

# EFEITO DA SELEÇÃO MASSAL ESTRATIFICADA EM DUAS POPULAÇÕES DE MILHO E NA HETEROSE DOS SEUS CRUZAMENTOS<sup>1</sup>

AFONSO CELSO CANDEIRA VALOIS<sup>2</sup> e ROLAND VENCovsky<sup>3</sup>

**RESUMO** - O objetivo deste trabalho foi investigar os efeitos da seleção massal estratificada na produção de grãos das populações de milho (*Zea mays* L.), Dente Paulista e Cateto Minas Gerais e no desempenho dos híbridos entre estas populações, em vários ciclos de seleção. O Dente Paulista foi submetido a cinco ciclos de seleção e o Minas Gerais a três ciclos. Os experimentos, no delineamento látice, foram conduzidos em três locais, totalizando quatro diferentes ambientes e 32 repetições. Foram aplicados modelos matemáticos adequados visando estimar e testar o progresso obtido nas variedades e as modificações sofridas pela heterose e pela produção dos híbridos. Os resultados permitiram concluir que a seleção recorrente intrapopulacional aplicada refletiu negativamente sobre a produção de grãos do híbrido interpopulacional nos ciclos mais avançados de seleção.

**Termos para indexação:** melhoramento genético, híbrido intervarietal, seleção recorrente intrapopulacional, desempenho de híbrido, Dente Paulista, Cateto Minas Gerais.

## EFFECTS OF STRATIFIED MASS SELECTION ON TWO CORN POPULATIONS AND ON HETEROISIS OF THEIR CROSSES

**ABSTRACT** - The aim of this research was to investigate the effects of stratified mass selection on two corn (*Zea mays* L.) populations, namely Dente Paulista and Cateto Minas Gerais, and on the performance of the hybrids between these populations in different stages of selection. Dente Paulista was submitted to five cycles of selection and Minas Gerais to three cycles. Yield trials in lattice designs were conducted at three locations totalizing four different environments and thirty-two replications. Appropriate mathematical models were applied for the analysis of yield values and to investigate the effects of selection on heterosis and the changes of hybrid performances. The result showed that the recurrent intrapopulational selection applied reflected negatively on yield of the population crosses in more advanced stages of selection.

**Index terms:** plant breeding, intervarietal hybrids, recurrent intrapopulational selection, hybrid performance, Dente Paulista, Cateto Minas Gerais.

## INTRODUÇÃO

No processo de melhoramento genético em que são utilizadas duas populações simultaneamente, uma das finalidades consiste na obtenção do cruzamento entre elas com o objetivo de aproveitar os efeitos heteróticos. Existem evidências de que, à medida que as populações vão sendo melhoradas, os seus híbridos também tendem a ser cada vez mais produtivos e agronomicamente superiores. Mas esses resultados podem mostrar limitações desde que as populações inicialmente escolhidas

não apresentem médias elevadas de produção, bem como uma estrutura genética adequada para que um progresso considerável possa ser alcançado por ocasião da seleção. O esquema de seleção recorrente é um procedimento comumente utilizado em programas de melhoramento genético do milho, nos quais genótipos selecionados, a partir de populações heterogêneas, são inter cruzados para produzirem novas populações segregantes a serem utilizadas no próximo ciclo de seleção. Ao contrário das seleções do tipo recíproco, a seleção intrapopulacional não exerce controle sobre a heterose, porém tende a se refletir na média do cruzamento ou híbrido das populações. A influência da seleção intrapopulacional no cruzamento das populações é devida aos fatores de aumento na média das populações e à modificação na heterose. Se esta aumentar ou permanecer constante, a média do cruzamento aumentará com a seleção (Lonnquist 1961, Moll & Robinson 1967 e Paterniani 1969). A heterose pode, porém, diminuir, bastando para

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 9 de setembro de 1983.  
Parte de Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", para obtenção do Grau de Mestre.

<sup>2</sup> Eng.<sup>o</sup> Agr.<sup>o</sup>, M.Sc., Dr., Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Supercenter Venâncio 2000, 9<sup>o</sup> andar - CEP 70333 - Brasília, DF.

<sup>3</sup> Eng.<sup>o</sup> - Agr.<sup>o</sup>, Ph.D., EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS), Caixa Postal 151 - CEP 35700 - Sete Lagoas, MG.

tanto que a seleção nas populações reduza a diversidade genética existente entre elas, conforme os trabalhos de Paterniani (1961), Moll et al. (1962), Paterniani & Lonnquist (1963) e Moll et al. (1965). Isso pode ser esperado, pelo menos teoricamente, em programas de seleção a longo prazo. Se tal fato ocorrer, o híbrido das populações melhoradas poderá perder a sua superioridade em relação a, pelo menos, uma das populações.

O presente trabalho procura mostrar como uma seleção intrapopulacional praticada em duas populações de milho pode afetar o comportamento dos híbridos interpopulacionais ao longo dos ciclos de seleção. O esquema aplicado foi o de tipo massal estratificado, tendo sido realizados cinco ciclos na variedade de milho Dente Paulista e três na Cateto Minas Gerais.

#### MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizadas as variedades de milho Dente Paulista e Cateto Minas Gerais. A primeira refere-se a uma população formada do cruzamento natural do Cateto com milho dentado amarelo, enquanto que o Minas Gerais é representante da raça Cateto e, como tal, possui grãos duros de coloração laranja-intenso. Ambas as variedades foram muito cultivadas no Brasil até a difusão do milho híbrido.

O processo da seleção massal estratificada utilizado seguiu o método sugerido por Lonnquist (1960 e 1964), conforme Zinsly (1968). Foi realizado no Departamento de Genética da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", tendo sido aplicados cinco ciclos no Dente Paulista e três no Cateto Minas Gerais. Em seguida, os diferentes estádios de seleção foram inter cruzados em um sistema dialélico parcial, originando os híbridos interpopulacionais. Assim, os híbridos oriundos do segundo e quarto ciclo no Dente Paulista e do segundo ciclo de seleção no Minas Gerais, não foram incluídos no estudo das heteroses. Este sistema parcial de inter cruzamento foi escolhido por ter sido julgado suficiente para investigar as variações da heterose e do comportamento dos híbridos com a seleção. Em seguida foram montados experimentos no delineamento látice nas regiões paulistas de Piracicaba, São Simão e Jaboticabal, cujo ensaio contou com os 22 tratamentos do trabalho (populações originais e advindas dos ciclos de seleção, além dos híbridos interpopulacionais) e mais três testemunhas (Dente Paulista Original, Híbrido Ag-17 e Híbrido H-6999-B). Cada parcela foi representada por uma linha de plantio de 10 m de comprimento, espaçamento de 0,40 m entre covas e 1 m entre linhas, representando um total de 50.000 plantas por hectare. Após a colheita dos grãos, foi realizado o ajuste para 15,5% de umidade e correção para 50 plan-

tas por parcela, conforme a fórmula apresentada por Zuber (1942). Cada experimento foi analisado individualmente seguindo-se os esquemas em látice; realizou-se a análise conjunta, segundo os métodos apresentados por Cochran & Cox (1957).

Visando investigar melhor a variação ocorrida entre os tratamentos (populações e híbridos interpopulacionais), foi desdobrada a soma de quadrados de tratamentos, bem como procurou-se estudar os parâmetros genéticos envolvidos. Inicialmente, isso foi feito segundo modelos estatístico-genéticos representativos da presente pesquisa. Para tanto, foram usados os seguintes modelos descritivos das médias de cada tratamento, com exceção das testemunhas:

$$\begin{aligned} A_0 &= uA \\ A_1 &= uA + G_A \\ A_2 &= uA + 2G_A \\ A_3 &= uA + 3G_A \\ A_4 &= uA + 4G_A \\ A_5 &= uA + 5G_A \\ B_0 &= uB \\ B_1 &= uB + G_B \\ B_2 &= uB + 2G_B \\ B_3 &= uB + 3G_B \\ A_0B_0 &= 1/2(uA + uB) + h_{00} \\ A_1B_0 &= 1/2(uA + uB) + 1/2G_A + h_{10} \\ A_3B_0 &= 1/2(uA + uB) + 3/2G_A + h_{30} \\ A_5B_0 &= 1/2(uA + uB) + 5/2G_A + h_{50} \\ A_0B_1 &= 1/2(uA + uB) + 1/2G_B + h_{01} \\ A_1B_1 &= 1/2(uA + uB) + 1/2G_A + 1/2G_B + h_{11} \\ A_3B_1 &= 1/2(uA + uB) + 3/2G_A + 1/2G_B + h_{31} \\ A_5B_1 &= 1/2(uA + uB) + 5/2G_A + 1/2G_B + h_{51} \\ A_0B_3 &= 1/2(uA + uB) + 3/2G_B + h_{03} \\ A_1B_3 &= 1/2(uA + uB) + 1/2G_A + 3/2G_B + h_{13} \\ A_3B_3 &= 1/2(uA + uB) + 3/2G_A + 3/2G_B + h_{33} \\ A_5B_3 &= 1/2(uA + uB) + 5/2G_A + 3/2G_B + h_{53} \end{aligned}$$

Nestes modelos tem-se que:

- $A_0 = uA$  : a média esperada da população original Dente Paulista;
- $A_n$  : a média esperada desta população após  $n$  ciclos de seleção massal;
- $B_0 = uB$  : a média esperada da população original Minas Gerais;
- $B_n$  : a média esperada desta população após  $n$  ciclos de seleção massal;
- $A_0B_0$  : a média esperada do híbrido oriundo do cruzamento entre as populações originais Dente Paulista e Minas Gerais;
- $A_nB_n$  : a média esperada dos híbridos oriundos dos cruzamentos entre as populações do Dente

- Paulista advindas de n ciclos de seleção com as populações do Minas Gerais originadas de n ciclos de seleção massal estratificada;
- $G_A$  : o progresso médio por ciclo de seleção no Dente Paulista;
- $G_B$  : o progresso médio por ciclo de seleção no Minas Gerais;
- Hoo : a heterose inicial manifestada pelo híbrido Dente Paulista Original x Minas Gerais Original;
- Hij : a heterose manifestada pelo híbrido oriundo do cruzamento entre Dente Paulista (após i ciclos de seleção massal) e Minas Gerais (após j ciclos de seleção Massal).

Com o emprego do métodos dos quadrados mínimos (Steel & Torrie 1960), foram estimados os progressos médios da seleção nas duas populações, e investigada a variação das heteroses oriundas dos cruzamentos efetuados.

O teste de validade do modelo foi feito através da soma de quadrados (SQ) dos desvios que possuem seis graus de liberdade; o teste foi obtido por:

$$\Sigma Y^2 - SQ(\text{parâmetros, modelo completo})$$

sendo

$$\Sigma Y^2 = \bar{A}_0^2 + \bar{A}_1^2 + \dots + \bar{B}_0^2 + \bar{B}_1^2 + \dots + \hat{A}_0\hat{B}_0^2 + \hat{A}_1\hat{B}_0^2 + \dots + \hat{A}_5\hat{B}_3^2, \text{ ou seja, igual a soma das 22 médias observadas, elevadas ao quadrado.}$$

Os testes da significância dos parâmetros obedeceram ao sistema dos modelos reduzidos. Assim, para testar o efeito linear da seleção sobre o Dente Paulista, obteve-se:

$$SQ(G_A) = SQ(\text{parâmetros, modelo completo}) - SQ(\text{parâmetros, modelo reduzido em que } G_A = 0).$$

No teste do efeito linear da seleção sobre o Minas Gerais, empregou-se:

$$SQ(G_B) = SQ(\text{parâmetros, modelo completo}) - SQ(\text{parâmetros, modelo reduzido em que } G_B = 0).$$

Para o estudo das heteroses, obteve-se:

$$SQ(\text{heterose média}) = SQ(u_A, G_A, u_B, G_B, \bar{h}) - SQ(u_A, G_A, u_B, G_B).$$

$$SQ(\text{variação total das heteroses}) = SQ(\text{parâmetros, modelo completo}) - SQ(u_A, G_A, u_B, G_B, \bar{h}).$$

No modelo que inclui a heterose média, consideraram-se constantes as heteroses, ou seja, tomou-se  $h_{ij} = \bar{h}$ .

Como a intenção desta pesquisa foi de estudar a variação da heterose causada pela seleção, adotou-se ainda um modelo adicional. Este, mostrado a seguir, procura explicar a variação linear e quadrática das heteroses, em

função dos ciclos de seleção nas duas populações, em um sistema de regressão múltipla. Desse modo, os valores esperados das heteroses ( $h_{ij}$ ) foram representados, como segue:

$$h_{ij} = h_0 + i(1_A) + j(1_B) + i^2(q_A) + j^2(q_B)$$

$$h_{00} = h_0$$

$$h_{10} = h_0 + 1_A + q_A$$

$$h_{30} = h_0 + 3 \cdot 1_A + 9 q_A$$

$$h_{50} = h_0 + 5 \cdot 1_A + 25 q_A$$

$$h_{01} = h_0 + 1_B + q_B$$

$$h_{11} = h_0 + 1_A + 1_B + q_A + q_B$$

$$h_{31} = h_0 + 3 \cdot 1_A + 1_B + 9 q_A + q_B$$

$$h_{51} = h_0 + 5 \cdot 1_A + 1_B + 25 q_A + q_B$$

$$h_{03} = h_0 + 3 \cdot 1_B + 9 q_B$$

$$h_{13} = h_0 + 1_A + 3 \cdot 1_B + q_A + 9 q_B$$

$$h_{33} = h_0 + 3 \cdot 1_A + 3 \cdot 1_B + 9 q_A + 9 q_B$$

$$h_{53} = h_0 + 5 \cdot 1_A + 3 \cdot 1_B + 25 q_A + 9 q_B$$

Nestes modelos, tem-se que:

$h_{ij}$  : a heterose manifestada pelos cruzamentos entre as populações nos diversos ciclos de seleção, conforme já descrito;

$h_0$  : heterose inicial;

$1_A$  : efeito linear da seleção no Dente Paulista, sobre a heterose dos cruzamento;

$1_B$  : efeito linear da seleção no Minas Gerais, sobre a heterose dos cruzamentos;

$q_A$  : efeito quadrático da seleção no Dente Paulista, sobre a heterose dos cruzamento;

$q_B$  : efeito quadrático da seleção no Minas Gerais, sobre a heterose dos cruzamentos.

As somas de quadrados referentes aos parâmetros deste modelo adicional foram obtidas pelo processo dos quadrados mínimos, obedecendo ao sistema dos modelos reduzidos, de modo semelhante ao exposto anteriormente. Na Tabela 1, encontra-se o esquema de análise empregado com base nestes modelos.

A fim de melhor avaliar a adequação dos modelos reduzidos para explicar o comportamento dos híbridos, as médias destes foram estimadas com o emprego dos seguintes modelos:

$$\hat{H}_{00} = 1/2 (\bar{A}_0 + \bar{B}_0) + \hat{h}$$

$$\hat{H}_{01} = 1/2 (\bar{A}_0 + \bar{B}_1) + \hat{h}$$

$$\hat{H}_{03} = 1/2 (\bar{A}_0 + \bar{B}_3) + \hat{h}$$

$$\hat{H}_{10} = 1/2 (\bar{A}_1 + \bar{B}_0) + \hat{h}$$

$$\hat{H}_{11} = 1/2 (\bar{A}_1 + \bar{B}_1) + \hat{h}$$

$$\hat{H}_{13} = 1/2 (\bar{A}_1 + \bar{B}_3) + \hat{h}$$

$$\hat{H}_{30} = 1/2 (\bar{A}_3 + \bar{B}_0) + \hat{h}$$

$$\hat{H}_{31} = 1/2 (\bar{A}_3 + \bar{B}_1) + \hat{h}$$

$$\begin{aligned}\hat{H}_{33} &= 1/2 (\hat{A}_2 + \hat{B}_3) + \hat{h} \\ \hat{H}_{50} &= 1/2 (\hat{A}_5 + \hat{B}_0) + \hat{h} \\ \hat{H}_{51} &= 1/2 (\hat{A}_5 + \hat{B}_1) + \hat{h} \\ \hat{H}_{53} &= 1/2 (\hat{A}_5 + \hat{B}_3) + \hat{h}\end{aligned}$$

Em seguida, os valores estimados foram correlacionados com os observados. Obteve-se, desse modo, a estimativa de  $r$  e do coeficiente de determinação  $r^2$ .

Além dos modelos aqui apresentados, foi ainda empregada uma outra análise a fim de avaliar, não a variação da heterose, mas a variação entre as médias dos cruzamentos. Desse modo, a Tabela 2 apresenta a decomposição efetuada, seguindo um esquema fatorial comum.

O resíduo usado em todas estas análises (quadrados médios  $Q_8$  e  $Q_9$  nas Tabelas 1 e 2, respectivamente), corresponde à variância residual das médias dos tratamentos, ou seja, foi igual ao quadrado médio residual da análise conjunta dividido pelo número total de repetições envolvidas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9, estão representadas as análises e as médias referentes à produção de grãos. Fazendo-se, primeiramente, uma análise dos progressos obtidos dentro de cada população, em decorrência do processo de seleção massal estratificada aplicado, pode-se notar que a população Dente Paulista apresentou um ganho linear significativo, nos cinco ciclos de seleção, e que o mesmo não ocorreu com a população do Cateto Minas Gerais, nos três ciclos de seleção. A não-significância dos desvios em relação ao modelo ( $F = 1,07$  n.s., Tabela 3), por sua vez, mostra que os progressos havidos foram principalmente lineares. Isso indica que a população Dente Paulista apresentou suficiente variação genética aditiva para responder à seleção massal e que, possivelmente, outros progressos poderão ser conseguidos em ciclos futuros de seleção. O mesmo não ocorreu com a população Cateto Minas Gerais, a qual deve ter uma quantidade menor de variação genética aditiva. Estes resultados, inclusive, concordam com os apresentados por Zinsly (1968) quando este autor aplicou dois ciclos de seleção massal estratificada nas populações referidas.

Os progressos estimados foram de 4,61% e 2,22% por ciclo de seleção no Dente Paulista e Cateto Minas Gerais, respectivamente. A Tabela 3 mostra a significância do progresso alcançado com

TABELA 1. Modelo ou esquema da análise da variância indicativa dos efeitos da seleção sobre as duas populações estudadas e sobre a heterose dos seus cruzamentos.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F
Efeito da seleção no Dente Paulista:				
Regressão linear	1	S <sub>1</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>1</sub> /Q <sub>8</sub>
Efeito da seleção no Minas Gerais:				
Regressão linear	1	S <sub>2</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>2</sub> /Q <sub>8</sub>
Heterose média dos cruzamentos	1	S <sub>3</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>3</sub> /Q <sub>8</sub>
Varição total das heteroses	11	S <sub>4</sub>	Q <sub>4</sub>	Q <sub>4</sub> /Q <sub>8</sub>
Varição linear das heteroses	2	S <sub>5</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>5</sub> /Q <sub>8</sub>
Varição quadrática das heteroses	2	S <sub>6</sub>	Q <sub>6</sub>	Q <sub>6</sub> /Q <sub>8</sub>
Desvios do modelo	6	S <sub>7</sub>	Q <sub>7</sub>	Q <sub>7</sub> /Q <sub>8</sub>
Resíduo	568	S <sub>8</sub>	Q <sub>8</sub>	

TABELA 2. Modelo ou esquema da análise da variância indicativa da variação observada entre os híbridos interpopulacionais, como consequência da seleção nas duas populações.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F
Entre híbridos	11	S <sub>1</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>1</sub> /Q <sub>9</sub>
Varição nos híbridos devido à seleção em:				
Dente Paulista	3	S <sub>2</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>2</sub> /Q <sub>9</sub>
Regressão linear	1	S <sub>3</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>3</sub> /Q <sub>9</sub>
Desvio de regressão	2	S <sub>4</sub>	Q <sub>4</sub>	Q <sub>4</sub> /Q <sub>9</sub>
Minas Gerais	2	S <sub>5</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>5</sub> /Q <sub>9</sub>
Regressão linear	1	S <sub>6</sub>	Q <sub>6</sub>	Q <sub>6</sub> /Q <sub>9</sub>
Desvio de regressão	1	S <sub>7</sub>	Q <sub>7</sub>	Q <sub>7</sub> /Q <sub>9</sub>
Interação DP x MG	6	S <sub>8</sub>	Q <sub>8</sub>	Q <sub>8</sub> /Q <sub>9</sub>
Resíduo	568*	S <sub>9</sub>	Q <sub>9</sub>	

\* Somatório dos graus de liberdade dos experimentos instalados nos três locais.

o Dente Paulista, e a não-significância do progresso no Cateto Minas Gerais.

Através desses resultados, é de se esperar que a produção dos híbridos também tenha se alterado com a seleção. Se a seleção no Dente Paulista atuou mais intensamente no sentido de aumentar a frequência dos genes sem dominância, a produção dos híbridos também aumentará linearmente

TABELA 3. Análise da variância da produção média em kg/10 m<sup>2</sup> das populações Dente Paulista e Cateto Minas Gerais, e seus cruzamentos, em vários ciclos de seleção massal estratificada. Piracicaba 1970, 1973 (20 repetições); São Simão 1970 (seis repetições); Jaboticabal 1973 (Seis repetições).

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F
Efeito da seleção no Dente Paulista:				
Regressão linear	1	0,4723	0,4723	35,25**
Efeito da seleção no Minas Gerais:				
Regressão linear	1	0,0312	0,0312	2,33(n.s.)
Heterose média dos cruzamentos	1	0,2886	0,2886	21,54**
Varição total das heteroses devido à seleção	11	0,2226	0,0202	1,51(n.s.)
Varição linear das heteroses devido à seleção	2	0,0315	0,0157	1,17(n.s.)
Varição quadrática das heteroses devido à seleção	2	0,0378	0,0189	1,41(n.s.)
Desvios em relação ao modelo	6	0,0863	0,0143	1,07(n.s.)
Resíduo	568		0,0134	

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Produção média dos híbridos: 3.974 kg/ha

Produção média das populações: 3.738 kg/ha.

TABELA 4. Análise da variância da produção média em kg/10 m<sup>2</sup> dos cruzamentos entre as populações de milho Dente Paulista e Cateto Minas Gerais nos vários ciclos de seleção. Piracicaba 1970, 1973 (20 repetições); São Simão 1970 (seis repetições); Jaboticabal 1973 (seis repetições).

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F
Híbridos	11	0,3276	0,0298	2,22*
Seleção Dente Paulista	3	0,1916	0,0638	4,76**
Regressão linear	1	0,0908	0,0908	6,78**
Desvio de regressão	2	0,1008	0,0504	3,76*
Seleção Minas Gerais	2	0,0121	0,0060	0,45(n.s.)
Regressão linear	1	0,0021	0,0021	0,10(n.s.)
Desvio de regressão	1	0,0100	0,0100	0,75(n.s.)
Interação Seleção DP x Seleção MG	6	0,1239	0,0206	1,54(n.s.)
Resíduo	568		0,0134	

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

com a seleção, e a heterose permanecerá inalterada.

Conforme também pode ser visto na Tabela 3, os doze híbridos interpopulacionais estudados neste trabalho foram, em média, mais produtivos do que as respectivas populações paternas (F para a heterose média igual a 21,54). De fato, a produção média de todos os híbridos foi de 3.974 kg/ha,

e das populações parentais, de 3.738 kg/ha. As doze expressões de heterose, no entanto, não apresentaram uma variação que fosse significativa (F = 1,51 n.s.). Estes resultados indicam que, nas condições de precisão do presente trabalho, não pôde ser constatada uma influência estatística significativa da seleção massal sobre a heterose dos cruzamentos, exibida ao longo dos ciclos seletivos.

TABELA 5. Produção média dos híbridos em kg/ha e respectivos valores da heterose, resultantes dos inter cruzamentos dos vários ciclos de seleção massal estratificada, aplicados nas populações de milho Dente Paulista (DP) e Minas Gerais (MG). Piracicaba 1970, 1973 (20 repetições); São Simão 1970 (seis repetições); Jaboticabal 1973 (seis repetições).

DP	MG	Ciclos de seleção			Média
		0	1	3	
0*		3.824**	3.725	3.964	3.838
		109,80	106,47	109,81	108,72
1		3.716	4.038	3.893	3.882
		103,11	111,58	104,34	106,32
3		4.133	4.335	4.021	4.163
		110,77	115,72	104,22	110,19
5		4.070	3.958	4.009	4.012
		105,47	102,14	100,58	102,71
Média		3.936	4.014	3.972	
		107,27	108,92	104,63	

\* 0, 1, 3, 5 correspondem aos ciclos de seleção massal.

\*\* Para cada conjunto, os valores de cima representam as produções médias em kg/ha dos híbridos correspondentes, e os valores de baixo, as médias das heteroses dos híbridos respectivos em relação às médias dos progenitores.

TABELA 6. Produção em kg/ha das populações Dente Paulista e Cateto Minas Gerais e respectivos cruzamentos nos diversos ciclos de seleção. Piracicaba, 1970, 1973 (20 repetições); São Simão 1970 (seis repetições); Jaboticabal 1973 (seis repetições).

Cruzamento entre		Produção em kg/ha				F <sub>1</sub> em % de	
P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	$\bar{P}_1$	$\bar{P}_2$	$\bar{F}_1$	$\overline{MP}$	$\overline{MP}$	Pai mais produtivo
Dente Paulista	0 x Cateto MG 0	3.491	3.474	3.824	3.482	109,80	109,54
Dente Paulista	1 x Cateto MG 0	3.734	3.474	3.716	3.604	103,11	99,52
Dente Paulista	III x Cateto MG 0	3.988	3.474	4.133	3.731	110,77	103,63
Dente Paulista	V x Cateto MG 0	4.244	3.474	4.070	3.859	105,47	95,90
Dente Paulista	0 x Cateto MG I	3.491	3.505	3.724	3.492	106,47	106,25
Dente Paulista	1 x Cateto MG I	3.734	3.505	4.038	3.619	111,58	108,14
Dente Paulista	III x Cateto MG I*	3.988	3.505	4.345	3.746	115,72	108,70
Dente Paulista	V x Cateto MG I	4.244	3.505	3.958	3.874	102,14	93,26
Dente Paulista	0 x Cateto MG III	3.491	3.728	3.964	3.609	109,81	106,33
Dente Paulista	1 x Cateto MG III	3.734	3.728	3.893	3.731	104,34	104,26
Dente Paulista	III x Cateto MG III	3.988	3.728	4.021	3.858	104,22	100,83
Dente Paulista	V x Cateto MG III	4.244	3.728	4.009	3.986	100,58	94,46

\* Híbrido intervarietal de maior produção.

Mesmo assim, convém visualizar as respostas heteróticas aqui observadas. Tomando como ponto de referência a média dos pais ( $\overline{MP}$ , na Tabela 6), nota-se que, antes da seleção, o híbrido Dente

Paulista Original x Minas Gerais Original apresentou uma produção relativa de 109,8% ou uma heterose de 9,8%. Em seguida, pode-se observar uma amplitude de variação da heterose, de 15,7%

TABELA 7. Produção em kg das populações Dente Paulista e Cateto Minas Gerais e respectivos cruzamentos nos diversos ciclos de seleção, expressando os totais de tratamentos por experimento, corrigido para a umidade de 15,5%, e stand ideal de 50 plantas por parcela. Piracicaba 1970, 1973 (20 repetições); São Simão 1970 (seis repetições); Jaboticabal 1973 (seis repetições).

Trat./exp.	1*	2*	3*	4*	5**	6***	Total
Ao	23,02	24,76	23,97	8,27	23,97	7,74	111,73
A <sub>1</sub>	26,27	25,26	21,64	10,90	29,10	6,31	119,48
A <sub>2</sub>	28,56	28,55	28,38	8,60	26,14	7,73	127,96
A <sub>3</sub>	25,71	29,73	25,56	9,21	29,89	7,51	127,61
A <sub>4</sub>	31,83	28,94	30,14	10,11	27,44	12,39	140,85
A <sub>5</sub>	29,99	31,22	28,17	8,07	28,41	9,96	135,82
Bo	21,23	25,00	24,54	8,10	23,14	9,17	111,18
B <sub>1</sub>	25,62	22,04	23,98	7,90	21,45	11,18	112,17
B <sub>2</sub>	22,20	23,77	26,96	6,95	21,37	11,08	112,33
B <sub>3</sub>	25,96	23,88	25,72	7,75	25,10	10,88	119,29
AoBo	24,36	24,81	29,66	9,21	24,86	9,47	122,37
A <sub>1</sub> Bo	26,11	21,99	25,20	8,35	23,88	13,39	118,92
A <sub>3</sub> Bo	26,03	27,69	28,22	10,84	26,79	12,70	132,27
A <sub>5</sub> Bo	25,24	30,72	28,84	9,20	26,45	9,79	130,24
AoB <sub>1</sub>	27,36	24,30	22,40	8,45	26,71	9,97	119,19
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	28,12	28,53	28,14	8,53	26,51	9,40	129,23
A <sub>3</sub> B <sub>1</sub>	31,27	30,74	30,02	8,40	26,71	11,59	138,73
A <sub>5</sub> B <sub>1</sub>	25,27	27,34	26,98	9,29	26,24	11,53	126,65
AoB <sub>3</sub>	27,00	24,94	28,46	8,67	26,16	11,62	126,85
A <sub>1</sub> B <sub>3</sub>	26,87	28,54	24,68	9,10	25,45	9,93	124,57
A <sub>3</sub> B <sub>3</sub>	29,03	28,07	26,51	7,69	26,68	10,69	128,67
A <sub>5</sub> B <sub>3</sub>	26,00	27,16	27,78	9,50	26,49	11,35	128,28
Total	583,05	587,98	585,95	193,09	568,94	225,38	2.774,39

\* 1, 2, 3 - Piracicaba (seis repetições); 4 - Piracicaba (duas repetições).

\*\* São Simão (seis repetições).

\*\*\* Jaboticabal (seis repetições).

TABELA 8. Análise conjunta da variância dos dados mencionados na Tabela 7. Piracicaba 1970, 1973 (20 repetições); São Simão 1970 (seis repetições); Jaboticabal 1973 (seis repetições).

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	21			
Experimentos	5			
Tratamento x experimento				
Tratamento x experimento excluindo o ensaio seis	105	61,7163	0,5877	1,38*
Resíduo	84	42,8537	0,5101	1,20(n.s.)
Resíduo	568		0,4246	

$\bar{x}$  = 20,79

CV = 16,7%

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

do híbrido Dente Paulista III x Minas Gerais I a 0,58% do híbrido Dente Paulista V x Minas Gerais III.

A Tabela 5, da mesma forma, ilustra que os

híbridos intervarietais mais heteróticos foram os obtidos com o Dente Paulista no terceiro ciclo de seleção. Apesar da não-significância da variação entre as heteroses, tais resultados indicam que a

TABELA 9. Análise conjunta da variância com médias dos dados mencionados na Tabela 7. Piracicaba 1970, 1973 (20 repetições); São Simão 1970 (seis repetições); Jaboticabal 1973 (seis repetições).

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	21	3,8029	0,4192	
Experimentos	5			
Interação tratamento x experimento	105			4,95**
Resíduo	568		0,0846	

$\bar{x} = 3,95$

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

seleção pode ter refletido negativamente sobre a heterose, diminuindo-a. O coeficiente de determinação calculado, que foi  $r^2 = 0,47$ , além disso, mostra que a suposição de uma heterose constante não explica muito bem a produção de grãos dos doze híbridos interpopulacionais estudados. Contudo, seriam necessárias mais repetições de ensaios, no espaço e no tempo, para confirmação deste fato.

A análise da Tabela 4 mostra que a produção de grãos dos híbridos foi influenciada pela seleção realizada nas populações ( $F = 2,22$ ). Realmente, os valores  $F = 6,78$  e  $F = 3,76$  mostram que a variação na produção dos híbridos foi devida principalmente às modificações genéticas causadas pela seleção na população Dente Paulista. Nestes resultados, deve-se ressaltar a significância dos desvios da regressão ( $F = 3,76$ ). Esta indica que a produção dos híbridos não variou de forma linear, em função da seleção efetuada na população Dente Paulista. As médias de produção dos híbridos apresentadas na Tabela 5 ilustram tais afirmativas. Através delas, confirma-se que os híbridos mais produtivos foram os derivados do Dente Paulista no terceiro ciclo de seleção, e não os do quinto ciclo; esta conclusão é reforçada pela não-significância da interação Seleção DP x Seleção MG ( $F = 1,54$  n.s., na Tabela 4). Assim, o híbrido intervarietal que mais produziu foi o Dente Paulista III x Cateto Minas Gerais I, e não o Dente Paulista V x Cateto Minas Gerais III (Tabela 6). Estes resultados corroboram as discussões já apresentadas.

A presença de interação com ambientes não permite uma generalização dos resultados. No entanto, esta interação surgiu devido às condições

desfavoráveis do ensaio de Jaboticabal. Excluindo esta localidade, a interação tratamento x experimentos foi não-significativa ( $F = 1,20$  n.s., Tabela 8). Desse modo, a generalização das conclusões pode ser feita para os demais experimentos, pois estes transcorreram de maneira aceitável.

A redução da diversidade genética, com consequente redução da heterose, pode ocorrer se a diferença existente entre as populações nas frequências dos genes com alguma dominância for diminuída com a seleção em um número apreciável de locos. Há indicação de que isto pode ter acontecido no presente caso, pois a população Dente Paulista respondeu favoravelmente até o quarto ciclo de seleção, distanciando-se da população Minas Gerais, a qual permaneceu inalterada até o segundo ciclo. No quinto ciclo de seleção, a população Dente Paulista não apresentou resposta, ao passo que o Minas Gerais teve produção de grãos incrementada no terceiro ciclo.

A seleção recorrente recíproca, por outro lado, tende a aumentar a diversidade genética entre as populações, principalmente, se estas forem bem escolhidas no início do programa de seleção (Cress 1967). Este aumento da diversidade leva a um incremento na heterose e, portanto, a uma melhora no comportamento do híbrido. Dessa forma, acredita-se que a seleção recorrente recíproca deve ser o esquema escolhido quando a finalidade é explorar o híbrido intervarietal, principalmente, em esquemas de seleção a longo prazo.

#### CONCLUSÕES

1. A seleção recorrente intrapopulacional aplicada nas duas populações refletiu negativamente

sobre a produção de grãos do híbrido interpopulacional nos ciclos de seleção mais avançados.

2. A seleção recorrente intrapopulacional aplicada em duas populações não pode ser considerada como garantia para reter a heterose inicial existente entre elas. Se esse tipo de seleção alterar a frequência dos genes com alguma dominância, ela poderá levar a uma redução da heterose, o que é desfavorável para os interesses do melhorista.

3. Uma seleção recorrente recíproca aprimorada e exeqüível, do ponto de vista prático, deve ser preferida para garantir que os híbridos intervarietais de populações melhoradas, pelo menos, retenham aquela heterose que é exibida pelas populações no início do processo seletivo.

#### REFERÊNCIAS

- COCHRAN, W.G. & COX, G.M. *Experimental designs*. 2.ed. New York, John Wiley & Sons, 1957. 617p.
- CRESS, C.E. Reciprocal recurrent selection and modifications in simulated populations. *Crop Sci.*, Madison, 7:561-7, 1967.
- LONNQUIST, J.H. El mejoramiento de las poblaciones de maíz. *Proyecto cooperativo centroamericano de mejoramiento de maíz y cultivos alimenticios*, Managua, 6:14-22, 1960.
- LONNQUIST, J.H. A modification of the ear-to-row procedure for the improvement of maize population. *Crop Sci.*, Madison, 4:227-8, 1964.
- LONNQUIST, J.H. *Progress from recurrent selection procedures for the improvement of corn populations*. s.l., University of Nebraska College of Agriculture, 1961. 32p. (Research Bulletin. University of Nebraska College of Agriculture).
- MOLL, R.H.; LONNQUIST, J.H.; FORTUNATO, J.V. & JOHNSON, E.C. The relationship of heterosis and genetic divergence in maize. *Genetics*. Austin, 52:139-44, 1965.
- MOLL, R.H. & ROBINSON, H.F. Quantitative genetic investigations of yield of maize. *Der Züchter.*, Berlin, 37:191-9, 1967.
- MOLL, R.H.; SALHUAMA, W.S. & ROBINSON, H.F. Heterosis and diversity in variety crosses of maize. *Crop Sci.*, Madison, 2:197-8, 1962.
- PATERNIANI, E. *Cruzamentos interracialis de milho*. Piracicaba, ESALQ/USP, 1961. 46p. Tese Livre-Docência.
- PATERNIANI, E. & LONNQUIST, J.H. Heterosis in interracial crosses of corn (*Zea mays* L.). *Crop Sci.*, Madison, 3:504-7, 1963.
- PATERNIANI, E. Melhoramento de populações de milho. *Ci. e Cult.*, São Paulo, 21:3-10, 1969.
- STEEL, R.G. & TORRIE, J.H. *Principles and procedures of statistics with special reference to the biological science*. New York, Mc Graw Hill, 1960. 481p.
- ZINSLY, J.R. *Estudo sobre a seleção massal em milho (Zea mays L.)*. Piracicaba, ESALQ/USP, 1968. 60p. Tese Mestrado.
- ZUBER, M.S. Relative efficiency of incomplete block designs using corn uniformity trial data. *J. Am. Soc. Agron.*, Madison, 34:30-47, 1942.