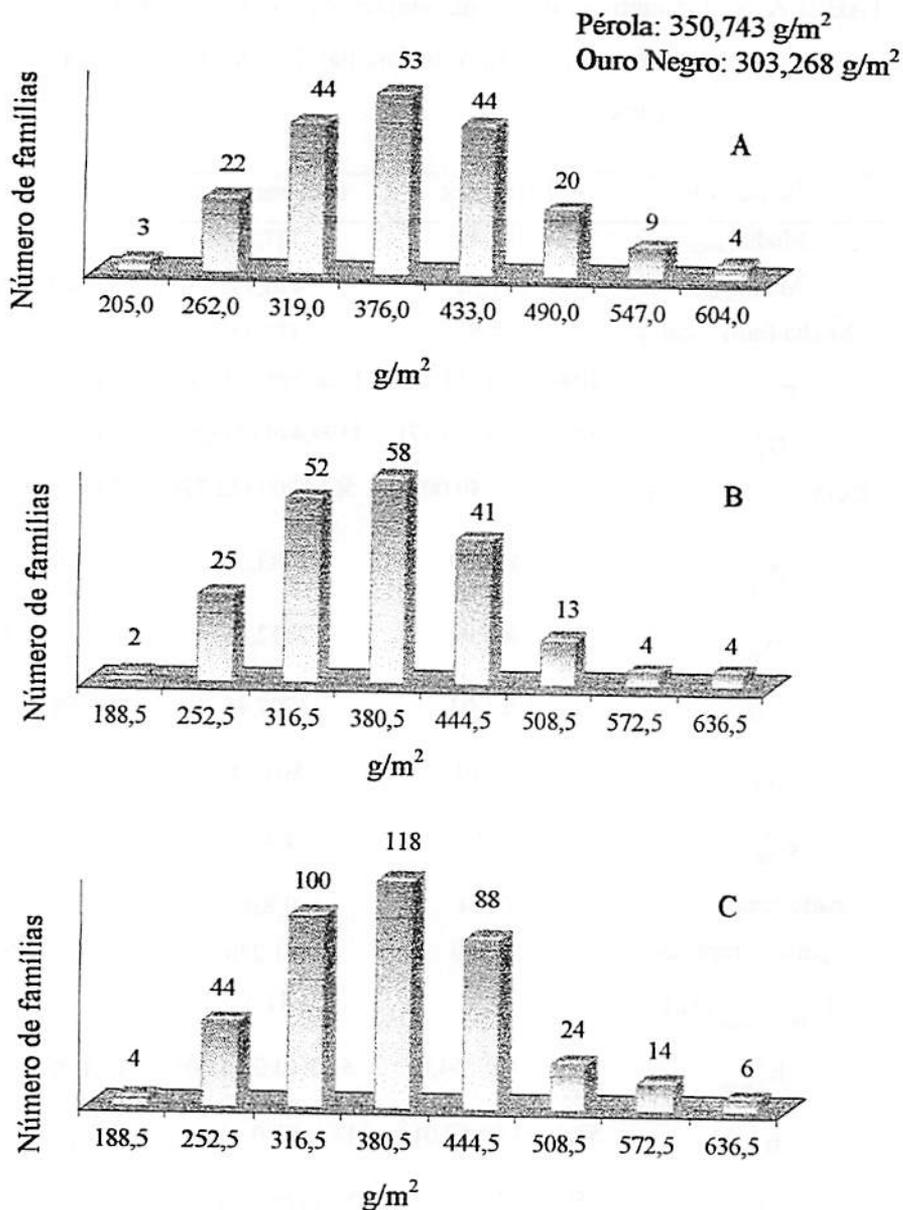


FIGURA 1 Distribuição de freqüência da produtividade média de grãos (g/m²) das famílias de feijoeiro selecionadas para tipo de grãos (A), das não selecionadas (B) e do total de famílias (selecionadas + não selecionadas (C), na geração F_{3:4}. Lavras,

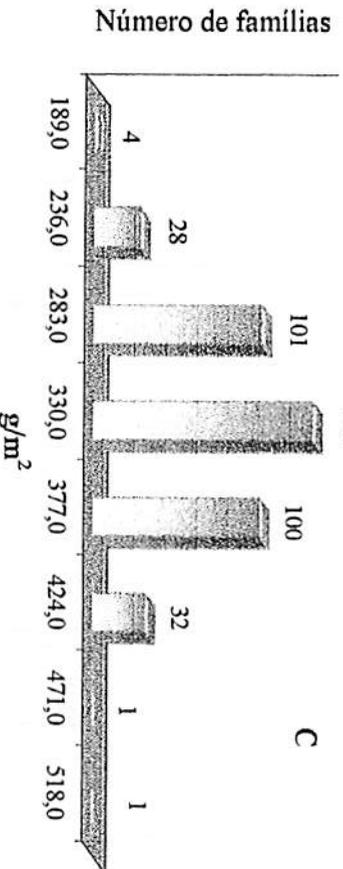
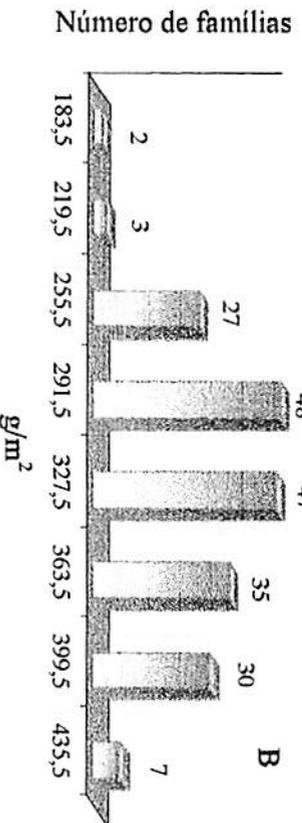
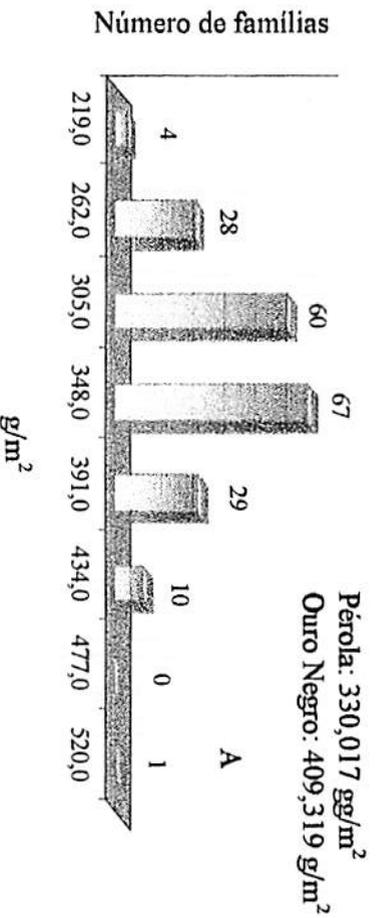


FIGURA 2 Distribuição de frequência da produtividade média de grãos (g/m^2) das famílias de feijoeiro selecionadas para tipo de grãos (A), das não selecionadas (B) e do total de famílias (selecionadas + não selecionadas) (C), na geração F_{3:5}. Lavras, 2000.

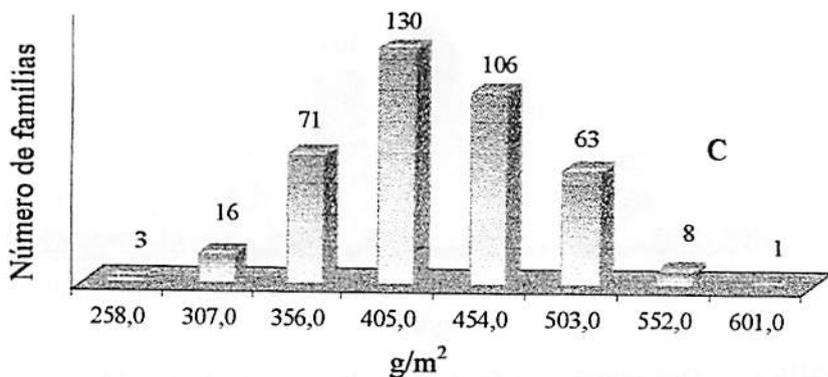
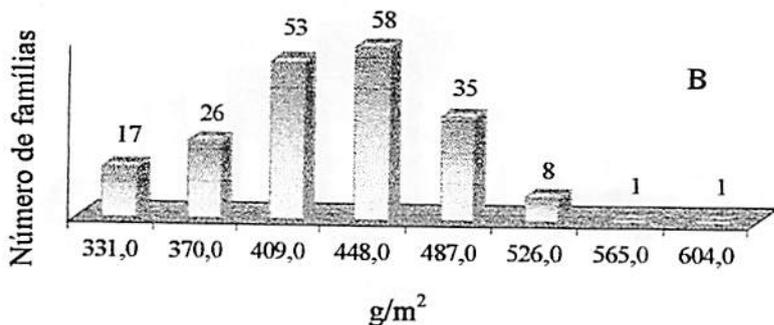
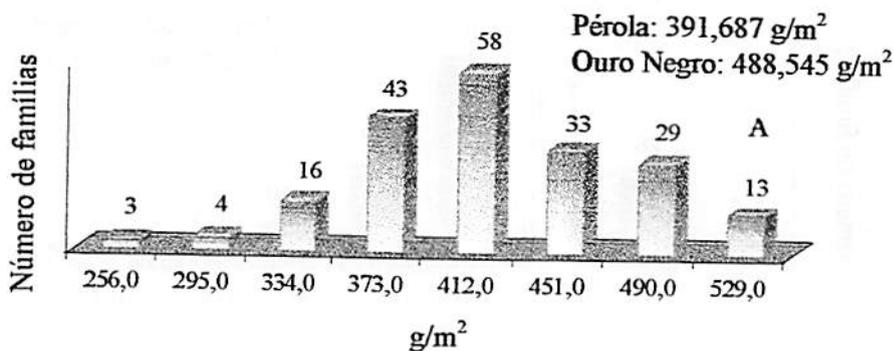


FIGURA 3 Distribuição de frequência da produtividade de grãos (g/m²) das famílias de feijoeiro selecionadas para tipo de grãos (A), das não selecionadas (B) e do total de famílias (selecionadas + não selecionadas) (C), na geração F_{3,5}. Patos de Minas, 2000.

O mesmo foi observado em relação à amplitude de variação, à exceção da geração $F_{3,4}$, na qual a amplitude foi maior entre as famílias não selecionadas (Figura 1). Nessa geração, a amplitude de variação da produtividade de grãos das famílias selecionadas foi de 399 g/m^2 , isto é, 103,75% da média. No caso das famílias não selecionadas, foi de 448 g/m^2 ou 119,04%.

As estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos apresentadas na Tabela 4, referentes às avaliações das famílias $F_{3,4}$ e $F_{3,5}$ em Lavras, corroboram todas as observações feitas anteriormente. A primeira delas é que as estimativas da variância genética entre as famílias selecionadas e não selecionadas foram muito semelhantes. Pode-se ver que as diferenças entre as estimativas dessas variâncias são inferiores aos erros associados a elas, podendo-se, portanto, considerá-las iguais. Observa-se também que as estimativas das análises individuais foram muito semelhantes às da análise conjunta, o que evidencia mais uma vez que a variabilidade liberada nos dois casos foi muito semelhante.

As variâncias genéticas entre as famílias $F_{3,4}$ foram sempre superiores às estimadas entre as famílias $F_{3,5}$ (Tabela 4). É importante comentar também sobre as estimativas da covariância genética entre o desempenho das famílias $F_{3,4}$ e $F_{3,5}$, que corresponde à variância genética entre as famílias sem a interação. Novamente, chama a atenção o fato de que as magnitudes das estimativas nas famílias selecionadas, nas não selecionadas e nos dois grupos de famílias considerados juntos, foram bastante semelhantes.

As interações das famílias (selecionadas e não selecionadas) x gerações, como já mencionado, foram significativas ($P \leq 0,01$). Esse fato é comprovado pelas estimativas do componente da interação famílias x gerações (σ_{GE}^2) que foram superiores às estimativas da variância genética. É importante mencionar que, provavelmente, o fato de as estimativas da variância da interação de famílias x gerações em relação à variância genética serem diferentes entre as

famílias selecionadas e as não selecionadas seja devido aos erros das estimativas (Tabela 4).

Ainda com relação à interação de famílias x gerações, vale ressaltar que predominou a parte complexa em todos os casos, o que é comprovado pelas estimativas do coeficiente de correlação genética do desempenho das famílias nas duas gerações, que foram sempre de pequena magnitude, inferiores a 50% (Tabela 4).

No que se refere à liberação da variabilidade entre as famílias, selecionadas e não selecionadas, um resultado importante é que as estimativas da herdabilidade para a seleção entre os grupos de famílias foram bastante semelhantes. As diferenças observadas se situaram sempre dentro dos limites (inferior e superior) das estimativas, com 95% de probabilidade. Merece ser salientado que as estimativas da herdabilidade para a seleção entre médias de famílias na média das duas gerações, ao contrário do esperado, foram menores que aquelas estimadas para as gerações individualmente, provavelmente devido ao efeito da interação de famílias x gerações.

As estimativas dos componentes genéticos e fenotípicos da geração $F_{3:5}$ em Lavras e Patos de Minas encontram-se na Tabela 6. Ao contrário do que se observou em Lavras, nas duas gerações, em Patos de Minas e na análise conjunta entre os dois locais, as famílias selecionadas mostraram uma variância genética superior à das não selecionadas, sendo as diferenças maiores, inclusive, do que os erros associados a essas variâncias. Isso talvez se deva à interação de famílias x locais. Pode-se ver que a relação $\hat{\sigma}_{CE}^2 / \sigma_G^2$ foi de 1,426, no caso das famílias não selecionadas, o que reforça a hipótese lançada.

À semelhança do que se observou durante a apresentação dos dados referentes às gerações $F_{3:4}$ e $F_{3:5}$, predominou a parte complexa da interação, embora essa represente um percentual menor da interação, em relação ao caso anterior.

Com relação às estimativas da herdabilidade, observou-se que as diferenças entre elas estão situadas dentro dos limites associados a essas estimativas, o que permite afirmar que elas são semelhantes.

Procedeu-se também, com as famílias na geração $F_{3,5}$ conduzidas em Lavras, à avaliação visual da qualidade dos grãos, por meio de notas. O resumo da análise de variância encontra-se na Tabela 7. Verifica-se que a precisão experimental foi boa (C.V.=9,01%). Detectou-se, como era esperado, diferença significativa entre todas as fontes de variação.

A existência de variabilidade é comprovada nas distribuições de freqüência das famílias selecionadas e não selecionadas, apresentadas na Figura 4, evidenciando que a seleção para tipo de grãos, realizada na geração F_2 , foi efetiva. Pode-se verificar que, na população não selecionada, a maioria das famílias (174) encontra-se na classe com notas acima de 4,5, portanto, sem valor comercial dentro do grupo carioca. Já no caso das famílias selecionadas, 136 receberam nota inferior a 2,8, podendo ser comercialmente aceitas.

Outro resultado que ressalta a vantagem da seleção precoce é que, entre as famílias selecionadas, 105 receberam nota menor ou igual a 2,5; entre as não selecionadas, apenas sete famílias tiveram notas nesse intervalo (Tabela 8).

Foi estimado também o ganho esperado com a seleção das sete famílias mais produtivas, independentemente da nota de grãos, com base na média dos dois locais (Lavras e Patos de Minas). Observou-se que, nessa situação, praticamente não houve diferença no resultado da seleção. Contudo, se a seleção fosse realizada apenas entre as famílias com grãos comercialmente aceitáveis, com nota inferior a 2,5, as famílias selecionadas teriam resposta à seleção mais de cinco vezes superior à obtida entre as famílias não selecionadas (Tabela 9).

TABELA 7 Resumo da análise de variância das notas do aspecto dos grãos atribuídas às famílias F_{3.5} de feijoeiro. Lavras, 2000.

| F.V. | G.L. | Q.M. |
|-----------------------------------|------|-----------|
| Repetições (avaliadores) | 2 | 0,43* |
| Tratamento | 399 | 8,58** |
| Famílias | 397 | 8,52** |
| -Famílias selecionadas | 198 | 2,33** |
| -Famílias não selecionadas | 198 | 2,55** |
| -Selecionadas vs não selecionadas | 1 | 2417,53** |
| Pais | 1 | 37,50** |
| Pais vs famílias | 1 | 2,03** |
| Erro | 798 | 0,14 |
| C.V.(%) | | 9,01 |
| Média | | 4,1 |

* e **: Teste de F significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente.

TABELA 8 Médias das notas do aspecto dos grãos atribuídas a famílias selecionadas e não selecionadas de feijoeiro na geração F_{3.5}. Lavras, 2000.

| | Famílias selecionadas | Famílias não selecionadas |
|--------------------|-----------------------|---------------------------|
| Média | 2,7 | 5,5 |
| Fam. c/ nota ≤ 2,5 | 105 | 7 |
| Prod. fam. ≤ 2,5 | 334,649 | 347,904 |
| Amplitude | 200,390 – 446,411 | 304,181 – 418,081 |

TABELA 9 Estimativas do ganho esperado com a seleção das sete melhores famílias F_{3,5} em função da produtividade média dos dois locais (Lavras e Patos de Minas), considerando ou desconsiderando as notas de grãos.

| Tipo de seleção | Famílias não Selecionadas | | | | Famílias Selecionadas | | | |
|--|---------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|---------------------|
| | Média geral | Média das selecionadas | G.S./m (%) ^L | Nota média de grãos | Média geral | Média das selecionadas | G.S./m (%) ^L | Nota média de grãos |
| Independente da nota de grãos | 379,8 | 463,6 | 9,2 | 4,9 | 374,8 | 463,6 | 9,86 | 2,3 |
| Apenas entre famílias com nota de grãos inferior a 2,5 | 379,8 | 396,4 | 1,8 | 1,9 | 374,8 | 458,5 | 9,3 | 2,0 |

^L: Na estimativa do ganho com a seleção, considerou-se a herdabilidade média das famílias selecionadas e não selecionadas ($h^2 = 41,6\%$).

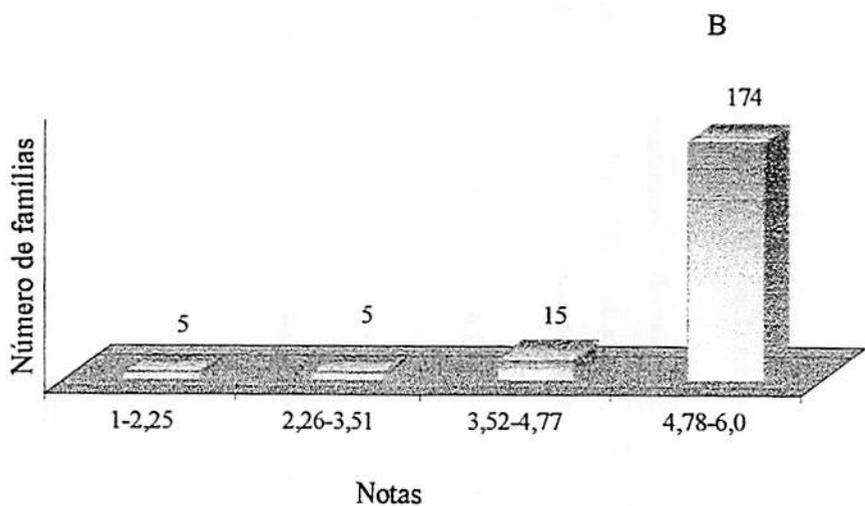
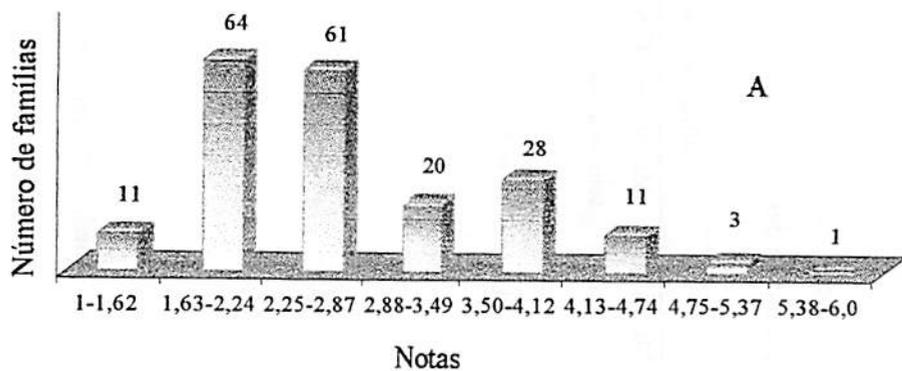


FIGURA 4 Distribuição de frequência das notas de grãos de feijoeiro atribuídas às famílias selecionadas (A) e não selecionadas (B), na geração $F_{3;5}$. Lavras, 2000.

5 DISCUSSÃO

No controle genético da cor dos grãos estão envolvidos muitos genes (Leakey, 1988; Singh, 1991; Basset, 1996), o mesmo ocorrendo para o tamanho dos grãos (Mesquita, 1989). Como os pais envolvidos nesse trabalho são contrastantes para o aspecto dos grãos (cor do fundo, do halo, ocorrência de listra), observou-se na população ampla variação para esses caracteres já na geração F_2 (sementes F_3), o que possibilitou a identificação de plantas com grãos dentro do padrão carioca. Além do mais, os dois pais, Pérola e Ouro Negro, são cultivares recomendadas para o estado de Minas Gerais (Ramalho e Abreu, 1998), destacando-se pelo grande potencial produtivo (EMBRAPA, 1997). Nesse contexto, é oportuno salientar que as produtividades dos dois parentais nas três avaliações foram semelhantes e altas (Figuras 1, 2 e 3). Há na literatura relatos de que o maior sucesso na seleção foi obtido no cruzamento envolvendo ambos os parentais com bom desempenho (Rasmusson e Phillips, 1997).

Como os pais apresentaram produtividades de grãos bastante semelhantes, há duas possibilidades para explicar esse fato. Uma delas é que eles possuem os mesmos alelos favoráveis fixados para o caráter em questão; outra explicação é que eles possuem aproximadamente o mesmo número de locos com os alelos favoráveis fixados, porém, os locos são diferentes nas duas cultivares. Se a primeira alternativa fosse correta, a população segregante deveria apresentar pequena variabilidade. O contrário seria esperado se a segunda alternativa fosse a verdadeira. A grande variabilidade detectada entre as famílias, em todas as situações, possibilita afirmar que os pais são divergentes, isto é, possuem aproximadamente o mesmo número de alelos favoráveis, porém, em locos diferentes. A divergência entre essas duas cultivares já foi constatada no trabalho desenvolvido por Machado, Santos e Nunes (2000).

Na literatura há alguns trabalhos com a cultura do feijoeiro que enfatizam só ser possível a obtenção de progresso genético na seleção para a produtividade de grãos se o cruzamento for feito entre pais de raças diferentes (Nienhuis e Singh, 1988; Singh, Gepts e Debouck, 1991). Em trabalhos desenvolvidos no Brasil, tem-se constatado que essa afirmação nem sempre é verdadeira, sobretudo porque os feijões, especialmente os da raça andina, nem sempre são adaptados e, além disso, é possível ter boa variabilidade mesmo em cruzamentos entre cultivares da mesma raça (Abreu, Ramalho e Ferreira, 1999). Esse fato foi novamente confirmado nesse trabalho por meio das estimativas das variâncias genéticas obtidas entre as famílias (Tabelas 4 e 6). Observa-se, também pelas Figuras 1, 2 e 3, que muitas famílias tiveram desempenho acima da média dos pais, evidenciando a ocorrência de segregação transgressiva, que é esperada quando os parentais se complementam. Um outro argumento a favor da existência de variabilidade genética entre as famílias são as estimativas da herdabilidade. Em todos os casos, o limite inferior foi positivo, indicando que a estimativa tem pelo menos 95% de probabilidade de ser diferente de zero, isto é, que existe variabilidade genética entre as famílias.

É importante salientar que foram obtidas estimativas da herdabilidade no sentido amplo, uma vez que a variância genética entre as famílias, além da variância aditiva, contém a variância de dominância. Contudo, há vários relatos que mostram ser a variância aditiva a que predomina no caso da produtividade de grãos do feijoeiro (Takeda, 1990; Vizgarra, 1991; Otubo, 1994). Além do mais, a proporção da variância de dominância existente é muito pequena, sendo de 3/16 na geração $F_{3,4}$ e de 3/64 na geração $F_{3,5}$. Assim, pode-se afirmar que as herdabilidades são praticamente no sentido restrito.

A estimativa da herdabilidade é influenciada pela precisão experimental, haja vista que no denominador da expressão, ou seja, na variância fenotípica entre médias, está contida a variância do erro. Assim, é fundamental ter boa

precisão experimental para se ter sucesso com a seleção. Nesse trabalho, a precisão pode ser considerada média. Pode-se observar que os coeficientes de variação obtidos (Tabelas 1A, 2A, 3 e 5) são de magnitude semelhante ao que é normalmente relatado em trabalhos com a cultura do feijoeiro conduzidos na região (Marques Júnior e Ramalho, 1997). A interação de genótipos x ambientes também afeta a estimativa da herdabilidade. Nesse trabalho, constatou-se que a variância da interação de famílias x ambientes, no caso locais e safras (gerações), foi de grande magnitude, sendo, na maioria dos casos, até superior à variância genética. A grande magnitude da interação nos experimentos com a cultura do feijoeiro é freqüentemente relatada nos trabalhos conduzidos na região (Takeda, Santos e Ramalho, 1991; Ramalho, Abreu e Santos, 1998; Rosal *et al.*, 2000).

Normalmente, quando se estima a herdabilidade com base na avaliação efetuada em vários ambientes, a sua magnitude é maior, pois a variância fenotípica entre médias de famílias, que é o denominador na expressão da herdabilidade, é $\sigma_F^2 = \sigma_G^2 + \sigma_{GL}^2/a + \sigma_c^2/ar$ e quando a estimativa é obtida em um só local, $\sigma_{F_1}^2 = \sigma_{G_1}^2 + \sigma_c^2/r$. Deve-se observar que $\sigma_{G_1}^2$, além da variância genética (σ_G^2) contém também a variância da interação (σ_{GL}^2) e que a variância do erro (σ_c^2) é dividida apenas por r, enquanto que no caso anterior, o divisor é a r. Assim, $\sigma_{F_1}^2$ é sempre superior a σ_F^2 , como pode ser visto nas Tabelas 4 e 6.

No entanto, nesse trabalho, a herdabilidade estimada, tanto nas análises envolvendo as duas gerações quanto naquela entre os dois locais, foi inferior àquela estimada nos locais ou gerações individualmente. Isso aconteceu provavelmente porque no numerador da herdabilidade, quando estimada em apenas um ambiente (local ou geração, nesse caso), além da variância genética,

tem-se a variância da interação, isto é, $h_1^2 = (\sigma_G^2 + \sigma_{PL}^2) / (\sigma_G^2 + \sigma_{PL}^2 + \sigma_e^2/r)$, ao passo que se em mais de um local, $h^2 = \sigma_G^2 / (\sigma_G^2 + \sigma_{PL}^2/a + \sigma_e^2/ar)$.

Assim, fica fácil visualizar que grande parte da variação genética liberada entre as famílias em um ambiente não é passada às gerações futuras ou a outros ambientes, devido à forte interação dos genótipos x ambientes. Esse problema é mais sério quando a interação é predominantemente de natureza complexa, como aconteceu nesse trabalho (Tabelas 4 e 6), ou seja, quando as famílias com melhor desempenho em um dado ambiente não mantêm necessariamente o mesmo comportamento relativo em outros ambientes. Esse é o principal complicador da seleção precoce para a produtividade de grãos, como relatado por Rosal *et al.* (2000). Depreende-se, então, que, para maior segurança na sua decisão, os melhoristas devem avaliar suas famílias no maior número possível de ambientes. Esse tema foi amplamente discutido por Troyer (1996) com relação à seleção de híbridos na cultura do milho.

É difícil fazer comparações entre estimativas da herdabilidade, pois elas são obtidas mediante a utilização de diferentes metodologias e/ou em gerações diferentes, além da existência da interação de genótipos x ambientes que, como já visto, afeta a estimativa desse parâmetro. Contudo, os valores das herdabilidades obtidos nesse trabalho foram semelhantes aos relatados por Abreu, Ramalho e Ferreira (1999), Raposo, Ramalho e Abreu (2000) e Rosal *et al.* (2000).

Um fato que chamou a atenção nesse trabalho foi o de que as estimativas da variância genética entre as famílias na geração $F_{3,4}$ foram maiores que na $F_{3,5}$. Isso pode ser explicado, em parte, pela maior participação da variância de dominância entre as famílias $F_{3,4}$ do que entre as famílias $F_{3,5}$, como já foi mostrado. Entretanto, a dominância, se presente, seria insuficiente para explicar tamanha diferença. Uma outra explicação seria a de amostragem deficiente, ou seja, número insuficiente de indivíduos para representar uma família $F_{3,4}$ ou $F_{3,5}$.

Embora não sejam encontradas informações a esse respeito na literatura, é comum, em trabalhos envolvendo a cultura do feijoeiro, avaliar as famílias tendo-se por parcela o mesmo número de plantas adotado nesse trabalho. Um terceiro fator, talvez o mais importante, como já amplamente discutido, é a interação das famílias com os ambientes, que pode ter sido de maior magnitude na avaliação das famílias $F_{3,4}$.

Já foi comentado que a seleção precoce para caracteres como a produtividade de grãos é de baixa eficiência, quando feita com base na avaliação visual (Cutrim, Ramalho e Carvalho, 1997; Silva *et al.*, 1994), sendo eficiente somente no caso de caracteres de alta herdabilidade. Não se têm informações, entretanto, sobre o efeito da seleção precoce efetuada para um ou mais caracteres de alta herdabilidade, na eficiência do processo seletivo dos caracteres de menor herdabilidade, em gerações mais avançadas. Para responder a essa questão existem algumas alternativas. Uma delas é determinar o efeito da seleção efetuada na geração F_2 (sementes F_3) para o tipo de grão, na produtividade das famílias em gerações mais avançadas; outra alternativa é verificar as consequências da seleção na variabilidade genética dessas famílias.

Essas duas alternativas foram abordadas nesse trabalho. Considerando os três ambientes, a média das famílias selecionadas foi de 379,00 g/m² e das não selecionadas, 378,8 g/m² (Tabelas 4 e 6). Isso indica que não houve diferenças significativas na produtividade desses dois grupos, evidenciando que a seleção precoce para o tipo de grãos não exerceu qualquer efeito no desempenho das famílias para a produtividade de grãos, em gerações mais avançadas.

Quando se considera a variabilidade, o mesmo fato foi constatado. Praticamente não houve diferença na variância genética entre as famílias, o mesmo ocorrendo com as estimativas da herdabilidade (Tabelas 4 e 6). Depreende-se que, embora a cor dos grãos seja controlada por muitos genes

(Leakey, 1988; Basset, 1996), provavelmente distribuídos em cromossomos diferentes, esses não são ligados com os genes que controlam a produtividade de grãos, que também devem ser muitos e provavelmente localizados em todos os cromossomos.

As implicações desses resultados são muito favoráveis aos programas de melhoramento do feijoeiro conduzidos no Brasil, pois, como já foi mencionado, o principal fator na adoção de uma cultivar é o aspecto dos grãos. Como esse caráter tem herdabilidade alta, a seleção precoce é eficiente. Assim, o melhorista poderá concentrar os esforços na avaliação de indivíduos ou famílias com grãos de aceitação comercial, sendo a seleção para a produtividade de grãos feita apenas em gerações mais avançadas, com base no desempenho médio das famílias ao longo dessas gerações. Desse modo, ele poderá avaliar um número menor de famílias, possibilitando reduzir o seu trabalho, mesmo que opte por ter maior número de repetições e/ou de locais, visando à melhoria da precisão experimental.

A vantagem da seleção precoce ficou bem evidente nesse trabalho. Pode-se observar, pelos dados da Tabela 8, que entre as 199 famílias não selecionadas para tipo de grãos, apenas sete foram consideradas dentro do padrão comercial, isto é, com nota igual ou menor que 2,5. Dizendo de outro modo, 192 famílias foram avaliadas em três ambientes, sem praticamente nenhum retorno prático para o melhorista.

Simulando-se a seleção das sete famílias mais produtivas na média de Lavras e Patos de Minas, independentemente da qualidade dos grãos, o ganho esperado foi semelhante entre os dois grupos de famílias, embora a nota de grãos das famílias selecionadas tenha sido bem menor (2,7) que a das não selecionadas (4,9), como pode ser visto na Tabela 9. Contudo, considerando-se a seleção das sete famílias mais produtivas entre as que obtiveram notas de até 2,5, o ganho esperado foi muito superior no caso das famílias selecionadas (9,3% contra

1,8%). Reforça-se assim o que já foi comentado sobre a importância de se realizar a seleção precoce para tipo de grãos e adiar a seleção para a produtividade para gerações mais avançadas.

6 CONCLUSÕES

1- A seleção precoce para tipo de grão, realizada na geração F_2 , não resultou em diminuição na média e nem na variância genética da produtividade de grãos em gerações mais avançadas, não afetando, portanto, o sucesso do processo seletivo para esse caráter.

2- Ficou evidenciado que a estratégia de promover uma rigorosa seleção para tipo de grão na geração F_2 possibilita aos melhoristas concentrar os seus esforços na seleção de outros caracteres, apenas nas famílias com grãos comercialmente aceitáveis, ampliando a probabilidade de sucesso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A. de F.B.; RAMALHO, M.A.P.; FERREIRA, D.F. Selection potential for seed yield from intra and inter racial populations in common bean. *Euphytica*, Wageningen, v.108, p.121-127, 1999.
- ALLARD, R.W. **Princípios do melhoramento genético das plantas**. Tradução de Almiro Blumenschein, Ernesto Paterniani, José T. do Amaral Gurgel, Roland Vencovsky. Rio de Janeiro: Programa de publicações didáticas, 1971. 381 p. Tradução de: Principles of plant breeding.
- ALMEIDA, L. D'A. de. **O feijão carioca: reflexos de sua adoção**. Campinas: IAC, 2000. n. p.
- A revolução do carioquina. **Informação Apta**. São Paulo, v. 1, n. 1, p. 3-5, maio/jun. 2000.
- BASSET, M.J. The griseoalbus (gray-white) seedcoat color is controlled by an allele (p^{gr}) at the P locus in common bean. *HortScience*, Alexandria, v.29, n. 10, p. 1178-1179, Oct. 1994.
- 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.
- BERNARDO, R. Correlation between testcross performance of lines at early and late selfing generations. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlim, v. 82, n. 1, p. 17-21, May 1991.
- BOERMA, H.R.; COOPER, R.L. Effectiveness of early-generation yield selection of heterogeneous lines in soybeans. *Crop Science*, Madison, v. 15, n. 3, p. 313-315, May/June 1975.
- BORÉM, A. **Melhoramento de plantas**. Viçosa: UFV, 1997. 547 p.

- BRICK, M.A.; GUL, G.; SCHWARTZ, H.F. Morphological 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.
- 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.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. **Informativo anual das comissões técnicas regionais de feijão: cultivares de feijão recomendadas para plantio no ano agrícola 1997/98**. Goiânia, 1997.n.5, 29 p.
- FEHR, W.R. **Principles of cultivar development: theory and technique**. Ames: Macmillan Publishing Company, 1993, v. 1, 536 p.
- 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.
- GEPTS, P.; DEBOUCK, D. Origin, domestication, and evolution of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). In: SCHOONHOVEN, A. van; VOYSEST, O. (eds.). **Common beans: research for crop improvement**. Wallingford: CAB Internacional/CIAT, 1991. Cap. 1, p. 7-53.
- GEPTS, P.; KMIECK, K.; PEREIRA, P, A.A.; BLISS, F.A. Dissemination pathways of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae) deduced from phaseolin electrophoretic variability. I. The Americas. **Economic Botany**, New York, v. 42, n. 1, p. 73-85, 1988.
- HIDALGO, R. CIAT's world *Phaseolus* collection. In: SCHOONHOVEN, A. van; VOYSEST, O. (eds.). **Common beans: research for crop improvement**. Wallingford: CAB International/CIAT, 1993. p. 163-197.
- KNAPP, S.J.; STOUP, W.W.; ROSS, W.M. Exact confidence intervals for heritability on a progeny mean basis. **Crop Science**, Madison, v.25, n.1, p.192-194, Jan./Feb. 1985.

- LEAKEY, C.L.A. Genotypic and phenotypic markers in common bean. In: GEPTS, P. (ed.). *Genetic resources of Phaseolus beans: Their maintenance, domestication, evolution, and utilization*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1988, p. 245-327.
- LUNGU, D.M.; KALTSIKES, P.J.; LARTER, E.N. Honeycomb selection for yield in early generations of spring wheat. *Euphytica*, Wageningen, v.36, n. 3, p. 831-840, Apr. 1987.
- MACHADO, C. de F.; SANTOS, J.B.; NUNES, G.H. de S. Escolha de genitores de feijoeiro por meio da divergência avaliada a partir de caracteres morfo-agronômicos. *Bragantia*, Campinas, v.59, n.1, p.11-20, tomo 1. 2000.
- MARQUES JÚNIOR, O.G.; RAMALHO, M.A.P. Determinação da taxa de fecundação cruzada de 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.
- MESQUITA, I.A. Efeito materno na determinação do tamanho da semente do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Lavras: ESAL, 1989. 70 p. (Dissertação de Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- NIENHUIS, J.; SINGH, S.P. Genetic of seed yield and its components in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) of Middle-American origins I General combining ability. *Plant Breeding*, Cambridge, v.101, n.2, p.143-154, June 1988.
- OTUBO, S.T. Controle genético da tolerância do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) a baixas temperaturas na fase de germinação. Lavras: UFLA, 1994. 50 p. (Dissertação- Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A. de F.B. Cultivares. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T.J. de; BORÉM, A. *Feijão: Aspectos gerais e cultura no Estado de Minas Gerais*. Viçosa: UFV, 1998. Cap.14. p.435-449.
- RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A. de F.B.; SANTOS, J.B. dos. Melhoramento de plantas autógamias. In: NASS, L.L.; MELO, I.S. de (eds.) *Melhoramento de plantas e microorganismos*. Piracicaba: ESALQ/USP, 2001 (no prelo).

- RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A. de F.B.; SANTOS, P.S.J. dos. Interação genótipos x épocas de semeadura, anos e locais na avaliação de cultivares de feijão nas regiões Sul e Alto Paranaíba em Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.22, n.2, p.176-181, abr./jun.1998.
- RAMALHO, M.A.P.; FERREIRA, D.F.; OLIVEIRA, A.C. de. Experimentação em genética e melhoramento de plantas. Lavras: UFLA, 2000. 326 p.
- RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B. dos; ZIMMERMAN, M.J. de O. Genética quantitativa em plantas autógamas: Aplicações ao melhoramento do feijoeiro. Goiânia. Universidade Federal de Goiás, 1993. 271 p.
- RAMALHO, M.A.P.; PIROLA, L.H.; ABREU, A. de F.B. Alternativas na seleção de plantas de feijoeiro com porte ereto e grão tipo carioca. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.33, n.12, p.1989-1994, dez. 1998.
- 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 Genet & Breed*, Roma, v. 50, n. 2, p. 103-108, June 1996.
- RAPOSO, F.V.; RAMALHO, M.A.P.; A. de F.B. Comparação de métodos de condução de populações segregantes de feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.35, n.10, p. 1991-1997, out. 2000.
- RASMUSSESON, D.C.; PHILLIPS, R.L. Plant breeding progress and genetic diversity from de novo variation and elevated epistasis. *Crop Science*, Madison, v. 37, n.2, p.303-310, Mar/Apr. 1997.
- ROSAL, C.J. de S.; RAMALHO, M.A.P.; GONÇALVES, F.M.A.; ABREU, A. de F.B. Seleção precoce para a produtividade de grãos do feijoeiro. *Bragantia*, Campinas, v.59, n.2. 2000.
- SILVA, H.D.; RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A. de F.B.; MARTINS, L.A. Efeito da seleção visual 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.
- SINGH, S.P. Bean genetics. In: Schoonhoven, A. van; Voysest, O. (eds). *Common beans: research for crop improvement*. Wallingford: CAB International/CIAT, 1991. Cap. 7, p. 199-286.

- SINGH, S.P.; GEPTS, P.; DEBOUCK, D.G. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). *Economic Botany*, New York, v.45, n.3, p.379-396, July/Sept. 1991.
- TAKEDA, C. Avaliação de progênies de feijoeiro do cruzamento “ESAL 501 x A 354” em diferentes ambientes. Lavras: ESAL, 1990. 82 p. (Dissertação Genética e Melhoramento de Plantas).
- TAKEDA, C.; SANTOS, J.B.; 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.
- TROYER, A.F. Breeding widely adapted, popular maize hybrids. *Euphytica*, Wageningen, v.92, n.1/2, p.163-174, 1996.
- VENCOVSKY, R. Herança Quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G.P. *Melhoramento e produção do milho*. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.137-214.
- VIEIRA, C. *O feijoeiro comum: cultura, doenças e melhoramento*. Viçosa: UFV, 1967. 220 p.
- 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.
- VILHORDO, B.W.; MIKUSINSKI, O.M.F.; BURIN, M.E.; GANDOLFI, V.H. Morfologia. In: ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMAN, M.J. de O. *Cultura do feijoeiro comum no Brasil*. Piracicaba: Potafos, 1996. p. 71-99.
- VIZGARRA, O.N. Capacidade de combinação de algumas cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) com diferentes mecanismos de resistência ao vírus do mosaico dourado. Lavras: ESAL, 1991. 78 p. (Dissertação – Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).

- WHAN, B.R.; KNIGHT, R.; RATHJEN, A.J.** Response to selection for grain yield and harvest index in F_2 , F_3 and F_4 derived lines of two wheat crosses. *Euphytica*: Wageningen, v. 31, n. 1, p. 139-150, Mar. 1982.
- WHAN, B.R.; RATHJEN, A.J.; KNIGHT, R.** The relation between wheat lines derived from the F_2 , F_3 , F_4 and F_5 generations for grain yield and harvest index. *Euphytica*: Wageningen, v. 30, n. 2, p. 419-430, June 1981.
- YOKOYAMA, L.P.; BANNO, K.; KLUTHCOUSKI, J.** Aspectos socioeconômicos da cultura. In: **ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMAN, M.J. de O.** Cultura do feijoeiro comum no Brasil. Piracicaba: Potafos, 1996. p. 1-21.
- ZIMMERMAN, M.J. de O.; TELXEIRA, M.G.** Origem e evolução. In: **ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMAN, M.J. de O.** Cultura do feijoeiro comum no Brasil. Piracicaba: Potafos, 1996. p. 57-70.

ANEXOS

Tabela

Página

| | | |
|----|--|----|
| 1A | Resumo da análise de variância da produção de feijão (g/m^2) obtida na avaliação de famílias $F_{3:4}$, em Lavras, durante o ano de 2000. | 56 |
| 2A | Resumo da análise de variância da produção de feijão (g/m^2) obtida na avaliação de famílias $F_{3:5}$, em Lavras e Patos de Minas, durante o ano de 2000. | 57 |

TABELA 1A Resumo da análise de variância da produção de feijão (g/m²) obtida na avaliação de famílias F_{3,4}, em Lavras, durante o ano de 2000.

| Fontes de Variação | G.L. | Q.M. | |
|---|------|----------|------|
| Tratamento | 399 | 14345,04 | ** |
| Entre famílias | 397 | 14380,70 | ** |
| -Entre famílias selecionadas | 198 | 13887,97 | ** |
| -Entre famílias não selecionadas | 198 | 14848,08 | ** |
| -Famílias selecionadas vs famílias não selecionadas | 1 | 19399,98 | n.s. |
| Entre pais | 1 | 2253,88 | n.s. |
| Pais vs famílias | 1 | 12282,49 | n.s. |
| Erro efetivo | 361 | 8296,32 | |
| C.V. (%) | | 23,83 | |
| Média | | 382,28 | |
| Eficiência do látice (%) | | 7,93 | |

** : teste de F significativo a 1% de probabilidade.

TABELA 2A Resumo da análise de variância da produção de feijão (g/m²) obtida na avaliação de famílias F_{3.5}, em Lavras e Patos de Minas, durante o ano de 2000.

| Fontes de Variação | G.L. | Q.M. _{Lavras} | Q.M. _{Patos de Minas} |
|-------------------------------------|------|------------------------|--------------------------------|
| Tratamento | 399 | 7961,043 ** | 9524,64 ** |
| Famílias | 397 | 7953,899 ** | 9533,33 ** |
| -Entre famílias selecionadas | 198 | 7236,585 ** | 10391,93 ** |
| -Entre famílias não selecionadas | 198 | 8680,548 ** | 8438,55 ** |
| -(Selecionadas vs não selecionadas) | 1 | 6105,772 n.s. | 56298,58 ** |
| Pais | 1 | 9433,211 n.s. | 14072,21 n.s. |
| Famílias vs pais | 1 | 9325,199 n.s. | 1526,91 n.s. |
| Erro efetivo | 741 | 4102,251 | 4840,23 |
| C.V. (%) | | 19,39 | 16,40 |
| Média | | 330,34 | 424,20 |
| Eficiência do látice (%) | | 104,47 | 104,13 |

** : Teste de F significativo a 1% de probabilidade.