

**IMPLICAÇÕES DO NÚMERO DE
INTERCRUZAMENTOS NAS
PROPRIEDADES GENÉTICAS DE UMA
POPULAÇÃO SEGREGANTE DE FEIJOEIRO**

MARCELO SFEIR DE AGUIAR

2003

MARCELO SFEIR DE AGUIAR

**IMPLICAÇÕES DO NÚMERO DE INTERCRUZAMENTOS NAS
PROPRIEDADES GENÉTICAS DE UMA POPULAÇÃO SEGREGANTE
DE FEJJOEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal
de Lavras, como parte das exigências do
Programa de Pós Graduação em Agronomia, para
obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Magno Antonio Patto Ramalho

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2003

Aguiar, Marcelo Sfeir de

Implicações do número de intercruzamentos nas propriedades genéticas de uma população segregante de feijoeiro / Marcelo Sfeir de Aguiar. -- Lavras : UFLA, 2003.
54 p. : il.

Orientador: Magno Antonio Patto Ramalho.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. intercruzamento. 2. Melhoramento genético vegetal. 3. População segregante. 4. feijão. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-635.65223

MARCELO SFEIR DE AGUIAR

**IMPLICAÇÕES DO NÚMERO DE INTERCRUZAMENTOS NAS
PROPRIEDADES GENÉTICAS DE UMA POPULAÇÃO SEGREGANTE
DE FEIJOEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal
de Lavras, como parte das exigências do
Programa de Pós Graduação em Agronomia para
obtenção do título de “Mestre”.

Aprovada em 04 de fevereiro de 2003

Prof. João Bosco dos Santos UFLA

Prof. José Eustáquio de Souza Carneiro UFV

Prof. Magno Antonio Patto Ramalho
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	02
2.1 Biologia floral e sistema reprodutivo do feijoeiro	02
2.2 Hibridação no melhoramento do feijoeiro.....	04
2.3 Intercruzamento das plantas F_2	05
3. MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1 Local	14
3.2 Formação das populações segregantes.....	14
3.3 Avaliação das populações – “bulk’s S_0 ”	15
3.4 Obtenção das famílias $S_{0,1}$	16
3.5 Avaliação das famílias $S_{0,2}$	16
3.6 Avaliação das famílias $S_{0,3}$	17
3.7 Análise estatística dos dados.....	17
3.8 Estimativas dos componentes de variância e parâmetros genéticos ou fenotípicos	21
4. RESULTADOS.....	26
5. DISCUSSÃO	40
6. CONCLUSÕES	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
ANEXO	52

DEDICO

Àqueles que sempre estiveram ao meu lado em todas às horas de alegria e de tristeza, sempre me dando apoio, amor, compreensão, força e me fazendo acreditar que eu podia vencer todas as barreiras que foram colocadas em meu caminho tanto na vida profissional quanto pessoal. Que souberam bater palmas e também puxar a orelha quando preciso. Eu dedico aos meus pais Milton e Demarice, aos meus irmãos Ricardo e Renata e a minha vó Doracia por formarem uma família que me motiva, protege e me obriga crescer tanto pessoalmente quanto profissionalmente (eu amo vocês);

A Thaís Saad Sczepanski pelo amor, compreensão e momentos inesquecíveis vivenciados juntos.

AGRADECIMENTOS

À Deus por toda a força que tem me dado para ultrapassar as etapas da vida;

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade concedida;

Ao professor Magno Antonio Patto Ramalho por ter me guiado durante o mestrado com grande sabedoria, paciência e, acima de tudo, pelos conhecimentos transmitidos sendo um espelho de dedicação e de amor a profissão;

Ao professor, co-orientador e, principalmente, amigo José Eustáquio de Souza Carneiro pela disponibilidade e excelentes contribuições, sempre me atendendo a qualquer hora com um sorriso no rosto;

A pesquisadora, co-orientadora e amiga Ângela de Fátima Barbosa Abreu pela atenção, participação, apoio e sugestões dada a essa dissertação que foram de suma importância (pelos lanches também);

Ao professor João Bosco dos Santos, pela valiosa revisão, crítica e objetiva, e pela disponibilidade em participar da banca;

Aos demais professores e funcionários do Departamento de Biologia;

A Dra. Vania Moda-Cirino pela orientação durante a graduação, amizade e, principalmente, por despertar em mim o interesse pela pesquisa;

Ao Núcleo de Estudo de Genética (GEN) pelos eventos realizados, ajudando na minha formação;

Aos amigos Helton, Flávio, Rogério, Nara e Lourenço pelo convívio e amizade demonstrada durante o curso, que com certeza, com o apoio de vocês, conferiu uma maior qualidade a essa dissertação e a minha vida em Lavras;

Aos demais amigos e colegas do Curso de Genética e Melhoramento de Plantas que também de alguma maneira me ajudaram a vencer mais essa etapa: Odair,

Eduardo Lambert, Marcos (Cabeça), Adriano, Flavinha, Alex, Agnaldo, Dú Bignotto, Glauco, Dyeme, Geovani Bernardo, Guati, Gustavo (Vermeio),

Isabella, Ricardo, Fábio, Sandro, etc...

Aos amigos Beto, Roseane e Rodrigo por ajudar eu “tocar” a minha vida aqui em Lavras;

A Thaís Saad Sczepanski pelo sorriso, compreensão, amor e carinho dedicados a mim nesses anos de convívio, provando que a distância foi só mais uma etapa que conseguimos ultrapassar juntos.

...PENSE...

“É melhor tentar e falhar, que preocupar-se e ver a vida passar.
É melhor tentar, ainda em vão, que sentar-se fazendo nada até o final.
Eu prefiro na chuva caminhar, que em dias tristes em casa me esconder.
Prefiro ser feliz, embora louco que em conformidade viver.”

(Martin Luther King)

Então... estude e viva!

RESUMO

AGUIAR, Marcelo Sfeir de. **Implicações do número de inter cruzamentos nas propriedades genéticas de uma população segregante de feijoeiro:** UFLA, 53 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).*

Na condução de um programa de melhoramento genético por hibridação em espécies autógamas, como o feijoeiro, um dos questionamento frequentes é sobre a necessidade de inter cruzar plantas da geração F_2 (S_0). Do exposto, o objetivo do trabalho foi verificar o efeito de 0, 1 e 2 inter cruzamentos nas propriedades genéticas de uma população segregante de feijoeiro oriunda de cruzamento múltiplo. Para isso foi obtido um cruzamento múltiplo envolvendo oito pais. Uma parte das sementes obtidas foi armazenada e o restante das sementes foi utilizado para o inter cruzamento, obtendo-se a população; novamente uma parte das sementes foi armazenado e o restante foi utilizada para mais um inter cruzamento. Desse modo, foram obtidas três populações: sem inter cruzamento (I_0), com um inter cruzamento (I_1) e com dois inter cruzamentos (I_2). Essas populações e mais duas testemunhas foram avaliadas utilizando o delineamento de blocos ao acaso com 6 repetições. Na colheita foi tomada ao acaso uma amostra de 130 plantas de cada população para a obtenção das famílias $S_{0,1}$; essas foram multiplicadas e as sementes colhidas foram misturadas dando origem as famílias $S_{0,2}$, sendo avaliadas juntamente com 10 testemunhas, no delineamento de látice simples 20x20. Procedeu-se nova avaliação das famílias, agora $S_{0,3}$, com semeadura em julho de 2001, utilizando o mesmo delineamento, mas com três repetições. Em todos os experimentos avaliou-se a produção de grãos e, a partir das análises de variância, foram estimados os parâmetros genéticos e fenotípicos. Constatou-se que das propriedades genéticas da população segregante, a média não foi afetada pelo inter cruzamento, já a variância genética apresentou pequeno incremento, que pode ser devido ao desequilíbrio de ligação da população ou à interação das famílias x ambientes. Esse aumento, no entanto, provavelmente não compensa o tempo e os recursos gastos para o inter cruzamento de plantas F_2 .

*Comitê Orientador: Magno Antonio Patto Ramalho - UFLA (Orientador)
Ângela de Fátima Abreu – Embrapa Arroz e Feijão/UFLA

ABSTRACT

AGUIAR, Marcelo Sfeir de. **Implications of the number of intercrossings in the genetic properties of a common bean population.** Lavras, 53p. Dissertation – Master in Plant Genetics and Breeding). *

In autogamous species, like common bean a usual question about the breeding program based on hybridization, is the necessity to intercross plants of the F_2 generation. The objective of this research was to verify the effect of 0, 1 and 2 intercrossings on the genetic properties of a common bean segregating population derived from multiple crossings. A involving eight parents. Part of the seeds was stored to represent the population of no intercrossing (I_0). The remaining seeds were used to obtain the population of one intercrossing (I_1), and the harvested seeds were split in two parts, one stored for future evaluation, and the other used to generate the population of two intercrossings (I_2). All populations and two testers were assessed using a complete randomized block design with six replications. One hundred and thirty plants were taken randomly from each population to generate the $S_{0:1}$ families. Those plants were selfed and the harvested seeds were mixed to generate the $S_{0:2}$ families, which were assessed along with 10 testers, in a simple 20×20 square lattice design. New evaluation of the $S_{0:3}$ families was set up, with sowing in July 2001, using the same design, however with three replications. In all experiments grain yield was evaluated and the genetic and phenotypic parameters were estimated. It was verified that the population average was not affected by the intercrossings, but the genetic variance presented small increment, which can be due to the linkage disequilibrium of the population or to the families x environment interaction. The increase in the genetic variance however, probably does not compensate the time and the cost spent to intercross of the F_2 plants.

*Guidance committee: Magno Antonio Patto Ramalho - UFLA (Adviser)
Ângela de Fátima Abreu – Embrapa Arroz e Feijão/UFLA

1 INTRODUÇÃO

A produtividade de grãos e outros caracteres de importância econômica nas espécies cultivadas, são controlados por inúmeros genes e fica difícil acumular em um único indivíduo todos os alelos favoráveis. Por isso, os melhoristas procuram associar, por meio da hibridação, os alelos favoráveis que estão em diferentes indivíduos.

No melhoramento por hibridação, um dos questionamentos é se há necessidade de inter cruzar plantas F_2 . A resposta a esse questionamento tem sido muito diversificada. Alguns trabalhos teóricos com simulação apresentam resultados contrastantes. Hanson (1959), Pederson (1974) e Fujimaki (1979) argumentaram que é necessário um ou mais inter cruzamentos das plantas F_2 para aumentar a chance de sucesso com a seleção. Já Bos (1977) mostrou resultados contrários.

Alguns trabalhos foram realizados sob condição de campo e a maioria deles concluíram que o inter cruzamento não é vantajoso, como em algodão (Meredith & Brigde, 1971), trigo (Altman & Busch, 1984), soja (Guimarães & Fehr, 1989) e arroz (Marin-Garavito, 1994; Cordeiro, 2001).

Entretanto, a maioria desses estudos foram realizados utilizando o inter cruzamento em programas de seleção recorrente por meio da macho-esterilidade, em que os cruzamentos são inteiramente ao acaso. No caso do feijoeiro, não tem sido possível utilizar a recombinação por meio da macho-esterilidade. Assim, seria importante verificar se para essa espécie, o inter cruzamento de plantas F_2 , manualmente, justificaria o tempo e o recurso gasto na sua implementação.

Do exposto, o objetivo do trabalho foi verificar o efeito de 0, 1 e 2 inter cruzamentos nas propriedades genéticas de uma população segregante de feijoeiro oriunda de cruzamento múltiplo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Biologia floral e sistema reprodutivo do feijoeiro

As flores do feijão agrupam-se em ráculos, que nascem nas axilas das folhas (Leon, 1968), a partir de gemas floríferas e, mais raramente, de gemas mistas. A inflorescência é originada de um complexo de gemas localizadas nas axilas das folhas, em que se distinguem três componentes principais: o eixo, composto de um pedúnculo e ráquis, as brácteas e os botões florais (Ospina, 1981). Essa inflorescência é composta por um conjunto de flores hermafroditas do tipo papilionácea com simetria bilateral, sendo cada flor formada por um pedicelo glabro ou subglabro, com pêlos unguiculados.

Cada flor apresenta uma bráctea e duas bractéolas, estas na base do pedúnculo floral. O cálice é gamossépalo, tubuloso na base e subdividido em três ou cinco dentes no ápice.

A corola é pentâmera e apresenta uma quilha, que resulta da fusão de duas pétalas inferiores, a qual encerra os estames e o pistilo. Existe ainda, na corola, duas pétalas laterais à quilha, as asas, e uma pétala bem maior que envolve as outras, o estandarte, em posição superior. A coloração das pétalas no feijão comum varia de branco a arroxeadado e está relacionada principalmente com diferenças genéticas entre as cultivares, embora dependa também da idade da flor e das condições do ambiente.

Os estames, que em seu conjunto formam o androceu, no início do seu crescimento aparecem em duas fileiras de cinco, sendo que, posteriormente, nove deles fundem-se pela base e um fica livre, de modo que na flor adulta exista um tubo estaminal de nove estames unidos pelas bases e um livre. Este último fica em posição posterior, oposto ao estandarte (Santos & Gavilanes, 1998).

O gineceu é súpero, tendo em sua posição dorsal um feixe vascular, bem desenvolvido, e na sua posição ventral, dois feixes de menor tamanho. Apresenta internamente os óvulos conectados, alternadamente a cada um dos dois feixes ventrais. Os óvulos são aderidos à placenta pelo funículo, através do qual passa um feixe vascular, derivado de um dos feixes vasculares ventrais. No ápice do ovário, alongado e comprido, desenvolve-se o estilete curvo, agudo e comprido com pêlos; na extremidade do estilete apresenta-se o estigma, de forma arredondada.

A morfologia floral do feijoeiro e a disposição dos órgãos reprodutores, anteras situadas no mesmo nível do estigma e envolvidas completamente pela quilha, favorecendo a caída do grão de pólen diretamente sobre o estigma, facilita o mecanismo de autopolinização, tornando a autofecundação seu sistema obrigatório de reprodução (Ramalho et al., 1993).

Trabalhos visando a determinação de taxas de fecundação cruzada têm sido feitos em muitas localidades e os resultados obtidos mostram que elas normalmente são inferiores a 5% (Vieira, 1960; Pompeu, 1963; Junqueira Neto & Lasmar Filho, 1971; Ortega, 1974; Pereira Filho & Cavariani, 1984; Marques Júnior & Ramalho, 1995; Royer et al., 1999). Contudo, há relatos de taxas de polinização cruzada bem superiores a esse valor (Costa & Antunes, 1975; Wells et al., 1988). Taxas de fecundação cruzada superiores normalmente estão associadas a uma maior população de insetos polinizadores (Royer et al., 1999). Observa-se também que o tamanho da flor influencia a taxa de fecundação cruzada; flores menores, de modo geral, possuem uma menor taxa de fecundação cruzada (Marques Júnior & Ramalho, 1995; Royer et al., 1999).

Os métodos utilizados para a realização dos cruzamentos artificiais no feijoeiro devem necessariamente envolver algum mecanismo que impeça que as anteras maduras entrem em contato com o estigma por ocasião da polinização. De modo geral, conseguem-se de 40 a 60% de sucesso em polinizações manuais.

Fernandes et al. (2001) verificaram a porcentagem de vingamento floral sob condições de casas teladas utilizando dois métodos de hibridação, com e sem emasculação. Na comparação dos dois métodos, o sem emasculação foi o que proporcionou maior vingamento floral, o que, associado à maior facilidade de execução, e sobretudo à pequena porcentagem de contaminação – autofecundação, mostrou ser o mais eficiente. Contudo, independentemente do método, desde que as condições ambientais sejam favoráveis e o operador tenha experiência, a realização dos cruzamentos não é um empecilho nos programas de melhoramento de feijão.

2.2 Hibridação no melhoramento do feijoeiro

Existem vários métodos de melhoramento de feijoeiro, que são comuns a todas as plantas autógamas e descrições detalhadas são encontradas em várias publicações (Borém, 1997; Ramalho et al., 2001). Dentre esses métodos, o da hibridação é o mais empregado. Ele tem por objetivo combinar, em um mesmo indivíduo, fenótipos diferentes que estão em indivíduos diferentes. Na condução de um programa de melhoramento por hibridação há algumas decisões a serem tomadas. A primeira delas é a escolha dos genitores a serem utilizados no cruzamento. A idéia básica é envolver pais que contribuam para gerar uma população de média alta e maior variabilidade possível. Na literatura há inúmeros relatos de procedimentos a serem utilizados para que haja a identificação de pais que originem uma população com essas propriedades (Oliveira, 1995; Abreu, 1997).

A segunda decisão é sobre como proceder os cruzamentos, isto é, se biparentais, triplos, duplos ou múltiplos. Aqui também a decisão nem sempre é muito fácil, mas tem sido assunto de algumas publicações que orientam na tomada de decisão (Carneiro, 2002).

Uma outra decisão, não menos importante, é sobre a necessidade de se proceder o inter cruzamento. Como esse assunto é objetivo principal dessa dissertação, ele será mais intensamente comentado a seguir.

Uma vez obtida a população segregante há ainda algumas decisões a serem tomadas, tais como: qual método utilizar na condução das populações segregantes, quando iniciar a avaliação das famílias em experimentos com repetições e quais as melhores alternativas de condução desses experimentos. Informações a esse respeito são também encontradas na literatura (Raposo, 1999; Ramalho et al., 2001).

2.3 Intercruzamento das plantas F_2

No melhoramento por meio da hibridação, a principal dificuldade é o número de genes que segregam quando do cruzamento de linhagens contrastantes. O que se deseja é acumular a maioria dos alelos favoráveis em uma ou em algumas linhagens. A probabilidade de que isso ocorra por meio de um sistema de autofecundações sucessivas é muito pequena (Ramalho et al., 2001). Uma das alternativas propostas por alguns autores para aumentar a chance de se obter em linhagens com um maior número de alelos favoráveis é o inter cruzamento de plantas da geração F_2 .

Visando demonstrar a eficiência do inter cruzamento, Hanson (1959), por meio de estudos teóricos considerando genes ligados, concluiu que haveria a necessidade de três a quatro ciclos de inter cruzamentos para liberar toda a variabilidade genética existente nos genitores, antes de iniciar a autofecundação da população em programas de melhoramento de plantas autógamas.

Entretanto, Pederson (1974), trabalhando com simulação, verificou que o inter cruzamento anterior à seleção nem sempre é vantajoso na liberação da variabilidade genética dos parentais. Considerando o modelo com dois genes e

diferentes freqüências de recombinação, observou que, para os alelos que estavam em fase de repulsão, as permutas promoveram aumento na variância genética, após ciclos repetidos de autofecundações.

Um outro estudo que questionou a eficiência do inter cruzamento de plantas F_2 foi o trabalho realizado por Bos (1977). Ele realizou simulações considerando o envolvimento de dois genes, A e B, com dois alelos, e partiu do cruzamento de duas linhagens genitoras ligadas em repulsão, ou seja:

$$P_1: \frac{Ab}{Ab} \quad e \quad P_2: \frac{aB}{aB}$$

O cruzamento entre esses dois pais gerou um híbrido (F_1) com o genótipo Ab/aB , que produziu gametas com os genótipos AB , Ab , aB e ab com as freqüências dos gametas genitores de v e dos recombinantes na freqüência u . Sendo r a freqüência de recombinação entre os dois genes, tem-se:

- freqüência do gameta AB ou $ab = u = \frac{1}{2}r$;
- freqüência do gameta aB ou $Ab = v = \frac{1}{2}(1 - r)$.

Nessa situação as expressões que possibilitam estimar as freqüências dos nove genótipos possíveis em F_2 e F_∞ são apresentadas na Tabela 1. De modo análogo, estão apresentadas as expressões para estimar as mesmas freqüências genótípicas com o inter cruzamento, gerações F'_2 e F'_∞ (Bos, 1977).

TABELA 1. Expressões que possibilitam estimar as freqüências genotípicas, com diferentes taxas de recombinação (r), com e sem intercruzamento nas gerações F_2 e F_∞ , considerando dois genes, A e B. Adaptado de Bos (1977).

Genótipo	Sem intercruzamento		Com intercruzamento	
	F_2 ^{1/}	F_∞	F_2 ^{2/}	F_∞
AABB	u^2	$r(1+2r)^{-1}$	u'^2	$(5r-2r^2)(4+8r)^{-1}$
AABb	$2uv$	0	$2u'v'$	0
AAbb	v^2	$(2+4r)^{-1}$	v'^2	$\frac{1}{2} - (5r-2r^2)(4+8r)^{-1}$
AaBB	$2uv$	0	$2u'v'$	0
AbaB	$2v^2$	0	$2v'^2$	0
ABab	$2u^2$	0	$2u'^2$	0
Aabb	$2uv$	0	$2u'v'$	0
aaBB	v^2	$(2+4r)^{-1}$	v'^2	
aaBb	$2uv$	0	$2u'v'$	0
aabb	u^2	$r(1+2r)^{-1}$	u'^2	$(5r-2r^2)(4+8r)^{-1}$

$$\frac{1/}{u} = \frac{1}{2} r \text{ e } v = \frac{1}{2} (1-r)$$

$$\frac{2/}{u'} = \frac{1}{2} r' = v' = \frac{1}{2} (1-r') \text{ e } \frac{1}{2} r' = \frac{3}{4} r - \frac{1}{4} r^2$$

Considerando que quando é realizado o cruzamento o que se almeja é o indivíduo que possua todos os alelos favoráveis em homozigose; no exemplo, genótipo AABB, utilizando as expressões apresentadas na Tabela 1 foi estimado o número de indivíduos em uma população de 10000 plantas nas gerações F_2 e F_∞ (Tabela 2). Como era esperado, já que está sendo considerada a ligação em repulsão, o número diminui com a redução da freqüência de recombinação entre os dois genes.

Observe também os valores esperados com o intercruzamento. Comparando as gerações F_2 e F_2' , veja que, estando os genes ligados em repulsão, a freqüência do indivíduo desejado aumenta (Tabela 3). Nesse ponto, vale salientar que se ao invés de intercruzar para obter F_2' a população for autofecundada (F_3), a freqüência aumenta. Considerando, por exemplo, sem ligação, seriam 1406 indivíduos em F_3 (Tabela 2) e 625 em F_2' (Tabela 3).

Entretanto, se considerado o momento em que a homozigose completa é atingida, isto é, comparar F_{∞} e F'_{∞} , verifica-se que o intercruzamento é vantajoso, desde que a ligação seja em repulsão, essa vantagem é incrementada com a diminuição da frequência de recombinação, sendo o limite o aumento de 25%. Destarte para o fato que o melhorista inicia a sua seleção, normalmente nas gerações iniciais, portanto, nessa condição não existe vantagem em intercruzar plantas F_2 .

Tabela 2 . Número esperado de plantas com o genótipo ideal AABB em F_2 , F_3 e F_{∞} numa população de 10000 plantas, considerando dois locos ligados em repulsão com diferentes frequências de recombinação (r).

R	F₂	F₃	F_∞
0,5	625	1406	2500
0,25	156	713	1667
0,125	39	342	1000
0,0625	9,8	165	556
0,01562	0,6	40	152
0,00781	0,15	20	77
0,0039	0,04	10	39

TABELA 3. Número esperado de plantas com o genótipo ideal AABB em F_2 e F_∞ , sem e com intercruzamento, numa população de 10000 plantas, considerando dois locos ligados em repulsão com diferentes freqüências de recombinação (r).

r	Sem intercruzamento		Com intercruzamento		F'_∞ / F_∞
	F_2	F_∞	F'_2	F'_∞	
0,5	625	2500	625	2500	1
0,25	156	1667	244,1	1875	1,12
0,125	39	1000	73,9	1187,5	1,19
0,0625	9,8	556	20,2	677,1	1,22
0,01562	0,6	152	1,3	188,2	1,238
0,00781	0,15	77	0,3	95,8	1,244
0,0039	0,04	38,6	0,1	48,3	1,25
0	0	0	0	0	$\lim_{r \rightarrow 0} \frac{n_g(F'_\infty)}{n_g(F_\infty)} = 1,25$

Pode ser que o melhorista deseje obter o indivíduo contendo o alelo favorável dos diferentes genes, seja em homozigose ou heterozigose, isto é, o genótipo A_B_. Por isto, utilizando as expressões na Tabela 1, foram novamente estimadas as freqüências dos indivíduos almejados em uma população de 10000 plantas com diferentes freqüências de recombinação. Observe novamente que o número diminui com a redução de r, porém é bem superior ao da tabela anterior, permitindo inferir que manter o alelo favorável para gerações mais avançadas é bem mais fácil (Tabela 4).

TABELA 4. Número esperado de plantas com o genótipo ideal AABB e A_B_ em F'_2 e F'_∞ , numa população de 10000 plantas, considerando dois locos ligados em repulsão com diferentes freqüências de recombinação (r).

r	Genótipo AABB		Genótipo A_B_	
	F'_2	F'_∞	F'_2	F'_∞
0,5	625	2500	5625	2500
0,25	244	1875	5244	1875
0,125	74	1187	5074	1187
0,0625	20	677	5020	677
0,01562	1,3	188	5001	188
0,00781	0,3	96	5000	95
0,0039	0,1	48	5000	48

Um questionamento ainda necessário é sobre se esses resultados podem ser extrapolados para o número de genes superior a dois, como foi utilizado nas simulações. Na realidade, com o aumento do número de genes, a chance de ocorrer um indivíduo que possua em todos os locos alelos favoráveis é muito pequena. Essa probabilidade reduz acentuadamente com a endogamia. Uma vez iniciada a endogamia, se nenhum indivíduo possui todos os locos com alelos favoráveis, essa combinação jamais irá ocorrer, e o melhorista irá avançar por algumas gerações e terá o sucesso seletivo reduzido no final. Uma opção seria o intercruzamento de plantas F_2 para aumentar a chance de ocorrer o indivíduo com todos os alelos favoráveis. Contudo, se não há ligação, a população F_2 é uma população em equilíbrio e, portanto, as freqüências genótípicas não se alteram. A única alternativa para se ter o indivíduo desejado seria aumentando o tamanho da população. Se os genes estão ligados, o que irá ocorrer com mais locos pode ser extrapolado do que foi comentado anteriormente para dois locos.

Como se pode constatar, há controvérsias nos trabalhos teóricos a respeito da eficiência ou não do intercruzamento entre plantas F_2 . Provavelmente

por essa razão, em algumas espécies cultivadas foram realizados trabalhos de campo visando à avaliação do efeito do número de inter cruzamentos.

Um dos primeiros trabalhos de que se tem notícia a esse respeito foi realizado com algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.). Meredith & Brigde (1971) concluíram que quanto maior o número de inter cruzamentos, menor era a variabilidade liberada para a produção de caroço e fibra, verificando que havia redução da correlação genética negativa entre o rendimento de linho e a resistência da fibra em algodão, atribuída à ligação em repulsão. Contudo, os autores observaram que para um caráter controlado por muitos genes como o rendimento de fibras, que deve apresentar tanto locos ligados em atração como em repulsão, o aumento no número de gerações de inter cruzamentos antes da seleção não apresentou o resultado desejado.

Trabalhando com trigo, Altman & Busch (1984) obtiveram um resultado semelhante ao obtido com a cultura do algodão. Utilizando uma, duas ou três gerações de inter cruzamentos dentro de populações de trigo, verificaram que as linhagens oriundas dos diferentes ciclos de inter cruzamentos apresentaram, para a produtividade de grãos, comportamento semelhante ao das populações derivadas de cruzamentos biparentais, não propiciando incremento da variância genética e nem da frequência de linhagens com alta produtividade de grãos, concluindo que não havia benefício no inter cruzamento de plantas F_2 .

Conduzindo trabalho com a cultura do milho, Lima Neto (1998) avaliou a eficiência do número de inter cruzamentos na liberação da variabilidade genética e o seu efeito na resposta esperada com a seleção. Concluiu que não houve diferença entre os parâmetros avaliados, com o aumento no número de ciclos de inter cruzamentos para os dois tipos de famílias considerados (meio-irmãos e irmãos completos), em nenhum dos caracteres avaliados.

Trabalhando com a cultura de soja (*Glycine max* L. Merril), objetivando comparar resposta genéticas de diferentes estratégias de seleção recorrente para

o caráter produtividade de grãos, Guimarães & Fehr (1989) concluíram que a utilização de mais de uma geração de intercruzamento não contribui para a melhoria na produtividade média da população e na frequência de linhas mais produtivas.

Comparando ganhos genéticos para a produtividade de grãos em duas estratégias de seleção recorrente em soja, com uma e três gerações de intercruzamento, após duas avaliações de famílias, Uphoff et al., (1997) chegaram a resultados semelhantes aos anteriormente obtidos por Guimarães & Fehr (1989), segundo os quais com uma geração de intercruzamento o ganho genético foi maior, não justificando a realização de gerações adicionais de intercruzamentos.

Esses trabalhos começaram a ser realizados na cultura do arroz irrigado, após o estudo feito por Fujimaki (1979) no final da década de setenta, sugerindo o emprego de três ciclos de intercruzamentos antes da seleção. Ao que tudo indica, ele fez esse estudo com base no trabalho de Hanson (1959).

Já Marin-Garavito (1994), avaliando o efeito de quatro ciclos de intercruzamentos na variabilidade genética de populações de arroz de sequeiro, não constataram diferenças significativas entre os ciclos de intercruzamentos. Por sua vez, Cabezas-Santacruz (1995), trabalhando com a população CNA 2/0/0F, observou diferenças significativas entre as linhagens dentro de cada ciclo, entretanto não houve diferenças entre as médias dos ciclos de intercruzamentos.

Ospina et al (1997), comparando os diversos resultados obtidos na literatura, concluíram que em populações de arroz não há necessidade de mais que um ciclo de intercruzamento antes do emprego de etapas de seleção recorrente.

Também com a cultura do arroz no Brasil, Cordeiro (2001) estudou o efeito de 0, 1, 2, 3 e 4 intercruzamentos na média e na variabilidade genética da

população de arroz irrigado CNA 5, sintetizada com o auxílio da macho-esterilidade genética. Foram avaliadas 300 famílias nas gerações $S_{0:1}$ e $S_{0:2}$, em dois locais. Cada inter cruzamento foi representado em um experimento contendo 60 famílias e mais quatro cultivares testemunhas comuns e as características avaliadas foram altura de planta, floração, peso de 100 grãos e produtividade de grãos. O autor constatou crescimento médio de um cm na altura de planta, redução de cerca de um dia para a floração e incremento médio de 3,91% na produtividade de grãos das famílias com o aumento no número de inter cruzamentos. Todavia, nos ganhos genéticos realizados com a seleção das cinco e das dez famílias mais produtivas, as estimativas de b foram sempre negativas, evidenciando redução no incremento do ganho com o aumento no número de inter cruzamentos. As estimativas de variâncias genéticas, coeficientes de variação genética e herdabilidades não evidenciaram liberação de maior variabilidade com o incremento dos inter cruzamentos. Com isso, Cordeiro (2001) conclui que realizar inter cruzamentos na população base não é vantajoso na condução de um programa de seleção recorrente em arroz irrigado.

Com a cultura do feijoeiro não foi encontrado nenhum relato da necessidade de se promoverem ou não os inter cruzamentos de plantas F_2 antes de se iniciar o processo seletivo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local

Os experimentos foram conduzidos na área experimental do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no município de Lavras, Estado de Minas Gerais, situado a 918 metros de altitude, 21° 14'S de latitude e 45°00'W de longitude.

3.2 Formação das populações segregantes

Na formação da população base foram utilizadas oito linhagens de feijoeiro, todas com os grãos do tipo carioca, isto é, creme com estrias marrons, de diferentes origens, diferindo também, entre outros caracteres, na arquitetura da planta e reação aos patógenos (Tabela 5).

TABELA 5. Linhagens de feijoeiro utilizadas para a obtenção da população segregante.

LINHAGENS	HÁBITO CRESC.	PORTE	AN ¹	MA ²	FU ³	CBC ⁴	ORIGEM
PÉROLA	II/III	Prostrado	S ⁵	T ⁶	T	S	Embrapa
FEB 200	II	Ereto	R ⁷	S	-	S	CIAT
MAR 2	III	Prostrado	-	R	-	S	CIAT
H 4-10	II	Ereto	R	S	-	S	UFLA
AN 9022180	II	Ereto	S	T	-	S	Embrapa
IAPAR 31	II	Ereto	R	T	-	T	IAPAR
PF 9029975	II	Ereto	S	T	-	S	UFLA
A 805	II	Ereto	R	S	-	S	CIAT

1 - Antracnose, 2 - Mancha Angular, 3 - Murcha de Fusarium, 4 - Crestamento Bacteriano Comum, 5 - Reação de Susceptibilidade, 6 - Resistência Parcial, 7 - Reação de Resistência.

Os oito genitores foram cruzados inicialmente dois a dois, obtendo-se quatro híbridos simples: (PÉROLA x FEB 200), (MAR 2 x H 4-10), (AN 9022180 x IAPAR 31) e (PF 9029975 x A 805). Posteriormente foram obtidos dois híbridos duplos, cruzando os quatro F_1 's: [(PÉROLA x FEB 200) x (MAR 2 x H 4-10)] e [(AN 9022180 x IAPAR 31) x (PF 9029975 x A 805)]. Finalmente, utilizando os dois híbridos duplos, foi obtido um híbrido múltiplo envolvendo, assim, os oito genitores.

As sementes F_1 desse híbrido foram semeadas a campo para obter a geração F_2 (S_0). Parte das sementes S_0 foram armazenadas para originar a população sem intercruzamento (I_0). O restante das sementes foram utilizadas para o intercruzamento das plantas. Esse foi efetuado manualmente em casa de vegetação, ao acaso, envolvendo 250 plantas, sendo obtidos 100 pares de cruzamentos. As sementes obtidas foram misturadas, uma parte para constituir a população com um ciclo de intercruzamento (I_1) e o restante, utilizado para o segundo intercruzamento (I_2), efetuado de modo idêntico ao anterior. As sementes dos “bulks” das populações segregantes provenientes de I_0 , I_1 e I_2 , foram utilizadas para avaliação e extração de famílias.

3.3 Avaliação das populações - bulk's S_0

As três populações S_0 , provenientes de I_0 , I_1 e I_2 intercruzamentos, e mais duas testemunhas, “H 4-10” e “Pérola”, foram avaliadas em fevereiro de 2000. Foi utilizado o delineamento de blocos casualizados com 6 repetições. Cada parcela foi constituída de 4 linhas de 5 metros, com 15 sementes por metro e foram obtidos dados referente à produtividade de grãos. O experimento foi instalado em área sob plantio direto e o suprimento de água foi mantido por meio de irrigações. No plantio foram empregados 400kg/ha do fertilizante da fórmula 8-28-16, e aos 25 dias após a emergência das plantas foram utilizados

150 kg/ha de sulfato de amônio em cobertura. Os demais tratos culturais foram feitos conforme o recomendado para a cultura do feijoeiro na região.

3.4 Obtenção das famílias S_{0:1}

Para a obtenção das famílias S_{0:1} foram tomadas, ao acaso, na colheita dos bulk's das populações segregantes S₀, amostras de 130 plantas de cada um dos ciclos (I₀, I₁ e I₂). As 390 famílias foram multiplicadas, sendo a semeadura realizada em julho de 2000. Cada família foi constituída por uma linha de 2 m. Na colheita, as sementes de cada linha foram misturadas, dando origem as famílias S_{0:2}.

3.5 Avaliação das famílias S_{0:2}

As 390 famílias S_{0:2}, os oito genitores e as testemunhas, LH-11 e CII-102, perfazendo 400 tratamentos, foram avaliados utilizando o delineamento látice simple 20x20, sendo que cada parcela foi constituída de uma linha de 2 metros, espaçadas de 0,5 metro e com uma densidade de 15 sementes/metro. A semeadura foi realizada em fevereiro de 2001, sendo empregado o equivalente a 400kg/ha do fertilizante da fórmula 8-28-16, e aos 25 dias após a emergência das plantas foram utilizados 150 kg/ha de sulfato de amônio em cobertura. Os demais tratos culturais foram feitos conforme o recomendado para a cultura do feijoeiro na região. No experimento foram tomados os dados relativo à produtividade de grãos por parcela.

3.6 Avaliação das famílias S_{0:3}

Na semeadura de julho/2001, as 390 famílias S_{0:3}, juntamente com os genitores e as testemunhas da avaliação anterior, foram novamente avaliadas no mesmo delineamento, mas com 3 repetições. O tamanho da parcela e o manejo da cultura foram semelhantes ao relatado no experimento anterior .

3.7 Análise estatística dos dados

Inicialmente foi realizada a análise de variância para comparação das populações segregantes (I₀, I₁ e I₂).

Posteriormente os dados relativo à produtividade de grãos (kg/ha) das famílias, em cada safra, foram submetidos à análise de variância, considerando o delineamento de látice e todos os efeitos do modelo como aleatório, exceto a média, conforme o modelo estatístico:

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

em que:

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

m : média geral do experimento;

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

r_j : efeito da repetição j , sendo $j = 1$ e 2 (geração S_{0:2}) e $j = 1, 2$ e 3 (geração S_{0:3});

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

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

O modelo da ANAVA e as respectivas esperanças dos quadrados médios são apresentados na Tabela 6.

TABELA 6. Esquema do resumo da análise de variância utilizado na análise das famílias por geração com as respectivas esperanças dos quadrados médios.

F.V	G.L	QM	E(QM)
Gerações (Safras)	1	-	-
Tratamentos	399	-	-
Famílias	389	-	-
Famílias I_0 (p_0)	129	$Q_{1_{ij}}$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{p_0}^2$
Famílias I_1 (p_1)	129	$Q_{1_{ij}}$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{p_1}^2$
Famílias I_2 (p_2)	129	$Q_{1_{ij}}$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{p_2}^2$
Entre tipos de famílias	2	-	-
Testemunhas	9	-	-
Famílias vs. testemunhas	1	-	-
Erro efetivo	1482	Q_2	σ_e^2

A homogeneidade da variância do erro foi verificada por meio do teste de Hartley (Ramalho et al., 2000). Posteriormente foi efetuada a análise de variância conjunta, considerando todos os efeitos aleatórios, exceto o efeito de média e de geração, adotando o seguinte modelo:

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

em que:

Y_{ijk} : observação referente ao tratamento i , na repetição j , na geração k ;

m : média geral do experimento;

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

$r_{j(k)}$: efeito da repetição j na geração k , sendo $j = 1$ e 2 (geração $S_{0.2}$) e $j = 1, 2$ e 3 (geração $S_{0.3}$);

a_k : efeito da geração k ($k = 1, 2$);

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

\bar{e}_{ijk} : erro efetivo médio.

As esperanças dos quadrados médios, $E(QM)$, da análise de variância conjunta encontra-se na Tabela 7.

TABELA 7. Esquema do resumo da análise de variância conjunta utilizado na análise das famílias com as respectivas esperanças dos quadrados médios.

F.V	G.L	QM	E(QM) ^{1/}
Gerações (Safras)	1	-	-
Tratamentos	399	-	-
Famílias	389	-	-
Famílias I ₀ (p ₀ ')	129	Q _{1_i}	$\sigma_e^2 + ar\bar{\sigma}_{p_0}^2$
Famílias I ₁ (p ₁ ')	129	Q _{1_i}	$\sigma_e^2 + ar\bar{\sigma}_{p_1}^2$
Famílias I ₂ (p ₂ ')	129	Q _{1_i}	$\sigma_e^2 + ar\bar{\sigma}_{p_2}^2$
Entre tipos de famílias	2	-	-
Testemunhas	9	-	-
Famílias vs. testemunhas	1	-	-
Tratamentos x gerações	399	-	-
Famílias x gerações	389	-	-
Famílias I ₀ x gerações (p ₀ a)	129	Q _{2_i}	$\sigma_e^2 + r\bar{\sigma}_{p_0a}^2$
Famílias I ₁ x gerações (p ₁ a)	129	Q _{2_i}	$\sigma_e^2 + r\bar{\sigma}_{p_1a}^2$
Famílias I ₂ x gerações (p ₂ a)	129	Q _{2_i}	$\sigma_e^2 + r\bar{\sigma}_{p_2a}^2$
Entre tipos de fam. x gerações	2	-	-
Testemunhas x gerações	9	-	-
Fam. vs. Test. x gerações	1	-	-
Erro efetivo médio	1482	Q ₃	σ_e^2

^{1/} a- gerações;

^{1/} \bar{r} - média harmônica do número de repetições.

3.8 Estimativas dos componentes de variância e parâmetros genético e fenotípicos

A partir das esperanças matemáticas dos quadrados médios (Tabelas 6 e 7), foram estimados os seguintes parâmetros genéticos ou fenotípicos:

- a) Variância genética entre as famílias de acordo com o número de intercruzamento i , na geração j ($\hat{\sigma}_{p_{ij}}^2$):

$$\hat{\sigma}_{p_{ij}}^2 = \frac{Q_{1_{ij}} - Q_2}{r}$$

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

$$IC = P \left[\frac{Vp \hat{\sigma}_{p_{ij}}^2}{\chi_{\alpha/2}^2} < \sigma_{p_{ij}}^2 < \frac{Vp \hat{\sigma}_{p_{ij}}^2}{\chi_{1-\alpha/2}^2} \right] = (1 - \alpha)100\%;$$

em que:

α : nível de significância (no caso 0,05);

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

Vp: número de graus de liberdade associado ao componente da variância genética, o qual foi obtido segundo Satterthwaite (1946):

$$Vp = \frac{(Q_{1ij} - Q_2)^2}{\frac{(Q_{1ij})^2}{gl_1} + \frac{(Q_2)^2}{gl_2}} ;$$

em que

Q_{1ij} e Q_2 : já definidos anteriormente;

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

$\chi^2_{\alpha/2}$ e $\chi^2_{(1-\alpha)/2}$: são os valores da distribuição teórica de χ^2 (Qui-quadrado)

para Vp graus de liberdade.

b) Variância fenotípica entre as famílias de acordo com o número de

intercruzamento i , na geração j ($\hat{\sigma}_{\bar{F}_{ij}}^2$)

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

c) Herdabilidade no sentido amplo na média das famílias, utilizando a expressão citada por Ramalho et al. (1993):

$$h_{ij}^2 = \frac{\hat{\sigma}_{P_{ij}}^2}{\hat{\sigma}_{\bar{F}_{ij}}^2} .100 ;$$

em que:

h_{ij}^2 : herdabilidade estimada em porcentagem relativa às famílias do inter cruzamento i, na geração j;

$\hat{\sigma}_{p_{ij}}^2$ e $\hat{\sigma}_{\bar{p}_{ij}}^2$: já definidos anteriormente.

Pelas expressões apresentadas por Knapp et al. (1985) com confiança de $1 - \alpha = 0,95$, foram obtidos os limites inferiores (LI) e superiores (LS) das estimativas de h_{ij}^2 .

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

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

em que:

F: valor tabelado a $(1-\alpha)/2$ e $\alpha/2$, sendo $\alpha = 0,05$;

Q_{1ij} e Q_2 : já definidos anteriormente;

gl_1 e gl_2 : graus de liberdade associado a Q_{1ij} e Q_2 , respectivamente.

d) Variância genética entre as médias das famílias de acordo com o número de inter cruzamento i, sem a presença de interação, estimada por meio da covariância do desempenho médio das famílias nas duas gerações ($\sigma_{p_i}^2$).

$$COV_{i_{S_{0.2}S_{0.3}}} = \frac{\sum x_i y_i - \frac{\sum x_i \sum y_i}{n}}{n-1} = \sigma_{p_i}^2,$$

em que:

x_i e y_i : médias das famílias nas gerações $S_{0.2}$ e $S_{0.3}$, respectivamente;

n : número de famílias.

e) Herdabilidades entre as médias das famílias de acordo com o número de inter cruzamento i , tomando como base as estimativas da covariância, pela expressão:

$$h_i^2 = \frac{COV_{i_{S_{0.2}S_{0.3}}}}{\left(\frac{Q_{1_i}}{ar}\right)};$$

f) Variância fenotípica entre as médias das famílias de acordo com o

número de inter cruzamento i ($\hat{\sigma}_{\bar{F}_i}^2$):

$$\hat{\sigma}_{\bar{F}_i}^2 = \frac{Q_{1_j}}{ar};$$

g) Variância da interação entre as médias das famílias de acordo com o número de inter cruzamento i :

$$\hat{\sigma}_{p_i,xa}^2 = \frac{Q_{2_i} - Q_3}{r}$$

h) Herdabilidade realizada, segundo o procedimento apresentado por Fehr (1987) e Ramalho et al. (1993), ou seja:

$$h_r^2(\%) = \frac{GS_{y_i} / m_{y_i}}{ds_{x_i} / m_{x_i}},$$

em que:

GS_{y_i} : Média das 13 melhores famílias selecionadas na geração x_i ($S_{0:2i}$), na geração y_i ($S_{0:3i}$), menos a média geral na geração y_i , sendo que o i representa o número de inter cruzamento;

ds_i : diferencial de seleção, ou seja, a diferença entre a média das famílias selecionadas e a média geral de todas as famílias, de acordo com o número de inter cruzamento i ;

m_{x_i} e m_{y_i} : média geral das famílias provenientes do inter cruzamento i , nas gerações $S_{0:2}$ e $S_{0:3}$, respectivamente.

i) Ganho esperado com a seleção das 10% famílias mais produtivas, na média das gerações, estimado conforme a expressão apresentada por Ramalho et al. (1993):

$$GS(\%) = ds_i \cdot h_i^2.$$

4 RESULTADOS

O resumo da análise de variância (Tabela 8) da avaliação das populações segregantes, geração F_2 , com 0, 1 e 2 intercruzamentos, apresentou boa precisão experimental ($CV = 12\%$), condição favorável para se obterem inferências fidedignas a partir dos resultados obtidos. Verifica-se também que não ocorreu diferença significativa entre as três populações, indicando que o intercruzamento não alterou o desempenho médio das populações. Observa-se também que as populações segregantes apresentaram produtividade que não diferiram das duas testemunhas.

As médias de produtividade de grãos estão apresentadas na Tabela 9. Como se observa, a diferença na produtividade média das populações foi pequena, inferior a 7%, quando se comparam, por exemplo, a população F_2 sem intercruzamento e a que foi submetida a 1 intercruzamento. A produtividade média da cultivar Pérola, utilizada como testemunha, foi superior à da linhagem H 4-10. Contudo, como já evidenciado na análise de variância, não foi detectada diferença significativa entre a média das populações e a média das testemunhas.

TABELA 8. Resumo da análise de variância da avaliação das populações F₂ com diferente número de inter cruzamento. Lavras, MG, semeadura de julho de 2000.

FV	GL	QM	Prob.
Repetição	5	10178,35	0,982
Tratamento	4	79778,75	0,407
Entre números de inter cruzamentos	2	31682,00	0,665
Entre testemunhas	1	199692,00	0,121
Testemunhas vs. inter cruzamentos	1	55335,20	0,403
Erro	20	76082,42	
CV (%)		12	
Média Geral		2336	

TABELA 9. Médias de produtividade de grãos (kg/ha) das populações F₂ com diferentes números de inter cruzamentos e das testemunhas. Lavras, MG, semeadura de julho de 2000.

Número de inter cruzamentos	Produtividade de grãos (kg/ha)	%
0	2391	100,0
1	2247	94,0
2	2302	96,3
Média	2313	
Testemunhas		
Pérola	2530	
H 4-10	2272	
Média	2401	

As análises de variância relativas às avaliações das famílias oriundas das populações com diferentes números de intercruzamentos nas gerações $S_{0.2}$ e $S_{0.3}$ são apresentadas nas Tabelas 1A e 2A, respectivamente. Observa-se que a precisão experimental avaliada pelo coeficiente de variação foi boa, especialmente para a avaliação das famílias $S_{0.3}$ (15%). Chama atenção o fato de não ter sido detectada diferença significativa entre o desempenho médio das famílias provenientes dos diferentes números de intercruzamentos, isto é, a fonte de variação entre tipos de famílias, exceto no caso da avaliação das famílias da geração $S_{0.2}$, assim como com a probabilidade de $P = 0,059$.

O resumo da análise de variância conjunta é apresentado na Tabela 10. Observe que a fonte de variação gerações foi significativa ($P \leq 0,01$). É oportuno enfatizar que nesse efeito está incluso também o efeito de safras (ambiente), pois a geração $S_{0.2}$ foi avaliada na denominada safra das secas, com semeadura em fevereiro, e a $S_{0.3}$ foi avaliada na safra do outono – inverno, com semeadura em julho.

Diferenças significativas ($P \leq 0,01$) também foram constatadas entre as famílias e entre as famílias das populações com 0, 1 e 2 intercruzamentos. Veja que as interações famílias x gerações foram todas significativas, evidenciando que o comportamento das famílias não foi coincidente nos dois ambientes em que foram avaliadas (Tabela 10).

Destaque especial deve merecer a fonte de variação entre tipos de famílias, que foi significativa ($P \leq 0,017$), contudo a interação entre tipos de famílias x gerações foi não significativa ($P \leq 0,71$). Esse resultado não era esperado, haja vista que, na avaliação das famílias $S_{0.2}$ foi detectada diferença significativa entre os tipos ($P \leq 0,059$) e na $S_{0.3}$ isso não ocorreu. O contraste famílias vs. testemunhas foi não significativo, o mesmo ocorrendo na interação desse contraste x gerações, evidenciando que o desempenho médio das famílias foi comparável à média dos 10 genitores utilizados na obtenção da população.

TABELA 10. Resumo da análise da variância conjunta da produtividade de grãos (kg/ha) obtida na avaliação de famílias das gerações S_{0.2} e S_{0.3}. Lavras, MG, seca e inverno de 2001.

F.V	G.L	QM	PROB.^{1/}
Gerações (Safras)	1	1375852342,21	0,000
Tratamentos	399	914618,89	0,000
Famílias	389	916966,00	0,000
Famílias I ₀	129	808271,19	0,000
Famílias I ₁	129	1011184,74	0,000
Famílias I ₂	129	894146,22	0,000
Entre números de intercruzamentos	2	1902409,40	0,017
Testemunhas	9	1168264,65	0,006
Famílias vs. testemunhas	1	232937,76	0,479
Tratamentos x gerações	399	742677,89	0,000
Famílias x gerações	389	754660,84	0,000
Famílias I ₀ x gerações	129	725419,72	0,000
Famílias I ₁ x gerações	129	799714,21	0,000
Famílias I ₂ x gerações	129	748122,96	0,000
Entre tipos de famílias x gerações	2	156464,88	0,718
Testemunhas x gerações	9	285519,04	0,789
Famílias vs. testemunhas x gerações	1	195738,34	0,517
Erro efetivo médio	1482	465660,89	
CV(%)	15,31		
Média	3619,00		

^{1/} Nível de significância do teste de F.

A produtividade média das famílias S_{0.3} foi bem superior à da S_{0.2} (Tabela 11). Isso deve ter ocorrido devido às diferenças nas condições ambientais durante a condução dos experimentos. Muito embora tenha sido

detectada diferença no desempenho médio das famílias oriundas de 0, 1 ou 2 inter cruzamentos, a variação foi muito pequena. Isto é, a superioridade média das famílias com inter cruzamento foi de apenas 2,8% da obtida sem inter cruzamento.

A existência de diferença significativa detectada entre as famílias é comprovada por meio da distribuição de frequência apresentada na Figura 1. Veja que as famílias com inter cruzamento apresentaram uma maior amplitude de variação em relação às famílias sem inter cruzamento.

Tabela 11. Média da produtividade de grãos (kg/ha) das populações com diferentes números de inter cruzamentos nas gerações $S_{0:2}$ e $S_{0:3}$.

Gerações	Ciclos de inter cruzamento			Média
	0	1	2	
$S_{0:2}$	2708	2836	2831	2791
$S_{0:3}$	4434	4512	4497	4481
Conjunta	3571	3674	3664	3636
%	100	102,9	102,6	

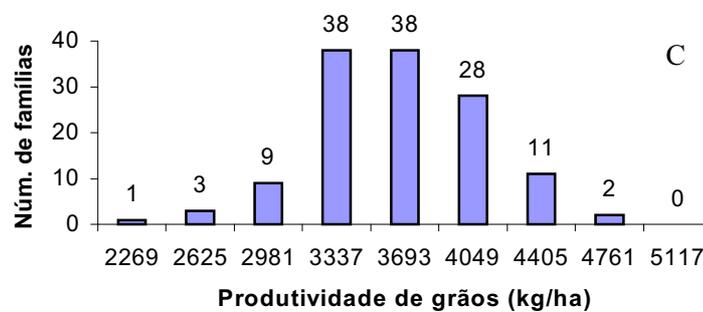
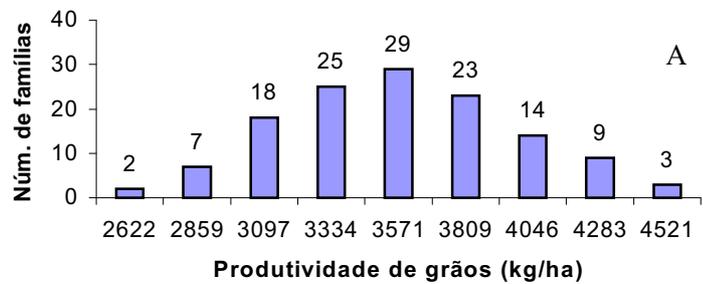


FIGURA 1. Distribuição de frequência da produtividade média de grãos (kg/ha) das famílias provenientes das populações sem (A), com 1 (B) e 2 (C) ciclos de inter cruzamento.

Verifica-se, na Tabela 12, que a produtividade média das testemunhas e genitores foi contrastante, indicando a presença de variabilidade entre elas. As linhagens de pior desempenho foram H 4-10, MAR 2 e A 805, as demais não diferiram entre si pelo teste de Scott & Knott. Chama atenção a produtividade média dos pais, que foi semelhante à média geral das populações (Tabelas 11 e 12).

Coerentemente com as observações anteriores são as estimativas da variância genética entre as famílias, apresentadas na Tabela 13. Veja que elas são semelhantes, independentemente de terem sido submetidas a 0, 1 ou 2 intercruzamentos, haja vista que na maioria dos casos elas estiveram dentro do intervalo de confiança da outra estimativa.

TABELA 12. Médias de produtividade de grãos (kg/ha) das testemunhas e genitores envolvidos na obtenção da população segregante, obtida nas safras secas e outono-inverno de 2001.

Genitores (testemunhas)	Produtividade de grãos (kg/ha)		
	Seca	Inverno	Média ^{1/}
PEROLA	3322	4865	4093 a
FEB 200	2986	4365	3675 a
IAPAR 31	2638	4665	3651 a
AN 9022180	3275	4485	3880 a
LH - 11	3112	4535	3823 a
PF 9029975	2584	4435	3509 a
C II - 102	3332	4935	4133 a
H 4-10	1288	4135	2711 b
MAR 2	1817	3900	2859 b
A 805	2060	4235	3148 b
Média	2641	4455	3548

^{1/} Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Scott & Knott ao nível de 5% de probabilidade

Vale salientar que a estimativa da interação famílias x safras em todos os casos foi de grande magnitude e superior à da variância genética, mostrando, como já mencionado, que o comportamento das famílias não foi coincidente nas duas safras. As estimativas dos coeficientes de correlação genética (r_G) entre o desempenho médio das famílias nas duas gerações também comprovam a existência de interação, pois foram todas de pequena magnitude (Tabela 13). Observou-se, entretanto, que o maior valor foi obtido para famílias sem inter cruzamento.

Também concordantes com os resultados anteriormente comentados são as estimativas da herdabilidade para a seleção entre médias de famílias, que foram todas semelhantes. Observa-se que as estimativas da herdabilidade utilizando famílias $S_{0:2}$ ou $S_{0:3}$ não tiveram alterações expressivas com o inter cruzamento ou não das plantas da geração F_2 . No caso da herdabilidade para a seleção na média das duas gerações, os valores são menores do que nas análises individuais, devido à magnitude da interação famílias x gerações já comentada. Embora não fosse possível comparar as estimativas de h^2 , pelo menos em princípio a h^2 com um inter cruzamento foi maior do que sem inter cruzamento.

TABELA 13. Estimativas das variâncias genéticas (σ^2_G), variâncias fenotípicas (σ^2_F), variâncias da interação famílias x gerações ($\sigma^2_{G \times S}$), correlações genéticas (r_G), herdabilidades (h^2) e limites superiores (LS) e inferiores (LI) da herdabilidade. Lavras, MG, seca e inverno/2001.

GERAÇÕES	CICLO			
	I ₀	I ₁	I ₂	
S _{0:2}	σ^2_G	194174 (94481;376933)*	241146 (145491;452673)	177165 (112459;400700)
	σ^2_F	433898	480870	416889
	h^2 (%)	44,75	50,14	42,49
	LI (%)	24,85	31,99	21,82
	LS (%)	58,75	62,67	57,09
S _{0:3}	σ^2_G	54543 (43097;70029)	123117 (97281; 158074)	116805 (92293; 149969)
	σ^2_F	205167	273742	267429
	h^2 (%)	26,59	44,97	43,67
	LI (%)	16,55	22,71	22,47
	LS (%)	54,20	57,58	50,88
Conjunta	σ^2_G	17261	44056	30422
	σ^2_F	168390	210663	186280
	$\sigma^2_{G \times S}$	108232	139188	117692
	r_G	0,55	0,53	0,50
	h^2 (%)	10,25	20,91	16,33

* Valores entre parênteses referem-se ao intervalo de confiança da variância genética, considerando $P \leq 0,05$.

O efeito da interação também pode ser evidenciado por meio das estimativas das herdabilidades realizadas, que foram, em todos os casos, de magnitude inferior às estimativas das herdabilidades obtidas com as famílias S_{0:2} ou S_{0:3} (Tabela 14). Em princípio, o valor obtido com um inter cruzamento foi superior ao dos demais, pois com dois inter cruzamento a h^2 foi nula. Também foi estimado o ganho genético com a seleção das 10% famílias mais

produtivas. Verifica-se que com as famílias com um inter cruzamento o ganho realizado foi maior. Esse resultado é devido à maior estimativa da herdabilidade obtida entre essas famílias.

A estimativa do progresso genético desconsiderando a origem das famílias foi alta (GS=3,40%), indicando, como já mencionado, o potencial da referida população (Tabela 15).

Tabela 14. Média geral, média das 13 melhores famílias selecionadas na geração $S_{0:2}$, diferencial de seleção (ds), ganho com a seleção (GS) e herdabilidade realizada (h^2_R).

Gerações	Parâmetros	Número de inter cruzamento		
		0	1	2
$S_{0:2}$	Média geral (A)	2708	2836	2831
	Média das selecionadas (B) ^V	3954	4089	3994
	ds = B – A	1246	1253	1163
	ds% = (ds/B).100	46,01	44,18	41,08
$S_{0:3}$	Média geral (C)	4434	4512	4497
	Média das selecionadas em $S_{0:2}$ (D)	4508	4780	4503
	GS = D – C	74	268	6
	GS% = (GS/D).100	1,64	5,60	0,00
Herdabilidade realizada = GS/ds		3,56	12,67	0,00

^V média das 13 melhores famílias selecionadas em $S_{0:2}$

Tabela 15. Estimativas do ganho com a seleção das 13 melhores famílias, nas médias das gerações.

Número de inter cruzamento	GS%
0	2,07
1	1,49
2	3,38
Total	5,89

Ainda para verificar o efeito do inter cruzamento foram identificadas, entre as 390 famílias avaliadas, as 20 com melhor e pior desempenho tanto nas gerações $S_{0,2}$ e $S_{0,3}$ como na média das gerações (Tabelas 16, 17 e 18).

O primeiro fato que chama a atenção é de que a coincidência das famílias no grupo das melhores ou piores, entre as gerações $S_{0,2}$ ou $S_{0,3}$, é muito pequena, mostrando novamente o efeito da interação famílias x gerações. A participação relativa das famílias oriundas de 0, 1 ou 2 inter cruzamentos, em função da interação já mencionada, variou entre as gerações. Considerando, por exemplo, as famílias $S_{0,2}$, nove entre as 20 foram oriundas da população com 2 inter cruzamentos. Contudo, esse mesmo grupo de famílias foi o de maior participação entre as 20 de pior desempenho. Tomando como referência a média das duas gerações, a participação relativa foi de 25% das famílias da população sem inter cruzamento, 40% com um e 35% com dois inter cruzamentos. Contudo, resultado muito semelhante foi observado entre as 20 piores famílias.

TABELA 16. Médias de produtividade de grãos (kg/ha) das 20 famílias com melhor desempenho e das 20 piores na geração S_{0.2}.

Melhores Famílias			Piores Famílias		
Ordem	Famílias	Kg/ha	Ordem	Famílias	Kg/ha
1	B104	4969	1	B19	891
2	A15	4878	2	B127	972
3	B17	4730	3	C22	1130
4	B77	4486	4	C68	1247
5	A38	4335	5	A129	1261
6	B58	4316	6	C75	1353
7	C24	4242	7	B14	1359
8	C103	4155	8	A107	1371
9	C15	4148	9	B41	1439
10	B53	4122	10	A36	1459
11	C21	4079	11	C76	1493
12	C40	4058	12	B120	1515
13	C29	4054	13	C12	1516
14	C92	4042	14	B10	1525
15	A100	3982	15	C11	1652
16	C102	3982	16	A103	1661
17	B69	3957	17	A65	1682
18	A79	3922	18	C111	1690
19	C80	3917	19	B24	1698
20	A84	3916	20	A120	1716

A - sem inter cruzamento; B - um inter cruzamento; C - dois inter cruzamento.

TABELA 17. Médias de produtividade de grãos (kg/ha) das 20 famílias com melhor desempenho e das 20 piores na geração S_{0.3}.

Melhores Famílias			Piores Famílias		
Ordem	Famílias	Kg/ha	Ordem	Famílias	Kg/ha
1	C31	6235	1	A6	3035
2	B58	5915	2	B6	3100
3	B71	5865	3	C44	3115
4	C28	5715	4	B67	3185
5	A22	5650	5	A82	3285
6	A94	5635	6	C12	3335
7	B91	5635	7	B125	3365
8	B57	5585	8	C87	3365
9	C130	5565	9	A89	3385
10	C99	5525	10	A104	3465
11	B33	5500	11	C1	3485
12	C35	5450	12	B80	3535
13	B53	5415	13	B89	3615
14	C56	5415	14	C15	3615
15	B60	5385	15	A7	3650
16	B63	5365	16	A38	3650
17	C57	5350	17	B19	3650
18	B94	5335	18	C67	3650
19	C20	5335	19	C68	3650
20	C30	5315	20	C101	3665

A - sem inter cruzamento; B - um inter cruzamento; C - dois inter cruzamento.

TABELA 18. Médias de produtividade de grãos (kg/ha) das 20 famílias com melhor desempenho e das 20 piores, considerando o desempenho médio das duas gerações.

Melhores Famílias			Piores Famílias		
Ordem	Famílias	Kg/ha	Ordem	Famílias	Kg/ha
1	B58	5116	1	B19	2270
2	B104	4892	2	C12	2425
3	B77	4843	3	C68	2448
4	C31	4777	4	B67	2623
5	B53	4768	5	A129	2623
6	C24	4713	6	B6	2645
7	B33	4607	7	B14	2662
8	C29	4545	8	A7	2684
9	A15	4522	9	C22	2698
10	C99	4516	10	A36	2754
11	B17	4515	11	C44	2765
12	C103	4510	12	A104	2792
13	A84	4500	13	B41	2794
14	A124	4492	14	A6	2799
15	C30	4482	15	B127	2843
16	B57	4473	16	B125	2867
17	B91	4391	17	B24	2874
18	A37	4386	18	C76	2897
19	C57	4360	19	A65	2908
20	A25	4356	20	A123	2947

A - sem inter cruzamento; B - um inter cruzamento; C - dois inter cruzamento.

5 DISCUSSÃO

No melhoramento de plantas autógamas há diversas alternativas para se obter a população segregante, tais como os híbridos simples, triplos, duplos e múltiplos (Fehr, 1987; Fouilloux & Bannerot, 1988). Não há consenso sobre qual a melhor alternativa, contudo, desde que não seja possível ter uma criteriosa escolha dos pais, os híbridos múltiplos devem ser os preferidos, conforme foi mostrado por Carneiro (2002). Por essa razão, nesse trabalho optou-se por utilizar uma população derivada do cruzamento de oito pais (híbrido múltiplo) para se obter uma situação que é comum entre os melhoristas e que apresente grande variabilidade.

Na formação da população foram escolhidos oito genitores de grãos do tipo carioca, de modo a produzir linhagens dentro do padrão comercial, isto é, creme com estrias marron. Contudo, os pais apresentam diferentes origens, hábito de crescimento, arquitetura de planta e reações aos patógenos (Tabela 8), possibilitando, assim, a obtenção de uma população com ampla variabilidade.

A existência de variabilidade na população foi comprovada tanto pelas estimativas de variância genética como da herdabilidade, nas avaliações realizadas com as gerações $S_{0.2}$ e $S_{0.3}$ (Tabela 13). Contudo, a participação da variância de dominância é muito pequena, isto é, apenas $1/16$ de σ^2_D entre famílias $S_{0.2}$ e $1/64$ de σ^2_D em $S_{0.3}$ (Ramalho, Santos & Zimmermann, 1993). Os valores médios de h^2 obtidos nesse trabalho, 45,78% entre famílias $S_{0.2}$ e 38,41% em $S_{0.3}$, foram de magnitude semelhante aos encontrados no levantamento realizado por Mendonça (2001), que variou de 3 a 62%, envolvendo desde linhagens até famílias com diferentes níveis de endogamia.

Quando se realiza o inter cruzamento, um dos questionamentos é sobre o número de indivíduos envolvidos para não se ter problemas de amostragem. Esse questionamento é particularmente importante quando o inter cruzamento é

manual, como ocorreu nesse trabalho. Baker (1968), procurando identificar o número de indivíduos para serem inter cruzados em espécies autógamas, comenta que se o número for pequeno, o inter cruzamento é prejudicial devido à deriva genética. Contudo ele conclui que 20 a 30 pares de indivíduos F_2 , escolhidos aleatoriamente, são o suficiente para não ocorrer problema de deriva genética. Como nesse trabalho foram utilizados 100 pares, provavelmente não houve problemas de amostragem.

Um outro aspecto importante na condução de um trabalho dessa natureza é a precisão experimental com que as populações ou famílias foram avaliadas. Verifica-se que em todos os casos a precisão experimental, avaliada pelo coeficiente de variação (CV), pode ser considerada boa (Tabelas 8, 1A e 2A) e com valores semelhantes aos obtidos com a avaliação das famílias de feijão conduzido na região (Marques Júnior, 1997; Mendonça, 2001; Carneiro, 2002).

Para se compararem ciclos de inter cruzamento, o primeiro questionamento é sobre qual critério utilizar para se realizarem as inferências, isto é, a média populacional, a variância genética liberada ou a proporção de famílias com desempenho superior ou inferior. As três alternativas foram utilizadas nesse trabalho, inicialmente será comentado o que ocorreu em termos de produtividade média de grãos.

Observando as médias obtidas, verifica-se que tanto na avaliação da população F_2 como das famílias $S_{0,2}$ e $S_{0,3}$, os inter cruzamentos praticamente não alteraram a média populacional. Sem inter cruzamento, a média geral foi de 3178 kg/ha, ao passo que, com um inter cruzamento, esse valor foi de 3198 kg/ha e, com dois inter cruzamentos, de 3210 kg/ha (Tabelas 9 e 11), ou seja, valores muito semelhantes. Resultados semelhantes a esse têm sido freqüentemente relatados na literatura com outras espécies (Meredith & Bridge, 1971; Altman & Busch, 1984; Guimarães & Fehr, 1989; Marin-Garavito, 1994; Cabezas-

Santacruz, 1995; Ospina et al., 1997). Entretanto, em trabalho conduzido com a cultura do arroz e utilizando macho esterilidade genética para recombinação, foi constatado aumento na média após o inter cruzamento (Cordeiro, 2001).

Considerando apenas um loco, a média populacional (m) é obtida por: $m = (2p - 1)\alpha + 2p(1 - p)\delta$ (Falconer & Mackay, 1996), em que p é a frequência dos alelo favorável; e α a contribuição dos locos em homozigose, desvio dos homozigotos em relação à média e δ o desvio dos heterozigotos em relação a média, sendo esses dois últimos componentes propriedades do loco. Assim, desde que não ocorram problemas de amostragem, a frequência alélica não se altera com o inter cruzamento e, portanto, a média não pode ser alterada.

Contudo, no controle do caráter produtividade de grãos deve estar envolvido um grande número de genes e não apenas um. Nessa condição, a população F_2 não está em equilíbrio e só após alguns ciclos de inter cruzamento ela atingirá o equilíbrio. Não estando em equilíbrio, a média populacional pode se alterar quando há ligação entre os genes e ocorrer epistasia, pois não estando em equilíbrio, a frequência genotípica se modifica com o inter cruzamento. Infelizmente não existem muitas informações sobre a ocorrência de epistasia para a produtividade de grãos do feijão. Os resultados médios obtidos com o inter cruzamento, pelo menos a princípio, mostram que se ela ocorre, é de menor importância, já que, para o caráter considerado, espera-se que muitos genes envolvidos estejam ligados.

No caso da cultura do arroz, em que ocorreu incremento na média com o inter cruzamento, Cordeiro (2001) justificou, além do possível efeito do desequilíbrio de ligação e epistasia já comentado, a ação da seleção natural. Já no presente trabalho, como o inter cruzamento foi realizado sob condições de casa de vegetação e direcionado, provavelmente não houve a ação da seleção natural.

O que mais se espera com o inter cruzamento é a quebra de grupo de ligação e, em consequência, a maior liberação de variabilidade (Hanson, 1959; Fujimaki, 1979), embora esse fato seja freqüentemente questionado (Pederson, 1974; Bos, 1977). A liberação da variabilidade pode ser comprovada, por exemplo, por meio da distribuição de freqüência das médias das famílias que, embora muito semelhantes, as com inter cruzamento apresentaram maior amplitude de variação (Figura 1).

O segundo modo seria por meio da estimativa da variância genética entre as famílias. No caso da avaliação envolvendo a geração $S_{0,3}$, os valores foram coincidentes como o já comentado para a distribuição de freqüência, isto é, a liberação da variabilidade genética foi maior com o inter cruzamento. Contudo, na geração $S_{0,2}$, as estimativas da variância genética foram muito semelhantes (Tabela 13). Deve-se enfatizar que parte dessa diferença pode ser atribuída à interação das famílias x safras, que foi acentuada. Esses resultados são contrários aos encontrados por Marin-Garavito (1994), Cabezas-Santa Cruz (1995) e Cordeiro (2001), os quais, trabalhando com a cultura do arroz em um programa de seleção recorrente, utilizando recombinação por meio da macho esterilidade, não observaram alterações expressivas nas estimativas de variância genética com o aumento do número de inter cruzamentos.

A estimativa da herdabilidade também pode ser utilizada para evidenciar se ocorreu maior liberação de variabilidade, haja vista que as famílias foram avaliadas no mesmo experimento e, portanto, pode-se esperar que o efeito ambiental seja semelhante. As estimativas de h^2 , apresentadas na Tabela 13, são coerentes com os comentários já realizados para as variâncias genéticas. Veja, contudo, que no caso da herdabilidade realizada (Tabela 14) os resultados já não são tão condizentes, pois com dois inter cruzamentos a herdabilidade realizada foi nula. Esse resultado reforça a observação anterior de que a interação famílias

x ambientes foi expressiva, como é comum nos experimentos de avaliação de famílias de feijão na região (Takeda, 1990; Abreu, 1997; Ramalho et al., 1999).

Vale salientar que se a população está em equilíbrio de Hardy-Weinberg, a variância genética não se modifica, haja vista que a constituição genotípica é a mesma. Contudo, considerando o grande número de genes envolvidos no controle do caráter produtividade de grãos, como já enfatizado, certamente a população não estará em equilíbrio e, obviamente, também muitos genes devem estar ligados. Nessa condição espera-se que a variância genética se altere com o inter cruzamento, como ocorreu.

Finalmente, para se comparar o efeito do inter cruzamento avalia-se a proporção de famílias com o desempenho superior ou inferior obtido. Para isso foram selecionadas as 20 famílias com maior e menor média, entre as 390 avaliadas, e foi identificada sua origem (Tabelas 16, 17 e 18). Veja que os resultados variaram com a geração avaliada, realçando a presença de interação. Contudo, quanto ao desempenho médio das duas gerações o número de famílias com desempenho superior foi maior com o inter cruzamento, isto é, 8 famílias oriundas da população com um inter cruzamento, 7 com dois e 5 sem inter cruzamento.

Novamente é necessário salientar que se ocorresse distribuição independente, a frequência de genótipos com alelos favoráveis não iria mudar e, portanto, essa diferença seria devida ao acaso. Isso só ocorre na presença de genes ligados e assim mesmo em repulsão, pois se fosse atração iria ocorrer o contrário. Bos (1977) discute esse aspecto considerando dois genes A e B, com diferentes frequências de recombinação entre eles, e calculando o número esperado de indivíduos com o genótipo AABB ou A_B_ (Tabelas 3 e 4). Como já mencionado, se a distribuição é independente não houve alteração no número esperado. Se os genes estão ligados em repulsão, a frequência de plantas com o genótipo desejado aumenta com o inter cruzamento e esse incremento é tanto

maior quanto menor for a frequência de recombinação, sendo o máximo de incremento na frequência do genótipo AABB de 25%, quando se comparam a geração F_{∞} (sem intercruzamento) e F'_{∞} (com intercruzamento).

Do exposto, fica evidenciado que só há vantagem do intercruzamento se os genes estão ligados com frequência de recombinação muito baixa. Considerando o tempo despendido no intercruzamento, isto é, uma safra por intercruzamento, é questionável se esse tempo adicional gasto é mais vantajoso do que a avaliação mais extensiva das famílias em uma ou mais safras adicionais. Embora essa informação não seja disponível para a cultura do feijão, no caso da seleção recorrente em soja, Guimarães & Fehr (1989) mostraram que foi mais vantajoso avaliar as famílias em duas safras recombinando uma vez apenas do que proceder dois intercruzamentos e avaliar em apenas uma safra. O mesmo comentário foi emitido para outras espécies como arroz (Marin-Garavito, 1994; Cabezas-Santacruz, 1995; Ospina et al, 1997), milho (Lima Neto, 1998) trigo (Altman & Busch, 1984) e algodão (Meredith & Brigde, 1971).

Como nas condições brasileiras, com a cultura do feijoeiro, a interação famílias x safras é grande (Takeda et al., 1989; Abreu, 1997; Ramalho et al., 1999), certamente a avaliação por safras adicionais será muito mais vantajosa do que despende tempo no intercruzamento de plantas F_2 .

6. CONCLUSÃO

Das propriedades genéticas da população segregante, a média não foi afetada pelo inter cruzamento; já a variância genética apresentou pequeno incremento, que pode ser devido ao desequilíbrio de ligação da população ou à interação das famílias x safras. Esse aumento, no entanto, provavelmente não compensa o tempo e os recursos gastos para o inter cruzamento de plantas F_2 .

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. de F. B. **Predição do potencial genético de populações segregantes do feijoeiro utilizando genitores inter-raciais**. 1997. 95 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

ALTMAN, D. W.; BUSCH, R. W. Random intermating before selection in spring wheat. **Crop Science**, Madison, v. 24, n. 6, p. 1085-1089, Nov./Dec. 1984.

BAKER, R. J. Extent of intermating in self-pollinated species necessary to counteract the effect of random drift. **Crop Science**, Madison, v. 8, p. 547-550, 1968.

BARBIN, D. **Componentes de variância**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/Departamento de Matemática, 1993. 108 p.

BOREM, A. **Melhoramento de Plantas**. Viçosa: UFV, 1997. 547 p.

BOS, I. More arguments against intermating F₂ plants of a self-fertilizing crop. **Euphytica**, Wageningen, v. 26, n. 1, p. 33-46, Feb. 1977.

CAVEZAS –SANTA CRUZ, J. D. **Análisis de la variabilidad genética entre líneas de arroz (*Oryza sativa* L.) derivadas de la población CNA – IRAT 2, em diferentes ciclos de recombinación**. Palmira: Universidad Nacional de Colombia, 1995. 63 p. (Monografía de Graduação) – Facultad de Ciencias Agropecuarias de Palmira, Palmeira.

CARNEIRO, J. E. de S. 2002. **Alternativas para obtenção de populações segregantes no melhoramento genético do feijoeiro**. 2002. 134 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

CORDEIRO, A. A. C. **Número de intercruzamentos na eficiência da seleção recorrente na cultura do arroz**. 2001. 149 p. Tese (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

COSTA, J. G. C. da; ANTUNES, I. F. Determinação da porcentagem de cruzamentos naturais em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) no município de

Pelotas, RS. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 27., 1975, Belo Horizonte. **Resumos**. . . Belo Horizonte: SBPC, 1975. p. 252.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. Malysia: Longman, 1996. 463 p.

FEHR, W. R **Principles of cultivar development: teoria e técnica**. New York: MacMillan, 1987. 536 p.

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

FOUILLOUX, G.; BANNEROT, H. Selection methods in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). In: GEPTS, P. **Genetics resources of Phaseolus beans**. 1988. p. 503-42. 1988.

FUJIMAKI, H. Recurrent selection by using genetic male sterility for rice improvement. **Journal Agricultural Research Quarterly**, Tsukuba, v. 13, n. 3, p. 153-156, Oct. 1979.

GUIMARÃES, E. P.; FEHR, W. R. Alternatives strategies of recurrent selection for seed yield of soybean. **Euphytica**, Wagenigen, v. 40, n. 1/2, p. 111-119, Jan. 1989.

HANSON, W. D. The breakup of initial linkage blocks under selected mating systems. **Genetics**, Baltimore, v. 44, n. 5, p. 857-868, 1959.

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

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

LEON, J. **Fundamentos botanicos de los cultivos tropicales**. San Jose: IICA 1968. 487 p.

LIMA NETO, F. P. **Efeito de uma geração adicional de recombinação sobre a resposta à seleção recorrente em milho (*Zea Mays* L.)** 1998. Tese

(Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG.

MARIN-GARAVITO, J. M. **Efecto do numero de ciclos de recombinación en la variabilidad de poblaciones de arroz (*Oryza sativa* L.)**. Palmira: Universidad Nacional de Colombia, 1994. 50 p. (Monografia de Graduação – Facultad de Ciências Agropecuárias de Palmira).

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

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

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

MEREDITH JR. , W. R.; BRIGDE, R. R. Breakup of linkage blocks in cotton, *Gossypium hirsutum* L. **Crop Science**, Madison, v. 11, n. 5, p. 695-698, Sept./Oct. 1971.

OLIVEIRA, L. B. **Alternativas na escolha dos parentais em um programa de melhoramento do feijoeiro**. 1995. 67 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

ORTEGA, V. S. Polinización cruzada natural de la caraota (*P. vulgaris* L.) en Venezuela. **Agronomia Tropical**, Maracay, v. 24, n. 3, p. 227-232, maio/jun. 1974.

OSPINA, O. H. F. **Morfologia de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2. ed. Cali: CIAT, 1981. 50 p. (Guía de estudio, Serie 04SB-09. 01).

OSPINA, Y.; BORRERO, J.; GUIMARÃES, E. P.; CHATEL, M. Ciclos de inter cruzamiento y variabilidad genética em poblaciones de arroz. In: GUIMARÃES E. P. (Ed.). **Selección recurrente en arroz**. Cali: CIAT, 1997.

PEDERSON, D. G. Arguments against intermating before selection in self-fertilizing species. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 45, n. 4, p. 157-162, 1974.

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

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

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

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; SANTOS, J. B. dos. Melhoramento de espécies autógamas. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S. de; VALADARES-INGLIS, M. C. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento: plantas**. Rondonópolis: Fundação MT. 2001. p. 201-230.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. Lavras: UFLA, 2000. 326 p.

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

RAPOSO, F. V. **Comparação de métodos de condução de populações segregantes de feijoeiro**. 1999. 72 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

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

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

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

TAKEDA, C. **Avaliação de progênies de feijoeiro do cruzamento “ESAL 501 x A 354” em diferentes ambientes**. 1990. 82 p (Dissertação Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG.

UPHOFF, M. D.; FEHR, W. R.; CIANZIO, S. R. Genetic gain for soybean seed yield by three recurrent selection methods. **Crop Science**, Madison, v. 37, n. 4, p. 1155-1158, July/Aug. 1997.

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

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

ANEXO

	Página
TABELA 1A Resumo da análise de variância do caráter produtividade de grãos (kg/ha), referente às famílias da geração $S_{0.2}$. Lavras, MG, seca/2001.....	53
TABELA 2A Resumo da análise de variância do caráter produtividade de grãos (kg/ha), referente às famílias da geração $S_{0.3}$. Lavras, MG, inverno/2001	54

TABELA 1A Resumo da análise de variância do caráter produtividade de grãos (kg/ha), referente às famílias da geração S_{0.2}. Lavras, MG, seca/2001.

F.V	G.L	QM	PROB.
Tratamentos	399	891740	0,000
Famílias	389	890231	0,000
Famílias I ₀	129	867797	0,000
Famílias I ₁	129	961741	0,000
Famílias I ₂	129	833778	0,000
Entre números de intercruzamentos	2	1366036	0,059
Testemunhas	9	1007355	0,027
Famílias vs. testemunhas	1	438121	0,340
Erro efetivo	741	479448	
CV (%)		23	
Média		2758	

TABELA 2A Resumo da análise de variância do caráter produtividade de grãos (kg/ha), referente às famílias da geração S_{0.3}. Lavras, MG, inverno/2001.

F.V	G.L	QM	PROB.
Tratamentos	399	734074	0,000
Famílias	389	742444	0,000
Famílias I ₀	129	615502	0,000
Famílias I ₁	129	821146	0,000
Famílias I ₂	129	802195	0,000
Entre números de inter cruzamentos	2	653884	0,237
Testemunhas	9	305741	0,731
Famílias vs. testemunhas	1	119122	0,608
Erro efetivo	741	451874	
CV (%)		15	
Média		4480	