

MELHORAMENTO GENÉTICO VEGETAL

EFICIÊNCIA DA SELEÇÃO DE PROGÊNIES S_1 E S_2 DE MILHO-PIPOCA, VISANDO À PRODUÇÃO DE LINHAGENS⁽¹⁾

ALOISIO ALCANTARA VILARINHO⁽²⁾; JOSÉ MARCELO SORIANO VIANA⁽³⁾;
JOÃO FRANCISCO DOS SANTOS⁽⁴⁾; TASSIANO MAXWELL MARINHO CÂMARA⁽⁴⁾

RESUMO

Cem progênies S_1 e duzentas e vinte e cinco progênies S_2 , obtidas da população de milho-pipoca Beija-Flor, foram testadas com relação à produção e capacidade de expansão. Os ensaios foram conduzidos em campo experimental da Universidade Federal de Viçosa, em Coimbra, MG, no ano agrícola 1998/99. Parâmetros genéticos foram estimados e os ganhos preditos com seleção foram calculados de acordo com vários critérios de seleção. Variabilidade genotípica significativa foi observada para os caracteres produção e capacidade de expansão (CE). Embora tenha sido observada correlação genotípica negativa entre os caracteres, os índices de seleção foram eficientes em identificar famílias que possibilitaram ganhos preditos simultâneos em produção e CE. As famílias S_2 e S_3 oriundas, respectivamente, das famílias S_1 e S_2 testadas, foram avaliadas no ano agrícola 1999/2000. Com base nos resultados dessa avaliação, os ganhos realizados foram calculados, para cada critério de seleção, e a eficiência da seleção foi avaliada. Houve boa concordância entre os ganhos preditos e realizados, quanto às progênies S_1 . Os quatro critérios que produziram as maiores estimativas de ganhos são os mesmos que deram os quatro maiores ganhos realizados, embora não na mesma ordem. Da mesma forma, os dois que deram as menores estimativas de ganhos são também os que deram os dois menores ganhos realizados, quando considerada a variável CE. Em relação às progênies S_2 , houve concordância em relação ao sentido das mudanças previstas em cinco critérios, quando considerada a variável produção, e em seis, quando CE foi considerada.

Palavras-chave: Seleção, Melhoramento, Famílias Endogâmicas, Índice de Seleção.

ABSTRACT

EFFICIENCY IN SELECTING S_1 AND S_2 POPCORN PROGENIES FOR DEVELOPMENT OF INBRED LINES

One hundred S_1 progenies and two hundred and twenty-five S_2 progenies from the popcorn population 'Beija-flor' were assessed for grain yield and volume expansion. The experiments were carried out in a Universidade Federal de Viçosa experimental field, Coimbra, MG, in the growing season of 1998/99. Genetic and phenotypic parameters were estimated and the predicted gains were calculated

⁽¹⁾ Parte da tese de Mestrado em Genética e Melhoramento, apresentada à UFV, pelo primeiro autor. Recebido para publicação em 6 de fevereiro e aceito em 6 de novembro de 2002.

⁽²⁾ Doutorando do Programa de Genética e Melhoramento da UFV;

⁽³⁾ Departamento de Biologia Geral, Universidade Federal de Viçosa (UFV), 36571-000 Viçosa (MG). E-mail: jmsviana@mail.ufv.br

⁽⁴⁾ Mestrando do Programa de Genética e Melhoramento da UFV.

according to several selection criteria. A significant genotypic variability was observed for yield and the volume expansion. Although a negative genotypic correlation has been observed among the characters, the selection indices were efficient in identification of the progenies that allowed for predicted simultaneous gains in grain yield and volume expansion. The families S_2 and S_3 from families S_1 and S_2 , respectively, were evaluated in the growing season of 1999/2000. Based on the results from this evaluation, the obtained gains were calculated for each selection criteria, and the selection efficiency was evaluated. A satisfactory concordance occurred between the predicted and actual gains for the S_1 progenies. The four criteria providing the highest predicted gains are the same ones that provided the four highest gains, although not in the same order. Also, those two criteria providing the lowest estimates of the gains are the ones that provided the two lowest gains, when considering popping expansion. In relation to S_2 progenies, a concordance occurred concerning the direction of the changes predicted in five criteria, when the grain yield was considered, as well as in six criteria when considering CE.

Key words: popcorn improvement, Selection, Inbred families, Selection index.

1. INTRODUÇÃO

O melhoramento genético do milho possui duas alternativas que podem ser conduzidas de forma conjunta: a obtenção de populações melhoradas e a obtenção de híbridos. No primeiro caso, a utilização adequada de métodos de seleção possibilita o aumento gradativo da frequência dos alelos favoráveis na população melhorada, sendo esta superior à original. No segundo caso, a estratégia de melhoramento visa à obtenção de linhagens endogâmicas que, quando em combinações adequadas, produzirão híbridos superiores às populações de origem dessas linhagens (PATERNIANI e MIRANDA FILHO, 1978). Segundo PATERNIANI e MIRANDA FILHO (1987) em populações melhoradas é maior a probabilidade de extração de linhagens superiores, com a finalidade de obtenção de híbridos, ficando, assim, patente a importância do binômio seleção recorrente e obtenção de híbridos de linhagens.

Diversos tipos de milho híbrido podem ser sintetizados, mas os mais utilizados são aqueles obtidos com o emprego de linhagens. Vários métodos podem ser usados para isolar linhagens de milho. A técnica de autofecundação é a mais comumente empregada para a obtenção das linhagens. Segundo ZIEGLER e ASHMAN (1994), um fator que pode afetar a escolha do tipo de híbrido de milho-pipoca é o desempenho agrônomico inferior de suas linhagens, relativamente às de milho normal, sobretudo na produção de sementes. A partir do melhoramento das linhagens de milho-pipoca, provavelmente haverá acréscimo gradual na comercialização de híbridos. Portanto, a eficiência da seleção se torna muito importante na obtenção de linhagens.

Para o melhoramento do milho-pipoca, podem ser aplicados todos os métodos utilizados para o milho comum. Dificuldades adicionais existem, pois o melhoramento deve ser concomitante para a produção e a capacidade de expansão (ZINSLEY e MACHADO, 1987).

Há freqüentes relatos na literatura sobre obtenção de correlação negativa entre esses dois caracteres (MELO et al., 1971, LIMA et al., 1973, ZINSLEY e MACHADO, 1978, DOFING et al., 1991) dentre outros. Nesse caso, seleção direta para um destes caracteres poderá levar a mudanças indesejáveis no outro. A seleção simultânea de caracteres, através de índice de seleção, constitui-se numa boa alternativa para contornar esse problema. No melhoramento para aumento da produção de óleo de *Melaleuca alternifolia* (Maiden e Betene) Cheel e de *M. linariifolia* Sm., na Austrália, a correlação negativa entre a produção de óleo e o peso seco da planta não permitia a predição de ganhos nestes dois caracteres, simultaneamente, quando se usava a predição por seleção direta e indireta. Com a utilização de um índice de seleção combinada, com uma restrição em relação ao peso seco da planta, foi possível prever ganhos de 17% para a produção de óleo e de 14% na produção de madeira, na primeira geração de seleção e com uma intensidade de seleção de uma árvore em dez (BUTCHER et al., 1996). Aplicando diversos índices de seleção para identificação de clones superiores de batata, BARBOSA e PINTO (1998) compararam os resultados com a seleção direta. Observaram que a utilização de alguns índices de seleção permitiu melhor distribuição porcentual dos ganhos para os caracteres sob seleção em relação à seleção direta destes.

Como o melhoramento de milho-pipoca no Brasil ainda é muito incipiente, são poucas as variedades e híbridos nacionais melhorados geneticamente, com alta produtividade e qualidade.

Em um país de dimensões continentais como o Brasil, é indispensável um número relativamente grande de material melhorado para que se tenham variedades e híbridos adaptados a todas as regiões do país garantindo alta produtividade e qualidade, tanto para agricultores de alta, como de média e baixa tecnologia. Esse fato motivou o início de um programa de melhoramento de milho-pipoca na UFV envolvendo as populações Viçosa e Beija-Flor.

Esse trabalho constitui parte do programa e teve como objetivo: a) prever os ganhos devido à seleção de famílias S_1 e S_2 da população de milho-pipoca Beija-Flor com a seleção direta, indireta e com a utilização de índices de seleção envolvendo as características produção e capacidade de expansão; b) selecionar as melhores famílias S_1 e S_2 para a produção de híbridos; e c) avaliar a eficiência dos diversos processos seletivos, com base nos ganhos realizados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se famílias S_1 e S_2 da variedade de milho-pipoca Beija-Flor, originária do Banco de Germoplasma do Programa de Melhoramento de Milho do Setor de Genética, do Departamento de Biologia Geral da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Famílias S_3 derivadas das famílias S_2 e progênies S_2 originadas das progênies S_1 também foram utilizadas.

No ano agrícola 1998/99, dois ensaios de avaliação foram instalados no campo experimental em Coimbra (MG). O delineamento adotado foi o látice. Um látice simples 15 x 15 foi usado para a avaliação de 225 famílias S_2 . Um látice simples 10 x 10 foi empregado para o teste de 100 famílias S_1 .

Semearam-se 50 sementes por parcela de 5 m e, após o desbaste, foram deixadas 25 plantas, totalizando uma densidade aproximada de 55.555 plantas/hectare. Foram avaliados os caracteres produção de grãos (PROD), em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, corrigido para 14,5% de umidade, sendo que para progênies S_2 , foi utilizado a correção para estande ideal de 25 plantas por parcela, pelo método proposto por VENCOSKY e CRUZ (1991).

A capacidade de expansão (CE), em $\text{ml}\cdot\text{g}^{-1}$, foi determinada utilizando amostras de 30 g de grãos e uma pipoqueira de ar quente, a Hot Air Popcorn Pumper H7340, da Proctor Silex, com 1.250 watts de potência.

Cada amostra foi colocada na pipoqueira quando esta atingia uma temperatura de 100 °C. A pipoqueira era desligada quando nenhum grão estourasse mais por um período de 5 segundos. A pipoca era, então, despejada em uma proveta de 1.000 ml com o auxílio de um funil e o volume de pipoca era medido.

As análises de variância foram feitas segundo o delineamento em blocos casualizados, uma vez que a estrutura do látice foi perdida. Todas as análises estatístico-genéticas foram feitas utilizando-se o programa computacional GENES (CRUZ, 1997).

Nas estimativas das respostas esperadas à seleção, foi considerada a seleção de 30 famílias S_1 e 60 progênies S_2 e foi utilizada a herdabilidade (h^2) em sentido amplo, em nível de média de famílias, obtida pela seguinte expressão:

$$\hat{h}^2 = \hat{\sigma}_G^2 / \hat{\sigma}_P^2,$$

sendo $\hat{\sigma}_G^2$ e $\hat{\sigma}_P^2$ os estimadores da variância genotípica e fenotípica entre médias de famílias, respectivamente.

Os ganhos diretos foram preditos pela seguinte expressão:

$$\Delta G = p \cdot DS \cdot h^2,$$

sendo ΔG o ganho devido à seleção; p o controle parental ($p=1$); DS o diferencial de seleção; e h^2 a herdabilidade em sentido amplo.

Por causa da existência de correlação genética entre as variáveis, a seleção truncada em apenas uma variável pode levar a resultados indesejáveis nas demais. Com o objetivo de avaliar as mudanças ocorridas nas demais variáveis, dada a seleção truncada em CE, foram calculados os ganhos indiretos pela expressão abaixo:

$$\Delta G_{Y(X)} = p \cdot DS_{Y(X)} \cdot h_Y^2,$$

sendo $\Delta G_{Y(X)}$ o ganho indireto na variável Y, em função da seleção na variável X; p o controle parental ($p=1$); $DS_{Y(X)}$ o diferencial de seleção indireto, obtido pela diferença entre a média do caráter Y dos indivíduos selecionados, cuja superioridade é evidenciada com base no caráter X, e a média geral; e h_Y^2 a herdabilidade em sentido amplo do caráter Y.

Os ganhos obtidos com a utilização de índices de seleção foram calculados pela seguinte expressão:

$$\Delta G_{X(I)} = p \cdot DS_{X(I)} \cdot h_X^2,$$

sendo $\Delta G_{X(I)}$ o ganho obtido na variável X devido à seleção com base no índice; p o controle parental ($p=1$); $DS_{X(I)}$ o diferencial de seleção relativo à variável X, sendo as progênies superiores identificadas por meio do índice; e h_X^2 a herdabilidade em sentido amplo do caráter X.

Além de seleção direta para CE e produção de grãos, foram avaliados os seguintes critérios de seleção:

1. Seleção com base no índice Clássico (SMITH, 1936 e HAZEL, 1943). Nas progêneses S_1 foram avaliados os pesos econômicos 1:38 e 1:112, para produção e CE, respectivamente. Os pesos 1:38 foram obtidos conforme calculado por MATTA (2000) e os pesos 1:112 foram aqueles obtidos por MATTA (2000). Nas famílias S_2 foram avaliados os pesos econômicos 1:33 e 1:112, sendo 1:33 o peso obtido conforme metodologia de MATTA (2000). Além destes, vários pesos atribuídos aleatoriamente foram avaliados em ambos os ensaios;

2. Seleção de acordo com o índice Base (WILLIAMS, 1962). Foram utilizados os mesmos pesos econômicos avaliados no índice anterior;

3. Seleção de acordo com o índice dos ganhos desejados (PESEK e BAKER, 1969). Foram utilizados ganhos desejados equivalentes a um desvio padrão genotípico;

4. Seleção de acordo com o índice com base na soma de postos ou "ranks" (MULAMBA e MOCK, 1978), com pesos 1:1, 1:2 e 1:10, no caso de famílias S_1 , e 1:1, 1:3 e 1:10, no caso de progêneses S_2 , para produção e CE respectivamente; e

5. Seleção com base no índice livre de pesos ou parâmetros (ELSTON, 1963), com valores de k_i de 1.100 kg.ha⁻¹ e 25 mL.g⁻¹, para famílias S_1 , e valores de k_i iguais a 1.100 kg.ha⁻¹ e 27 mL.g⁻¹, para progêneses S_2 , em relação à produção e CE respectivamente.

No ano agrícola 1999/2000, um ensaio com 201 famílias S_3 oriundas das progêneses S_2 testadas em 1998/99 e outro com 223 famílias S_2 originadas das progêneses S_1 estudadas anteriormente foram avaliados no campo experimental da UFV, em Coimbra (MG). Nesses, apenas as testemunhas eram repetidas (famílias com testemunhas intercalares) e cada parcela constituiu-se de uma fileira de 5 m com 25 plantas, totalizando uma densidade aproximada de 55.555 plantas/hectare. Como testemunha, 23 parcelas com o híbrido IAC-112 foram intercaladas entre as famílias S_2 , no primeiro ensaio, e 14 parcelas com a variedade ISLA-206 foram intercaladas entre as famílias S_3 , no segundo ensaio.

Os ganhos realizados de acordo com cada critério de seleção avaliado (ΔG_r) foram calculados pela expressão:

$$\Delta G_r = \bar{X}_{(S_{n+1})S} - \bar{X}_{(S_{n+1})}$$

sendo $\bar{X}_{(S_{n+1})S}$ a média das famílias S_{n+1} derivadas das famílias S_n selecionadas e $\bar{X}_{(S_{n+1})}$ a média de todas as progêneses S_{n+1} obtidas. Como exemplo, o ganho realizado com a seleção direta para CE, nas progêneses S_1 , foram obtidos pela diferença entre a média das progêneses S_2 derivadas das progêneses S_1 selecionadas com base no critério considerado, e a média de todas as progêneses S_2 obtidas. A escolha do critério de seleção adotado para a identificação das melhores progêneses S_1 e S_2 foi com base nos resultados dos ganhos realizados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi evidenciada a existência de variabilidade genética para as variáveis PROD e CE nas duas gerações, S_1 e S_2 , e, por conseguinte, a possibilidade de progresso com a seleção (Quadro 1). Maiores comentários sobre os dados do quadro 1 são apresentados por VILARINHO et al. (2002)⁽¹⁾. Foi obtida correlação genotípica negativa entre os caracteres CE e produção de grãos (-0,39 em S_1 e -0,31 em S_2), indicando que a seleção truncada em apenas um desses caracteres poderá ocasionar mudanças indesejáveis no outro. Os ganhos preditos e realizados de acordo com as estratégias avaliadas para seleção de 30 famílias S_1 se encontram descritos no Quadro 2.

Verifica-se que, com a seleção direta para CE, foram preditos ganhos positivos tanto para CE (2,17 mL.g) quanto para produção (25,95 kg.ha). Este resultado é surpreendente, pois a correlação estimada entre os caracteres foi de -0,39. Com a seleção direta para produção foram estimados ganhos positivos para produção (199,32 kg.ha) e negativos para CE (-0,40 mL.g⁻¹).

Com relação à seleção baseada no índice de Smith e Hazel, foi predito ganho de 2,08 mL.g⁻¹ para CE e 62,14 kg.ha para produção, quando foram utilizados como pesos econômicos os valores 1 e 210, para produção e CE, respectivamente. O ganho predito para CE corresponde a 96% daquele predito com a seleção direta. Dentre os pesos econômicos utilizados no índice Clássico, esse foi o que proporcionou os maiores ganhos para CE. Já os pesos 1 para produção e 112 para CE foram os que deram os maiores ganhos conjuntos. Praticamente não se previu ganho para CE quando os pesos econômicos utilizados foram 1 para produção e 38 para CE.

(¹) VILARINHO, A.A.; VIANA, J.M.S.; CÂMARA, T.M.M.; SANTOS, J.F. dos. Seleção de progêneses endogâmicas S_1 e S_2 em um programa de melhoramento intrapopulacional de milho-pipoca. *Acta Scientiarum*, Maringá v.24, n.5, p.1419-1425, 2002.

Quadro 1. Resumo das análises de variância e estimativas do coeficiente de herdabilidade (h^2) em sentido amplo, em nível de média de progênies para os caracteres PROD (produção) e CE (capacidade de expansão), no ensaio com progênies S_1 e S_2

F.V.	S_1			S_2		
	G.L.	Q.M.		G.L.	Q.M.	
		PROD	CE		PROD	CE
		kg.ha ⁻¹	mL.g ⁻¹		kg.ha ⁻¹	mL.g ⁻¹
Blocos	1	160293,69	0,338005	1	1780895,13	114,861261
Famílias	95	795569,27*	42,816964**	209	992449,24**	25,313210**
Resíduo	95	528378,18	17,267738	209	716211,16	17,148812
Máximo		4460	38,17		5153,00	40,00
Média		1294,35	25,37		1916,69	27,77
Mínimo		112	8,33		338,40	14,33
C.V. _e (%)		56,16	16,38		44,15	14,91
h^2 (%)		33,58	59,67		27,83	32,25

*,** = significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Quadro 2. Ganhos estimados e realizados para as variáveis PROD (produção) e CE (capacidade de expansão) de acordo com cada estratégia de seleção avaliada nas progênies S_1

Critério de seleção	Característica			
	PROD		CE	
	Predito	Realizado	Predito	Realizado
	kg.ha ⁻¹		mL.g ⁻¹	
1	25,95	101,58	2,17	1,03
2	199,32	-35,49	-0,40	-0,30
3	193,91	-40,86	0,22	-0,31
4	132,41	134,62	1,62	0,21
5	62,14	101,45	2,08	1,21
6	189,28	-1,78	0,50	0,29
7	162,69	116,99	1,28	0,43
8	132,41	134,62	1,62	0,21
9	162,69	116,99	1,28	0,43
10	162,69	116,99	1,28	0,43
11	68,09	133,79	2,04	1,56
12	38,42	90,26	2,16	1,12
13	112,27	126,83	1,46	0,70

*1 - Seleção direta para CE;

2 - Seleção direta para PROD;

3 - Seleção com base no índice Clássico (Smith, 1936 e Hazel, 1934) com pesos econômicos 1 e 38 para PROD e CE respectivamente;

4 - Seleção com base no índice Clássico (Smith, 1936 e Hazel, 1934) com pesos econômicos 1 e 112 para PROD e CE respectivamente;

5 - Seleção com base no índice Clássico (Smith, 1936 e Hazel, 1934) com pesos econômicos 1 e 210 para PROD e CE respectivamente;

6 - Seleção baseada no índice base (Williams, 1962) com pesos econômicos 1 e 38 para PROD e CE respectivamente;

7 - Seleção baseada no índice base (Williams, 1962) com pesos econômicos 1 e 112 para PROD e CE respectivamente;

8 - Seleção baseada no índice base (Williams, 1962) com pesos econômicos 1 e 210 para PROD e CE respectivamente;

9 - Seleção com base no índice proposto por Pesek e Baker (1969) com ganhos desejados equivalentes a um desvio padrão genotípico;

10 - Seleção de acordo com o índice baseado na soma de "ranks" (Mulamba e Mock, 1978) com pesos 1 e 1 para PROD e CE respectivamente;

11 - Seleção de acordo com o índice baseado na soma de "ranks" (Mulamba e Mock, 1978) com pesos 1 e 2 para PROD e CE respectivamente;

12 - Seleção de acordo com o índice baseado na soma de "ranks" (Mulamba e Mock, 1978) com pesos 1 e 10 para PROD e CE respectivamente;

13 - Seleção com base no índice livre de pesos ou parâmetros (Elston, 1963) com valores de k_i iguais a 1100 kg.ha e 25 mL.g para PROD e CE, respectivamente.

Pelo índice de Williams, os pesos econômicos 1 para produção e 210 para CE proporcionaram os maiores ganhos para CE (1,62 mL.g) e os pesos 1 para produção e 112 para CE deram os maiores ganhos conjuntos. Da mesma forma que no índice clássico, os ganhos preditos para CE com os pesos 1 para produção e 38 para CE foram os menores. Utilizando o índice de Pesek e Baker, foram preditos ganhos de 1,28 mL.g⁻¹ para CE e 162,69 kg.ha⁻¹ para produção. Com o índice de Mulamba e Mock, com pesos iguais para CE e produção, foi predito ganho para CE (1,28 mL.g⁻¹) muito inferior àquele predito com seleção direta para CE.

Com os pesos 1 e 10, foram preditos os maiores ganhos para CE (2,16 mL.g⁻¹). Com os pesos 1 e 2, foram preditos ganhos de 2,04 mL.g para CE e de 68,09 kg.ha para produção. O ganho conjunto foi menor do que aquele obtido com pesos iguais, porém o ganho predito para CE foi maior e, como o interesse é melhorar a qualidade, é um bom resultado. O índice de Elston gerou ganhos preditos de 1,46 mL.g⁻¹ para CE e 112,27 kg.ha⁻¹ para produção. Observa-se que, de forma geral, os índices foram eficientes em prever ganhos simultâneos em ambos os caracteres.

Os critérios de seleção 1 (seleção direta para CE), 5 (seleção com base no índice clássico com pesos 1 e 210 para produção e CE, respectivamente), 11 (seleção de acordo com o índice de Mulamba e Mock com pesos 1 e 2 para produção e CE) e 12 (Mulamba e Mock com pesos 1 e 10 para produção e CE, respectivamente) foram os que proporcionaram as maiores estimativas de ganho em CE, proporcionando também ganhos preditos positivos em produção, sendo os mais indicados para a seleção das famílias S₁ superiores, uma vez que se pretende melhorar principalmente a qualidade.

Vários autores têm avaliado o uso de índices de seleção no melhoramento, sendo variável o índice com melhores resultados de ganhos preditos, em cada caso. CROSBIE et al. (1980), comparando a eficiência de vários índices de seleção e dos ganhos preditos por cada um deles, no melhoramento da resistência ao frio de duas populações de milho, observaram que os melhores ganhos em todas as características avaliadas foram preditos com os índices de seleção de Mulamba e Mock, multiplicativo, de Elston e de Williams.

Consideraram ainda que estes índices têm a vantagem de não serem afetados pela desigualdade das variâncias das várias características, da simplicidade de uso e de não necessitarem da estimação de parâmetros genéticos. CASTOLDI (1996), trabalhando com milho comum, obteve os melhores ganhos simultâneos com o índice de Smith e Hazel quando utilizou os efeitos diretos das variáveis como pesos econômicos.

Uma dificuldade para a utilização do índice de Smith e Hazel, assim como do índice de Pesek e Baker, é que, para se obter estimativas confiáveis, é necessário que se tenha à disposição matrizes bem estimadas de variância e covariância, bem como pesos econômicos, relativos a cada caráter, bem estabelecidos (CRUZ, 1990).

Quanto aos ganhos realizados, verifica-se, de forma geral, correspondência com os ganhos preditos. Considerando-se apenas CE, os ganhos realizados foram contrários à expectativa apenas com base no critério 3 (seleção com base no índice clássico com pesos 1 e 38 para produção e CE, respectivamente). Levando-se em conta apenas produção, os resultados de ganhos realizados foram contrários à expectativa apenas com base nos critérios 2 (seleção direta para produção), 3 (seleção com base no índice clássico com pesos 1 e 38 para produção e CE, respectivamente) e 6 (seleção de acordo com o índice de Williams com pesos 1 e 38 para produção e CE). Com base nos demais critérios, houve plena concordância com relação ao sentido das mudanças previstas.

Com base na seleção direta para CE, o ganho predito foi de 2,17 mL.g⁻¹ e o ganho realizado foi de 1,03 mL.g⁻¹. A inferioridade do ganho realizado já era esperada, uma vez que se trabalhou com a herdabilidade em sentido amplo e nem toda variância genotípica é herdável, mas apenas a variância genética aditiva.

Considerando-se apenas CE, verifica-se que os quatro critérios que produziram as maiores estimativas de ganhos são os mesmos que deram os quatro maiores ganhos realizados, embora não na mesma ordem. Da mesma forma, os dois que deram as menores estimativas de ganhos são também os que deram os dois menores ganhos realizados.

O critério que proporcionou o maior ganho realizado em CE foi seleção com base no índice de Mulamba e Mock com pesos 1 para produção e 2 para CE (critério 11). Foi predito ganho de 2,04 mL.g⁻¹ e o ganho realizado foi 1,56 mL.g⁻¹. O ganho realizado em produção foi 133 kg.ha⁻¹, superior ao ganho predito (68 kg.ha⁻¹), sendo esta a estratégia de seleção recomendada para a seleção das 30 famílias S₁ superiores (Quadro 3).

Os ganhos preditos e realizados de acordo com as estratégias avaliadas para seleção de 60 famílias S₂ se encontram descritos no Quadro 4. Com a seleção direta para CE, foi predito ganho de 1,08 mL.g⁻¹ para CE e uma estimativa de perda de 10,22 kg.ha⁻¹ em produção. Já com a seleção direta para produção, os ganhos preditos foram 0,90 mL.g⁻¹ para CE e 34,64 kg.ha⁻¹ para produção.

Quadro 3. Famílias S₁ selecionadas com base no índice de Mulamba e Mock com pesos 1 para produção e 2 para CE, suas respectivas médias e média geral das 30 famílias selecionadas

Fam.	Característica										
	PROD	CE									
	kg.ha ⁻¹	mL.g ⁻¹									
8	614,78	30,33	114	1.100,45	29,34	136	2.219,75	28,25	151	1.565,72	27,17
24	1.864,31	27,50	115	1.486,15	26,00	137	2.177,78	28,09	152	398,60	29,84
58	1.866,02	27,09	116	1.292,50	28,00	138	1.512,06	28,50	153	888,11	29,17
60	1.303,06	33,42	117	2.126,73	24,67	142	1.827,94	29,67	163	685,51	29,34
72	1.403,83	26,50	118	1.625,38	27,67	144	1.676,79	31,24	164	815,59	34,50
76	1.529,11	29,17	126	2.191,12	25,67	145	2.299,85	28,25	166	962,08	35,00
77	241,17	31,91	129	1.616,83	27,58	146	1.373,16	26,67		1.497,09	28,79
84	2.545,49	27,67	132	1.661,76	30,67	147	2.041,19	24,83			

PROD - produção. CE - capacidade de expansão.

Quadro 4. Ganhos preditos e realizados para as variáveis PROD (produção) e CE (capacidade de expansão) de acordo com cada estratégia de seleção avaliada nas progênes S₂

Critério de seleção	PROD		CE	
	Predito	Realizado	Predito	Realizado
	kg.ha ⁻¹		mL.g ⁻¹	
1	-10,22	-100,11	1,08	-0,31
2	34,64	193,02	0,90	-0,16
3	34,64	186,21	0,90	0,37
4	31,29	140,59	1,00	-1,80
5	19,51	-88,19	1,06	0,92
6	33,55	-193,78	0,97	1,70
7	31,29	-34,46	1,00	-0,20
8	23,86	-26,98	1,05	-0,63
9	27,52	-177,79	1,03	0,67
10	27,20	97,10	1,02	2,52
11	19,51	-181,88	1,06	0,15
12	0,16	-290,09	1,08	-0,80
13	6,17	-85,89	1,03	-1,91

*1 - Seleção direta para CE;

2 - Seleção direta para PROD;

3 - Seleção com base no índice Clássico (Smith, 1936 e Hazel,1943) com pesos econômicos 1 e 33 para PROD e CE respectivamente;

4 - Seleção com base no índice Clássico (Smith, 1936 e Hazel,1943) com pesos econômicos 1 e 112 para PROD e CE respectivamente;

5 - Seleção com base no índice Clássico (Smith, 1936 e Hazel,1943) com pesos econômicos 1 e 400 para PROD e CE respectivamente;

6 - Seleção de acordo com o índice base (Williams, 1962) com pesos econômicos 1 e 33 para PROD e CE respectivamente;

7 - Seleção de acordo com o índice base (Williams, 1962) com pesos econômicos 1 e 112 para PROD e CE respectivamente;

8 - Seleção de acordo com o índice base (Williams, 1962) com pesos econômicos 1 e 400 para PROD e CE respectivamente;

9 - Seleção com base no índice proposto por Pesek e Baker (1969) com ganhos desejados equivalentes a um desvio padrão genotípico;

10 - Seleção de acordo com o índice baseado na soma de "ranks" (Mulamba e Mock,1978) com pesos 1 e 1 para PROD e CE respectivamente;

11 - Seleção de acordo com o índice baseado na soma de "ranks" (Mulamba e Mock,1978) com pesos 1 e 3 para PROD e CE respectivamente;

12 - Seleção de acordo com o índice baseado na soma de "ranks" (Mulamba e Mock,1978) com pesos 1 e 10 para PROD e CE respectivamente;

13 - Seleção com base no índice livre de pesos ou parâmetros (Elston,1963) com valores de k_i iguais a 1100 kg.ha e 27 mL.g para PROD e CE respectivamente.

Com relação ao índice de Smith e Hazel com peso 1 para produção e 400 para CE, foi obtido o maior ganho predito para CE (1,06 mL.g). O maior ganho conjunto para CE e produção foi obtido com pesos 1 e 112 para CE e produção, respectivamente.

O índice de Williams proporcionou maior ganho predito em CE quando pesos 1 para produção e 400

para CE foram usados (1,05 mL.g⁻¹). A maior estimativa de ganho conjunto foi obtida com pesos 1 e 112, para produção e CE, respectivamente, semelhante ao obtido pelo índice anterior.

Com o índice de Pesek e Baker, o ganho predito em CE foi de 1,03 mL.g⁻¹ e o em produção de 27,52 kg.ha⁻¹.

O índice de Mulamba e Mock com pesos iguais proporcionou estimativa de ganho de 1,02 mL.g⁻¹ para CE e 27,20 kg.ha⁻¹ para produção. Com peso 3 para CE, o ganho predito nessa variável chegou a 1,06 mL.g⁻¹, que corresponde a 98% do ganho estimado com seleção direta para CE. Com peso 10, o ganho predito se igualou ao estimado com seleção direta, porém nenhuma estimativa de ganho em produção foi obtida. Para que as 60 progênies fossem selecionadas pelo índice de Elston, os valores de k_i foram fixados em 1.100 kg.ha e 27 mL.g⁻¹. Dessa forma, foram preditos ganhos de 1,03 mL.g⁻¹ em CE e de 6,17 kg.ha⁻¹ em produção.

Como o interesse é obter linhagens de Beija-Flor com alta qualidade de pipoca, os melhores critérios são aqueles que proporcionem os maiores ganhos preditos para CE, sem, contudo, prejudicar a produção. Dessa forma, o melhor critério de seleção foi o 12, seleção com base no índice de Mulamba e Mock com pesos 10 para CE e 1 para produção. O ganho predito para CE foi igual ao obtido com a seleção direta, porém sem previsão de perda em produção.

Os critérios 4 (seleção com base no índice clássico com pesos 1 para produção e 112 para CE), 5 (seleção com base no índice clássico com pesos 1 para produção e 400 para CE), 7 (seleção de acordo com o índice de Williams com pesos 1 para produção e 112 para CE), 8 (seleção baseada no índice de Williams com pesos 1 para produção e 400 para CE), 9 (seleção com base no índice de Pesek e Baker), 10 (seleção de acordo com o índice de Mulamba e Mock com pesos iguais para produção e CE), 11 (seleção com base

no índice de Mulamba e Mock com pesos 1 para produção e 3 para CE), e 13 (seleção com base no índice de Elston) podem ser empregados pois proporcionaram predições de ganhos em CE acima de 1 mL.g⁻¹, além de ganhos preditos positivos em produção.

Verifica-se que a seleção com base no índice de Mulamba e Mock, com pesos 1 e 10 para produção e CE (critério 12), ao contrário do previsto, produziu estimativa negativa de ganhos realizados para CE. O mesmo ocorreu com relação aos critérios 1 (seleção direta para CE), 2 (seleção direta para produção), 4 (seleção com base no índice clássico com pesos 1 para produção e 112 para CE), 7 (seleção de acordo com o índice de Williams com pesos 1 para produção e 112 para CE), 8 (seleção baseada no índice de Williams com pesos 1 para produção e 400 para CE) e 13 (seleção com base no índice de Elston).

Uma das razões para essa discordância pode ser que as progênies S2 não estavam igualmente representadas em S3, tendo, algumas progênies S2 originado 5 famílias S3, enquanto outras, não deram origem a nenhuma família S3. O critério que proporcionou as maiores estimativas de ganhos realizados para CE foi a seleção com base no índice de Mulamba e Mock com pesos iguais (critério 10).

O ganho predito em CE foi de 1,02 mL.g⁻¹ e o ganho realizado foi de 2,52 mL.g⁻¹. Com relação à produção, o ganho predito foi de 27,2 kg.ha⁻¹ e o ganho realizado foi 72,4 kg.ha⁻¹. Portanto, este é o critério de seleção mais adequado para a seleção das 60 famílias S2 superiores (Quadro 5).

Quadro 5. Famílias S₂ selecionadas com base no índice de Mulamba e Mock com pesos iguais para produção e CE, suas respectivas médias e média geral das 60 famílias selecionadas

Fam.	Característica		Fam.	Característica		Fam.	Característica		Fam.	Característica	
	PROD	CE		PROD	CE		PROD	CE		PROD	CE
	kg.ha ⁻¹	mL.g ⁻¹		kg.ha ⁻¹	mL.g ⁻¹		kg.ha ⁻¹	mL.g ⁻¹		kg.ha ⁻¹	mL.g ⁻¹
7	5.476,00	23,54	55	1.660,88	32,67	106	1.625,02	33,17	162	1.421,04	28,50
13	2.103,18	29,67	62	647,80	31,34	109	2.857,99	30,67	166	1.671,69	30,67
14	2.482,59	28,50	63	943,87	32,67	115	1.680,44	29,67	168	2.068,28	32,84
15	2.049,91	28,34	71	2.924,42	29,00	116	1.260,23	29,00	169	2.161,86	26,67
17	1.281,64	37,50	73	1.079,18	29,83	118	2.612,93	29,50	181	2.875,99	31,84
18	1.856,93	29,84	78	2.656,50	32,00	121	2.952,24	28,84	186	2.544,35	31,17
27	2.829,63	28,33	81	2.402,72	30,33	129	1.921,16	31,00	193	3.535,45	27,87
28	2.290,38	32,00	84	1.379,54	31,17	133	1.755,21	33,67	194	2.122,23	32,83
30	3.246,13	30,84	85	1.893,21	24,84	135	1.502,70	31,84	196	1.396,72	34,67
34	1.118,74	37,00	87	3.629,83	29,50	136	1.543,86	29,50	203	2.438,79	32,67
40	2.007,39	32,17	88	1.675,24	33,17	149	1.996,66	30,84	205	2.100,93	28,00
41	1.494,04	32,67	89	2.200,39	32,67	151	1.251,93	33,00	211	1.888,10	28,00
42	3.087,83	31,50	91	2.268,50	33,50	152	1.390,31	33,00	226	1.435,48	31,00
43	1.207,22	29,67	102	2.647,69	36,00	158	1.101,16	32,34	227	1.440,47	31,00
44	2.447,95	29,67	105	1.375,53	30,67	160	2.882,13	29,50	228	1.236,22	32,50
\bar{X}										2.050,61	30,94

PROD - produção. CE - capacidade de expansão.

4. CONCLUSÕES

1. Os índices de seleção avaliados foram eficientes na identificação de famílias superiores em qualidade e produção, simultaneamente, constituindo-se numa ferramenta útil para se obter ganhos simultâneos em duas ou mais características, mesmo quando correlações negativas entre as variáveis são observadas.

2. Verifica-se que, com relação às progênies S1, houve boa concordância entre os ganhos preditos e realizados quanto ao sentido das mudanças previstas. Quanto à magnitude, em relação à variável CE, os ganhos realizados foram sempre inferiores aos preditos, fato já esperado devido à utilização da herdabilidade em sentido amplo.

3. A estratégia de seleção recomendada para a seleção das 30 famílias S1 superiores baseou-se no índice de Mulamba e Mock com pesos 1 para produção e 2 para CE.

4. O critério de seleção mais adequado para a seleção das 60 famílias S2 superiores baseou-se no índice de Mulamba e Mock com pesos iguais para produção e CE.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pelos recursos financeiros do Programa PROF, à FAPEMIG pelos recursos do projeto CAG-824/00, e ao CNPq, pela concessão de bolsas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, M.H.P., PINTO, C.A B.P. Eficiência de índices de seleção na identificação de clones superiores de batata. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.33, n.2, p.149-156, 1998.
- BUTCHER, P.A., MATHESON, A.C., SLEE, M.U. Potencial for genetic improvement of oil production in *Melaleuca alterifolia* and *M. linariifolia*. *New Forests*, Dordrecht, v.11, n.1, p.31-51, 1996.
- CASTOLDI, F. L. *Comparação de métodos multivariados aplicados na seleção em milho*. 1996. 100f. Dissertação (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa.
- CROSBIE, T.M., MOCK, J.J., SMITH, O.S. Comparison of gains predicted by several methods for cold tolerance traits of two maize populations. *Crop Science*, Madison, v.20, n.5, p.649-655, 1980.
- CRUZ, C. D. *Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas*. 1990. 188f. Dissertação (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- CRUZ, C.D. Programa Genes: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1997. 442 p.
- DOFING, S.M., D'CROZ-MASON, N., THOMAS-COMPTON, M.A. Inheritance of expansion volume and yield in two popcorn x dent corn crosses. *Crop Science*, Madison, v.31, n.3, p.715-718. 1991.
- ELSTON, R.C. A weight-free index for the purpose of ranking or selection with respect to several traits at a time. *Biometrics*, North Carolina, v.19, n.1, p.85-97, 1963.
- HAZEL, L.N. The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics*, Austin, v.28, n.6, p.476-490, 1943.
- LIMA, M., ZINSLY, J.R., MÔRO, J.R. Seleção massal estratificada no milho-pipoca (*Zea mays* L.) visando o aumento da produtividade, caracteres agrônômicos e capacidade de expansão. *Relatório Científico da ESALQ*, Piracicaba, v.7, p.83-88, 1973.
- MATTA, F P. *Seleção entre e dentro de famílias de meios-irmãos*. 2000. 83f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa.
- MELO, M.R. de C., MIRANDA FILHO, J. B., ZINSLY, J.R., LIMA, M. Avaliação de germoplasma de milho-pipoca. *Relatório Científico da ESALQ*, Piracicaba, v.5, p.106-112, 1971.
- MULAMBA, N.N., MOCK, J.J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. *Egyptian Journal of Genetics and Cytology*, Alexandria, v.7, n.1, p.40-57, 1978.
- PATERNIANI, E., MIRANDA FILHO, J.B. Melhoramento de populações. In: PATERNIANI, E. (Ed.). *Melhoramento e produção de milho no Brasil*. Piracicaba: ESALQ, 1978. cap.6, p.202-246.
- PATERNIANI, E., MIRANDA FILHO, J.B. Melhoramento de populações. In: PATERNIANI, E., VIEGAS, G.P. (Eds.). *Melhoramento e produção de milho*. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v.1, p.217-264.
- PESEK, J., BAKER, R.J. Desired improvement in relation to selected indices. *Canadian Journal of Plant Science*, Ottawa, v.49, n.6, p.803-804, 1969.
- SMITH, H.F. A discriminant function for plant selection. *Annual Eugenics*, London, v.7, p.240-250, 1936.
- VENCOVSKY, R., CRUZ, C.D. Comparação de métodos de correção do rendimento de parcelas com estandes variados. I. Dados simulados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.26, n.5, p.647-657, 1991.
- WILLIAMS, J.S. The evaluation of a selection index. *Biometrics*, North Carolina, v.18, n.3, p.375-393, 1962.
- ZIEGLER, K.E., ASHMAN, B. Popcorn. In: HALLAUER, A.R. (Ed.). *Specialty Corns*. Iowa: CRC Press, 1994. cap.7, p.189-223.
- ZINSLY, J.R., MACHADO, J.A. Milho-pipoca. In: PATERNIANI, E. (Ed.). *Melhoramento e produção do milho no Brasil*. Piracicaba: ESALQ, 1978. p.339-348.
- ZINSLY, J.R., MACHADO, J.A. Milho-pipoca. In: PATERNIANI, E., VIEGAS, G.P. (Eds.). *Melhoramento e produção do milho*. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v.2, p.413-422.