

## Ganho genético por diferentes critérios de seleção em populações segregantes de soja

Marcelo Marchi Costa<sup>(1)</sup>, Antonio Orlando Di Mauro<sup>(1)</sup>, Sandra Helena Unêda-Trevisoli<sup>(1)</sup>, Nair Helena Castro Arriel<sup>(1)</sup>, Ivana Marino Bárbaro<sup>(1)</sup> e Franco Romero Silva Muniz<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Universidade Estadual Paulista, Fac. de Ciências Agrárias e Veterinárias, Dep. de Produção Vegetal, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/nº, CEP 14884-900 Jaboticabal, SP. E-mail: mmarchi@hotmail.com, orlando@fcav.unesp.br, shutrevi@fcav.unesp.br, narriel@fcav.unesp.br, imarino@fcav.unesp.br, frmuniz@fcav.unesp.br

Resumo – Nos programas de melhoramento, o processo seletivo é dificultado pela complexidade dos caracteres de expressividade econômica, em sua maioria altamente influenciados pelo ambiente. Com o auxílio de parâmetros genéticos, como a herdabilidade e o ganho com a seleção, pode-se identificar genótipos superiores em gerações precoces. O objetivo deste trabalho foi comparar diferentes critérios de seleção por meio de ganhos estimados e das progênies selecionadas, determinando os métodos superiores e os mais similares. O delineamento utilizado foi o de blocos aumentados, em que foram avaliados 1.200 genótipos, com três testemunhas intercalares. As maiores estimativas de ganhos foram obtidas pela seleção direta, porém, os índices apresentaram-se mais adequados para a seleção dos genótipos superiores por registrarem maiores ganhos totais, distribuídos entre todos os caracteres avaliados. O índice baseado em soma de "ranks" permitiu os maiores ganhos na maioria das situações analisadas.

Termos para indexação: *Glycine max*, índices de seleção, caracteres agronômicos, progresso genético.

### Genetic gain by different selection criteria in soybean segregant populations

Abstract – In breeding programs, the complexity of economically outstanding characters, most of which highly influenced by the environment, makes selection difficult. Using genetic parameters, like heritability and gain with selection, it is possible to identify superior genotypes in early generations. Therefore, the aim of the present research was to compare different selection criteria by the estimated gains and the selected progenies, determining the superior and more similar methods. Augmented block design was used with three additional checks. Twelve hundred genotypes were evaluated. The most expressive expected gains were obtained with direct selection. However, the indices have shown to be more appropriate for selecting superior progenies because of their higher total gains, distributed among all the evaluated characters. The Sum of Ranks Index allowed the highest gains in most of the situations analysed.

Index terms: *Glycine max*, selection indices, agronomic traits, genetic progress.

### Introdução

A importância da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) nos dias atuais é indiscutível, principalmente em países produtores e exportadores, como Estados Unidos e Brasil, onde a geração de divisas e a influência na balança comercial são expressivas. A produção brasileira na safra 2002/2003, chegou a 50,3 milhões de toneladas (Conab, 2003), e tanto o crescimento da produção quanto o aumento da capacidade competitiva da soja brasileira estão associados aos avanços científicos e à disponibilização de tecnologias ao setor produtivo. Os programas de melhoramento genético da cultura são

essenciais para atender à crescente demanda por maiores produções, possibilitando, através da criação de variabilidade e ampliação da base genética, a seleção dos melhores genótipos de uma população, capazes de superar os patamares de produtividade.

Contudo, selecionar progênies superiores não é tarefa fácil, uma vez que os caracteres de importância, em sua maioria quantitativos, apresentam comportamento complexo, por serem influenciados pelo ambiente e estarem inter-relacionados, de tal forma que a seleção de um provoca uma série de mudanças em outros (Cruz, 2001). Para a obtenção de genótipos superiores, é necessária a reunião de uma série de atributos favo-

ráveis que confirmam rendimento comparativamente mais elevado e satisfaçam as exigências do mercado. Com isso, a seleção baseada em uma ou poucas características mostra-se inadequada, conduzindo a um produto final superior apenas em relação aos caracteres selecionados (Cruz & Regazzi, 1997).

Assim, a seleção simultânea de um conjunto de caracteres de expressividade econômica aumenta a chance de êxito de um programa de melhoramento. Para tal, a teoria de índice de seleção permite combinar as múltiplas informações contidas na unidade experimental, possibilitando a seleção com base em um complexo de variáveis que reúna vários atributos de interesse econômico. Desse modo, o índice de seleção constitui-se num caráter adicional, estabelecido pela combinação linear ótima de vários caracteres, que permite efetuar, com eficiência, a seleção simultânea (Cruz & Regazzi, 1997).

Segundo Cruz (1990), o índice de seleção tem sido mais freqüentemente utilizado nos melhoramentos animal e vegetal de espécies perenes e semiperenes, com uso muito restrito em espécies anuais e de ciclo curto. Trabalhos similares foram realizados com milho (Garcia & Souza Júnior, 1999; Granate et al., 2002), eucalipto (Paula et al., 2002), arroz (Rodriguez et al., 1998), batata (Barbosa & Pinto, 1998) e soja (Oliveira et al., 1999).

O objetivo deste trabalho foi comparar diferentes critérios de seleção por meio de seus ganhos estimados e das progênes selecionadas, determinando os métodos superiores e mais similares.

### Material e Métodos

O trabalho foi conduzido na área experimental do Departamento de Produção Vegetal da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal – Unesp. O experimento constituiu-se de 26 populações  $F_2$  de soja, derivadas de cruzamentos biparentais. O delineamento utilizado foi o de blocos aumentados de Federer (1955), constituído por 10 blocos com 15 linhas dos genótipos e três linhas com as testemunhas intercalares (Renascença, Liderança e Cristalina) em cada bloco. As parcelas constituíram-se de linhas de 5 m com 20 a 25 plantas por metro, espaçadas de 0,5 m. De cada linha foram selecionadas oito plantas, totalizando 1.200 plantas individuais. Os tratos culturais seguiram as recomendações para a cultura da soja.

### Análises estatísticas

O modelo estatístico de análise de blocos aumentados foi  $Y_{ij} = \mu + \tau_i + B_j + \varepsilon_{ij}$ , em que  $Y_{ij}$  é o valor do caráter para o  $i$ -ésimo tratamento no  $j$ -ésimo bloco;  $\mu$  é a média geral;  $\tau_i$  é o efeito do  $i$ -ésimo tratamento, que pode ser decomposto em:  $T_i$ : efeito da  $i$ -ésima testemunha, com  $i = 1, 2, \dots, t$  e  $G_i^j$ : efeito do  $i$ -ésimo genótipo, com  $i = 1, 2, \dots, g$ ;  $B_j$  é o efeito do  $j$ -ésimo bloco, com  $j = 1, 2, \dots, b$ ; e  $\varepsilon_{ij}$  é o erro aleatório.

Os caracteres avaliados foram: altura de planta na maturação (APM), em cm; altura de inserção da primeira vagem (AIV), em cm; acamamento (Ac), escala de notas variando de 1,0 (planta ereta) a 5,0 (planta prostrada); valor agrônômico (VA), escala de notas variando de 1,0 (planta sem nenhum valor agrônômico) a 5,0 (planta excelente); número de vagens por planta (NV); número de sementes por planta (NS); e produção por planta (PROD), em gramas.

As análises estatísticas foram efetuadas utilizando-se o programa Genes (Cruz, 2001). Nos caracteres Ac e VA, os dados originais foram transformados para  $\sqrt{x+0,5}$  e em NV e NS utilizou-se  $\sqrt{x}$ . Os coeficientes de herdabilidade, calculados com base em plantas individuais, foram estimados no sentido amplo, através da razão entre as variâncias genotípica e fenotípica, que foram obtidas na análise de variância de blocos aumentados.

Na análise de ganho genético, quanto aos caracteres principais, os pesos econômicos e ganhos desejados foram estabelecidos a partir dos próprios dados experimentais, conforme recomendações de Cruz (1990). Adotou-se como ganho desejado o equivalente a um desvio-padrão genético (DP), e como pesos econômicos, as estimativas de coeficiente de variação genético (CVg) e a razão entre o coeficiente de variação genético e o experimental (CVg/Cve). Quanto aos caracteres secundários, foram adotados valores nulos.

Na seleção dos melhores genótipos e estimativas dos progressos genéticos, utilizaram-se os seguintes critérios, citados por Cruz (2001): seleção direta e indireta, índice clássico (Smith, 1936; Hazel, 1943), índice baseado em soma de “ranks” (Mulamba & Mock, 1978), índice base (Willians, 1962) e índice baseado nos ganhos desejados (Pesek & Baker, 1969).

Na seleção direta e indireta, em princípio, espera-se obter ganhos em um único caráter sobre o qual se pratica a seleção, podendo ocorrer respostas favoráveis ou desfavoráveis nos caracteres de importância secundária.

O ganho esperado pela seleção direta no  $i$ -ésimo caráter pode ser estimado por:  $GS_i = (\bar{X}_{si} - \bar{X}_{oi})h_i^2 = DS_i h_i^2$ , em que  $\bar{X}_{si}$  é a média dos indivíduos selecionados para o caráter  $i$ ;  $\bar{X}_{oi}$  é a média original da população;  $DS_i$  é o diferencial de seleção praticado na população; e  $h_i^2$  é a herdabilidade do caráter  $i$ .

O ganho indireto no caráter  $j$ , pela seleção no caráter  $i$ , é dado por  $GS_{j(i)} = DS_{j(i)}h_j^2$ , em que  $DS_{j(i)}$  é o diferencial de seleção indireto obtido em função da média do caráter daqueles indivíduos cuja superioridade foi evidenciada com base em outro caráter, sobre o qual se pratica a seleção direta.

O índice clássico, proposto por Smith (1936) e Hazel (1943), consiste numa combinação linear de vários caracteres de importância econômica, cujos coeficientes de ponderação são estimados de modo a maximizar a correlação entre o índice e o agregado genotípico. Este é estabelecido por uma outra combinação linear, envolvendo os valores genéticos, os quais são ponderados por seus respectivos valores econômicos.

Sejam o índice de seleção (I) e o agregado genotípico (H) descritos como a seguir:

$$I = b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n = \sum_{i=1}^n b_i x_i = b'x;$$

$$H = a_1g_1 + a_2g_2 + \dots + a_ng_n = \sum_{i=1}^n a_i g_i = a'g;$$

em que  $n$  é o número de caracteres avaliados;  $b'$  é o vetor de dimensão  $1 \times n$  dos coeficientes de ponderação do índice de seleção a ser estimado;  $x$  é a matriz de dimensão  $n \times p$  (plantas) de valores fenotípicos dos caracteres;  $a'$  é o vetor de dimensão  $1 \times n$  de pesos econômicos previamente estabelecidos;  $g$  é a matriz de dimensão  $n \times p$  de valores genéticos desconhecidos dos  $n$  caracteres considerados.

Assim, tem-se que o vetor  $b = P^{-1}Ga$ , em que  $P^{-1}$  é o inverso da matriz, de dimensão  $n \times n$ , de variâncias e covariâncias fenotípicas entre os caracteres;  $G$  é a matriz, de dimensão  $n \times n$ , de variâncias e covariâncias genéticas entre os caracteres.

O ganho esperado para o caráter  $j$ , quando a seleção é praticada sobre o índice, é expresso por  $\Delta g_{j(I)} = DS_{j(I)}h_j^2$ , em que  $\Delta g_{j(I)} = g_{j(I)}$  é o ganho esperado para o caráter  $j$ , com a seleção baseada no índice I;  $DS_{j(I)}$  é o diferencial de seleção do caráter  $j$ , com a seleção baseada no índice I; e  $h_j^2$  é a herdabilidade do caráter  $j$ .

O índice baseado em soma de "ranks" (Mulamba & Mock, 1978) consiste em classificar os genótipos em relação a cada um dos caracteres, em ordem favorável ao melhoramento. A seguir, são somadas as ordens de cada material resultando no índice de seleção, como descrito a seguir  $I = r_1 + r_2 + \dots + r_n$ , sendo que  $I$  é o valor do índice para determinado indivíduo ou família;  $r_j$  é a classificação (ou "rank") de um indivíduo em relação ao  $j$ -ésimo caráter;  $n$  é o número de caracteres considerado no índice.

Adicionalmente, o melhorista pode desejar que a ordem de classificação das variáveis tenha pesos diferentes e especificá-los. Assim, tem-se que  $I = p_1r_1 + p_2r_2 + \dots + p_nr_n$ , em que  $p_j$  é o peso econômico atribuído pelo usuário ao  $j$ -ésimo caráter.

O índice base (Willians, 1962) propõe o estabelecimento de índices mediante a combinação linear dos valores fenotípicos médios dos caracteres, os quais são ponderados diretamente pelos seus respectivos pesos econômicos, em que  $I_b = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n = a'x$ , em que  $x$  e  $a$  são vetores  $n \times 1$ , cujos elementos são as médias e os pesos econômicos dos caracteres estudados, respectivamente.

Preocupados com a dificuldade de estabelecer com exatidão os pesos econômicos relativos aos vários caracteres, Pesek & Baker (1969) propuseram um índice em que estes pesos poderiam ser substituídos pelos ganhos desejados pelo melhorista para cada caráter.

A construção do índice baseado nos ganhos desejados envolve o conhecimento da expressão do ganho esperado dos vários caracteres, que é definida por  $\Delta g = \frac{Gb_i}{\sigma_1^2}$ . Substituindo-se  $\Delta g$ , que é o vetor dos ganhos estimados, por  $\Delta g_d$ , que é o vetor dos ganhos desejados, e eliminando-se o escalar  $\frac{1}{\sigma_1^2}$ , que não afeta a proporcionalidade dos coeficientes  $b$ 's, estima-se  $b$  pela expressão  $\hat{b} = G^{-1}\Delta g_d$ . Os coeficientes  $\hat{b}_i$ 's proporcionarão a maximização dos ganhos em cada caráter, baseando-se na especificação dos ganhos desejados.

Além dos ganhos genéticos e das progênies selecionadas, as comparações entre os critérios de seleção foram realizadas por meio do coeficiente de coincidência, calculado pelo Programa Genes (Cruz, 2001).

Inicialmente, realizou-se uma comparação entre os ganhos proporcionados pela seleção direta e indireta em cada caráter e pelo índice clássico de Smith e Hazel, onde apenas um caráter era considerado como princi-

pal, com peso econômico um (1), e os demais secundários, com peso zero.

Em seguida, comparou-se a seleção direta e indireta com o índice clássico, o índice base, o índice baseado na soma de "ranks" e o índice baseado nos ganhos desejados, com vários caracteres como principais, onde foram avaliadas três situações: I. os caracteres produção (PROD), valor agrônômico (VA) e altura da planta na maturação (APM) como principais; II. produção (PROD), valor agrônômico (VA), número de sementes (NS) e número de vagens (NV) como principais; III. todos os sete caracteres, APM, AIV, Ac, VA, NV, NS e PROD, como principais. Em cada caso, os pesos econômicos estabelecidos para os caracteres principais foram o valor 1 (um), o coeficiente de variação genético (CVg) do caráter e a razão entre o coeficiente de variação genético e o experimental (CVg/CVe); com os secundários assumindo valor zero.

## Resultados e Discussão

### Análise de Blocos Aumentados

A análise de variância de blocos aumentados indicou diferenças altamente significativas entre os genótipos em relação a altura da planta na maturação (APM), valor agrônômico (VA), número de vagens (NV), número de sementes (NS) e produção (PROD); altura de inserção da primeira vagem (AIV) apresentou diferenças a 5%, enquanto no acamamento (Ac) não foram observadas diferenças significativas (Tabela 1).

Os coeficientes de variação assumiram valores aceitáveis, tanto o genético como o experimental (Tabela 1), estando próximos aos encontrados por Farias Neto & Vello (2001) para populações F<sub>4:3</sub> e por Azevedo Filho

et al. (1998) em populações F<sub>7:6</sub>. Destaca-se, nesse caso, a razão CVg/CVe assumindo valores próximos ou superiores à unidade em relação a todos os caracteres, que são valores considerados ideais para a seleção (Cruz & Regazzi, 1997).

Os coeficientes de herdabilidade foram elevados e superiores aos observados por Farias Neto & Vello (2001) em populações F<sub>4:3</sub> e F<sub>5:3</sub>, quanto a APM (59 e 54%, respectivamente), VA (59 e 52%) e PG (53%), porém quanto a Ac (52 e 45%) foram inferiores. Esse fato já era esperado, uma vez que os autores obtiveram estimativas da herdabilidade no sentido restrito enquanto neste trabalho estimou-se esse coeficiente no sentido amplo.

Os coeficientes de herdabilidade também foram semelhantes aos observados por Mauro et al. (1995) quanto a APM (74 a 95%), AIV (38 a 93%) e PROD (2 a 81%). Porém em relação a NV (10 a 33%) e NS (16 a 70%), os resultados alcançados foram superiores.

Deve-se salientar que todas as estimativas de ganho de seleção estão superestimadas, uma vez que foram calculadas utilizando-se a herdabilidade no sentido amplo. Por se tratar de genótipos segregantes na geração F<sub>2</sub>, não foi possível estimar isoladamente o componente aditivo da variância genotípica, porém esse fato não irá interferir nos resultados, já que todos os métodos utilizados estarão sujeitos a esse mesmo problema de estimação.

### Estimativas de ganhos de seleção por diferentes critérios

O ganho pela seleção direta em todos os caracteres foi sempre superior ao ganho indireto (Tabela 2), ficando

**Tabela 1.** Resumo da análise de variância para os caracteres altura de planta na maturação (APM), altura de inserção da primeira vagem (AIV), acamamento (Ac), valor agrônômico (VA), número de vagens (NV), número de sementes (NS) e produção (PROD) de 1.200 progênies F<sub>2</sub> de soja.

Fonte de variação <sup>(1)</sup>	GL	QM						
		APM	AIV	Ac	VA	NV	NS	PROD
Blocos	9	9047,55	616,35	0,08	2,40	37,43	46,20	688,29
Trat (Aj)	1202	306,42**	30,34*	0,01 <sup>ns</sup>	0,031**	3,98**	8,40**	145,20**
Méd pond		82,06	18,35	1,32	1,72	9,44	12,88	25,73
CVg (%)		22,21	26,35	5,30	13,88	20,77	21,89	45,30
CVe (%)		9,42	17,63	6,18	5,25	11,04	10,69	22,09
CVg/CVe		2,36	1,50	0,86	2,64	1,88	2,04	2,05
h <sup>2</sup> (%)		84,76	69,15	42,35	87,46	77,96	80,66	80,74

<sup>(1)</sup>Trat (Aj): tratamentos ajustados; Méd pond: médias ponderadas; CVg: coeficiente de variação genético; CVe: coeficiente de variação experimental; h<sup>2</sup>: herdabilidade. <sup>ns</sup>Não-significativo pelo teste F. \* e \*\*Significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

do próximo nas situações em que as características são altamente correlacionadas, como NV, NS e PROD. Falconer (1987) salienta que a seleção indireta pode promover maiores ganhos que a direta se o caráter auxiliar apresentar maior herdabilidade que o principal, e se a correlação genética entre ambos for positiva e de alta magnitude. Os maiores ganhos individuais foram observados para PROD, AIV, APM, NS e NV. Entre esses caracteres os que proporcionaram maiores ganhos totais pela seleção direta foram PROD, NS e NV.

Os ganhos obtidos pelo índice SH no que diz respeito ao caráter principal foram muito semelhantes aos obtidos pela Seleção Direta, com uma pequena vantagem do último método (Tabela 2). Os maiores ganhos individuais também foram para PROD, AIV, APM, NS e NV. Porém, a análise dos ganhos totais demonstrou a superioridade do índice SH, uma vez que os ganhos indiretos para a maioria dos caracteres são maiores do que os obtidos pela seleção direta, conforme observado por Cruz (1990). Os maiores ganhos totais também foram verificados em relação a PROD, NS e NV.

Na comparação dos resultados obtidos pela seleção por meio do índice SH com a SDI, usando a produção como caráter principal, pode-se notar que em alguns caracteres o índice foi superior, em outros, foi inferior. Maiores ganhos indiretos foram proporcionados pelo índice SH para APM e VA, ao passo que, para NV e NS, a SDI apresentou-se ligeiramente superior.

Quanto ao caráter VA, em que também é interessante a obtenção de maiores ganhos, por se tratar do aspecto global da planta, a SDI foi superior ao índice SH, tanto no ganho direto como no total. Isso se deveu aos ganhos indiretos, também superiores, em NV, NS e PROD pela SDI.

Na comparação dos genótipos selecionadas pelos dois métodos, quanto a cada caráter, verificaram-se as seguintes coincidências: 92,7%, APM; 95,7%, AIV; 70,7%, VA; 92%, NV; 91%, NS; 94,3%, PROD. Por esses resultados, pode-se notar que, além de ganhos próximos, os genótipos considerados superiores pelos dois métodos, na maior parte dos casos, são coincidentes.

Conforme Cruz (1990), a utilização dos índices, mesmo considerando apenas um caráter como principal, mostra-se vantajosa em relação à seleção direta, uma vez que possibilita ganhos mais distribuídos em todos os caracteres avaliados, com ganhos totais maiores, sem proporcionar perda significativa no caráter principal. Isso também foi detectado por Rodriguez et al. (1998) em arroz, utilizando o índice SH.

Os ganhos estimados pelos índices SH, MM, BW e PB (Tabela 3), em que cada um deles foi obtido para as três situações e os três pesos econômicos anteriormente citados, mostram a superioridade da estimativa do ganho total quando se usa o CVg como peso econômico para os três índices, sendo comparativamente superior nas três situações consideradas na escolha dos

**Tabela 2.** Estimativas das médias ( $\bar{X}_0$ ), herdabilidades ( $h^2$ ) e ganhos de seleção em porcentagem (GS%), obtidos pela seleção direta e indireta (SDI) e pelo índice clássico de Smith (1936) e Hazel (1943) (SH), nas 1.200 progênies F<sub>2</sub> de soja, considerando cada caráter como principal.

Varáveis <sup>(1)</sup>	$\bar{X}_0$	$h^2$	Seleção	GS%								
				APM	AIV	Ac	VA	NV	NS	PROD	Total	
APM	81,99	84,76	SDI	27,96	1,39	1,47	-0,84	0,31	2,33	9,81	42,43	
			SH	27,78	0,67	1,24	-0,15	2,69	4,55	15,50	52,28	
AIV	18,39	69,15	SDI	4,71	29,71	0,20	-1,75	-4,63	-4,23	-9,43	14,58	
			SH	5,13	29,62	0,30	-1,72	-4,15	-4,12	-8,65	16,41	
Ac	1,32	42,35	SDI	-11,65	-6,90	-3,69	4,68	-0,44	-0,02	-1,09	-19,11	
			SH	8,04	1,20	2,75	5,14	2,55	5,93	5,57	31,18	
VA	1,72	87,45	SDI	2,61	-4,08	-0,27	17,73	18,45	18,99	39,64	93,07	
			SH	2,91	-3,29	1,66	14,79	15,19	17,86	36,55	85,67	
NV	9,44	77,96	SDI	2,73	-6,55	0,35	12,51	24,86	25,91	51,43	111,24	
			SH	4,37	-5,19	0,06	11,53	24,58	26,38	52,55	114,28	
NS	12,88	80,66	SDI	4,27	-5,21	0,15	11,86	24,07	26,88	53,06	115,08	
			SH	5,47	-3,71	0,75	12,94	23,79	26,50	52,53	118,27	
PROD	25,73	80,74	SDI	4,59	-4,88	-0,05	12,30	23,05	25,74	55,11	115,86	
			SH	6,48	-3,43	-0,11	12,76	22,63	25,60	54,55	118,48	

<sup>(1)</sup>APM: altura de planta na maturação; AIV: altura de inserção da primeira vagem; Ac: acamamento; VA: valor agrônomico; NV: número de vagens; NS: número de sementes; PROD: produção.

caracteres principais, conforme observado também por Paula et al. (2002). Destaca-se ainda a situação em que PROD, VA, NS e NV são considerados caracteres principais, com maiores ganhos totais, utilizando qualquer peso econômico, quanto a quase todos os índices de seleção, exceto quanto ao índice MM, cujas maiores estimativas foram obtidas quando todos os caracteres foram considerados como principais, utilizando CVg e CVg/CVe como pesos econômicos.

As estimativas de ganhos totais foram superiores no índice MM, em que observou-se o maior ganho, com o peso equivalente ao CVg e considerando todos os caracteres avaliados como principais. Destacam-se também os resultados obtidos quanto ao índice SH, com PROD, VA, NS e NV como caracteres principais, uti-

lizando-se qualquer um dos pesos econômicos considerados (CVg, um e CVg/CVe). Esses dois índices superaram os maiores ganhos obtidos com os índices BW e PB, que foram observados quando PROD, VA, NS e NV foram considerados como principais, e utilizando-se o valor 1 (um) ou CVg/CVe como peso, no caso do índice BW, e com o ganho desejado equivalente ao DP, para o índice PB.

Em relação caráter PROD, o de maior importância para os melhoristas (Tabela 3), nenhum dos índices apresentou valor de ganho individual superior ao da SDI, sendo que o índice BW, com PROD, VA, NS e NV como caracteres principais, apresentou os valores mais próximos, considerando qualquer um dos três pesos econômicos. Quanto aos outros três índices (SH, MM e

**Tabela 3.** Estimativas dos ganhos de seleção (GS%) obtidos para os sete caracteres em estudo pelos índices propostos por Smith (1936) e Hazel (1943) (SH), Mulamba & Mock (1978) (MM), Willians (1962) (BW), e Pesek & Baker (1969) (PB), com os pesos econômicos (PE) e diferentes situações (Sit).

Índice	PE	Sit	GS%							
			APM	AIV	Ac	VA	NV	NS	PROD	Total
SH	I	I <sup>(1)</sup>	24,54	-2,00	0,97	4,65	10,80	13,59	34,40	86,95
		II <sup>(2)</sup>	6,07	-3,26	0,12	13,03	23,36	26,22	54,33	119,87
		III <sup>(3)</sup>	22,68	0,54	0,85	5,78	12,59	15,45	37,47	95,36
SH	CVg	I	20,78	-3,07	0,68	6,91	14,56	17,69	42,40	99,95
		II	6,62	-2,95	0,12	12,88	23,08	25,99	54,34	120,08
		III	17,87	1,37	0,60	8,91	16,39	19,58	44,93	109,65
SH	CVg/CVe	I	24,94	-1,78	0,98	4,29	10,21	12,99	33,12	84,75
		II	5,91	-3,30	0,12	13,02	23,36	26,23	54,40	119,74
		III	23,91	-0,27	1,00	5,19	11,44	14,24	35,36	90,87
MM	I	I	10,82	0,77	0,54	15,02	19,04	21,10	46,67	113,96
		II	4,00	-4,64	0,19	14,84	23,88	25,65	52,52	116,44
		III	7,92	2,88	-0,56	14,32	20,28	22,51	47,76	115,11
MM	CVg	I	10,84	-1,26	0,48	13,72	20,51	22,85	50,52	117,66
		II	4,46	-4,96	0,25	13,55	24,17	26,30	54,25	118,02
		III	9,44	2,55	0,20	13,54	21,22	23,68	50,41	121,04
MM	CVg/CVe	I	10,67	0,67	0,51	15,21	18,93	20,93	46,24	113,16
		II	3,91	-4,49	0,15	15,43	23,34	25,14	51,66	115,19
		III	8,76	1,19	0,12	14,97	21,15	23,37	49,32	118,88
BW	I	I	24,33	-3,31	1,16	5,01	11,22	13,81	35,21	87,43
		II	4,14	-5,26	0,05	12,56	23,95	26,30	54,91	116,65
		III	22,65	1,25	1,04	6,04	12,46	15,28	37,16	95,88
BW	CVg	I	20,27	-4,84	0,86	7,33	15,17	17,86	43,47	100,12
		II	4,36	-5,15	-0,03	12,48	23,67	26,08	55,06	116,47
		III	16,30	0,55	0,75	9,43	17,97	20,84	47,35	113,19
BW	CVg/CVe	I	25,33	-2,69	1,18	4,52	9,69	12,20	32,01	82,24
		II	4,14	-5,26	0,05	12,56	23,95	26,30	54,91	116,65
		III	24,03	-0,66	1,02	5,13	11,47	14,14	35,24	90,37
PB	DP	I	21,37	-1,84	1,39	8,82	11,98	15,32	36,38	93,42
		II	0,96	-5,25	-0,95	16,52	20,96	21,68	45,71	99,63
		III	9,82	13,27	-0,86	10,86	10,76	11,55	20,18	75,58

<sup>(1)</sup>Produção (PROD), valor agrônomo (VA) e altura de planta na maturação (APM) como caracteres principais. <sup>(2)</sup>PROD, VA, número de sementes (NS) e número de vagens (NV) como principais. <sup>(3)</sup>Todos os caracteres: APM, altura de inserção da primeira vagem (AIV), acamamento (Ac), VA, NV, NS e PROD como principais.

PB), os maiores ganhos em produção foram obtidos nessa mesma situação.

Na análise isolada de cada situação de consideração dos caracteres principais, constata-se a superioridade marcante do índice MM quando PROD, VA e APM foram considerados como principais, assim como, na situação de todos os caracteres como principais. A superioridade passa a ser constatada no índice SH quando são considerados PROD, VA, NV e NS como caracteres principais.

Os ganhos totais dos índices de seleção superaram o máximo da SDI, obtido com a seleção sobre PROD, exceto no caso do índice PB. Isso se deve não aos ganhos diretos sobre PROD, onde a SDI foi superior, mas aos maiores ganhos com os outros caracteres avaliados, que foram superiores para os índices (Tabelas 2 e 3).

Os ganhos esperados obtidos pela seleção direta sobre NV (Tabela 2) foram superiores aos encontrados por Oliveira et al. (1999), em populações F<sub>2</sub> de soja, quanto aos caracteres NV, NS e PROD no campo. No caso da seleção direta sobre NS, os valores observados por esse autores foram superiores para NV e NS e inferiores para PROD. Por sua vez, na seleção direta sobre PROD, os ganhos observados neste experimento foram inferiores aos obtidos por Oliveira et al. (1999) nesses três caracteres. Considerando-se os ganhos obtidos com o índice PB (Tabela 3), os resultados constatados por esses autores foram semelhantes para NV e superiores para NS e PROD.

Os ganhos diretos obtidos para APM, AIV, NV e PROD (Tabela 2) foram superiores aos observados por Mauro et al. (1995). Os ganhos observados por Backes et al. (2003) em populações F<sub>5</sub> e F<sub>6</sub> de soja, foram semelhantes quanto a APM e NV e inferiores quanto a PROD, tanto na seleção direta sobre PROD como na seleção direta sobre NV (Tabela 2). No caso do índice PB (Tabela 3), os resultados foram semelhantes aos de Backes et al. (2003) em relação a NV e superiores em relação a APM e PROD.

Com base em comparações feitas entre os genótipos selecionados (Tabela 4), constatou-se que, considerando-se a mesma situação e o mesmo peso econômico, os índices SH e BW são os mais semelhantes, podendo chegar a 99% de coincidência, e BW e PB os menos similares, com um máximo de 82% de coincidência, que ainda pode ser considerado um valor alto. Mesmo nas

**Tabela 4.** Estimativas de alguns intervalos de coincidência (IC%) observados na comparação dos índices de Smith e Hazel (SH), Mulamba & Mock (MM), Willians (BW) e Pesek & Baker (PB) com relação às progênies selecionadas, nas situações descritas abaixo.

Índices	IC%		
	I <sup>(1)</sup>	II <sup>(2)</sup>	III <sup>(3)</sup>
SHxMM	61,3–76,0	87,7–92,0	74,3–80,0
SHxBW	94,7–97,0	93,0–93,7	94,0–99,0
SHxPB	80,3–83,0	73,0–73,3	49,7–55,0
MMxBW	62,3–77,0	86,7–93,0	64,0–81,7
MMxPB	73,6–75,0	75,7–83,0	61,0–66,7
BWxPB	82,0	73,0	49,3–52,7

<sup>(1)</sup>Produção (PROD), valor agrônomico (VA) e altura de planta na maturação (APM) como caracteres principais. <sup>(2)</sup>PROD, VA, número de sementes (NS) e número de vagens (NV) como principais. <sup>(3)</sup>Todos os caracteres: APM, altura de inserção da primeira vagem (AIV), acamamento (Ac), VA, NV, NS e PROD como principais.

situações de menor coincidência dos genótipos selecionados, praticamente metade da seleção é coincidente.

Contrastando com o observado por Cruz (1990) e Granate et al. (2002), em trabalho com milho, e Paula et al. (2002), com eucalipto, cujo índice SH foi superior, neste estudo, os maiores ganhos totais foram obtidos com o uso do índice MM, quando se adotou o CVg como peso econômico e considerando-se PROD, VA, NS e NV como caracteres principais. Barbosa & Pinto (1998) também alcançaram eficiência no uso dos índices de seleção em melhoramento de batata; ao contrário de Garcia & Souza Júnior (1999), que não obtiveram bons resultados com os índices não-paramétricos em milho. Por sua vez, Rodriguez et al. (1998) e Oliveira et al. (1999) registraram resultados favoráveis dos índices na seleção simultânea de caracteres, em arroz e soja, respectivamente.

## Conclusões

1. O uso dos índices de seleção é vantajoso em soja, uma vez que proporcionam maiores ganhos totais, distribuídos entre todos os caracteres avaliados, situação mais adequada aos programas de melhoramento.

2. O índice baseado na soma de “ranks” de Mulamba & Mock (MM) revelou-se mais adequado nas condições deste trabalho, com progressos superiores em várias situações.

### Referências

- AZEVEDO FILHO, J.A.; VELLO, N.A.; GOMES, R.L.F. Estimativas de parâmetros genéticos de populações de soja em solos contrastantes na saturação de alumínio. **Bragantia**, v.57, p.227-239, 1998.
- BACKES, R.L.; REIS, M.S.; CRUZ, C.D.; SEDIYAMA, T.; SEDIYAMA, C.S. Correlation estimates and assessment of selection strategies in five soybean populations. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.3, p.107-116, 2003.
- BARBOSA, M.H.P.; PINTO, C.A.B.P. Eficiência de índices de seleção na identificação de clones superiores de batata. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p.149-156, 1998.
- CONAB. **Estimativa da produção de grãos** – safra 2002/03. Disponível em: <www.conab.gov.br/safras.asp> Acesso em: 10 nov. 2003.
- CRUZ, C.D. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas**. 1990. 188p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- CRUZ, C.D. **Programa Genes**: versão Windows; aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: Editora UFV, 2001. 648p.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Editora UFV, 1997. 390p.
- FALCONER, D.S. **Introdução à genética quantitativa**. Trad. de Martinho de Almeida e Silva e José Carlos Silva. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1987. 279p.
- FARIAS NETO, J.T.; VELLO, N.A. Avaliação de progênies  $F_{4,3}$  e  $F_{5,3}$  e estimativas de parâmetros genéticos com ênfase para porcentagem de óleo, produtividade de grãos e óleo em soja. **Ciência e Agrotecnologia**, v.25, p.812-820, 2001.
- FEDERER, W.T. **Experimental design**: Theory and application. New York: MacMillan, 1955. 544p.
- GARCIA, A.A.F.; SOUZA JÚNIOR, C.L. de. Comparação de índices de seleção não paramétricos para a seleção de cultivares. **Bragantia**, v.58, p.253-267, 1999.
- GRANATE, M.J.; CRUZ, C.D.; PACHECO, C.A.P. Predição de ganho genético com diferentes índices de seleção no milho pipoca CMS-43. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.1001-1008, 2002.
- HAZEL, L.N. The genetic basis for constructing selection indexes. **Genetics**, v.28, p.476-490, 1943.
- MAURO, A.O.; SEDIYAMA, T.; SEDIYAMA, C.S. Estimativas de parâmetros genéticos em diferentes tipos de parcelas experimentais em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, p.667-672, 1995.
- 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**, v.7, p.40-57, 1978.
- OLIVEIRA, A.C.B.; SEDIYAMA, C.S.; CRUZ, C.D. Selection for later flowering in soybean (*Glycine max* L. Merrill)  $F_2$  populations cultivated under short day conditions. **Genetics and Molecular Biology**, v.22, p.243-247, 1999.
- PAULA, R.C. de; PIRES, I.E.; BORGES, R. de G.; CRUZ, C.D. Predição de ganhos genéticos em melhoramento florestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.159-165, 2002.
- PESEK, J.; BAKER, R.J. Desired improvement in relation to selected indices. **Canadian Journal of Plant Science**, v.49, p.803-804, 1969.
- RODRÍGUEZ, R.E.S.; RANGEL, P.H.N.; MORAIS, O.P. de. Estimativas de parâmetros genéticos e de respostas à seleção na população de arroz irrigado CNA 1. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p.685-691, 1998.
- SMITH, H.F. A discriminant function for plant selection. **Annual Eugenics**, v.7, p.240-250, 1936.
- WILLIAMS, J.S. The evaluation of a selection index. **Biometrics**, v.18, p.375-393, 1962.

Recebido em 19 de dezembro de 2003 e aprovado em 11 de agosto de 2004