

**CAPACIDADE DE COMBINAÇÃO DE  
LINHAGENS PARCIALMENTE  
ENDOGÂMICAS OBTIDAS DE HÍBRIDOS  
COMERCIAIS DE MILHO**

**AGNALDO DONIZETE FERREIRA DE CARVALHO**

**2004**

**AGNALDO DONIZETE FERREIRA DE CARVALHO**

**CAPACIDADE DE COMBINAÇÃO DE LINHAGENS  
PARCIALMENTE ENDOGÂMICAS OBTIDAS DE HÍBRIDOS  
COMERCIAIS DE MILHO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Agronomia, área de concentração em genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de “Mestre”

Orientador:  
Prof. Dr. João Cândido de Souza

**LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2004**

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

Carvalho, Agnaldo Donizete Ferreira de

Capacidade de combinação de linhagens parcialmente endogâmicas obtidas de híbridos comerciais de milho / Agnaldo Donizete Ferreira de Carvalho. --

Lavras : UFLA, 2003.

56 p. : il.

Orientador: João Cândido de Souza.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Genética Quantitativa. 2. Milho Híbrido. 3. Dialelo Circulante. 4. Famílias S<sub>2</sub>  
I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.153

**AGNALDO DONIZETE FERREIRA DE CARVALHO**

**CAPACIDADE DE COMBINAÇÃO DE LINHAGENS  
PARCIALMENTE ENDOGÂMICAS OBTIDAS DE HÍBRIDOS  
COMERCIAIS DE MILHO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Agronomia, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de “Mestre”

APROVADA em 06 de fevereiro de 2004

|                                       |                         |
|---------------------------------------|-------------------------|
| Prof. Dr. Magno Antonio Patto Ramalho | UFLA/DBI                |
| Dr. Pedro Hélio Estevam Ribeiro       | Embrapa Milho e Sorgo   |
| Prof. Dr. Maximilian de Souza Gomes   | UEMG – Campus de Passos |

Prof. Dr. João Cândido de Souza  
UFLA/DBI  
(Orientador)

**LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL**

A Deus, por ter permitido a conquista de mais essa vitória, dando-me saúde e coragem para vencer as dificuldades que surgiram no decorrer desses sete anos de estudo em Lavras.

## **DEDICO**

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| A meus pais:                    | Benedito e Edna                        |
| A meus avós: <i>in memoriam</i> | Abel e Benedita                        |
|                                 | Ciro, Arminda e Dalina                 |
| A meus irmãos:                  | Antonio e Maria Aparecida              |
| A meus cunhados:                | Natalino e Cleuza                      |
| A meus sobrinhos:               | Michel, Edna, Estér, Mariana e Rafaela |
| A meus primos:                  | Márcio, Armando e Adilson              |
| A minha noiva:                  | Isabel Cristina                        |

## **OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras pela oportunidade da realização do curso de mestrado.

À FAPEMIG pela concessão da bolsa de estudos.

Aos professores João Cândido de Souza e Magno Antonio Patto Ramalho pela orientação, paciência e pelos ensinamentos transmitidos.

Aos demais professores César, João Bosco, Ângela, Samuel, Ângelo, Luciano e Jair pela contribuição em minha formação profissional.

Ao Pesquisador Dr. Pedro Hélio Estevam Ribeiro pela condução dos experimentos em Goiás e pela participação na banca de defesa.

À cooperativa COMIGO pela condução dos experimentos em Rio Verde-GO.

Ao Prof. Dr. Maximilian de Souza Gomes pela disponibilidade de participar na banca de defesa.

A todos os colegas de curso.

Às secretárias Zélia, Rafaela e especialmente Elaine, que sempre me atenderam, com muita atenção e paciência em todos os momentos em que precisei. Muito obrigado!

Aos funcionários de campo Seu Francisco e Leonardo, que sempre me ajudaram nos experimentos.

Aos funcionários da biblioteca central, especialmente ao funcionário José Maria, que sempre foi muito prestativo em todos os momentos solicitados.

A meus pais Benedito e Edna, pelo exemplo de dedicação, apoio e educação durante minha vida.

A minha noiva Isabel pelo exemplo de incentivo, apoio, paciência, compreensão, carinho e amor, sobretudo nos momentos em que estive ausente.

## SUMÁRIO

|  | Página |
|--|--------|
| RESUMO .....   | i      |
| ABSTRACT.....  | ii     |
| 1 INTRODUÇÃO .....   | 1      |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO.....                                   | 3      |
| 2.1 Progresso genético com a utilização de híbridos .....    | 3      |
| 2.2 Tipos de híbridos de milho .....                         | 5      |
| 2.3 Híbridos de linhagens parcialmente endogâmicas .....     | 7      |
| 2.4 Heterose .....   | 13     |
| 2.5 Escolha de populações para extração de linhagens .....   | 16     |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS .....                                   | 20     |
| 3.1 Material genético .....                                  | 20     |
| 3.2 Locais .....   | 21     |
| 3.3 Condução dos experimentos .....                          | 21     |
| 3.4 Características avaliadas .....                          | 22     |
| 3.5 Análises de variância dos dados .....                    | 23     |
| 3.6 Estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos ..... | 25     |
| 3.7 Análises dialélicas.....                                 | 27     |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                               | 29     |
| 5 CONCLUSÕES.....  | 47     |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                             | 48     |
| ANEXOS .....   | 54     |

## RESUMO

CARVALHO, A. D. F. de. **Capacidade de combinação de linhagens parcialmente endogâmicas obtidas de híbridos comerciais de milho.** 2004. 55 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG\*<sup>1</sup>

Este trabalho teve como objetivos avaliar o desempenho de híbridos de linhagens parcialmente endogâmicas de milho e verificar se as populações derivadas de híbridos comerciais diferem no potencial de extração de linhagens superiores. Para isso, foram tomadas 20 famílias  $S_2$  de cada uma das populações dos híbridos AG-9012, C-333B e Z-8392. Os híbridos foram sintetizados utilizando um esquema em dialelo circulante, com 's' igual a três. Os 90 híbridos  $S_2$  foram avaliados com outras dez testemunhas em Lavras-MG e Rio Verde-GO, utilizando-se o delineamento de látice triplo (10x10). Foram avaliados os caracteres altura de plantas e de espigas, porcentagem de espigas sadias e produtividade de espigas despalhadas. Os dados foram submetidos a análise de variância individual e, posteriormente, conjunta. A partir das esperanças dos quadrados médios foram estimados alguns parâmetros genéticos e fenotípicos para cada local e para a análise conjunta. Com as médias ajustadas, foram realizadas as análises dialélicas por local e conjunta para obtenção das capacidades geral (CGC) e específica de combinação (CEC). Os quadrados médios relativos à CGC foram de maior magnitude do que os de CEC, sendo a CGC responsável por mais de 75% da variação total. As estimativas das herdabilidades foram superiores a 52% para todos os caracteres avaliados, evidenciando a possibilidade de sucesso com a seleção entre os híbridos. As linhagens das populações obtidas de híbridos simples comerciais apresentam comportamento distinto para a extração de linhagens, entre as quais as derivadas do híbrido C-333B foram as de maior CGC. Foi possível identificar híbridos de linhagens  $S_2$  com desempenho equivalente ou até mesmo superior aos híbridos comerciais. Esse tipo de híbrido poderá ser uma alternativa, reduzindo o custo de obtenção das linhagens e de produção de sementes híbridas, para que um maior contingente de produtores tenham acesso a sementes híbridas de milho no Brasil.

---

<sup>1</sup>\* Orientador: João Cândido de Souza – Universidade Federal de Lavras (UFLA)

## ABSTRACT

**Combining ability of partial inbred lines from commercial corn hybrids.**  
2004 Dissertation (Master degree in Genetics and Plant Breeding) - Federal University of Lavras – Lavras, MG.<sup>2</sup>

This work was carried out with the objective of both assessing the performance of single cross hybrids from partial inbred corn lines and checking whether populations derived from commercial hybrids differ in their extraction potential from better inbred lines. Twenty S<sub>2</sub> families of each population derived from the hybrids AG-9012, C-333B and Z-8392 were sampled. The crosses were carried out by using a circulant diallel plan where  $s$  equals three. All the 90 S<sub>2</sub> cross hybrids were evaluated with ten checks in Lavras-MG and Rio Verde-GO, using a three replicated lattice design (10x10). Plant and ear height, percentage of healthy ears, and unhusked ears yield were measured. The observed data were submitted to an individual and combined analyses of variance. The genotypes and phenotypes parameters were estimated from the means squares expectation. Both the individual and the combined analyses were performed with adjusted means to obtain both general combining ability. (GCA) and specific combining ability (SCA). The means squares of GCA, which were responsive for 75% of the total variation, were larger than those of SCA. For all measurements the heritabilities estimates were higher than 52% thus showing a chance of success for hybrids selection. The populations derived from the cross hybrids showed different performances when extracting inbred lines. Those derived from C-333B had the largest GCA. S<sub>2</sub> hybrids with equal or better performance than the checks could be identified. This kind of hybrids should be considered as an alternative to reduce the cost of both inbred lines and hybrid seeds production so that more farmers could purchase hybrid seeds in Brazil.

---

<sup>2</sup> Guidance Committee: João Cândido de Souza – UFLA (Adviser)

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil existem mais de 3,6 milhões de propriedades que cultivam milho. A diversidade no nível tecnológico dessas propriedades é enorme. Cerca de 43% delas são de cultivo de subsistência, 24% de nível tecnológico baixo, 22% de nível médio e apenas 11% são propriedades que adotam todas as tecnologias disponíveis. Esse fato faz com que, embora haja condições de a cultura apresentar produtividade equivalente à de países desenvolvidos, a média brasileira seja de apenas 3,7 t ha<sup>-1</sup>, como se observou na safra 2002/03 (IBGE, 2004).

Há estimativas de que em 38% da área cultivada não há aquisição de sementes. São utilizadas variedades de polinização livre, próprias e/ou a geração F<sub>2</sub> de híbridos comerciais, as denominadas sementes de paiol. Para o aumento da produtividade média, certamente será necessário que esse grande contingente de agricultores passem a utilizar cultivares melhoradas.

Contudo, grande parte dos produtores de sementes melhoradas são grandes empresas privadas, cuja ênfase é direcionada à utilização crescente de híbridos simples (Rosinha, 2000). Embora esse tipo de híbrido contribua para o progresso genético, o seu preço é proibitivo para a maioria dos agricultores brasileiros.

A opção seria estimular a criação de microempresas para atender mercados regionais e produzir sementes híbridas por preços mais acessíveis. Para atender essas empresas, uma alternativa seria a produção de híbridos duplos utilizando o procedimento preconizado por Souza Sobrinho et al. (2002). Uma outra opção é o emprego de híbridos de linhagens com endogamia parcial, híbridos de progênies S<sub>2</sub> ou S<sub>3</sub> (Souza Jr., 1992). As vantagens desse tipo de híbrido são a maior rapidez na obtenção dos híbridos e, principalmente, o fato

de as linhagens parcialmente endogâmicas, serem teoricamente de mais fácil manuseio e com produtividades de grãos maiores que as linhagens completamente endogâmicas. Embora esses híbridos de linhagens parcialmente endogâmicas sejam promissores, a viabilidade de sua produção foi pouco pesquisada.

Existem inúmeras opções de populações que podem ser utilizadas na extração de linhagens visando a produção de híbridos. Essas populações são escolhidas em função, sobretudo, por pertencerem a grupos heteróticos distintos. Uma outra opção é o emprego de populações derivadas de híbridos comerciais. Híbridos comerciais são amplamente testados antes de sua recomendação e só são adotados pelos agricultores se oferecerem alguma vantagem em relação aos pré-existentes. Portanto, as populações deles derivadas devem associar média alta e, pelo fato de terem heterose acentuada, grande variabilidade genética, condições essenciais em uma população segregante. O potencial de híbridos simples para a extração de linhagens tem sido recentemente avaliado no Brasil (Lima et al., 2000; Bison et al., 2003;). Contudo, seria importante verificar a viabilidade da produção de híbridos com linhagens parcialmente endogâmicas derivadas dessas populações. Do exposto, foi realizado o presente trabalho com o objetivo de avaliar o desempenho de híbridos de famílias  $S_2$  de milho e verificar se as populações derivadas de híbridos comerciais diferem no potencial de extração de linhagens superiores.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Progresso genético com a utilização de híbridos

A introdução do milho híbrido na agricultura Americana, associada à melhoria do manejo cultural, especialmente o maior uso de fertilizantes e o eficiente controle de plantas invasoras, contribuíram para um expressivo aumento de produtividade. Em 1930, a produtividade média era de aproximadamente três t ha<sup>-1</sup>, passando para aproximadamente oito t ha<sup>-1</sup> no começo do século XXI, representando um aumento de aproximadamente 260%. Contudo, estima-se que, isoladamente, a substituição de cultivares de polinização livre por cultivares híbridas foi responsável por aproximadamente 50% do aumento da produtividade dessa cultura (Castleberry et al., 1984; Duvick, 1994).

O híbrido é definido como a primeira geração do cruzamento entre linhagens completamente endogâmicas, variedades de polinização aberta, clones ou qualquer outro tipo de população divergente (Allard, 1999). Um dos primeiros trabalhos de hibridação artificial foi realizado por Beal no final do século XIX com a cultura do milho. A partir de variedades de polinização aberta, o autor obteve híbridos com desempenho até 40% superior aos genitores e parte desses descendentes não diferiram da média. Esse baixo desempenho dos híbridos, nessa época, foi atribuído ao fato de que as populações não eram muito divergentes (Hallauer, 1990).

A obtenção de híbridos de forma comercial teve início com os trabalhos de Shull no começo do século XX. O autor demonstrou que quando uma população era autofecundada por algumas gerações até a obtenção de indivíduos homozigotos, a perda de vigor era acentuada. No entanto, quando cruzadas, o

desempenho do híbrido superava a média da população original e, por terem sido obtidas linhagens, essa boa combinação poderia ser perpetuada.

Mesmo com esse sucesso inicial, ainda havia o problema crucial de tornar realidade a produção comercial de sementes híbridas de milho, isto é, a dificuldade de manter as linhagens, e, sobretudo devido à baixa produtividade destas, produzir sementes por um preço competitivo. Esse problema foi solucionado alguns anos depois, com a proposta de Jones de produzir híbridos duplos. Nesse caso, como a fêmea é um híbrido simples com alta produtividade de sementes, o processo tornou-se comercialmente viável (Paterniani & Campos, 1999).

O primeiro híbrido duplo comercial avaliado nos Estados Unidos entre 1920 e 1930 foi superior às variedades de polinização livre cultivadas na época. Além do mais, esse híbrido apresentou maior estabilidade e tolerância às condições ambientais adversas. Devido a essas propriedades, os híbridos disseminaram-se rapidamente naquele país e em pouco mais de 20 anos, por volta de 1950, 100% da área cultivada na região do *Corn Belt* era proveniente do cultivo de híbridos duplos (Hallauer, 1990).

O primeiro campo de produção de sementes híbridas de milho foi obtido em 1923, pela família de George Kurtzweil, que deu origem à primeira empresa de sementes, a *Cooper Cross*. É interessante salientar que a tecnologia do despendoamento da linhagem materna, para viabilizar toda a produção de sementes híbridas necessária, foi idealizada e executada pela senhora Ruth Kurtzweil, irmã do proprietário (Wych, 1988).

O Brasil foi o segundo país a adotar o milho híbrido. Os trabalhos foram iniciados pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e em 1939 foi lançado o primeiro híbrido duplo brasileiro. Em 1935, Gladstone A. Drummond e Antonio Secundino São José iniciaram os seus trabalhos com milho, na então

Universidade Federal de Viçosa (UFV). Em 1938 lançaram o primeiro híbrido comercial a partir do cruzamento entre as variedades *Cateto* e *Amarelão*. Esse trabalho teve continuidade e em 1945 foi criada a primeira companhia particular de sementes brasileira, a *Sementes Agroceres S/A* (Paterniani & Campos, 1999).

Com o progressivo melhoramento genético das linhagens tornou-se possível a utilização de híbridos simples, que associam maior potencial produtivo com grande uniformidade. Esse tipo de híbrido rapidamente substituiu os híbridos duplos nos Estados Unidos. Já a partir de 1970, praticamente todo o milho cultivado naquele país era composto de híbridos simples.

O milho híbrido rapidamente se disseminou também no Brasil e possibilitou a criação de algumas pequenas companhias de sementes nacionais, que utilizaram principalmente sementes híbridas obtidas pelo IAC e, posteriormente, da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Também atraídas pelo mercado potencial de sementes híbridas no país, vieram algumas empresas multinacionais. Essa concorrência permitiu que houvesse rápido progresso genético devido ao dinamismo na produção de novos híbridos comerciais. Estimativas do progresso genético têm sido obtidas em algumas situações e foram encontrados valores médios de  $71,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (Vencovsky & Ramalho, 2000).

## **2.2 Tipos de híbridos de milho**

Os tipos de híbridos que podem ser sintetizados foram relacionados por Miranda Filho & Viégas (1987) e são descritos a seguir:

- 1) “*Top-cross* – resulta do cruzamento entre uma linhagem endogâmica e um genótipo (testador) que pode ser de base genética ampla ou estreita. Esse tipo de híbrido não tem sido considerado de valor comercial, mas é

amplamente utilizado nos programas de avaliação de linhagens para utilização em híbridos;

2) Híbrido Simples - é obtido mediante o cruzamento de duas linhagens endogâmicas. Em geral, é mais produtivo do que os demais tipos de híbridos, apresentando grande uniformidade de plantas e de espigas. A semente tem custo de produção mais elevado porque é produzida nas linhagens que, por serem endogâmicas, exibem produção mais baixa;

3) Híbrido Simples Modificado - utiliza-se como genitor feminino o híbrido entre duas linhagens afins da mesma família (i.e.,  $A \times A'$ ) e, como genitor masculino, uma linhagem contrastante (B) ou também um híbrido entre linhagens afins (i.e.,  $B \times B'$ ). Nestes casos, o custo de produção de sementes é reduzido porque o genitor feminino apresenta um certo vigor que se manifesta em maior produção;

4) Híbrido Triplo - é obtido do cruzamento de um híbrido simples ( $A \times B$ ) com uma terceira linhagem (C). Também pode ser obtido sob a forma de híbrido modificado, isto é,  $(A \times B) \times (C \times C')$ ;

5) Híbrido Duplo - é obtido pelo cruzamento de dois híbridos simples,  $(A \times B) \times (C \times D)$ , envolvendo, portanto, quatro linhagens endogâmicas;

6) Híbrido Múltiplo - é produzido mediante a utilização de 5, 6 ou mais linhagens. Tem sido muito pouco utilizado comercialmente e sua principal vantagem reside na maior variabilidade genética, que pode resultar em maior amplitude de adaptação. As gerações mais avançadas de um híbrido múltiplo podem ser utilizadas como fonte de novas linhagens;

7) Híbrido intervarietal - os híbridos intervarietais podem ser utilizados comercialmente, pois permitem o aparecimento da heterose sem a necessidade de obtenção de linhagens. Apresentam, portanto, a vantagem da facilidade de obtenção, além de exibirem uma maior capacidade de adaptação

devido à maior variabilidade genética em relação aos híbridos de linhagens. As gerações avançadas dos híbridos intervarietais podem ser usadas como populações base para o melhoramento interpopulacional.”

Além dos híbridos normais e modificados existem os híbridos obtidos de linhagens com endogamia parcial ( $0 < F < 1$ ), que é o enfoque principal deste trabalho e será detalhado posteriormente.

### **2.3 Híbridos de linhagens parcialmente endogâmicas**

No Brasil o mercado de sementes híbridas de milho é caracterizado pela existência de quatro segmentos, segundo as empresas do setor: 1) segmento de altíssima tecnologia; 2) segmento de alta tecnologia; 3) segmento de média tecnologia e 4) segmento de baixa tecnologia. Os três primeiros segmentos correspondem aos produtores que utilizam sementes híbridas, sendo os únicos que interessam às empresas produtoras de sementes. Já o quarto segmento é constituído por aqueles produtores que utilizam variedades de polinização aberta. Além desses agricultores, existem aqueles que utilizam suas próprias sementes (semente de *paiol*) para o plantio de suas lavouras. Esse tipo de agricultor, por não adquirir sementes no mercado, não é considerado pertencente a nenhum segmento (Rosinha, 2000).

As perspectivas da evolução do mercado de sementes no Brasil, assim como ocorre no restante do mundo, deverá evoluir da utilização de híbridos duplos e triplos para somente a semeadura de híbridos simples. É sabido também que, entre as variáveis que compõem o custo de produção de sementes híbridas, o processo de difusão é o mais oneroso. Como este custo é o mesmo para um híbrido duplo ou um híbrido simples, por exemplo, é mais vantajoso para as empresas a comercialização de híbridos simples, os quais são vendidos

por maiores preços, o que gera, no final do processo, um lucro mais significativo para as mesmas (Raposo, 2002)

Diante dessa situação, é necessário desenvolver tecnologias que possam estar ao alcance dos pequenos produtores. Entre elas, o uso de híbridos de linhagens parcialmente endogâmicas surge como uma alternativa altamente promissora, uma vez que, por não ser necessária a condução das famílias até a homozigose completa, o processo de obtenção de sementes é consideravelmente abreviado; com isso é possível fornecer sementes híbridas de milho por um preço acessível para aqueles produtores que ainda utilizam sementes de *paiol* ou para aqueles produtores que estão com dificuldades para adquirir sementes híbridas, desenvolvidas pelas grandes empresas do setor (Araújo, 2000).

A obtenção e a manutenção das linhagens, aliadas a sua baixa performance na produção de sementes, o que onera o produto, são alguns dos problemas no emprego de híbridos. Por essa razão foi proposta a obtenção de híbridos a partir de linhagens parcialmente endogâmicas, visando diminuir os problemas relacionados com a depressão por endogamia surgida com as sucessivas gerações de autofecundação, que levam à redução do vigor e conseqüente queda de produtividade (Souza Jr., 1992 e Souza Jr., 2001).

Outra alternativa de uso para os híbridos de linhagens parcialmente endogâmicas seria em programas de melhoramento em fase inicial de desenvolvimento. Alguns resultados na literatura mostram ser possível a seleção de linhagens parcialmente endogâmicas de milho, como as da geração  $S_2$  ( $F=0,75$ ), com boa performance em cruzamentos e com bom desempenho *per se* (Elias, 1997; Silva Filho, 1999; Araújo, 2000; Cabrera, 2001; Carvalho et al. 2003).

De acordo com os resultados de Loeffel (1971), citado por Carlone & Russell (1988), a produção de sementes de linhagens parcialmente endogâmicas

$S_1$  foi, em média, 70% maior que a de linhagens  $S_5$  delas derivadas. Entretanto, a grande variabilidade encontrada dentro dos cruzamentos de linhagens parcialmente endogâmicas em gerações muito precoces ( $S_0$  e  $S_1$ ) inviabilizaria o seu uso comercial. Por essa razão foi sugerido o uso de linhagens parcialmente endogâmicas  $S_2$ . Desse modo, a produção de sementes de linhagens parcialmente endogâmicas exerceria um forte impacto sobre o preço de sementes híbridas, já que as mesmas são mais produtivas (Wellhausen, 1954).

As linhagens  $S_2$ , além de se mostrarem mais produtivas do que suas descendentes completamente endogâmicas, possuem menor sensibilidade às condições ambientais adversas. Além do mais, existe uma tendência de os híbridos de linhagens parcialmente endogâmicas possuírem menores interações genótipos por ambientes do que os híbridos de linhagens com alto grau de homozigose (Carlone & Russel, 1988).

Estudos teóricos realizados por Souza Jr. (1992) indicaram que as diferenças entre as variância genéticas dos híbridos simples de linhagens  $S_2$  ( $F=0,75$ ) e de linhagens  $S_\infty$  são muito pequenas, especialmente as variâncias aditivas, como se pode verificar na Tabela 1. O modelo usado para descrever o os componentes da variância genética interpopulacional produzido pelo cruzamento de duas populações 1 e 2 é fornecido pela seguinte expressão:

$$\sigma^2_{G12} = \frac{1}{2} (\sigma^2_{A12} + \sigma^2_{A21}) + \sigma^2_{D12},$$

em que:

$\sigma^2_{A12}$  e  $\sigma^2_{A21}$  são as variâncias genéticas aditivas interpopulacionais liberadas no melhoramento da população 1 quando cruzada com a 2 e vice-versa;

$\sigma^2_{D12}$  corresponde à variância genética dominante interpopulacional.

Os componentes interpopulacionais também podem ser expressos em função da magnitude das frequências alélicas das duas populações envolvidas e do tipo de interação.

Considerando apenas um loco com dois alelos, tem-se:

$$\sigma^2_{A12}=2pq[\alpha+(s-r)\delta]^2;$$

$$\sigma^2_{A21}=2sr[\alpha+(p-q)\delta]^2;$$

$$\sigma^2_{D12}=4pqrs\delta^2.$$

Nessas expressões,  $p$  e  $r$  referem-se às frequências dos alelos favoráveis nas populações 1 e 2, respectivamente, e  $q$  e  $s$  à frequência dos alelos desfavoráveis nas mesmas condições.

TABELA 1. Coeficiente de variâncias genéticas interpopulacionais de híbridos simples, duplos e triplos obtidos de linhagens completamente endogâmicas, comparados com híbridos simples obtidos com linhagens com diferentes graus de endogamia.

| Tipos de<br>Linhagens | F    | Variância Genética |                  |                  |
|-----------------------|------|--------------------|------------------|------------------|
|                       |      | $\sigma^2_{A12}$   | $\sigma^2_{A21}$ | $\sigma^2_{D12}$ |
| S <sub>1</sub> (HS)   | 0,00 | 0,2500             | 0,2500           | 0,2500           |
| S <sub>2</sub> (HS)   | 0,50 | 0,3750             | 0,375            | 0,5625           |
| S <sub>3</sub> (HS)   | 0,75 | 0,4375             | 0,4375           | 0,7656           |
| S <sub>∞</sub> (HS)   | 1,00 | 0,5000             | 0,5000           | 1,0000           |
| S <sub>∞</sub> (HT)   | 1,00 | 0,2500             | 0,5000           | 0,5000           |
| S <sub>∞</sub> (HD)   | 1,00 | 0,2500             | 0,2500           | 0,2500           |

HS: híbrido simples, HT: híbrido triplo e HD: híbrido duplo.

Adaptado de Souza Jr. (1992).

Desse modo, fica claro que é possível selecionar híbridos simples de linhagens S<sub>3</sub> superiores a híbridos triplos oriundos de linhagens completamente endogâmicas; híbridos de S<sub>1</sub> com desempenhos comparáveis a híbridos duplos de linhagens S<sub>∞</sub> e híbridos de linhagens S<sub>2</sub> ou S<sub>3</sub> com performance superior à do híbrido duplo.

Resultados encontrados por Bernardo (1991) demonstram que a correlação entre o desempenho fenotípico de um indivíduo em gerações precoces ( $n$ ) e do seu correspondente genótipo em gerações avançadas ( $n'$ ) ( $r_{Fn}G_n$ ) é fornecida pela expressão  $r_{Fn}G_n = r_{Fn}G_n h_n$ , ou seja, esta correlação é função da raiz quadrada da herdabilidade obtida na avaliação precoce das progênies e a correlação genética do desempenho das progênies nas gerações  $n$  e  $n'$ . Por exemplo, a correlação entre linhagens parcialmente endogâmicas  $S_2$  com as suas linhagens  $S_\infty$  é próxima de 0,9, não mudando substancialmente até atingir homozigose completa. Com isso, encontrando uma boa combinação híbrida em  $S_2$ , e se a mesma apresentar algum problema relacionado com a variabilidade ainda existente em linhagens  $S_2$ , as mesmas poderão ser autopolinizadas a fim de se obterem híbridos mais uniformes em gerações mais avançadas.

Quanto à utilização de híbridos  $S_2$ , existem relatos de que os mesmos têm sido estudados em alguns países subdesenvolvidos (Vasal, 1986). O mesmo autor cita as possíveis vantagens de utilização de híbridos de linhagens parcialmente endogâmicas: maior produção de sementes devido ao maior vigor dos parentais; maior facilidade de manutenção; maior facilidade de obtenção de híbridos superiores por meio do melhoramento intra e intepopulacional; uniformidade, desde que seja feita criteriosa seleção sobre as progênies ou linhagens parcialmente endogâmicas; maior tolerância às variações ambientais e possibilidade de utilização das progênies para obtenção de linhagens homozigotas.

Existem evidências de que os primeiros híbridos duplos e triplos utilizados no México eram provenientes de linhagens parcialmente endogâmicas  $S_1$  (Wellhausen, 1954). No Brasil, a utilização de progênies com endogamia parcial é um campo recente na exploração do milho híbrido.

Alguns trabalhos com linhagens parcialmente endogâmicas  $S_2$  oriundas da população sintética BSSS foram realizados nos Estados Unidos com o objetivo de avaliar sua variabilidade em comparação com suas derivadas  $S_6$  ou  $S_8$ , tanto no desempenho *per se* quanto em cruzamentos com testadores altamente endogâmicos não relacionados. Desse modo, foi avaliada a variabilidade de híbridos  $S_2 \times S_2$  em comparação com os híbridos das linhagens  $S_6 \times S_8$  (originados das mesmas linhagens  $S_2$ ) e de outros híbridos comerciais como testemunhas. O desempenho produtivo dos híbridos  $S_2 \times S_2$  foi comparável ao dos híbridos  $S_6 \times S_8$ . No entanto, para alguns caracteres como altura de plantas, altura de espigas, número de fileiras por espigas, diâmetro de espigas e umidade do grão ocorreram diferenças significativas, sendo os híbridos  $S_2 \times S_2$  mais variáveis. Diante desses resultados, é possível efetuar a seleção dentro de linhagens  $S_2$  devido à variabilidade genética ainda existente e a produção de sementes híbridas é viável devido ao grande vigor apresentados pelas linhagens  $S_2$  (Stangland & Russel, 1981).

A avaliação de híbridos de  $S_1 \times S_1$  a  $S_4 \times S_4$  de duas populações contrastantes (Poza Rica 8024 e PICHILINGUE) foi realizada em cinco regiões da América, duas no Brasil, uma no México, uma no Equador e uma na Colômbia (Medina, 1990). Constatou-se, na média, que mais de 50% dos híbridos de linhagens parcialmente endogâmicas superaram a média dos genitores, o híbrido entre eles e os híbridos comerciais INIAP H-550 e Cargill-550. Enfatizou-se, com isso, que a produção de híbridos de linhagens parcialmente endogâmicas pode ser uma alternativa lucrativa e barata, principalmente em países subdesenvolvidos.

Na avaliação de 90 progênies  $S_2$  de cada uma das populações de milho BR-106 e IAPAR-26 nas localidades de Londrina-PR, Ponta Grossa-PR e Rio Verde-GO, Araújo (2000) verificou que a maior média de um híbrido  $S_2$  foi de

9063 kg ha<sup>-1</sup>, que foi 15,6% superior à média da testemunha P-3041 (7838 kg ha<sup>-1</sup>) e 35,1% superior à média das populações parentais (6707 kg ha<sup>-1</sup>). O autor destacou ainda que a média geral dos híbridos, associada a altos valores positivos da CGC e CEC, evidencia o grande potencial das populações avaliadas para a exploração de híbridos com endogamia parcial.

A partir de progênies S<sub>2</sub> derivadas de três híbridos simples comerciais foram obtidos 135 híbridos S<sub>2</sub> x S<sub>2</sub>. Na avaliação desses híbridos em dois locais, Lavras-MG e Boa Vista-RR, constatou-se que 17% dos híbridos apresentaram performance superior à da testemunha C-333B e 46% superaram a média do híbrido C-435, um híbrido duplo amplamente utilizado pelos agricultores (Carvalho et al., 2003).

## 2.4 Heterose

A heterose é um termo empregado para descrever a manifestação de um aumento no valor de um caráter quantitativo em híbridos de plantas ou animais. A heterose se manifesta quando o caráter avaliado no híbrido é maior (heterose positiva) ou menor (heterose negativa) do que a média dos genitores. Do ponto de vista aplicado, é mais comum o cálculo da heterose em relação ao genitor superior (heterobeltiose) ou a uma cultivar de importância econômica (heterose-padrão).

O termo heterose (h) ou vigor híbrido foi estabelecido por Shull no século XX. Ela representa a superioridade da geração F<sub>1</sub> em relação à média dos genitores, ou seja:

$$h = \bar{F}_1 - \frac{(\bar{P}_1 - \bar{P}_2)}{2},$$

em que:

*h* : heterose;

$\bar{F}_1$ : média do híbrido;

$\bar{P}_1$ : média do genitor 1;

$\bar{P}_2$ : média do genitor 2.

As condições para que ocorra heterose foram apresentadas por Falconer & Mackay (1996). Para isso, consideraram duas populações,  $P_1$  e  $P_2$ , ambas em equilíbrio de Hardy-Weinberg. Considerando  $p$  e  $p'$  as frequências dos alelos favoráveis e  $q$  e  $q'$  as frequências dos alelos desfavoráveis nas populações 1 e 2, respectivamente, a diferença nas frequências dessas populações ( $Y$ ) é obtida por  $Y = p - p' = q' - q$ . Já a média populacional para um loco é fornecida por:

$$\bar{P} = m + (p - q)\alpha + 2pq\delta,$$

em que:

$\bar{P}$ : média populacional;

$m$ : é o valor médio entre a contribuição dos genótipos homozigóticos;

$\alpha$ : o desvio dos homozigotos em relação a um ponto médio;

$\delta$ : o desvio do heterozigoto em relação à média.

Assim:

$$\bar{P}_1 = m + (p - q)\alpha + 2pq\delta$$

Substituindo  $p'$  por  $p - y$  e  $q'$  por  $q + y$ , tem-se:

$$\bar{P}_2 = m + (p - y - q - y)\alpha + (p - y)(q + y)2\delta \text{ Então,}$$

$$\frac{\bar{P}_1 + \bar{P}_2}{2} = m + \alpha(p - q - y) + \delta[2pq + y(p - q) - y^2].$$

Para obter a geração  $F_1$  é necessário que ocorra o cruzamento entre os genitores e isso equivale à união aleatória de seus gametas (Falconer & Mackay, 1996), ou seja:

|                           |         | Gametas de P <sub>1</sub> |        |
|---------------------------|---------|---------------------------|--------|
|                           |         | B (p)                     | b (q)  |
| Gametas de P <sub>2</sub> | B (p-y) | p(p-y)                    | q(p-y) |
|                           | b (q+y) | p(q+y)                    | q(q+y) |

Para se obterem os valores genotípicos, colocam-se os valores genéticos.

| Genótipo | Frequência   | Valores genotípicos |
|----------|--------------|---------------------|
| BB       | p(p-y)       | $\alpha$            |
| Bb       | 2pq + y(p-q) | $\delta$            |
| bb       | q(q+y)       | $-\alpha$           |

O valor genotípico médio é, portanto:

$$\bar{F}_1 = m + \alpha(p^2 - py - q^2 - qy) + \delta[2pq + y(p - q)]$$

$\therefore m + \alpha[(p + q)(p - y) - y(p + q)] + \delta[2pq + y(p - q)]$ , sabe-se que:

p+q=1, então:

$$= m + \alpha(p - q - y) + \delta[2pq + y(p - q)].$$

Substituindo as respectivas médias dos genitores e da F<sub>1</sub> na expressão

$$h = \bar{F}_1 - \frac{\bar{P}_1 + \bar{P}_2}{2}, \text{ tem-se:}$$

$h = m + \alpha(p - q - y) + \delta[2pq + y(p - q)] - m + \alpha(p - q - y) + \delta[2pq + y(p - q) - y^2]$ , ou seja,  $h = \delta Y^2$ , e para vários locos  $h = \delta \sum Y^2$ . Assim, a heterose depende do quadrado da diferença entre as frequências alélicas (y) dos genitores envolvidos nos locos em que ocorre interação alélica de dominância.

O tipo de interação alélica presente que é responsável pela heterose tem sido tema de debates há longo tempo (Crow, 1998). Segundo alguns, ela

depende apenas da ocorrência de dominância, isto é, existe superioridade do heterozigoto como resultado do alelo deletério recessivo, mascarado pelo alelo dominante ou parcialmente dominante. Já a hipótese de sobredominância pressupõe que a heterozigose, por si só, é essencial para a manifestação da heterose, ou seja, o heterozigoto é superior a ambos os homozigotos.

As evidências disponíveis, contudo, permitem inferir que não ocorra a sobredominância (Crow, 1998). Além da interação alélica de dominância, também as interações epistáticas são comumente utilizadas para explicar a ocorrência da heterose (Goodnight, 1998). Os estudos com o genoma têm possibilitado a inclusão de uma outra causa da ocorrência da heterose. Há evidências de que linhagens podem diferir no seu conteúdo de locos divergentes e complementares. Quando duas linhagens possuem diferentes conteúdos de DNA, isto é, divergência genética para locos de importância agronômica, ocorre o vigor híbrido quando elas são cruzadas (Fu & Dooner, 2002).

Dada a grande vantagem da heterose, o ideal é que ela seja perpetuada. Isso tem sido realizado por meio da propagação assexuada com a clonagem ou por meio da obtenção das linhagens e posterior cruzamento entre elas, como é o caso da cultura do milho.

## **2.5 Escolha de populações para extração de linhagens**

A escolha das populações a serem utilizadas num programa de melhoramento, para a extração de linhagens, é fundamental para o sucesso do mesmo. A escolha das populações é também o ponto de partida para um programa de melhoramento com essa finalidade. O desempenho de uma geração  $F_1$  de um híbrido é função,  $\bar{F}_1 = m + a' + d$ , em que  $m + a'$  corresponde à contribuição dos locos homozigotos já fixados e  $d$  corresponde ao desvio dos homozigotos em relação à média. Em outras palavras, o  $m + a'$  depende do

desempenho *per se* das linhagens, enquanto o  $d$  depende da divergência entre os genitores e do efeito de dominância presente no controle do caráter. Assim, um bom híbrido será produzido se a média dos parentais for alta ( $m + a'$ ) e se esses parentais apresentarem grande divergência genética.

Existem algumas metodologias de que o melhorista dispõe para obter a estimativa de  $m + a'$ . Entre essas, a proposta por Vencovsky (1987) pode ser facilmente obtida através da avaliação simultânea das gerações  $S_0$  e  $S_1$ , fazendo-se o contraste  $2S_1 - S_0$ . Essa metodologia tem sido amplamente utilizada tanto para populações em equilíbrio de Hardy-Weinberg (Pacheco et al., 1998; Cardoso, 1999) como para populações oriundas de híbridos comerciais (Lima et al., 2000; Souza Sobrinho et al., 2002).

Em relação à divergência genética, existem inúmeros procedimentos para determiná-la, as quais vão desde a utilização de marcadores morfológicos (Fuzatto et al., 2002) e moleculares (Melo, 2000) até a utilização dos cruzamentos dialélicos (Souza Sobrinho et al., 2002). Com a utilização de cruzamentos dialélicos, a partir da metodologia de Griffing (1956) é possível obter, ainda, estimativas sobre a capacidade geral (CGC) e específica de combinação (CEC).

Diversos tipos de populações podem ser utilizadas para a extração de linhagens, variando desde variedades de polinização aberta até híbridos comerciais. Nesse último caso, aquelas derivadas de híbridos simples comerciais associam alta produtividade com grande proporção de locos favoráveis. Além disso, aqueles locos que estão segregando possuem frequência alélica de 0,5, que é uma condição favorável à prática de seleção (Raposo, 2002).

No Brasil são poucos os relatos a respeito da utilização de híbridos comerciais como fonte geradora de linhagens. No entanto, especialmente nos

Estados Unidos, essa técnica é rotineira e as linhagens obtidas destas populações são denominadas de linhagens de segundo ciclo (Lankey et al., 1995; Wolf & Hallauer, 1997; Troyer, 1999).

Um estudo com o objetivo de avaliar o potencial de híbridos comerciais como fonte de extração de linhagens foi realizada por Bison et al. (2003). Para isso o autor avaliou 169 famílias  $S_{0:1}$  de cada população dos híbridos simples comerciais AG-9012 e C-333. De acordo com as estimativas de média, variância genética, herdabilidade e ganho esperado com a seleção, pôde-se concluir que existe a possibilidade de sucesso com a seleção recorrente nessas populações e as mesmas são boas alternativas para extração de linhagens, especialmente a população derivada do híbrido C-333, que associou maior média e resistência à mancha de *Phaeosphaeria maydis*.

Na avaliação de quatro tipos de populações de milho a fim de selecionar um procedimento que pudesse escolher as populações mais promissoras para extração de linhagens, Lima et al. (2000) utilizaram 169 famílias endogâmicas  $S_{0:1}$ , as gerações  $F_1$ ,  $S_0$  e  $S_1$  dos híbridos C-333B (híbrido simples modificado), Z-8392 (híbrido simples), AG-1051 (híbrido duplo) e a variedade de polinização livre BR-105. Os resultados mostraram que a variação do  $m + a$  oscilou entre 3,64 t ha<sup>-1</sup> para o híbrido simples Z-8392 a 6,51 t ha<sup>-1</sup> para o híbrido duplo AG-1051, com isso os autores puderam inferir que as melhores linhagens poderão ser extraídas da população do AG-1051.

A utilização de híbridos comerciais, para a extração de linhagens é uma possibilidade altamente promissora. Pelo fato de os híbridos terem sido extensivamente melhorados, tendo acumulados muitos fenótipos desejáveis, o trabalho dos melhoristas é diminuído, principalmente nas empresas privadas, em que a pressão para o lançamento de novas cultivares híbridas é muito grande. Comparando populações de híbridos comerciais com variedades de polinização

aberta, é fácil verificar que as primeiras possuem desempenho superior para aquelas características importantes no melhoramento, visto que as variedades de polinização aberta geralmente são pouco melhoradas, sendo necessárias, para isso, trabalhos adicionais de melhoramento, o que acarreta, no final do programa, um maior gasto de recursos e tempo para a obtenção de linhagens (Melo, 2000).

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Material genético

Foram utilizadas 60 famílias  $S_2$ , sendo 20 de cada população derivada dos híbridos comerciais AG-9012, C-333B e Z-8392. O AG-9012 é um híbrido com ciclo superprecoce, de grãos duros e avermelhados e porte baixo. O C-333B é um híbrido de ciclo normal, de grãos semiduros e alaranjados e porte alto. O Z-8392 é um híbrido de ciclo superprecoce, grãos semiduros e alaranjados e porte baixo.

Inicialmente foram obtidas as populações  $F_2$  ( $F_2 = S_0$ ) de cada híbrido a partir das gerações  $F_1$  dos mesmos. Em seguida obtiveram-se as famílias  $S_{0.1}$ . Posteriormente foram obtidas famílias  $S_{0.2}$ , através da autofecundação de algumas plantas de cada família  $S_{0.1}$ . Logo após as famílias receberam identificação de 1 a 20 para as derivadas do AG-9012, de 21 a 40 para as do C-333B e de 41 a 60 para as do Z-8392.

As progênes de cada população foram cruzadas com as de outras duas populações, utilizando-se um dialelo circulante em que cada genitor participou de três combinações híbridas com  $s$  igual a três (Cruz & Regazzi, 2001). Inicialmente, as sementes de cada família foram semeadas em linha e, por ocasião da polinização, o pólen de cada pendão foi coletado e colocado em uma espiga da planta de outra família. Realizaram-se pelo menos cinco cruzamentos para a obtenção de cada híbrido  $S_2$ . Na colheita, as espigas foram debulhadas individualmente e as sementes de cada cruzamento foram misturadas.

Utilizaram-se 90 híbridos  $S_2$  e 10 testemunhas, das quais três foram híbridos  $S_2$ , obtidos em outra ocasião e selecionados com base no seu desempenho produtivo em Boa Vista-RR e Lavras-MG (Carvalho et al., 2003). As demais testemunhas foram compostas por seis de híbridos simples

comerciais (P-30K75-Pioneer; A-2555-Bayer Seeds; Z-8420-Dow-Agrosciences; DKB-901-Dekalb; AG-9012-Agroceres-Monsanto e C-333B-Dekalb) e um híbrido duplo (C-435-Dekalb).

### **3.2 Locais**

Os experimentos foram conduzidos em duas áreas experimentais, do Departamento de Biologia da UFLA, em Lavras-MG, e da Cooperativa COMIGO, em Rio Verde-GO.

Lavras está situada no sul de Minas Gerais, com 21° 14' latitude sul, 40° 17' de longitude oeste, altitude de 918 m, clima Cwb (KOPPEN), tem precipitação anual média de 1530 mm e temperatura anual média de 19,14 °C. O solo do local do experimento é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, fase cerrado.

Rio Verde localiza-se a sudoeste de Goiás, com 17° 47' de latitude sul, 50° 55' de longitude oeste e altitude de 740 m, com temperaturas médias anuais oscilando entre 23 e 24°C, com uma precipitação de 1656 mm durante o período de condução do experimento, tendo uma média mensal de 223 mm. O solo é do tipo latossolo vermelho-roxo distrófico, fase cerrado.

### **3.3 Condução dos experimentos**

Os 90 híbridos S<sub>2</sub> obtidos, mais as dez testemunhas foram avaliados em delineamento experimental látice triplo 10 x 10. Em Lavras o experimento foi instalado no dia 15 de novembro de 2002, em cultivo mínimo e em sucessão à cultura da batata; as parcelas experimentais foram constituídas de duas linhas com três metros de comprimento, espaçadas de 0,80 m. Na semeadura foram colocadas 10 sementes por metro linear e após 25 dias realizou-se o desbaste, deixando-se cinco plantas por metro linear, o equivalente a 62.500 plantas ha<sup>-1</sup>.

A adubação de plantio foi de 400 kg ha<sup>-1</sup> da formulação comercial 08-28-16 (NPK + Zn), a adubação de cobertura foi realizada imediatamente após o desbaste, utilizando uma dosagem de 200 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio. Os demais tratos culturais, tais como controle de plantas invasoras e de pragas, foram os normalmente utilizados para a cultura do milho nesta região, sendo a colheita realizada no dia 30 de abril de 2003.

O experimento em Rio Verde foi conduzido pela cooperativa COMIGO, sendo semeado dia 22 de novembro de 2002, em sistema de plantio direto, numa área cultivada anteriormente com soja. A parcela experimental foi constituída de uma linha de quatro metros, espaçada de 0,90 entre linhas, permanecendo cinco plantas por metro linear após o desbaste, o equivalente a 55.555 plantas ha<sup>-1</sup>. A adubação de plantio foi de 400 kg ha<sup>-1</sup> da formulação comercial 08-22-18 (NPK). A adubação de cobertura foi com o equivalente a 180 kg ha<sup>-1</sup> de uréia. Os demais tratos culturais foram os normalmente utilizados para a cultura do milho neste município. A colheita foi realizada dia 22 de maio de 2003.

### **3.4 Características avaliadas**

Nos dois locais, os seguintes caracteres foram considerados:

- a) altura de plantas e altura de espigas. No experimento de Lavras foram consideradas alturas de dez plantas ao acaso na parcela e em Rio Verde, uma amostra de cinco plantas. Para altura de plantas a medição foi feita da interface do solo até a inserção do pendão e para altura de espigas, foi medida da interface solo até o nó da espiga superior;
- b) estande: realizado antes da colheita, contando-se o número total de plantas em cada parcela;
- c) teor de umidade dos grãos;

d) porcentagem de espigas sadias: realizada logo após a colheita, quando eram contadas todas as espigas da parcela que não apresentavam nenhum dano causado pelo ataque de doenças, sobre o número total de espigas;

e) peso de espigas despalhadas em g parcela<sup>-1</sup>.

A produtividade de espigas despalhadas em kg ha<sup>-1</sup>, corrigida para umidade de 13% (PEDC), foi obtido pelo seguinte estimador:

$$PEDC = PED \left( \frac{100 - U}{87} \right),$$

em que:

*PEDC*: peso de espigas despalhadas corrigido para 13% de umidade;

*PED*: peso das espigas despalhadas por ocasião da colheita;

*U*: teor de umidade das espigas despalhadas em cada parcela.

### 3.5 Análises de variância dos dados

Inicialmente, os dados foram submetidos aos testes de aditividade do modelo, normalidade dos erros e homogeneidade de variâncias. Como não ocorreu nenhuma restrição às pressuposições da análise de variância, realizou-se a mesma por local e, posteriormente, a análise conjunta de acordo com Ramalho et al. (2000).

O modelo matemático, considerando as análises individuais, foi:

$$Y_{qvk} = m + t_q + r_v + b_{k(v)} + e_{qvk},$$

em que:

- $Y_{qvk}$ : observação relativa ao tratamento q, no bloco k, dentro da repetição v;  
 m: média geral do experimento;  
 $t_q$ : efeito do tratamento q ( $q = 1, 2, \dots, 100$ );  
 $r_v$ : efeito da repetição v ( $v = 1, 2, 3$ );  
 $b_{k(v)}$ : efeito do bloco k, na repetição v ( $k = 1, 2, \dots, 10$ );  
 $e_{qvk}$ : erro experimental, tendo,  $e_{qvk} \cap N(0, \sigma_e^2)$ ;

O esquema da análise da variância, com as respectivas esperanças dos quadrados médios, é apresentada na Tabela 2.

TABELA 2. Esquema da análise de variância individual com as esperanças dos quadrados médios [ E(QM)]

| Fontes de Variação          | GL              | QM             | E(QM)                      |
|-----------------------------|-----------------|----------------|----------------------------|
| Tratamentos (T)             | GL <sub>1</sub> | Q <sub>1</sub> | -                          |
| Híbridos S <sub>2</sub> (H) | GL <sub>2</sub> | Q <sub>2</sub> | $\sigma_e^2 + 3\sigma_G^2$ |
| Testemunhas (Te)            | GL <sub>3</sub> | Q <sub>3</sub> | -                          |
| H vs. Te                    | GL <sub>4</sub> | Q <sub>4</sub> | -                          |
| Erro efetivo                | GL <sub>5</sub> | Q <sub>5</sub> | $\sigma_e^2$               |

$\sigma_e^2$ : variância do erro experimental;

$\sigma_G^2$ : variância genética entre os híbridos S<sub>2</sub>.

O modelo matemático, considerado nas análises de variância conjunta para cada um dos caracteres, foi:

$$Y_{qs} = m + t_q + l_s + tl_{(qs)} + e_{qs},$$

em que:

- $y_{qs}$ : observação relativa ao tratamento q, dentro do local s;  
 m: média geral dos dois experimentos;  
 $t_q$ : efeito do tratamento q, ( $q = 1, 2, \dots, 100$ );  
 $l_s$ : efeito do local s: ( $s = 1, 2$ );  
 $tl_{(qs)}$ : efeito da interação do tratamento q com o local s;  
 $e_{qs}$ : erro experimental médio;

### 3.6 Estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos

A partir das esperanças dos quadrados médios, apresentados nas Tabelas 2 e 3, foram obtidas as seguintes estimativas:

i) variância genética entre os híbridos  $S_2$  no local s ( $\hat{\sigma}_{G_s}^2$ )

$$\sigma_{G_s}^2 = \frac{(Q_2 - Q_5)}{3}.$$

A partir das expressões apresentadas por Barbin (1993), foram estimados os limites superiores e inferiores dos intervalos de confiança

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

em que:

IC: intervalo de confiança;

$\alpha$ : nível de probabilidade (5%);

GL: número de graus de liberdade associados ao componente da variância genética, obtido segundo Satterthwaite (1946):

$$GL = \frac{(Q_2 - Q_5)^2}{\frac{(Q_2)^2}{GL_2} + \frac{(Q_5)^2}{GL_5}}.$$

ii) variância fenotípica entre os híbridos S<sub>2</sub> por local ( $\hat{\sigma}_{F_s}^2$ )

$$\sigma_{F_s}^2 = \frac{Q_2}{3}.$$

iii) herdabilidade no sentido amplo para a seleção entre híbridos por local. Foi obtida de acordo com a expressão apresentada por de Vencovsky & Barriga (1992):

$$h_s^2 = \frac{\hat{\sigma}_G^2}{\hat{\sigma}_F^2} \times 100$$

Utilizando a metodologia de Knapp et al. (1985), foram estimados os limites superior e inferior para herdabilidade por meio do seguinte estimador:

$$LI = \left\{ 1 - \left[ \left( \frac{Q_2}{Q_5} \right) F_{1-\frac{\alpha}{2}; GL_5, GL_2} \right]^{-1} \right\};$$

$$LS = \left\{ 1 - \left[ \left( \frac{Q_2}{Q_5} \right) F_{\frac{\alpha}{2}; GL_5, GL_2} \right]^{-1} \right\}.$$

iv) coeficientes de variação genético (CV<sub>G</sub>) por local, estimado por meio do seguinte estimador:

$$CV_G = \frac{100\sqrt{\sigma_{G_s}^2}}{\bar{x}},$$

sendo  $\bar{x}$  a média geral dos híbridos S<sub>2</sub>.

Como o efeito de locais é fixo, não é possível isolar a variância genética sem a interação a partir das esperanças dos quadrados médios. Assim, para se estimar essas variâncias sem a presença das respectivas interações, elas foram estimadas pela covariância entre o desempenho médio dos híbridos S<sub>2</sub> nos dois locais.

As estimativas da herdabilidade, coeficiente de variação genético e dos intervalos de confiança para variância genética e herdabilidade foram obtidas de maneira semelhante às estimativas por local.

### 3.7 Análises dialélicas

As análises do dialelo circulante foram feitas com as médias ajustadas, utilizando modelo de Griffing (1956) para CGC e CEC de acordo com Cruz & Regazzi (2001).

O modelo matemático utilizado foi:

$$Y_{ij} = m + g_i + g_j + s_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij},$$

em que:

$Y_{ij}$ : média da observação associada à combinação híbrida  $ij$  ( $i \neq j$ ) ou ao  $i$ -ésimo genitor ( $i = j$ );

$m$ : média geral;

$g_i$  e  $g_j$ : efeitos da capacidade geral de combinação dos pais de ordem  $i$  e  $j$ , respectivamente;

$s_{ij}$ : efeitos da capacidade específica de combinação;

$\bar{\epsilon}_{ij}$ : erro experimental médio.

Para esse modelo foram assumidas as seguintes restrições:

$$\sum_i \hat{g}_i = 0;$$

$\sum_{j(i)} \hat{s}_{ij} = 0$  Para cada  $i$ , neste somatório tem-se:  $j=k+i, k+i+1, \dots, k+i-1+s$   
 $(1 \leq j \leq p)$ .

A análise dialéctica conjunta foi realizada segundo o modelo utilizado por Gonçalves (1987):

$$Y_{ijk} = m + g_i + g_j + s_{ij} + l_k + lg_{ik} + lg_{jk} + ls_{ijk} + \bar{\epsilon}_{ijk},$$

em que:

$Y_{ijk}$ : média da observação associada à combinação híbrida  $ij$  ( $i \neq j$ ) ou ao  $i$ -ésimo genitor ( $i = j$ ) nos dois locais;

$m$ : média geral;

$g_i$  e  $g_j$ : efeitos da capacidade geral de combinação dos pais de ordem  $i$  e  $j$ , respectivamente;

$s_{ij}$ : efeitos da capacidade específica de combinação;

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

$lg_{ik}$  e  $lg_{jk}$ : efeitos da interação da capacidade geral de combinação dos genitores  $i$  e  $j$  com o  $k$  i-ésimo local;

$ls_{ijk}$ : efeitos da interação da capacidade específica de combinação dos genitores  $i$  e  $j$  com o  $k$  i-ésimo local;

$\bar{\epsilon}_{ijk}$ : erro experimental médio.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo das análises de variância do experimento conduzido em Lavras é apresentado na Tabela 1A e em Rio Verde, na Tabela 2A. Verifica-se que a eficiência do látice variou entre as características. A maior eficiência foi para o caráter altura de plantas em Rio Verde. Para a fonte de variação tratamentos, as diferenças foram significativas ( $P \leq 0,05$ ), exceto para porcentagem de espigas sadias em Rio Verde. Resultado idêntico foi observado entre os híbridos  $S_2$ , indicando que eles diferiram para a maioria dos caracteres avaliados. As dez testemunhas avaliadas diferiram para o peso de espigas despalhadas nos dois locais. Para esse mesmo caráter, o contraste híbridos  $S_2$  vs. testemunhas foi significativo apenas em Lavras, indicando que apenas nesse local a média dos híbridos  $S_2$  diferiram dos híbridos comerciais (Tabelas 1A e 2A).

Os resultados referentes à análise dialélica por local, pelo método de Griffing (1956), também estão apresentadas nas Tabelas 1A e 2A. Verifica-se, para todas as características, que a capacidade geral de combinação (CGC) foi significativa. Já a capacidade específica de combinação (CEC) diferiu entre os locais e os caracteres. Contudo, para o peso de espigas despalhadas, o teste de F da CEC foi significativo ( $P \leq 0,01$ ) em ambos os locais de avaliação dos híbridos.

Os resumos das análises de variância conjunta estão apresentados na Tabela 4. Inicialmente é necessário enfatizar que o sucesso na avaliação de progênies ou híbridos é diretamente dependente da precisão experimental. No presente caso, a precisão, avaliada pelo coeficiente de variação (CV), para a maioria dos caracteres foi boa. Os valores obtidos estão dentro dos limites que são normalmente relatados na literatura, com a cultura do milho, em

experimentos semelhantes (Scapin et al., 1995; Araújo, 2000; Cabrera, 2001; Fuzatto, 2003; Carvalho et al., 2003)

TABELA 4. Resumo das análises de variância conjunta dos experimentos conduzidos em Lavras e Rio Verde, no ano agrícola 2002/03 para as características altura de plantas (AP), altura de espigas (AE), porcentagem de espigas sadias (ES) e produtividade de espigas despalhadas (PEDC).

| FV                  | QUADRADO MÉDIO |                      |                      |                      |                             |
|---------------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|
|                     | GL             | AP (cm)              | AE (cm)              | ES (%)               | PEDC (kg ha <sup>-1</sup> ) |
| Trat.(T)            | 99             | 895,11 **            | 698,63 **            | 215,17 **            | 11874381,13 **              |
| HS <sub>2</sub> (H) | 89             | 884,36 **            | 727,16 **            | 226,29 **            | 11636965,00 **              |
| CGC                 | 59             | 1116,11 **           | 876,05 **            | 261,04 *             | 13653076,50 *               |
| CEC                 | 30             | 428,60 <sup>ns</sup> | 434,50 <sup>ns</sup> | 157,86 <sup>ns</sup> | 7672054,50 <sup>ns</sup>    |
| Test(Te)            | 9              | 1099,12 **           | 492,00 **            | 129,00 <sup>ns</sup> | 13381176,10 **              |
| H vs, Te            | 1              | 15,94 <sup>ns</sup>  | 19,09 <sup>ns</sup>  | 1,30 <sup>ns</sup>   | 19443261,74 <sup>ns</sup>   |
| Locais(L)           | 1              | 501228,31 **         | 275928,95 **         | 81,50 **             | 1724466144,88 **            |
| T x L               | 99             | 218,79 **            | 172,40 **            | 97,61 <sup>ns</sup>  | 5861631,71 **               |
| H x L               | 89             | 200,10 **            | 151,29 *             | 95,10 <sup>ns</sup>  | 5537058,57 **               |
| CGC XL              | 59             | 169,99 **            | 168,48 **            | 110,63 <sup>ns</sup> | 6144372,50 **               |
| CEC XL              | 30             | 254,64 **            | 124,96 *             | 67,09 <sup>ns</sup>  | 4343733,50 **               |
| Te. XL              | 9              | 396,33 **            | 354,76 **            | 122,27 <sup>ns</sup> | 8907307,08 **               |
| H vs. Te x L        | 1              | 284,34 <sup>ns</sup> | 409,95 *             | 99,06 <sup>ns</sup>  | 7337562,80 <sup>ns</sup>    |
| ERRO                | 342†           | 108,85               | 73,90                | 120,24               | 2382489,50                  |
| CV (%)              |                | 3,79                 | 6,04                 | 6,51                 | 15,31                       |
| Média               |                | 225,37               | 125,65               | 87,56                | 9127,70                     |

\*, \*\* Significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, HS<sub>2</sub>: Híbridos S<sub>2</sub>, Test.: testemunhas,, Trat.: tratamentos,

† para PEDC 369 graus de liberdade

Foram constatadas diferenças significativas ( $P \leq 0,01$ ) entre os locais para todos os caracteres (Tabela 4). Em Lavras, as plantas foram mais altas e apresentaram produtividade média de espigas de 45,6% superior à obtida em Rio Verde (Tabelas 5 e 6). Alguns fatores podem contribuir para essa diferença. O principal deles é provavelmente, as condições climáticas de Lavras, a qual, por ter uma altitude maior, tem temperaturas, principalmente noturnas, mais amenas. Segundo Fancelli & Dourado Neto (2000), temperaturas elevadas prevaescentes no período noturno ( $> 24^{\circ}C$ ) promovem um consumo energético elevado, em função do incremento da respiração celular, ocasionando menor saldo de fotoassimilados, com conseqüente queda no rendimento da cultura do milho. Além do mais, a ocorrência de patógenos é mais freqüente em Rio Verde (Araújo, 2000).

Nas tabelas 5 e 6, estão apresentadas ainda o teste de Scott & Knott (1974) para as testemunhas. Em relação a Lavras, as médias para peso de espigas despalhadas foram separadas em dois grupos, sendo o híbrido experimental 1 superior as demais testemunhas, com respeito a análise conjunta, observa-se que o híbrido experimental 1 foi superior a testemunha comercial P-30K75 e esta superior aos demais híbridos destacando o potencial dos híbridos  $S_2$  em produzir genótipos superiores a híbridos comerciais com ampla aceitação comercial. Com respeito as a porcentagem de espigas sadias, com base na análise conjunta, verifica-se que todas as testemunhas apresentaram o mesmo comportamento.

TABELA 5. Médias para as características peso de espigas despalhadas (PEDC) e porcentagem de espigas sadias (ES), com base nas análises de Lavras, Rio verde e conjunta, na safra 2002/2003.

|                                   | PEDC (t ha <sup>-1</sup> ) |           |          | ES (%) |           |          |
|-----------------------------------|----------------------------|-----------|----------|--------|-----------|----------|
|                                   | Lavras                     | Rio Verde | Conjunta | Lavras | Rio Verde | Conjunta |
| EXP1 <sup>1/</sup>                | 17,16a *                   | 8,99a     | 13,08a   | 88,71b | 91,76a    | 90,24a   |
| EXP2 <sup>1/</sup>                | 12,07b                     | 8,25a     | 10,16c   | 94,89b | 84,50a    | 89,70a   |
| EXP3 <sup>1/</sup>                | 11,59b                     | 4,36b     | 7,98c    | 90,83b | 83,09a    | 86,96a   |
| P-30K75 <sup>2/</sup>             | 12,15b                     | 9,64a     | 10,89b   | 95,79b | 88,97a    | 92,38a   |
| A-2555 <sup>2/</sup>              | 10,42b                     | 8,25a     | 9,34c    | 88,31b | 92,12a    | 90,22a   |
| Z-8420 <sup>2/</sup>              | 11,13b                     | 7,14a     | 9,13c    | 87,31a | 88,32a    | 87,82a   |
| DKB-901 <sup>2/</sup>             | 10,03b                     | 7,88a     | 8,95c    | 91,06a | 90,92a    | 90,99a   |
| AG-9012 <sup>2/</sup>             | 9,40b                      | 9,00a     | 9,20c    | 72,66a | 85,48a    | 79,07a   |
| C-435 <sup>2/</sup>               | 10,99b                     | 5,10b     | 8,04c    | 89,18a | 70,20a    | 79,69a   |
| C-333B <sup>2/</sup>              | 12,01b                     | 7,79a     | 9,90c    | 94,11b | 85,69a    | 89,90a   |
| TEST <sup>3/</sup>                | 11,69                      | 7,64      | 9,67     | 89,28  | 86,10     | 87,70    |
| HÍB. S <sub>2</sub> <sup>4/</sup> | 10,73                      | 7,41      | 9,07     | 87,77  | 87,31     | 87,54    |
| GERAL                             | 10,82                      | 7,43      | 9,13     | 87,92  | 87,19     | 87,56    |

<sup>1/</sup> Híbridos experimentais; <sup>2/</sup> Híbridos comerciais; <sup>3/</sup> Testemunhas; <sup>4/</sup> Híbridos S<sub>2</sub>;

\*Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

TABELA 6. Médias para as características altura de plantas (AP) e altura de espigas (AE), com base na análise de Lavras, Rio verde e conjunta, na safra 2002/2003.

|                                   | AP (m)  |           |          | AE (m) |           |          |
|-----------------------------------|---------|-----------|----------|--------|-----------|----------|
|                                   | Lavras  | Rio Verde | Conjunta | Lavras | Rio Verde | Conjunta |
| EXP1 <sup>1/</sup>                | 2,85a * | 2,15a     | 2,50a    | 1,72a  | 1,13a     | 1,42a    |
| EXP2 <sup>1/</sup>                | 2,62b   | 2,02a     | 2,32b    | 1,44c  | 1,07a     | 1,25c    |
| EXP3 <sup>1/</sup>                | 2,73a   | 1,99a     | 2,36b    | 1,64a  | 1,07a     | 1,35a    |
| P-30K75 <sup>2/</sup>             | 2,37c   | 1,96a     | 2,17c    | 1,33c  | 1,06a     | 1,19c    |
| A-2555 <sup>2/</sup>              | 2,65b   | 2,05a     | 2,35b    | 1,52b  | 1,08a     | 1,30b    |
| Z-8420 <sup>2/</sup>              | 2,35c   | 1,94a     | 2,14c    | 1,34c  | 1,16a     | 1,25c    |
| DKB-901 <sup>2/</sup>             | 2,16c   | 1,94a     | 2,05c    | 1,17c  | 1,03a     | 1,10c    |
| AG-9012 <sup>2/</sup>             | 2,35c   | 1,91a     | 2,13c    | 1,34c  | 1,03a     | 1,18c    |
| C-435 <sup>2/</sup>               | 2,59b   | 1,99a     | 2,29b    | 1,47b  | 1,06a     | 1,27b    |
| C-333B <sup>2/</sup>              | 2,61b   | 1,95a     | 2,28b    | 1,54b  | 1,05a     | 1,30b    |
| TEST <sup>3/</sup>                | 2,53    | 1,99      | 2,26     | 1,45   | 1,07      | 1,26     |
| HÍB. S <sub>2</sub> <sup>4/</sup> | 2,54    | 1,96      | 2,25     | 1,47   | 1,05      | 1,26     |
| GERAL                             | 2,54    | 1,96      | 2,25     | 1,47   | 1,04      | 1,26     |

<sup>1/</sup> Híbridos experimentais; <sup>2/</sup> Híbridos comerciais; <sup>3/</sup> Testemunhas; <sup>4/</sup> Híbridos S<sub>2</sub>;

\*Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Para todos os caracteres detectou-se diferença significativa entre os tratamentos. Na decomposição dessa fonte de variação, constatou-se que o contraste híbridos vs. testemunhas não foi significativo para nenhum dos caracteres avaliados, ou seja em média, o desempenho dos híbridos S<sub>2</sub> foi semelhante ao das testemunhas (Tabela 4). Como a maior parte das testemunhas são híbridos com grande aceitação comercial, fica evidenciado o potencial dos híbridos S<sub>2</sub> obtidos. Destaca-se o fato de que os híbridos S<sub>2</sub> são originados de populações derivados de híbridos simples. A utilização de híbridos simples para a extração de linhagens já tem sido realçada em outros trabalhos conduzidos na região (Lima et al., 2000; Raposo, 2002; Bison et al., 2003). A vantagem do emprego de híbridos simples é porque eles já foram amplamente testados e,

portanto, apresentam médias altas, e como grande parte dos locos estão em heterozigose, a segregação obtida será alta. Assim, é esperado que eles associem média alta e a maior variância genética possível.

Ocorreram diferenças significativas entre as testemunhas (Tabela 4). A diferença entre elas é evidenciada nas Tabelas 5 e 6. Veja que o peso de espigas, por exemplo, variou em Lavras de 9,4 t ha<sup>-1</sup>, para o híbrido simples AG-9012, a 17,16 t ha<sup>-1</sup> para o híbrido experimental 1. Em Rio Verde, os resultados não foram coincidentes com os observados em Lavras, o que foi realçado pela significância da interação testemunhas x locais. Contudo, o híbrido experimental 1 continuou sendo um dos mais produtivos. Já o AG-9012 esteve também entre os de melhores performance em Rio Verde, sendo esta uma das razões da interação. Destaca-se o fato de que o híbrido experimental 1 apresentou também as maiores médias de altura de plantas e de espigas (Tabela 6). Vale salientar que esse híbrido é também oriundo de progênies S<sub>2</sub>, que se destacou em avaliações anteriores (Carvalho et al., 2003)

Constatou-se que ocorreram diferenças significativas ( $P \leq 0,01$ ) entre os híbridos S<sub>2</sub> para todos os caracteres. A existência de variabilidade era esperada, haja vista que as três populações eram derivadas de híbridos simples de três empresas privadas diferentes e, portanto, provavelmente sem parentesco nas linhagens parentais. No caso de um híbrido simples, os locos que controlam os diferentes caracteres podem ocorrer em três situações. Podem estar fixados com alelos favoráveis ( $p=1$ ), fixados com alelos desfavoráveis ( $p=0$ ) ou em heterozigose, com frequência dos alelos igual a 0,5 ( $P=0,5$ ). A segregação observada entre os híbridos S<sub>2</sub> evidencia que, como era esperado, uma grande frequência dos locos estão em heterozigose. Esse fato foi também realçado por meio da grande depressão por endogamia observada com esses híbridos anteriormente (Lima et al., 2000; Souza Sobrinho et al., 2002)

As diferenças entre os tratamentos nos quais grande parte é devida aos híbridos S<sub>2</sub>, para o peso de espigas despalhadas, detectada na análise de variância, é comprovada nas distribuições de frequência apresentadas na Figura 1. Observa-se, para Lavras, que a variação foi de 4,6 a 17,2 t ha<sup>-1</sup>, e para Rio Verde, de 3,6 a 10,0 t ha<sup>-1</sup>. Novamente fica realçado o potencial dos híbridos S<sub>2</sub>, haja vista que alguns deles apresentaram comportamento superior aos melhores híbridos simples elites no mercado (Tabela 5).

Verifica-se que as estimativas da variância genética ( $\sigma^2_G$ ) entre os híbridos S<sub>2</sub> foram na maioria dos casos altas, especialmente em Lavras. É importante salientar que as estimativas do limite inferior da  $\sigma^2_G$  foram sempre positivas, indicando que elas podem ser consideradas diferentes de zero em todos os casos. Além do mais, as amplitudes de variação não foram altas, indicando que a precisão na obtenção da variância genética entre os híbridos foi boa (Tabelas 7, 8 e 9).

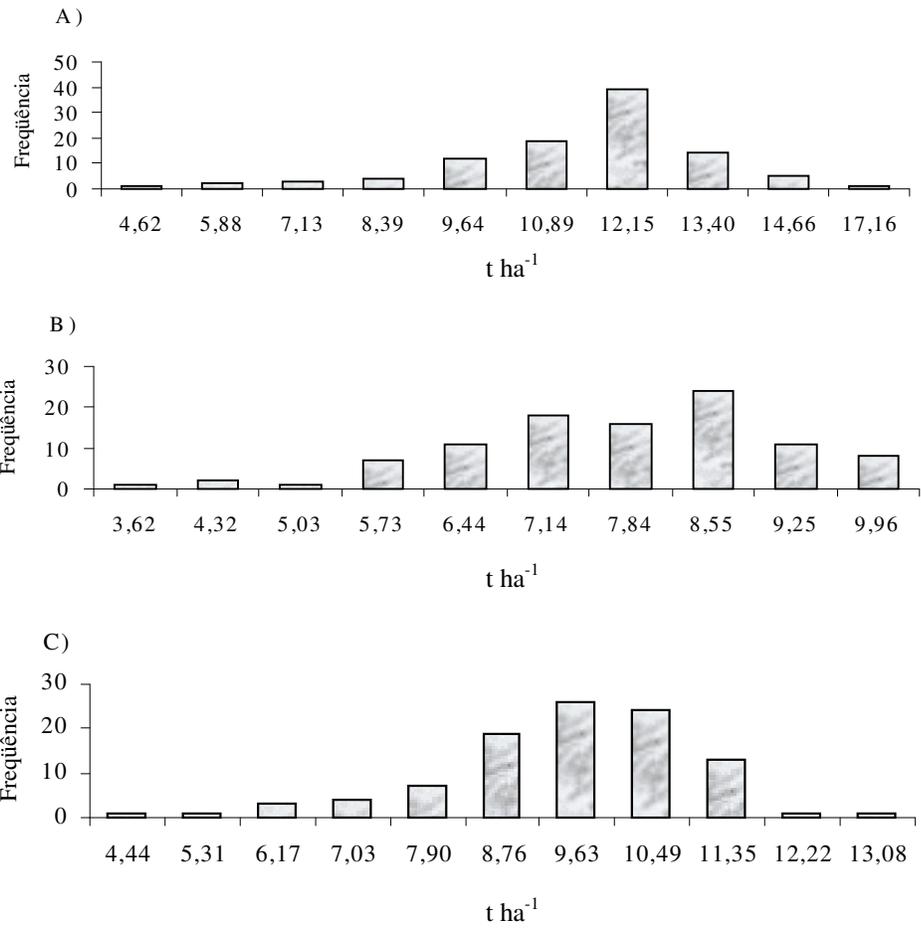


FIGURA 1. Distribuição de frequências para produtividade de espigas despalhadas ( $t\ ha^{-1}$ ) da avaliação dos 90 híbridos  $S_2$  e das 10 testemunhas, para Lavras (A), Rio Verde (B) e conjunta (C), na safra 2002/03.

TABELA 7. Estimativa da variância fenotípica ( $\sigma^2_F$ ), variância genética ( $\sigma^2_G$ ), herdabilidade ( $h^2$ ) e coeficiente de variação genético (C.V<sub>G</sub>) para as características: altura de plantas (AP); altura de espigas (AE); porcentagem de espigas sadias (ES) e produtividade de espigas despalhadas (PEDC), obtidas em Lavras, safra 2002/03.

|                      | AP (cm) | AE (cm) | ES (%) | PEDC (kg ha <sup>-1</sup> ) |
|----------------------|---------|---------|--------|-----------------------------|
| $\sigma^2_F$         | 255,11  | 208,26  | 61.47  | 3872488,76                  |
| $\sigma^2_G$         | 225,83  | 191,12  | 19.24  | 3236827,34                  |
| LI <sup>1/</sup>     | 168,54  | 144,18  | 7.48   | 2453935,22                  |
| LS <sup>2/</sup>     | 318,31  | 265,92  | 70.88  | 4806476,62                  |
| $h^2$ (%)            | 88,52   | 91,77   | 31.30  | 83,59                       |
| LI <sup>1/</sup> (%) | 83,30   | 88,03   | 0.05   | 76,12                       |
| LS <sup>2/</sup> (%) | 91,94   | 94,22   | 51.76  | 88,47                       |
| C.V <sub>G</sub> (%) | 5,91    | 9,40    | 4.99   | 16,62                       |

LI<sup>1/</sup>: limite inferior; LS<sup>2/</sup> limite superior

TABELA 8. Estimativa da variância fenotípica ( $\sigma^2_F$ ), variância genética ( $\sigma^2_G$ ), herdabilidade ( $h^2$ ) e coeficiente de variação genético (C.V<sub>G</sub>) para as características: altura de plantas (AP); altura de espigas (AE); porcentagem de espigas sadias (ES) e produtividade de espigas despalhadas (PEDC), obtidas em Rio Verde, Safra 2002/03

|                      | AP (cm) | AE (cm) | ES (%) | PEDC (kg ha <sup>-1</sup> ) |
|----------------------|---------|---------|--------|-----------------------------|
| $\sigma^2_F$         | 106,34  | 84,56   | 45.65  | 1852187,76                  |
| $\sigma^2_G$         | 63,06   | 52,43   | 7.72   | 899522,84                   |
| LI <sup>1/</sup>     | 39,74   | 33,73   | 1.05   | 246637,86                   |
| LS <sup>2/</sup>     | 113,22  | 91,25   | 154.47 | 944895,72                   |
| $h^2$ (%)            | 59,30   | 62,01   | 16.92  | 48,57                       |
| LI <sup>1/</sup> (%) | 40,79   | 44,73   | -20.87 | 25,18                       |
| LS <sup>2/</sup> (%) | 71,34   | 73,25   | 41.66  | 63,78                       |
| C.V <sub>G</sub> (%) | 4,04    | 6,95    | 3.19   | 12,76                       |

LI<sup>1/</sup>: limite inferior; LS<sup>2/</sup> limite superior

TABELA 9. Estimativa da variância fenotípica ( $\sigma^2_F$ ), variância genética ( $\sigma^2_G$ ), herdabilidade ( $h^2$ ) e coeficiente de variação genético (C.V.G) para as características: altura de plantas (AP), altura de espigas (AE), porcentagem de espigas sadias (ES) e produtividade de espigas despalhadas (PEDC) obtidas da média de Lavras e Rio Verde, Safra 2002/03.

|                      | AP (cm) | AE (cm) | ES (%) | PEDC (kg ha <sup>-1</sup> ) |
|----------------------|---------|---------|--------|-----------------------------|
| $\sigma^2_F$         | 147.39  | 121.19  | 37.71  | 1939494.17                  |
| $\sigma^2_G$         | 114,04  | 95,98   | 20,01  | 1016651,07                  |
| LI <sup>1/</sup>     | 76.79   | 64.93   | 13.41  | 545095.89                   |
| LS <sup>2/</sup>     | 172.36  | 144.51  | 41.56  | 2087657.64                  |
| $h^2$ (%)            | 77,37   | 79,20   | 53,06  | 52,42                       |
| LI <sup>1/</sup> (%) | 62.74   | 64.29   | 35.02  | 24.13                       |
| LS <sup>2/</sup> (%) | 83.50   | 84.19   | 71.23  | 66.41                       |
| C.V.G (%)            | 4,75    | 7,78    | 5,11   | 11,12                       |

LI<sup>1/</sup>: limite inferior; LS<sup>2/</sup> limite superior

As mesmas observações anteriores são válidas para as estimativas da herdabilidade ( $h^2$ ), com exceção da estimativa do limite inferior da  $h^2$  que foi negativa para o caráter porcentagem de espigas sadias quando avaliado em Rio Verde. Nota-se que, em Lavras, para os caracteres peso de espigas e altura de plantas e de espigas a  $h^2$  foi superior a 80%. Na média dos dois ambientes, as estimativas da  $h^2$  foram ligeiramente inferiores às obtidas em Lavras; porém, mesmo assim de grande magnitude. A herdabilidade da produção de espigas despalhadas, por exemplo, foi superior a 52%. Deve ser ressaltado que nesse caso a herdabilidade é no sentido amplo, pois no numerador da expressão está incluída a variância genética aditiva relacional e também a de dominância (Souza Jr., 1992). Esse autor mostra que a variância genética entre híbridos S<sub>2</sub> contém  $0,375 \sigma^2_{A12}$ ,  $0,375 \sigma^2_{A21}$  e  $0,5625 \sigma^2_{D12}$ , em que  $\sigma^2_{A12}$  e  $\sigma^2_{A21}$  são as variâncias genéticas aditivas interpopulacionais liberadas entre as linhagens S<sub>2</sub> da população 1, quando cruzada com a 2 e vice-versa; e  $\sigma^2_{D12}$  corresponde à variância genética dominante interpopulacional. Por essa razão, provavelmente

os valores obtidos para  $h^2$  nesse trabalho foram superiores aos relatados por Raposo (2002) e Takeda (1997), que avaliaram famílias de meios-irmãos interpopulacionais, porque, nessa situação, o numerador não contém a variância de dominância. Contudo, as estimativas obtidas são semelhantes às relatadas por Andrade (1995) na avaliação de híbridos  $S_1$  das populações ESALQ-PB1 e SUWAN. O mesmo ocorreu com Araújo (2000) avaliando híbridos  $S_2$  das populações BR-106 e IAPAR-26. Também Dantas (1992) obteve estimativas semelhantes de  $h^2$  para híbridos de progênies interpopulacionais.

A análise dialélica, considerando os dois locais, mostra que o efeito de capacidade geral de combinação foi significativo ( $P \leq 0,01$ ) para todos os caracteres. Já para a capacidade específica de combinação, o mesmo não ocorreu. Todavia, as interações CEC x locais foram significativas, exceto, para a porcentagem de espigas sadias (Tabela 4). Chama a atenção a proporção da soma de quadrados entre os híbridos  $S_2$ , explicada pela CGC, que foi superior a 75% para todas as características avaliadas. A predominância da CGC para explicar o desempenho de híbridos interpopulacionais, como ocorreu nesse trabalho é freqüente na literatura (Andrade, 1995; Araújo, 2000; Cabrera, 2001; Fuzatto, 2003).

As dez maiores estimativas da CGC para peso de espigas despalhadas estão apresentadas na Tabela 10. Como já mencionado, as famílias derivadas da população do AG-9012 foram numeradas de 1 a 20, do C-333B de 21 a 40 e do Z-8392 de 41 a 60. Observa-se que a maioria das famílias com maior CGC são provenientes da população C-333B. Na média dos dois locais, por exemplo, todas as dez famílias foram dessa população. Já quando são consideradas as famílias com menores CGC, estas foram oriundas das populações AG-9012 e Z-8392. Na média dos dois locais, cinco delas foram da AG-9012. Os valores apresentados nas Tabelas 11 e 12 reforçam essa observação. Ressalta-se, em

média, para o peso de espigas despalhadas, os híbridos de S<sub>2</sub> derivadas do C-333B foram os de melhor desempenho, tanto em cruzamentos com o AG-9012 e o Z-8392.

TABELA 10. Relação das 10 maiores (acima da linha tracejada) e das 10 menores (abaixo da linha tracejada) estimativas da CGC (t ha<sup>-1</sup>) de linhagens S<sub>2</sub> de milho referentes às análises dialélicas realizadas em Lavras, Rio Verde e conjunta, na safra 2002/03.

| LAVRAS   |       | RIO VERDE |       | CONJUNTA |       |
|----------|-------|-----------|-------|----------|-------|
| LINHAGEM | CGC   | LINHAGEM  | CGC   | LINHAGEM | CGC   |
| 21       | 5.07  | 37        | 2.91  | 24       | 3.77  |
| 33       | 4.87  | 24        | 2.80  | 37       | 3.59  |
| 27       | 4.84  | 41        | 2.49  | 28       | 3.27  |
| 24       | 4.75  | 42        | 2.38  | 21       | 3.20  |
| 34       | 4.72  | 35        | 2.38  | 35       | 3.18  |
| 31       | 4.60  | 28        | 2.20  | 27       | 3.16  |
| 28       | 4.34  | 26        | 1.94  | 25       | 2.92  |
| 37       | 4.28  | 25        | 1.87  | 32       | 2.67  |
| 32       | 4.27  | 40        | 1.85  | 40       | 2.63  |
| 35       | 3.97  | 39        | 1.59  | 30       | 2.59  |
| 59       | -3.64 | 17        | -1.65 | 5        | -2.29 |
| 57       | -3.74 | 52        | -1.70 | 60       | -2.41 |
| 54       | -3.93 | 14        | -2.03 | 12       | -2.60 |
| 6        | -3.94 | 55        | -2.07 | 51       | -2.64 |
| 13       | -3.96 | 51        | -2.24 | 13       | -2.72 |
| 3        | -4.01 | 59        | -2.37 | 50       | -2.81 |
| 60       | -4.25 | 8         | -2.82 | 59       | -3.00 |
| 8        | -4.53 | 6         | -3.00 | 6        | -3.47 |
| 50       | -4.85 | 12        | -3.14 | 57       | -3.61 |
| 4        | -4.85 | 57        | -3.47 | 8        | -3.68 |

TABELA 11. Médias de todos os cruzamentos envolvendo as populações do AG-9012, C-333B e Z-8392 para os caracteres altura de plantas (AP), altura de espigas (AE), peso de espigas despalhadas (PEDC) e porcentagem de espigas sadias (ES) para Lavras, Rio verde e a média, na safra 2002/03.

| Local     | Caráter                    | Combinações híbridas |                |               |
|-----------|----------------------------|----------------------|----------------|---------------|
|           |                            | AG-9012xC-333B       | AG-9012xZ-8392 | C-333BxZ-8392 |
| Lavras    | AP(m)                      | 2,61                 | 2,50           | 2,52          |
|           | AE(m)                      | 1,58                 | 1,43           | 1,41          |
|           | PEDC(t ha <sup>-1</sup> )  | 11,10                | 9,67           | 11,41         |
|           | ES (%)                     | 86,83                | 87,73          | 88,76         |
| Rio Verde | AP(m)                      | 2,00                 | 1,94           | 1,94          |
|           | AE(m)                      | 1,10                 | 1,02           | 1,00          |
|           | PEDC( t ha <sup>-1</sup> ) | 7,71                 | 7,05           | 7,47          |
|           | ES (%)                     | 87,01                | 86,69          | 88,23         |
| Média     | AP(m)                      | 2,31                 | 2,22           | 2,23          |
|           | AE(m)                      | 1,34                 | 1,22           | 1,20          |
|           | PEDC(t ha <sup>-1</sup> )  | 9,40                 | 8,36           | 9,44          |
|           | ES (%)                     | 86,92                | 87,21          | 88,49         |

TABELA 12. Média geral de todos os híbridos em que as populações do AG-9012, C-333B ou Z-8392 participaram, para os caracteres altura de plantas (AP), altura de espigas (AE), peso de espigas despalhadas (PEDC) e porcentagem de espigas sadias (ES) para Lavras, Rio verde e a média, na safra 2002/03.

| Local     | Caráter                   | Populações |        |        |
|-----------|---------------------------|------------|--------|--------|
|           |                           | AG-9012    | C-333B | Z-8392 |
| Lavras    | AP(m)                     | 2,56       | 2,57   | 2,51   |
|           | AE(m)                     | 1,50       | 1,50   | 1,42   |
|           | PEDC(t ha <sup>-1</sup> ) | 10,38      | 11,25  | 10,54  |
|           | ES(%)                     | 87,28      | 87,79  | 88,24  |
| Rio Verde | AP(m)                     | 1,97       | 1,97   | 1,94   |
|           | AE(m)                     | 1,06       | 1,05   | 1,01   |
|           | PEDC(t ha <sup>-1</sup> ) | 7,38       | 7,59   | 7,26   |
|           | ES(%)                     | 86,85      | 87,62  | 87,46  |
| Média     | AP(m)                     | 2,26       | 2,27   | 2,23   |
|           | AE(m)                     | 1,28       | 1,27   | 1,21   |
|           | PEDC(t ha <sup>-1</sup> ) | 8,88       | 9,42   | 8,90   |
|           | ES(%)                     | 87,06      | 87,71  | 87,85  |

Dos três híbridos comerciais, aqui utilizados para extração das linhagens S<sub>2</sub>, apenas o C-333B continua sendo comercializado. Isso evidencia que há longo tempo esse híbrido mantém performance comparável com as melhores cultivares lançadas até o momento. Esse fato pode ser facilmente observado comparando os resultados da Tabela 5, em que o híbrido simples C-333B foi um dos mais produtivos. Talvez isso explique os resultados obtidos. Nesse caso, como os híbridos derivados das duas populações (AG-9012 e Z-8392) não diferiram quanto a peso de espigas despalhadas (Tabela 11), o ideal seria dar preferência aos cruzamentos entre C-333B e Z-8392, já que este último híbrido tende a formar linhagens que, quando cruzadas, produzem híbridos com menor altura, como já mencionado.

Como foi utilizado um dialelo circulante, em que as linhagens  $S_2$  de uma população eram cruzadas com outra, tem-se uma situação semelhante a um 'topcross'. Isto é, uma população é testadora de outra. Segundo Vencovsky et al. (1988), em um caso como este, para um loco, a CGC é fornecida por:  $CGC = (p_i - \bar{p})[\alpha + (1 - 2\bar{r})\delta]$ , em que  $p_i$  é a frequência do alelo favorável na linhagem  $S_2$  para o referido loco;  $\bar{p}$  é a frequência alélica média da população sob avaliação;  $\bar{r}$  é a frequência alélica média do testador utilizado;  $\alpha$  é o desvio dos locos em homozigose em relação à média e  $\delta$  é o desvio do heterozigoto em relação à média ou efeitos de dominância do genes.

Assim, para se ter uma alta estimativa de CGC é necessário que as frequências alélicas das linhagens  $S_2$  sejam diferentes  $(p_i - \bar{p}) \neq 0$ . A já comentada variabilidade existente entre os híbridos  $S_2$  é uma evidência para esse fato. Além do mais, na cultura do milho já foi evidenciado que tanto os efeitos aditivos como os de dominância são importantes para a manifestação da maioria dos caracteres, especialmente a produção de grãos (Hallauer & Miranda Filho, 1988). Assim, é esperado que o  $\delta$  contribua para a CGC, desde que a frequência alélica média do testador seja inferior a 0,5. No caso de uma população derivada de híbridos  $S_2$ , se não existisse problema de amostragem, os locos que estavam em heterozigose não auxiliariam na seleção para a CGC ( $r=0,5$ ). Assim, poder-se-ia inferir que a população testadora teria maior frequência de locos fixados indesejados quando as linhagens  $S_2$  da população que está sendo testada apresentassem maior CGC ( $r < 0,5$ ), ou seja, as populações utilizadas para testar as progênies  $S_2$  teriam maior frequência de locos com alelos desfavoráveis fixados do que o outro pai. O próprio desempenho 'per se' dos híbridos, como já mencionado, auxilia nessa inferência, pois o C-333B apresentou produtividade de espigas despalhadas

superior ao AG-9012 e foi o que apresentou maiores estimativas de CGC (Tabela 5).

A capacidade específica de combinação, por sua vez, segundo Vencovsky (1987), é fornecida por  $CEC = 2[(\bar{p} - pi)(rj - \bar{r})]\delta$ . Veja que ela depende apenas da interação alélica de dominância e da divergência das duas populações de que foram retiradas as linhagens. No caso, como a CEC foi de pequena magnitude e o  $\delta$  na cultura do milho é diferente de zero, então é provável que em pelo menos uma das populações a divergência seja pequena.

Quando se utiliza o dialelo circulante, não se obtêm todas as combinações híbridas. Entretanto, o desempenho dos híbridos não obtidos podem ser preditos (Miranda Filho & Vencovsky, 1999). Especialmente numa situação como do presente trabalho, em que a CEC foi de menor importância, essas estimativas são mais fidedignas. O desempenho predito dos 10 melhores e piores híbridos está apresentado na Tabela 13. Destaca-se o fato de que as melhores combinações seriam obtidas entre híbridos de  $S_2$  derivadas das populações C-333B, que foram identificadas com os números de 21 a 40, e as piores entre  $S_2$  de AG-9012 e Z-8392, entre si ou quando cruzadas.

TABELA 13. Predição ( $t\ ha^{-1}$ ) dos dez melhores e dos dez piores híbridos, acima e abaixo da linha tracejada, respectivamente, através do cruzamento dos genitores  $i$  e  $j$ , com base na análise dialélica de Lavras, Rio Verde e conjunta na safra 2002/03.

| Lavras |     |                     | Rio verde |     |                     | Conjunta |     |                     |
|--------|-----|---------------------|-----------|-----|---------------------|----------|-----|---------------------|
| $i$    | $j$ | Prod. <sup>IV</sup> | $i$       | $j$ | Prod. <sup>IV</sup> | $i$      | $j$ | Prod. <sup>IV</sup> |
| 21     | 33  | 20.67               | 24        | 37  | 13.12               | 24       | 37  | 16.43               |
| 21     | 27  | 20.63               | 37        | 41  | 12.81               | 24       | 28  | 16.11               |
| 21     | 24  | 20.54               | 37        | 42  | 12.70               | 21       | 24  | 16.04               |
| 21     | 34  | 20.52               | 35        | 37  | 12.70               | 24       | 35  | 16.02               |
| 27     | 33  | 20.43               | 24        | 41  | 12.69               | 24       | 27  | 16.00               |
| 21     | 31  | 20.40               | 24        | 42  | 12.59               | 28       | 37  | 15.93               |
| 24     | 33  | 20.34               | 24        | 35  | 12.59               | 21       | 37  | 15.86               |
| 33     | 34  | 20.32               | 28        | 37  | 12.52               | 35       | 37  | 15.84               |
| 24     | 27  | 20.31               | 24        | 28  | 12.41               | 27       | 37  | 15.82               |
| 27     | 34  | 20.29               | 41        | 42  | 12.27               | 24       | 25  | 15.76               |
| 4      | 6   | 1.93                | 12        | 59  | 1.90                | 13       | 57  | 2.74                |
| 13     | 50  | 1.92                | 55        | 57  | 1.87                | 8        | 13  | 2.67                |
| 4      | 13  | 1.92                | 51        | 57  | 1.70                | 50       | 57  | 2.66                |
| 3      | 50  | 1.87                | 6         | 8   | 1.59                | 6        | 59  | 2.59                |
| 3      | 4   | 1.86                | 57        | 59  | 1.57                | 8        | 50  | 2.58                |
| 50     | 60  | 1.62                | 8         | 12  | 1.45                | 57       | 59  | 2.46                |
| 4      | 60  | 1.62                | 6         | 12  | 1.27                | 8        | 59  | 2.39                |
| 8      | 50  | 1.34                | 8         | 57  | 1.11                | 6        | 57  | 1.99                |
| 4      | 8   | 1.34                | 6         | 57  | 0.94                | 6        | 8   | 1.92                |
| 4      | 50  | 1.02                | 12        | 57  | 0.80                | 8        | 57  | 1.79                |

<sup>IV</sup> produtividade

Todos os resultados obtidos mostram o grande potencial de linhagens parcialmente endogâmicas  $S_2$  na produção de híbridos de milho, como predito por Souza Jr. (1992). Ficou mais uma vez evidenciado que a extração de linhagens em populações derivadas de bons híbridos simples comerciais é uma boa estratégia, concordando com os trabalhos de Bison et al. (2003), Raposo (2002) e Lima et al. (2000). Entretanto, é necessário verificar, a partir das melhores combinações, a viabilidade prática da produção comercial desses

híbridos, principalmente em função das diferenças no desempenho das plantas dentro das famílias parcialmente endogâmicas, as quais podem dificultar o manejo especialmente quando da realização do despendoamento. Seria importante, também, avaliar a variabilidade existente dentro da geração  $F_1$  desses híbridos e suas possíveis implicações no manejo da cultura pelos agricultores. Agora resta verificar a possibilidade de produção comercial de sementes desse tipo de híbrido.

## 5 CONCLUSÕES

As três populações obtidas de híbridos simples comerciais apresentam comportamento distinto para a extração de linhagens. A população derivada do híbrido C-333B se mostrou mais promissora para tal fim.

Foi possível identificar híbridos de linhagens  $S_2$  com desempenho equivalente ou até mesmo superior a bons híbridos comerciais. Esse tipo de híbrido poderá ser uma alternativa, reduzindo o custo de obtenção das linhagens e de produção de sementes híbridas para que um maior contingente de produtores tenham acesso a sementes híbridas de milho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLARD, R. W. **Principles of plant breeding**. 3. ed. New York: John Wiley, 1999. 485 p.

ANDRADE, J. A. C. **Dialelo parcial circulante interpopulacional em milho (*Zea mays* L.) com dois níveis de endogamia dos parentais**. 1995. 134 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

ARAÚJO, P. M. de. **Dialelo parcial circulante interpopulacional e cruzamento "Top-cross" na avaliação de linhagens parcialmente endogâmicas de milho (*Zea mayz* L.)**. 2000. 170 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

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

BERNARDO, R. Correlation between testcross performance of lines at early and late selfing generations. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 82, n. 1, p. 17-21, Feb. 1991.

BISON, O.; RAMALHO, M. A. P.; RAPOSO, F. V. Potencial de híbridos simples de milho para extração de linhagens. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 2, p. 348-355, mar/abr. 2003.

CABRERA, A. C. **Uso de linhagens parcialmente endogâmicas  $S_3$  para a produção de híbridos simples de milho**. 2001. 123 p. Tese (Doutorado em genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

CARDOSO, R. G. **Depressão por endogamia dos componentes de produção em populações e híbridos de milho (*Zea mays* L.)** 1999. 134 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ USP, Piracicaba, SP.

CARLONE, M. R.; RUSSEL, W. A. Evaluation of  $S_2$  maize lines reproduced from several generations by random mating within lines: II. Comparisons of

testcross performance of original and advanced S<sub>2</sub> and S<sub>8</sub> lines. **Crop Science**, Madison, v. 28, n. 6, p. 916-920, Nov./Dec. 1988.

CARVALHO, A. D. F. de; SOUZA, J. C. de, RIBEIRO, P. H. E. Desempenho de híbridos de linhagens parcialmente endogâmicas de milho em regiões dos estados de Roraima e Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 5, p. 985-990, set./out. 2003.

CASTLEBERRY, R. M.; CRUM, C. W.; KRULL, C. F. Genetic yield improvement of U. S. maize cultivars under varying fertility and climatic environments. **Crop Science**, Madison, v. 24, n. 1, p. 33-36, Jan./Feb. 1984.

CROW, J. F. Dominance and Overdominance. In: COORS, J. G.; PANDEY, S. **The genetics and exploitation of heterosis in crops**. Cidade do México: CIMMYT, 1998. p. 49-58.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2001. 390 p.

DANTAS, J. L. L. **Cruzamentos dialélicos parciais para avaliação de híbridos intermediários entre duas populações de milho (*Zea mays* L.)**. 1992. 216 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

DUVICK, D. N. Maize breeding: past, present and future. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 20., 1994, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ABMS/EMGOPA/EMBRAPA-CNPMS/UFG/EMATER-GO, 1994. p. 1-19.

ELIAS, H. T. **Comparação de testadores na avaliação de famílias S<sub>2</sub> de milho (*Zea mays* L.)**. 1997. 61 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4. Ed. Essex, England: Ed. Longman, 1996. 464 p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de Milho**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2000. 360 p.

FU, H.; DOONER, H. K. Intraspecific violation of genetic colinearity and its implications in maize. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 99, n. 14, p. 9573-9578, July 2002.

FUZATTO, S. R. **Dialelo parcial circulante interpopulacional em milho (*Zea mays* L.): efeito do número (s) de cruzamentos**. 2003. 131 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

FUZATTO, S. R.; FERREIRA, D. F.; RAMALHO, M. A. P.; RIBEIRO, P. H. E. Divergência Genética e sua Relação com os Cruzamentos Dialélicos na Cultura do Milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26 n. 1, p. 22-32. jan./fev. 2002.

GONÇALVES, P. S. **Esquema circulante de cruzamentos para avaliação de linhagens de milho (*Zea mays* L.)** ao nível interpopulacional. 1987. 140 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

GOODNIGHT, C. J. Epistasis and the effect of founder events on the additive genetic variance. **Evolution**, Lawrence, 42, n. 2, p. 441-454, Mar./Abr. 1998.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Science**, East Melboun, v. 9, n. 4, p. 463-493, 1956.

HALLAUER, A. R.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. 2. ed. Ames: Iowa State University Press, 1988. 468 p.

HALLAUER, A. R. Method used in developing maize inbreds. **Maydica**, Bergamo, v. 35, n. 1, p. 1-16, Jan./Abr. 1990

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>.> Acesso em: 16 jan. 2004.

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

LANKEY, K. R.; SCHNICKER, B. J.; MELCHINGER, A. E. Epistasis in an elite maize hybrid and choice of generation for inbred line development. **Crop Science**, Madison, v. 35, n. 5, p. 1272-1281, Sep./Oct. 1995.

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

MEDINA, S. A. V. **Avaliação de híbridos simples de milho (*Zea mays* L.) obtidos de linhagens com diferentes graus de endogamia**. 1990. 210 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

MELO, W. M. C. **Divergência genética e capacidade de combinação entre híbridos de milho**. 2000. 73 p. Dissertação (Mestrado em genética e melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MIRANDA FILHO, J. B.; VENCOSKY, R. The partial circulant diallel cross at the interpopulation level. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 22, n. 2, p. 249-255, June 1999.

MIRANDA FILHO, J. B.; VIÉGAS, G. P. Milho híbrido. In: PATERNIANI, E.; VIÉGAS, G. P. (Ed.). **Melhoramento e produção de milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, n. 6, p. 275-340.

PACHECO, C. A. P.; SANTOS, M. X.; CRUZ, C. D. et al. Avaliação da depressão por endogamia em 28 populações elites de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 22., 1998, Recife. **Anais...** Recife, 1998. CD-ROM.

PATERNIANI, E.; CAMPOS, M. S. Melhoramento do Milho. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 1999. p. 429-486.

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

RAPOSO, F. V. **Seleção recorrente recíproca em populações derivadas de híbridos simples de milho**. 2002. 106 p. Doutorado (Tese em genética e Melhoramento de Plantas) Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

ROSINHA, R. O. **Estratégias competitivas e reestruturação da indústria de sementes no Brasil: a análise do segmento do milho**. 2000. 134 p. Dissertação (Mestrado em Mercadologia e Administração Estratégica)- Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

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

SCAPIN, C. A.; CARVALHO, C. G. P.; CRUZ, C. D. Uma proposta de classificação dos coeficientes de variação para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 5, p. 683-686, maio 1995.

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

SILVA FILHO, J. L. **Comportamento de famílias endógamas de milho em dois níveis de nitrogênio**. 1999. 68 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SOUZA JÚNIOR, C. L de. Interpopulation genetic variances and hybrid breeding programs. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 15, n. 3, p. 643-656, mar. 1992.

SOUZA JÚNIOR, C. L. Melhoramento de espécies alógamas. In: NASS, L. L. et al. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento - plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 159-200.

SOUZA SOBRINHO, F.; RAMALHO, M. A. P.; SOUZA, J. C. Alternatives for obtaining double cross maize hybrids. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 1, n. 1, p. 70 - 76, abr. 2002.

STANGLAND, G. R.; RUSSEL, W. A. Variability within single cross S<sub>2</sub> and S<sub>8</sub> inbred lines of maize. **Maydica**, Bergamo, v. 26, n. 4, p. 227-238, 1981.

TAKEDA, C. **Estimativas dos efeitos da seleção recorrente intra e interpopulacional em linhagens de milho (*Zea mays* L.)** 1997. 133 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ USP, Piracicaba.

TROYER, A. F. Background of U. S. hybrid corn. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 3, p. 601-626, May/June 1999.

VASAL, S. K. Approaches and methodology in the development of QPM hybrids. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 15., 1984, Maceió. **Anais...** Brasília: EMBRAPA-DDT, 1986. p. 419-430.

VENCOVSKY, R. Herança Quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIÉGAS, G. **Melhoramento e produção do milho**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 135-214.

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

VENCOVSKY, R.; MIRANDA FILHO, J. B.; SOUZA JÚNIOR, C. L. de. Quantitative genetics and corn breeding in Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON QUANTITATIVE GENETICS, 2., 1987, Raleigh. **Proceedings...** Sunderland: Sinauer Associates, 1988. p. 465-477.

VENCOVSKY, R.; RAMALHO, M. A. P. Contribuição do melhoramento de plantas no Brasil. In: PATERNIANI, E. (Ed.). **Agricultura brasileira e pesquisa agropecuária**. Brasília: EMBRAPA comunicação para transferência de tecnologia, 2000. p. 57-89.

WELLHAUSEN, E. J. Modern corn breeding and production in Mexico. **Phytopatology**, Saint Paul, v. 44, n. 8, p. 391-395, Aug. 1954.

WOLF, D. P.; HALLAUER, A. R. Triple testcross analysis to detect epistasis in maize. **Crop Science**, Madison, v. 37, n. 3, p. 763-770, May/June 1997.

WYCH, R. D. Production of hybrid seed corn. In: SPRAGUE, G. F.; DUDLEY, J. W. (Ed.). **Corn and corn improvement**. 3. ed. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1988. p. 565-605.

## ANEXOS

### Página

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| TABELA 1A | Resumo das análises de variância do experimento conduzido em Lavras, no ano agrícola 2002/2003 para as características altura de plantas (AP), altura de espigas (AE), espigas sadias (ES) e produtividade de espigas despalhadas (PEDC).....     | 55 |
| TABELA 2A | Resumo das análises de variância do experimento conduzido em Rio Verde, no ano agrícola 2002/2003, para as características altura de plantas (AP), altura de espigas (AE), espigas sadias (ES) e produtividade de espigas despalhadas (PEDC)..... | 56 |

TABELA 1A. Resumo das análises de variância do experimento conduzido em Lavras, no ano agrícola 2002/2003 para as características altura de plantas (AP), altura de espigas (AE), espigas sadias (ES) e produtividade de espigas despalhadas (PEDC).

| QUADRADO MÉDIO      |     |                     |                      |                      |                             |
|---------------------|-----|---------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|
| FV                  | GL  | AP (cm)             | AE(cm)               | ES (%)               | PEDC (kg ha <sup>-1</sup> ) |
| Trat (T)            | 99  | 811.04 **           | 635.71 **            | 178.04 *             | 11938464.73 **              |
| HS <sub>2</sub> (H) | 89  | 765.33 **           | 624.79 **            | 184.40 *             | 11617466.28 **              |
| CGC                 | 59  | 909.52 **           | 745.57 **            | 210.15 **            | 13851847.00 **              |
| CEC                 | 30  | 487.40 **           | 387.41 **            | 136.75 <sup>ns</sup> | 7224875.50 **               |
| Test (T)            | 9   | 1344.00 **          | 797.76 **            | 128.04 <sup>ns</sup> | 13626680.47 **              |
| H vs. T             | 1   | 82.99 <sup>ns</sup> | 149.40 <sup>ns</sup> | 61.61 <sup>ns</sup>  | 25313414.83 **              |
| ERRO                | 171 | 87.85               | 51.42                | 126.69               | 1906984.25                  |
| C.V. (%)            |     | 3.69                | 4.88                 | 12.80                | 12.76                       |
| Média               |     | 254,27              | 147,09               | 87,92                | 10823,02                    |
| EL                  |     | 105.89              | 104.58               | 104.02               | 100.94                      |

\*, \*\* Significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, HS<sub>2</sub>: Híbridos S<sub>2</sub>, Test.: testemunhas, EL: eficiência do látice, Trat.: tratamentos,

TABELA 2A. Resumo das análises de variância do experimento conduzido em Rio Verde, no ano agrícola 2002/2003, para as características altura de plantas (AP), altura de espigas (AE), espigas sadias (ES) e produtividade de espigas despalhadas (PEDC)

| FV                  | QUADRADO MÉDIO |           |           |           |                             |
|---------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------------|
|                     | GL             | AP (cm)   | AE(cm)    | ES (%)    | PEDC (kg ha <sup>-1</sup> ) |
| Trat. (T)           | 99             | 302.77 ** | 235.93 ** | 134.72 ns | 5797550.92 **               |
| HS <sub>2</sub> (H) | 89             | 319.03 ** | 253.67 ** | 136.96 ns | 5556563.28 **               |
| CGC                 | 59             | 376.59 ** | 298.95 ** | 161.52 *  | 5945602.00 **               |
| CEC                 | 30             | 195.84 ns | 172.05 *  | 88.20 ns  | 4790912.00 *                |
| Test (Te)           | 9              | 151.48 ns | 49.08 ns  | 123.19 ns | 8663576.80 **               |
| H vs. Te            | 1              | 217.66 ns | 338.55 ns | 39.13 ns  | 1451205.12 ns               |
| ERRO                | 171†           | 129.84    | 96.37     | 113.79    | 2857994.75                  |
| C.V. (%)            |                | 5.80      | 9.42      | 12.23     | 22.75                       |
| Média               |                | 196,47    | 104,20    | 87,19     | 7432,38                     |
| EL                  |                | 111.68    | 103.91    | 101.28    | 0                           |

\*, \*\* Significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, HS<sub>2</sub>: Híbridos S<sub>2</sub>, Test.: testemunhas, EL: eficiência do látice, Trat.: tratamentos, MGe: média geral. † 198 graus de liberdade para o caráter PEDC.