

EFICIÊNCIAS RELATIVAS DE ÍNDICES DE SELEÇÃO CONSIDERANDO ESPÉCIES VEGETAIS E PESOS ECONÔMICOS IGUAIS ENTRE CARACTERES

EFFICIENCIES ON THE INDEX OF SELECTION

Emmanuel Arnhold¹; Ricardo Gonçalves Silva¹

1. Professor, Doutor, Universidade Federal do Maranhão, Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, Chapadinha, MA, Brasil.
rgoncalves@ufma.br

RESUMO: Na seleção simultânea de caracteres, vários índices foram propostos e vários trabalhos procuraram estabelecer quais destes seriam mais eficientes em diversas situações. A eficiência destes índices pode ser variável de acordo com a situação da seleção. O objetivo deste trabalho foi apresentar dois novos índices de seleção, comparando sua eficiência relativa aos índices mais conhecidos e utilizados. Para isso, foram realizadas duas simulações e analisados os ganhos preditos, com seleção por diversos índices, em diversas situações. O peso de cada caráter selecionado pelos índices foi o mesmo. Concluiu-se que os índices de Williams (1962) e Smith (1936) e Hazel (1943) não foram adequados em nenhuma situação analisada. Os índices de Elston (1963) e Mulamba e Mock (1978) foram adequados em algumas situações. Os índices com base na distância genótipo – ideótipo e Pesek e Baker (1969) foram adequados em todas as situações, porém, com ganhos totais sempre inferiores aos obtidos com o uso dos índices 1 e 2 propostos neste trabalho. Os índices 1 e 2 propostos forneceram os maiores ganhos preditos totais.

UNITERMOS: Seleção simultânea. Melhoramento. Biometria.

INTRODUÇÃO

Para obter materiais genéticos superiores é necessário que o material selecionado reúna, simultaneamente, uma série de atributos favoráveis que lhe confira rendimento comparativamente mais elevado e que satisfaça tanto as exigências do consumidor quanto às do produtor. A seleção com base em uma, ou em umas poucas características, tem se mostrado inadequada, por conduzir a um produto final superior em relação a apenas os caracteres selecionados, mas com desempenho não tão favorável em relação aos vários outros caracteres não considerados durante a prática seletiva (CRUZ; CARNEIRO, 2006).

Ainda segundo Cruz e Carneiro (2006), uma maneira de se aumentar à chance de êxito de um programa de melhoramento é por meio da seleção simultânea de um conjunto de caracteres de importância econômica. Para tal objetivo, a utilização da teoria de índice de seleção é uma alternativa eficiente, pois permite combinar as múltiplas informações contidas na unidade experimental, de modo que seja possível 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.

Vários índices foram propostos ao longo dos anos e vários trabalhos (SUBANDI et al., 1973;

BARABOSA et al., 1997; GARCIA et al., 1999; GRANATE et al., 2002; VILARINHO et al., 2002; COSTA et al., 2004) procuraram comparar alguns destes índices em diversas situações. De modo geral, há métodos que se caracterizam pela necessidade de estimar variâncias e covariâncias fenotípicas e genotípicas e de estabelecer pesos econômicos relativos aos vários caracteres (SMITH, 1936; HAZEL, 1943). Por outro lado, Williams (1962) sugeriu ponderar os valores fenotípicos pelos seus respectivos pesos econômicos, evitando desta forma a interferência das imprecisões das matrizes de variâncias e covariâncias. Estes índices são índices paramétricos.

Outros índices (ELSTON, 1963; MULAMBA; MOCK, 1978) identificam-se por eliminar a necessidade de estabelecer pesos econômicos e estimar variâncias e covariâncias. Neste caso, os índices são não-paramétricos.

Devido à dificuldade em estabelecer pesos econômicos, Tallis (1962), Pesek e Baker (1969), Harville (1974) e Tai (1977) propuseram um índice com base nos ganhos desejados, enquanto Cruz (1990) sugeriu estimá-los a partir de estatísticas dos próprios dados experimentais.

Subandi et al. (1973) avaliaram a eficiência de diferentes índices de seleção, propondo três diferentes índices. Os autores concluíram que o melhor índice na situação exposta foi o de Smith (1936) e Hazel (1943) seguido pelo índice 1 proposto pelos autores.

Na avaliação de índices não paramétricos, Garcia & Souza Júnior (1999) concluíram que os índices avaliados (MULAMBA; MOCK, 1978; ELSTON, 1963; distância genótipo – ideótipo) não foram adequados na seleção de cultivares.

Com o objetivo de avaliar métodos de seleção na identificação de clones de batata (*Solanum tuberosum* L.), Barbosa e Pinto (1997) concluíram que os índices de Smith (1936), Hazel (1943), Williams (1962), Pasek e Baker (1969) e Mulamba e Mock (1978), foram eficientes na seleção simultânea de diversos caracteres.

Empregando os índices de Smith e Hazel (1936), Pasek e Baker (1969), Elston (1963) e Williams (1962), para seleção simultânea de vários caracteres em milho-pipoca, Granate et al. (2002) concluíram que os ganhos preditos com o índice de seleção de Smith e Hazel (1936) são superiores aos preditos com outros índices utilizados e manifestam-se em mais caracteres. Concluiu-se também, que o índice de Williams (1962) não fornece resultados adequados.

Costa et al. (2004) concluíram que o uso dos índices de seleção é vantajoso em soja, uma vez que proporcionaram maiores ganhos totais, distribuídos entre todos os caracteres avaliados. Também concluíram que o índice baseado na soma de “ranks” ou Mulamba e Mock (1978), revelou-se mais adequado, com progressos superiores em várias situações.

O objetivo deste trabalho foi avaliar dois novos índices de seleção e comparar sua eficiência relativa com índices mais conhecidos e utilizados.

MATERIAL E MÉTODOS

Na avaliação da eficiência dos índices, foram utilizadas duas simulações. A primeira simulação foi constituída de 100 genótipos de milho-pipoca, em experimento em blocos ao acaso com 4 repetições. As características simuladas foram capacidade de expansão (CE) em mL g⁻¹, rendimento de grãos (RG) em kg ha⁻¹ e altura de plantas (AP) em metros.

Foram estimados os ganhos preditos em porcentagem, com seleção simultânea positiva para as três características, em duas intensidades de seleção (10 e 20 genótipos selecionados) utilizando os índices de Elston (1963), Mulamba e Mock (1978), Williams (1962), Pasek e Baker (1969), distância genótipo–ideótipo, Smith (1936) e Hazel (1943) e os Índices 1 e 2 propostos neste trabalho. Os pesos econômicos foram iguais para as três características. Foram estimados também, os ganhos preditos em porcentagem com seleção simultânea

positiva em capacidade de expansão e produção de grãos, e negativa em altura de plantas, com seleção de 20 genótipos, utilizando os índices de Elston (1963), Mulamba e Mock (1978) e o Índice 2 proposto neste trabalho. Os pesos econômicos novamente foram iguais para as três características.

A segunda simulação foi constituída de 200 genótipos de soja, em experimento em blocos ao acaso com 4 repetições. As características simuladas foram altura de planta na maturação (APM) em cm, altura de inserção da primeira vagem (AIV) em cm, número de vagens por planta (NV), número de sementes por planta (NS) e produção por planta (PROD) em grama.

Para a segunda simulação, foram estimados os ganhos preditos em porcentagem, com seleção simultânea positiva para as cinco características, em duas intensidades de seleção (20 e 40 genótipos selecionados), utilizando os índices de Elston (1963), Mulamba e Mock (1978), Williams (1962), Pasek e Baker (1969), distância genótipo–ideótipo, Smith (1936) e Hazel (1943), e os Índices 1 e 2 propostos neste trabalho. Os pesos econômicos foram iguais para as cinco características.

O ganho predito foi estimado pela multiplicação da herdabilidade pelo diferencial de seleção, em todas as análises. O diferencial de seleção foi obtido pela diferença da média dos selecionados pela média geral. O ganho predito total em porcentagem foi obtido pela soma, em porcentagem, do ganho predito em cada característica selecionada.

A eficiência relativa dos índices foi julgada pelos ganhos preditos totais em porcentagem, obtidos por seleção simultânea. Assim, um índice foi considerado relativamente superior a outro, quando estimou maior ganho genético predito total em porcentagem.

Para a obtenção dos ensaios simulados, das análises de variância, dos parâmetros genéticos e dos ganhos preditos para alguns índices, foi utilizado o programa Genes (CRUZ, 2001).

Os índices 1 e 2 propostos neste trabalho são semelhantes ao índice de Mulamba e Mock (1978), porém, utilizando como “rank” de cada característica sua porcentagem em relação à média. Assim, o índice 1 consiste em transformar o valor de cada característica em porcentagem em relação à média da mesma. A média, deve-se ressaltar, possui o valor 100%. A seguir, são somadas as porcentagens de cada característica para cada material, resultando no índice de seleção, como descrito a seguir:

$$I_1 = r_{i1} + r_{i2} + r_{i3} + \dots + r_{in}$$

onde:

I_i o valor do índice para o i-ésimo genótipo;

r_{in} é a porcentagem do i-ésimo indivíduo em relação a média do n-ésimo caráter;

n é o número de caracteres considerados no índice.

Este índice tem o objetivo de fornecer o maior diferencial de seleção total em porcentagem, pois os indivíduos de maior índice são selecionados, ou seja, possuem maior média considerando todas as características simultaneamente.

No índice 2 o procedimento é semelhante, porém, com o diferencial de multiplicar cada porcentagem pela respectiva herdabilidade, como descrito matematicamente a seguir:

$$I = \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ \vdots \\ I_m \end{pmatrix}_m ; r = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & \cdots & r_{2n} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & \cdots & r_{3n} \\ \vdots & & & \cdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & r_{m3} & \cdots & r_{mn} \end{pmatrix}_m ; h^2 = \begin{pmatrix} h_1^2 \\ h_2^2 \\ h_3^2 \\ \vdots \\ h_n^2 \end{pmatrix}_n$$

Assim, o índice 2 tem objetivo de fornecer maior ganho genético predito total em porcentagem, pois o diferencial de seleção total pode ser máximo, mas não fornecer o ganho total máximo. Este é o caso, por exemplo, quando alguns caracteres contribuem mais para o diferencial de seleção máximo, mas possuem baixa herdabilidade. Portanto, com a ponderação pela herdabilidade, obtém-se o ganho genético predito máximo.

No caso de características onde a seleção é negativa, ou seja, procura-se selecionar genótipos com valores inferiores à média, deve-se calcular a porcentagem de forma que os valores abaixo da média sejam acima de 100%. Os dois índices também permitem a utilização de pesos econômicos. Neste caso, basta multiplicar o “rank” de cada característica pelo respectivo peso econômico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando a seleção positiva de 10 genótipos, simultaneamente em capacidade de

$$I_i = r_{i1} h_1^2 + r_{i2} h_2^2 + r_{i3} h_3^2 + \dots + r_{in} h_n^2$$

onde:

I_i o valor do índice para o i-ésimo genótipo;

r_{in} é a porcentagem do i-ésimo indivíduo, em relação a média do n-ésimo caráter;

h_n^2 é a herdabilidade estimada para a n-ésimo caráter;

n é o número de caracteres considerados no índice.

O índice 2 pode ser representado matricialmente da seguinte forma:

$$I = r \times h^2$$

em que:

expansão (CE), rendimento de grãos (RG) e altura de plantas (AP) (Tabela 1), observa-se que os índices de Elston (1963), Williams (1962) e, principalmente, o índice de Smith (1936) e Hazel (1943), foram inferiores aos demais em predizer ganhos totais, além de distribuir mal estes ganhos nas três características.

O índice de Mulamba e Mock (1978), apesar de promover o quarto maior ganho predito total (Tabela 1), apresentou a melhor distribuição de ganhos entre as variáveis. O índice 1 apresentou o segundo maior ganho (juntamente com o índice de Pasek e Baker (1969)). Como comentado na metodologia, este índice (índice 1) fornece o diferencial de seleção total máximo em porcentagem, nem sempre predizendo o maior ganho total em porcentagem. Pode-se observar que o índice 1 explora mais a característica rendimento de grãos, de menor herdabilidade (56,91%), em detrimento das demais, com herdabilidades mais elevadas, como capacidade de expansão (79,37%) e altura de plantas (70,59%).

Tabela 1. Ganhos genéticos preditos em porcentagem (GS %) com seleção de 10 indivíduos, simultaneamente em capacidade de expansão (CE), rendimento de grãos (RG) e altura de plantas (AP), utilizando vários índices de seleção*

		Índices de Seleção							
		1	2	3	4	5	6	7	8
GS	CE	2,02	5,77	-1,27	4,27	3,64	-4,42	4,27	4,63
(%)	RG	-0,14	3,81	12,84	10,52	6,26	12,35	10,52	6,85
	AP	8,88	5,5	-0,75	0,52	4,72	-1,33	0,52	4,49

	Total	10,76	15,08	10,82	15,31	14,62	6,60	15,31	15,97
*1	Índice de Elston (1963)								
2	Índice de Mulamba e Mock (1978)								
3	Índice de Williams (1962)								
4	Índice de Pasek e Baker (1969)								
5	Índice com base na distância genótipo – ideótipo								
6	Índice de Smith (1936) e Hazel (1943)								
7	Índice 1								
8	Índice 2								

Já o índice 2, como também já comentado na metodologia, forneceu o maior ganho total em porcentagem (Tabela 1). Este último também distribuiu bem os ganhos preditos entre as três características.

Considerando a seleção positiva de 20 genótipos, simultaneamente em capacidade de expansão (CE), rendimento de grãos (PG) e altura de planta (AP) (Tabela 2), observa-se novamente que os índices de Elston (1963), Williams (1962) e Smith (1936) e Hazel (1943) foram inferiores aos

demais em prever ganhos totais, além de novamente distribuir mal estes ganhos nas três características.

O índice de Mulamba e Mock (1978) teve novamente o mérito da melhor distribuição de ganhos entre as três características (Tabela 2). O índice 1 apresentou o segundo maior ganho (Tabela 2). O índice 2, como esperado, novamente selecionou os genótipos que, prevê-se, forneçam o maior ganho genético total.

Tabela 2. Ganhos genéticos preditos em porcentagem (GS %) com seleção de 20 indivíduos, simultaneamente em capacidade de expansão (CE), rendimento de grãos (RG) e altura de plantas (AP), utilizando vários índices de seleção*

		Índices de Seleção							
		1	2	3	4	5	6	7	8
GS (%)	CE	-0,25	4,16	-1,57	4,39	2,72	-3,48	3,39	3,64
	RG	0,94	4,41	9,7	7,1	4,62	9,56	7,02	6,44
	AP	7,43	4,23	-2,19	0,94	4,76	-1,88	2,69	3,08
	Total	8,12	12,80	5,94	12,43	12,10	4,20	13,10	13,16
*1	Índice de Elston (1963)								
2	Índice de Mulamba e Mock (1978)								
3	Índice de Williams (1962)								
4	Índice de Pasek e Baker (1969)								
5	Índice com base na distância genótipo – ideótipo								
6	Índice de Smith (1936) e Hazel (1943)								
7	Índice 1								
8	Índice 2								

Com o objetivo de mostrar a eficiência do índice 2 em situações onde a seleção em uma das características é negativa, adotou-se a seleção negativa em altura de plantas (Tabela 3). Nesta

situação, o índice 2 não só selecionou os genótipos que forneceram o maior ganho predito total, como foi o índice que distribuiu melhor os ganhos para as três características (Tabela 3).

Tabela 3. Ganhos genéticos preditos em porcentagem (GS %) para seleção simultânea positiva em capacidade de expansão (CE), rendimento de grãos (RG) e negativa em altura de plantas (AP), utilizando vários índices de seleção* quando selecionados 20 indivíduos

		Índices de Seleção		
		1	2	3
GS (%)	CE	1,53	4,28	4,42
	RG	3,39	5,50	5,96
	AP	-7,75	-5,68	-5,35
	Total [#]	12,67	15,46	15,73

- *1 Índice de Elston (1963)
 2 Índice de Mulamba & Mock (1978)
 3 Índice 2
 # O ganho total é obtido pela soma em módulo dos ganhos em CE, PG e AP

Com os dados da segunda simulação, onde o número de genótipos e características é maior, ou seja, uma situação onde a seleção simultânea não é tão simples, ocorre maior diferenciação entre a eficiência dos diferentes índices de seleção (Tabelas 4 e 5). Nota-se, que o índice de Williams (1962) e Smith (1936) e Hazel (1943) foram bastante inferiores aos demais, com ligeira superioridade do índice de Williams (1962).

Com a análise das Tabelas 1, 2, 4 e 5, nota-se também que, um índice pode ser mais adequado que outro em uma situação, e o contrário pode ocorrer em outra, como é o caso dos índices de Elston (1963) e Mulamba e Mock (1978).

Tanto com a seleção de 20 genótipos (Tabela 4) como na seleção de 40 (Tabela 5), o índice 2 apresentou o maior ganho total, seguido do índice 1 e, em terceiro lugar, o índice de Elston (1963).

Tabela 4. Ganhos genéticos preditos em porcentagem (GS %) com seleção simultânea em altura de planta na maturação (APM), altura de inserção primeira vagem (AIV), número de vagens por planta (NV), número de sementes por planta (NS) e produção por planta (PROD), utilizando vários índices de seleção* quando selecionados 20 indivíduos

		Índices de Seleção							
		1	2	3	4	5	6	7	8
GS (%)	APM	4,36	6,69	13,69	5,47	6,09	13,69	4,80	5,44
	AIV	7,71	8,73	1,9	10,53	6,29	1,90	7,76	7,63
	NV	7,44	8,54	1,71	1,59	9,25	1,71	7,67	6,53
	NS	5,97	6,59	1,12	8,55	7,44	1,12	6,60	6,42
	PROD	21,11	12,62	16,68	15,51	13,44	16,68	19,92	20,76
Total		46,59	43,17	35,10	41,65	42,51	35,10	46,75	46,78
*1	Índice de Elston (1963)								
2	Índice de Mulamba e Mock (1978)								
3	Índice de Williams (1962)								
4	Índice de Pasek e Baker (1969)								
5	Índice com base na distância genótipo – ideótipo								
6	Índice de Smith (1936) e Hazel (1943)								
7	Índice 1								
8	Índice 2								

Tabela 5. Ganhos genéticos preditos em porcentagem (GS %) com seleção simultânea em altura de planta na maturação (APM), altura de inserção primeira vagem (AIV), número de vagens por planta (NV), número de sementes por planta (NS) e produção por planta (PROD), utilizando vários índices de seleção* quando selecionados 40 indivíduos

		Índices de Seleção							
		1	2	3	4	5	6	7	8
GS (%)	APM	2,88	5,46	11,47	6,47	5,45	11,77	2,96	3,23
	AIV	7,80	7,33	1,65	6,94	5,56	1,65	7,45	6,79
	NV	6,36	6,93	1,03	0,81	7,69	1,19	6,02	6,26
	NS	6,10	6,48	1,67	6,06	4,95	1,48	5,69	5,51
	PROD	15,16	10,71	13,33	14,19	11,57	12,43	16,38	16,73
Total		38,30	36,91	29,15	34,47	35,22	28,52	38,50	38,52
*1	Índice de Elston (1963)								
2	Índice de Mulamba e Mock (1978)								
3	Índice de Williams (1962)								
4	Índice de Pasek e Baker (1969)								
5	Índice com base na distância genótipo – ideótipo								

- 6 Índice de Smith (1936) e Hazel (1943)
 7 Índice 1
 8 Índice 2

Na situação da segunda simulação (Tabelas 4 e 5), as diferenças em termos de ganhos totais entre os índices 1 e 2 foram menores que as encontradas na situação da primeira simulação (Tabelas 1 e 2).

CONCLUSÕES

O índice de Williams (1962) e Smith (1936) e Hazel (1943) não foram adequados em nenhuma situação analisada neste trabalho.

Os índices de Elston (1963) e Mulamba e Mock (1978) foram adequados em algumas situações e não adequados em outras.

Os índices com base na distância genótipo – ideótipo e de Pesek e Baker (1969) foram adequados em todas as situações, porém com ganhos totais sempre inferiores aos obtidos com o uso dos índices 1 e 2 propostos neste trabalho.

Os índices 1 e 2 propostos neste trabalho foram aqueles que forneceram os maiores ganhos preditos totais.

ABSTRACT: In simultaneous selection of characters, several indices have been proposed and several sought to establish which of these works would be most effective in various situations. The efficiency of these indices can be variable according to the selection. The objective of this work was to present two new indices of selection, comparing their efficiency indices on the best known and used. For this, two simulations were performed and analyzed the gains preditos, with selection by various indices in different situations. The weight of each character selected by the indexes was the same. It is concluded that the rates of Williams (1962) and Smith (1936) and Hazel (1943) were not appropriate in any situation examined. The contents of Elston (1963) and Mulamba e Mock (1978) were adequate in some situations. The indices based on the distance genotype-ideótipo and Pesek e Baker (1969) were appropriate in all situations, however, with total earnings always lower than those obtained with the use of indices 1 and 2 proposed in this work. The indexes 1 and 2 proposed provided the largest gains preditos totals.

KEYWORDS: Simultaneous selection. Breeding. Biometrics.

REFERÊNCIAS

- 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. 32, p. 887-884, 1997.
- COSTA, M. M.; DI MAURO, A. O.; UNÊDA-TREVISOLI, S. H.; ARRIEL, N. H. C.; BÁRBARO, I. M.; MUNIZ, F. R. S. Ganho genético por diferentes critérios de seleção em populações segregantes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 1095-1102, 2004.
- CRUZ, C. D. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas**. 1990. 188p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Piracicaba.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2 Ed. Viçosa: UFV, 2006. 585p.
- CRUZ, C. D. **Programa genes**: versão Windows; aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: Editora UFV, 2001. 649p.
- ELSTON, R. C. A weight-free index for the purpose of ranking or selection with respect to several traits at a time. **Biometrics**, Washington, v. 19, p. 85-97, 1963.
- GARCIA, A. A. F.; SOUZA JÚNIOR, C. L. de Comparação de índices de seleção não paramétricos para a seleção de cultivares. **Bragantia**, Campinas, 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**, Brasília, v. 37, p. 1001-1008, 2002.

HARVILLE, D. A. Optimal procedures for some constrained selection problems. **Journal of the American Statistical Association**, New York, v. 69, p. 446-456, 1974.

HAZEL, L. N. The genetic basis for constructing selection indexes. **Genetics**, Pittsburgh, v. 28, p. 476-490, 1943.

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, p. 40-51, 1978.

PESEK, J.; BAKER, R. J. Desired improvement in relation to selected indices. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 49, p. 803-804, 1969.

SUBANDI; COMPTON, W. A.; EMPIG, L. T. Comparison of the efficiencies of selection indices for three traits in two variety crosses of corn. **Crop Science**, Madison, v. 13, p. 184-186, 1973.

TAI, G. C. C. Index selection with desired gains. **Crop Science**, Madison, v. 17, p. 182-183, 1977.

TALLIS, G. M. A selection index for optimum genotype. **Biometrics**, Washington, v. 18, p. 120-122, 1962.

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

WILLIAMS, J. S. The evaluation of a selection index. **Biometrics**, Washington, v. 18, p. 375-393, 1962.