

Índice Multiefeitos e estimativas de parâmetros genéticos em aceroleira⁽¹⁾

João Rodrigues de Paiva⁽²⁾, Marcos Deon Vilela de Resende⁽³⁾ e Everton Rabelo Cordeiro⁽⁴⁾

Resumo – A seleção pelo Índice Multiefeitos baseia-se em um sistema que considera, simultaneamente, o comportamento do indivíduo e sua família, bem como o efeito da parcela em que o indivíduo foi plantado. O presente trabalho teve por objetivo estimar os parâmetros genéticos em uma população de aceroleira e comparar os ganhos genéticos obtidos por meio de seis métodos de seleção. O experimento foi instalado sob delineamento experimental de blocos casualizados com 62 progênies, três repetições e quatro plantas por parcelas. A altura da planta e o diâmetro do caule foram avaliados no primeiro, segundo e terceiro ano de idade das plantas; diâmetro da copa, avaliado no segundo e terceiro ano; e a produção total de frutos, avaliada no período de um ano, por meio de colheitas semanais. Os parâmetros genéticos populacionais estimados indicaram condições favoráveis à seleção, tendo em vista o fato de as herdabilidades serem de moderadas magnitudes. A seleção baseada no Índice Multiefeitos foi eficiente, pois fornece maior ganho genético e alta acurácia, em relação à seleção entre e dentro de progênies, seleção de genitores com base no comportamento da progênie e seleção individual.

Termos para indexação: *Malpighia emarginata*, progênie, seleção, ganho genético.

Multi-effects index selection and parameters estimates applied to acerola plant

Abstract – The selection made by multi-effects index has grounds for one index that considers simultaneously individual and their family behavior, as well as the plot effect where the individual was planted. The objective of this work was to evaluate genetic parameters in an acerola population and to compare genetic gains through six selection methods. The experiment was settled under a randomized complete block experimental design, with 62 progenies, three repetitions and four plants per plot. The traits evaluated were: plant height, and stalk diameter at first, second and third years of plant ages; canopy diameter at second and third years; and fruit yield by a period of one year with weekly harvest. The genetics parameters estimated to population pointed out favorable conditions to selection by the heritability of moderate magnitudes. The selection based on multi-effects index was positive, so it gives a bigger genetic gain and high accuracy than among and within progenies selection, parental selection based on progenies behavior and individual selection.

Index terms: *Malpighia emarginata*, progeny, selection, genetic gain.

Introdução

O sucesso no melhoramento de populações depende fundamentalmente da disponibilidade de va-

riabilidade genética na população original. Outros fatores, todavia, devem ser cuidadosamente observados, como o método de seleção adotado, a precisão nas avaliações dos genótipos, a correta interpretação dos efeitos do ambiente, as interações genótipos x locais e genótipos x anos, a identificação de efeitos pleiotrópicos e das correlações genéticas e fenotípicas entre caracteres (Paterniani & Miranda Filho, 1987). Vencovsky (1987) acrescenta ainda o tipo de ação gênica envolvida, além de enfatizar a precisão experimental, como os principais fatores de sucesso na busca por aumentos nas frequências gênicas das populações.

Os métodos de seleção empregados no melhoramento da aceroleira têm sido a seleção fenotípica

⁽¹⁾ Aceito para publicação em 17 de setembro de 2001.

Trabalho realizado com suporte financeiro do Banco do Nordeste.

⁽²⁾ Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Agroindústria Tropical, Caixa Postal 3761, CEP 60511-110 Fortaleza, CE. E-mail: paiva@cnpa.embrapa.br

⁽³⁾ Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, Caixa Postal 319, CEP 83411-000 Colombo, PR. E-mail: deon@cnpf.embrapa.br

⁽⁴⁾ Universidade Federal do Ceará, Caixa Postal 12168, CEP 60656-001 Fortaleza, CE. Bolsista do CNPq.

individual ou seleção massal num só sexo e a seleção com teste de progênie. A seleção fenotípica individual é o processo mais simples e consiste na escolha dos melhores indivíduos com base nos caracteres de produção, peso do fruto, porte e estado fitossanitário das plantas (Paiva et al., 1999). Normalmente, a produção é considerada como o caráter de maior importância em relação aos demais. A seleção com base em teste de progênie é sempre mais eficiente do que a realizada com base apenas no fenótipo das plantas individuais, pela avaliação não só dos indivíduos a serem selecionados como também dos seus descendentes.

Por outro lado, a seleção combinada baseia-se em um índice que considera, simultaneamente, o comportamento do indivíduo e sua família (Falconer, 1981). Dessa forma, mediante os pesos de ponderação do indivíduo e da família, é possível selecionar indivíduos com características favoráveis dentro de famílias de desempenho intermediário, ou ainda, indivíduos de desempenho intermediário dentro de famílias superiores. No caso de plantas perenes, uma seleção combinada aperfeiçoada deve incluir no índice também o efeito de parcela. Este método de seleção é denominado Índice Multiefeitos (Resende & Higa, 1994), e equivale à melhor predição linear não viesada, para o caso de dados balanceados (Resende & Fernandes, 1999).

Resende (1997) chama atenção para o fato de as espécies vegetais perenes apresentarem vários aspectos biológicos peculiares, tais como sobreposição de gerações, longo ciclo reprodutivo, reprodução sexuada e assexuada, expressão dos caracteres ao longo das várias idades. Essas características causam os seguintes reflexos no melhoramento das espécies: a) utilização dos indivíduos selecionados para produção durante vários anos, fato que demanda muito rigor e precisão nos métodos de seleção; b) uso de avaliações repetidas em cada indivíduo ao longo do tempo; c) seleção envolvendo comparações de indivíduos de diferentes gerações, portanto, avaliados em diferentes condições ambientais, fato que requer o uso de métodos de avaliação genética mais elaborados; d) seleção também para os efeitos não aditivos dos alelos, além daqueles de efeitos aditivos; e) relevância da unidade de seleção "indivíduo" em detrimento da unidade de seleção "média

de grupos de indivíduos", fato que demanda a predição dos valores genéticos (aditivos e não-aditivos) individuais para fins de seleção; f) redução na taxa de sobrevivência das plantas nos experimentos ao longo das idades, fato que, associado à sobreposição de gerações, tende a gerar dados desbalanceados para uso na estimação de parâmetros genéticos e na predição dos valores genéticos individuais.

O presente trabalho teve por objetivo estimar os parâmetros genéticos populacionais em aceroleira e comparar os ganhos genéticos obtidos por meio de seis métodos de seleção.

Material e Métodos

O estudo foi realizado no Campo Experimental Pacajus (CEP), da Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Agroindústria Tropical, localizado no Município de Pacajus, litoral Leste do Estado do Ceará, km 5 da Rodovia Pacajus-Itaipaba, a partir da BR-116, distante 55 km de Fortaleza. As coordenadas geográficas do local são 4°10' S e 38°27' W e a altitude de 60 m. O clima na região é predominantemente do tipo seco/subúmido (C2), segundo a classificação climática de Thornthwaite. A precipitação pluvial média é 1.100 mm/ano, com regime caracterizado por chuvas de verão/outono. O solo da área experimental é Podzólico Vermelho-Amarelo Tb eutrófico A fraco, com textura arenosa/média (PE) (Relatório..., 1990).

O experimento foi instalado em abril de 1996, em delineamento experimental de blocos casualizados com 62 tratamentos, três repetições e quatro plantas por parcela no espaçamento de 4 m entre linhas e 3 m entre plantas. Os tratamentos foram constituídos por progênies de polinização livre, originadas de plantas selecionadas no plantio comercial da Frucesa-Frutas do Ceará S/A, localizada no Município de Jaguaruana, CE.

A avaliação das progênies constou da medição das seguintes características: altura da planta (m) e diâmetro do caule (cm) avaliados no primeiro, segundo e terceiro ano de idade das plantas; diâmetro da copa (m) avaliado no segundo e terceiro ano; e produção de frutos (kg), avaliada no período de julho de 1998 a junho de 1999, com uma colheita semanal. As estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos, predição de valores genéticos e cálculos de ganhos genéticos com seleção foram obtidas usando o software genético-estatístico SELEGEN, desenvolvido por Resende et al. (1994).

Operando-se os quadrados e produtos médios das análises univariadas e multivariadas foram obtidos os seguintes parâmetros genéticos: σ_p^2 : variância genética entre pro-

gênes; σ_A^2 : variância genética aditiva; σ_F^2 e σ_F^2 : variâncias fenotípicas entre médias de progênes e ao nível individual, respectivamente; σ_d^2 e σ_e^2 : variâncias dentro e entre parcelas; σ_b^2 : variância causada pelo efeito de bloco; h_m^2 e h_d^2 : coeficientes de herdabilidade dentro da média das progênes e dos indivíduos na parcela, respectivamente; h_{ie}^2 , h_{ip}^2 e h_{ib}^2 : coeficientes de herdabilidade da média das plantas individuais, dentro da progênie e dos indivíduos no bloco, respectivamente; r_F e r_G : coeficientes de correlações fenotípica e genética ao nível de progênes.

A seguir, são descritos os procedimentos de seleção comparados.

Uma observação em um indivíduo do teste de progênie (com p progênes, b blocos e n indivíduos por parcela) em questão pode ser descrita pelo seguinte modelo linear:

$$Y_{ijk} = u + b_j + p_i + e_{ij} + d_{ijk}, \text{ onde:}$$

u é a média geral, fixa, $E(u) = u$ e $E(u^2) = u^2$;

b_j , o efeito de bloco, fixo, $E(b_j) = 0$ e $E(b_j^2) = V_b$;

p_i , o efeito da progênie, aleatório, $E(p_i) = 0$ e $E(p_i^2) = \sigma_p^2$;

e_{ij} , o efeito de parcela ij, aleatório, $E(e_{ij}) = 0$ e $E(e_{ij}^2) = \sigma_e^2$;

d_{ijk} , o efeito do indivíduo k dentro da parcela ij, aleatório,

$$E(d_{ijk}) = 0 \text{ e } (d_{ijk}^2) = \sigma_d^2.$$

O procedimento ótimo (que maximiza a correlação entre os valores genéticos verdadeiros e o preditor destes valores) de seleção é dado pelo Índice Multifeitos (Resende & Higa, 1994):

$$I = b_1 d_{ijk} + b_2 p_i + b_3 e_{ij}$$

$$= b_1 (Y_{ijk} - \bar{Y}_{ij}) + b_2 (\bar{Y}_{i..} - \bar{Y}...) + b_3 (\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{.j.} + \bar{Y}...).$$

Os coeficientes b_i são determinados a partir do sistema matricial:

$$\begin{bmatrix} \frac{(n-1)}{n} \sigma_d^2 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{(p-1)}{p} \left(\sigma_p^2 + \frac{\sigma_e^2}{b} + \frac{\sigma_d^2}{nb} \right) & 0 \\ 0 & 0 & \frac{(p-1)(b-1)}{p} \left(\sigma_e^2 + \frac{\sigma_d^2}{n} \right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{(n-1)(1-r)}{b} \sigma_A^2 \\ \frac{(p-1)1 + (nb-1)r}{nb} \sigma_A^2 \\ \frac{(1-r)(b-1)(p-1)}{n} \sigma_A^2 \end{bmatrix}$$

Resolvendo-se o sistema, tem-se que os coeficientes de ponderação do Índice Multifeitos são:

$$b_1 = \frac{(1-r)\sigma_A^2}{\sigma_d^2} : \text{“herdabilidade” do efeito de indivíduo na}$$

parcela;

$$b_2 = \frac{1 + (nb-1)r}{nb} \sigma_A^2 : \text{“herdabilidade” do efeito de}$$

progênie;

$$b_3 = \frac{[(1-r)/n]\sigma_A^2}{\sigma_e^2 + \sigma_d^2/n} : \text{“herdabilidade” do efeito de parcela.}$$

O termo “herdabilidade” foi aqui utilizado para denotar a fração do diferencial de seleção retido na descendência.

Para o caso balanceado, o método do Índice Multifeitos equivale ao procedimento de melhor predição linear não viciada (BLUP) individual, conforme demonstrado por Resende & Fernandes (1999).

No experimento envolvendo progênes de meios-irmãos de acerola, visando o melhoramento do caráter produção de frutos, foram comparados os seguintes procedimentos de seleção que se diferenciam basicamente pelo coeficiente de ponderação das informações fenotípicas (b) e acurácia seletiva (r_{IA}).

Seleção pelo Índice Multifeitos

Coefficiente de ponderação:

$$\hat{b}_1 = \frac{(3/4)\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_d^2} = \frac{(3/4)h^2}{1 - (1/4)h^2 + \hat{c}^2} = 0,2821;$$

$$\hat{b}_2 = \frac{[(3 + nb)/(4nb)]\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_p^2 + \hat{\sigma}_e^2/b + \hat{\sigma}_d^2/nb}$$

$$= \frac{[1 + (nb-1)(1/4)]\hat{h}^2}{1 + (n-1)[(1/4)h^2 + \hat{c}^2] + (b-1)n(1/4)h^2} = 0,5568;$$

$$\hat{b}_3 = \frac{[3/(4n)]\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_d^2/n + \hat{\sigma}_e^2}$$

$$= \frac{(3/4)\hat{h}^2}{1 + (n-1)[(1/4)h^2 + \hat{c}^2] - n(1/4)h^2} = 0,2008.$$

O Índice Multifeitos, no presente caso, é dado então por

$$\hat{I} = \hat{b}_1 Y_{ijk} + (\hat{b}_2 - \hat{b}_3) \bar{Y}_{i..} + (\hat{b}_3 - \hat{b}_1) \bar{Y}_{ij.} - b_3 \bar{Y}_{.j.} + (\hat{b}_3 - \hat{b}_2) \bar{Y} \dots = 0,2821 Y_{ijk} + 0,3560 \bar{Y}_{i..} - 0,0813 \bar{Y}_{ij.} - 0,2008 \bar{Y}_{.j.} - 0,3560 \bar{Y} \dots$$

A média do bloco, média geral e média da parcela receberam pesos negativos (significando que tais valores fenotípicos refletem mais os efeitos ambientais do que genéticos) ao passo que o valor individual e a média da

progênie receberam pesos positivos, pois, informam mais sobre o valor genético.

Acurácia

$$\hat{r}_{IA} = [\alpha_1 \hat{b}_1 + \alpha_2 \hat{b}_2 + \alpha_3 \hat{b}_3]^{1/2} = 0,5955;$$

$$\text{pois: } \alpha_1 = (1-r) \frac{n-1}{n} = 0,75 \quad (3/4) = 0,5625;$$

$$\alpha_2 = \frac{1+(nb-1)r}{nb} \frac{p-1}{p} = 0,3075;$$

$$\alpha_3 = \frac{(1-r)p-1}{n} \frac{b-1}{p} = \frac{0,75}{4} \frac{61}{62} \frac{2}{3} = 0,1230;$$

Seleção pelo efeito de progênies (seleção entre progênies sem sementes remanescentes)

Coefficiente de ponderação da média de família:

$$\hat{b}_2 = 0,556;$$

$$\text{Acurácia: } \hat{r}_{IA} = [\alpha_2 \hat{b}_2]^{1/2} = 0,4138;$$

Seleção pelo efeito de indivíduo na parcela (seleção dentro de progênies)

Coefficiente de ponderação: $\hat{b}_1 = 0,2821$;

$$\text{Acurácia: } \hat{r}_{IA} = [\alpha_1 \hat{b}_1]^{1/2} = 0,3983.$$

Seleção de irmãos (seleção entre progênies com sementes remanescentes)

Coefficiente de ponderação da média de família:

$$\hat{b}_4 = \frac{(1/4)\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_p^2 + \hat{\sigma}_c^2/b + \hat{\sigma}_d^2/nb}$$

$$= \frac{(1/4)nb\hat{h}_2}{1 + (n-1)[(1/4)\hat{h}_2 + \hat{c}_2] + (b-1)n(1/4)\hat{h}_2} = 0,4454;$$

$$\text{Acurácia: } \hat{r}_{IA} = \left[r\hat{b}_4 \frac{p-1}{p} \right]^{1/2} = 0,3310.$$

Seleção e recombinação de genitores com base no teste de suas progênies

Coefficiente de ponderação da média de progênie:

$$\hat{b}_3 = \frac{(1/2)\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_p^2 + \hat{\sigma}_c^2/b + \hat{\sigma}_d^2/nb} = 2\hat{b}_4 = 0,8908;$$

$$\text{Acurácia: } \hat{r}_{IA} = \left[(1/2)\hat{b}_3 \frac{p-1}{p} \right]^{1/2} = 0,6620.$$

Seleção em dois estágios: entre e dentro das progênies

Coefficiente de ponderação para seleção entre progênies:

$$\hat{b}_2 = 0,5568;$$

$$\text{Acurácia: } \hat{r}_{IA} = 0,4138.$$

Coefficiente de ponderação para seleção dentro das progênies: $\hat{b}_1 = 0,2821$;

$$\text{Acurácia: } \hat{r}_{IA} = 0,3983.$$

Resultados e Discussão

Houve diferenças significativas entre famílias a 1% e 5% de probabilidade, com relação a todos os caracteres, com exceção da altura da planta no terceiro ano (AP3) e diâmetro do caule no segundo ano (DC2) (Tabela 1). Esta variação entre progênies revela uma condição favorável à seleção, considerando que é de natureza genética. Os coeficientes de variação experimental mantiveram-se em níveis aceitáveis para experimentação com acerola, exceção feita à produção de frutos com 28,4% que, aparentemente, apesar de alto, é normal na avaliação desta característica (Lopes, 1999; Paiva et al., 1999; Cordeiro, 2000).

A variância genética entre progênies quanto ao caráter altura da planta foi maior no segundo ano, em relação ao primeiro e terceiro ano de idade das plantas, e superior em cerca de 87% em relação a este último (Tabela 2). Este fato pode ser explicado pela maior diferença em altura das progênies no segundo ano, considerando que no terceiro ano essa diferença é menor em função do arqueamento da copa. Quanto ao diâmetro do caule, a estimativa da variação genética foi maior no terceiro ano, e quanto ao diâmetro da copa, a variação no segundo ano foi superior.

A maior proporção da variância genética da população encontra-se dentro das progênies. Isto porque as progênies de acerola foram consideradas como de meias-irmãs, apesar de os frutos serem originados de polinização livre e colhidos diretamente nas plantas-mães. Essa decisão baseou-se nos resultados de Lopes (1999), que concluiu que a aceroleira comporta-se, predominantemente, como planta alógama.

A distribuição das variâncias genéticas em populações avaliadas por progênies de meias-irmãs obe-

Tabela 1. Quadrados médios relativos à altura da planta (AP) e diâmetro do caule (DC) no primeiro, segundo e terceiro ano, diâmetro da copa (DCOPA) no segundo e terceiro ano de idade da planta e produção total de frutos (PF) de progênies de acerola.

Fonte de variação	GL	AP1	AP2	AP3	DC1	DC2	DC3	DCOPA2	DCOPA3	PF
Bloco	2	0,27368	0,02860	0,04661	0,27043	0,15501	0,08600	0,13788	0,41845	385,0062
Progênie	61	0,03315*	0,05704**	0,05408 ^{ns}	0,06054*	0,27845 ^{ns}	0,62518*	0,19593**	0,17912**	67,3101**
Entre parcelas	122	0,02139	0,02819	0,03870	0,04118	0,21821	0,38397	0,10924	0,10106	37,3276
Dentro de parcelas	558	0,06969	0,12650	0,12286	0,10827	0,55836	1,23177	0,33861	0,35484	106,2997
Média	-	1,10	1,90	2,20	2,1	4,36	6,26	2,77	3,30	21,48
CV (%)	-	13,3	8,8	8,9	9,8	10,7	9,9	11,9	9,6	28,4

^{ns}Não-significativo. * e **Significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 2. Componentes de variação relativos à altura da planta (AP) e diâmetro do caule (DC) no primeiro, segundo e terceiro ano, diâmetro da copa (DCOPA) no segundo e terceiro ano de idade da planta e produção total de frutos (PF) de progênies de acerola.

Componentes de variação ⁽¹⁾	AP1	AP2	AP3	DC1	DC2	DC3	DCOPA2	DCOPA3	PF
σ_p^2	0,003919	0,009618	0,005125	0,006452	0,020079	0,080401	0,028897	0,026021	9,994166
σ_A^2	0,015677	0,038471	0,020502	0,025807	0,080318	0,321603	0,115586	0,104085	39,976663
σ_F^2	0,011050	0,019013	0,018026	0,020180	0,092817	0,208392	0,065309	0,059706	22,436670
σ_F^2	0,081653	0,132686	0,136100	0,132538	0,656044	1,383396	0,392557	0,398323	132,654180
σ_d^2	0,069698	0,126501	0,122860	0,108272	0,558364	1,231772	0,338615	0,354836	106,299709
σ_e^2	0,003967	-0,003440	0,007987	0,014117	0,078620	0,076030	0,024583	0,012346	10,752676
σ_b^2	0,004069	0,000007	0,000128	0,003698	-0,001019	-0,004806	0,000462	0,005119	5,607629

⁽¹⁾ σ_p^2 : variância genética entre progênies; σ_A^2 : variância genética aditiva; σ_F^2 e σ_F^2 : variâncias fenotípica entre médias de progênies e entre indivíduos dentro das parcelas, respectivamente; σ_d^2 e σ_e^2 : variâncias dentro e entre parcelas, respectivamente; σ_b^2 : variância devido ao efeito de bloco.

dece ao esquema de um quarto da variância genética aditiva retida entre as progênies, enquanto três quartos dessa variância e toda a variância genética dominante fica disponível dentro das respectivas progênies (Vencovsky, 1987), evidenciando a possibilidade de obtenção de progresso genético adicional com a utilização de métodos que combinam a seleção dentro de progênies.

Os valores das variâncias entre parcelas para AP2 e os causados pelo efeito de bloco, relativos a DC2 e DC3, foram negativos, o que indica que os valores reais estão próximos de zero. Por definição, as estimativas de variâncias são positivas; quando são encontrados valores negativos, pode-se atribuir-lhes o valor zero (Searle, 1971).

Na maioria das características avaliadas, o percentual de variância aditiva disponível frente à variância fenotípica individual foi superior em mais de 20%. A variância aditiva é a variância dos valores genéticos, importante por ser a principal causa da semelhança entre parentes, sendo também o principal determinante das propriedades genéticas da população e da resposta da população à seleção (Falconer, 1981).

Os coeficientes de herdabilidades dentro das médias de progênies, apesar de manterem-se sempre superiores aos do plano individual, podem ser considerados de baixa a média magnitude, com variação de 0,27 no caráter DC2, a 0,63 no AP2 (Tabela 3), ao

passo que os coeficientes de menores magnitudes quanto a indivíduos na parcela variaram de 0,11 (DC2) a 0,28 (PF). Estes resultados indicam que a natureza da unidade de seleção exerce grande influência na magnitude dessas estimativas.

Pelas estimativas dos coeficientes de herdabilidades e dos componentes de variância genética relativa aos caracteres avaliados, pode-se concluir que esta população é favorável à seleção de plantas mais vigorosas e produtivas.

As estimativas dos coeficientes de correlações fenotípicas e genéticas entre pares de combinações de caracteres são apresentadas na Tabela 4. Os coeficientes de maiores magnitudes foram obtidos entre as mesmas variáveis avaliadas, independentemente do ano, a exemplo de altura de planta. Os valores dos coeficientes de correlação genética entre a produção de frutos (PF) e os demais caracteres foram todos negativos, porém de baixa magnitude, à exceção de PF x DC1, que foi positivo (0,12).

As predições dos valores e ganhos genéticos acumulados, associados à seleção de 30 plantas selecionadas pelo Índice Multiefeitos, com base na seleção da variável produção de frutos de progênies de acerola, são apresentados na Tabela 5. O ganho genético em produção variou de 9,5 kg a 13,1 kg de frutos por planta selecionada, refletindo-se em um ganho percentual de 44,1% a 60,7%. Na seleção ba-

Tabela 3. Coeficientes de herdabilidades da altura da planta (AP) e diâmetro do caule (DC) no primeiro, segundo e terceiro ano, diâmetro da copa (DCOPA) no segundo e terceiro ano de idade da planta e produção total de frutos (PF) de progênies de acerola.

Coeficiente de herdabilidade ⁽¹⁾	AP1	AP2	AP3	DC1	DC2	DC3	DCOPA2	DCOPA3	PF
h_m^2	0,44	0,63	0,35	0,40	0,27	0,48	0,55	0,54	0,55
h_d^2	0,17	0,23	0,12	0,18	0,11	0,19	0,26	0,22	0,28
h_{ic}^2	0,19	0,29	0,15	0,19	0,12	0,23	0,29	0,26	0,30
h_{ip}^2	0,15	0,23	0,12	0,16	0,10	0,19	0,24	0,21	0,25
h_{ib}^2	0,20	0,29	0,15	0,20	0,12	0,23	0,29	0,26	0,31

⁽¹⁾ h_m^2 : coeficiente de herdabilidade em nível de médias de progênies; h_d^2 : coeficiente de herdabilidade de indivíduo na parcela; h_{ic}^2 , h_{ip}^2 e h_{ib}^2 : coeficiente de herdabilidade de indivíduo no experimento, dentro de progénie e no bloco, respectivamente.

Tabela 4. Estimativas dos coeficientes de correlações fenotípica (r_F) e genética (r_G), na média de progênies quanto à altura da planta (AP) e diâmetro do caule (DC) no primeiro, segundo e terceiro ano, diâmetro da copa (DCOPA) no segundo e terceiro ano de idade das plantas e produção total de frutos (PF) de progênies de acerola.

$r_G/r_F^{(1)}$	AP1	AP2	AP3	DC1	DC2	DC3	DCOPA2	DCOPA3	PF
AP1	-	0,6569	0,4786	0,3169	0,2739	0,1129	0,2968	0,3064	0,0471
AP2	0,9405	-	0,6999	0,4039	0,3986	0,2638	0,4195	0,3787	0,1887
AP3	0,6201	0,8047	-	0,3359	0,4703	0,5347	0,4895	0,4994	-0,0830
DC1	0,1924	0,4655	0,4365	-	0,7107	0,5499	0,5228	0,3568	0,2938
DC2	0,2157	0,0859	0,5704	0,8125	-	0,8501	0,6955	0,5898	0,3041
DC3	-0,2759	-0,0979	0,5652	0,5084	0,8206	-	0,6598	0,6718	0,0393
DCOPA2	0,4076	0,2988	0,6978	0,7994	0,6756	0,6229	-	0,8012	0,1151
DCOPA3	0,4358	0,3043	0,7063	0,4033	0,5336	0,6490	0,1151	-	0,0038
PF	-0,1321	-0,0159	-0,0159	0,1198	-0,0232	-0,4836	-0,2303	-0,2832	-

⁽¹⁾ r_G : abaixo da diagonal; r_F : acima da diagonal.

Tabela 5. Estimativas dos valores genéticos (VG) e ganhos genéticos (GG) de 30 plantas selecionadas pelo Índice Multifeitos, com base na seleção da variável produção de frutos com ganho na mesma variável (PF) e na variável diâmetro da copa (DC) de progênies de acerola.

Progênie	PF			DC		
	VG	GG (kg)	GG (%)	VG	GG (kg)	GG (%)
20	13,05	13,05	60,74	0,03	0,03	0,91
63	12,71	12,88	59,96	-0,10	-0,04	-1,06
51	11,70	12,49	58,13	0,09	0,01	0,20
92	11,10	12,14	56,51	0,25	0,07	2,05
59	11,03	11,92	55,48	0,02	0,06	1,76
51	10,94	11,75	54,72	0,02	0,05	1,57
59	10,87	11,63	54,13	0,06	0,05	1,60
51	10,69	11,51	53,59	0,18	0,07	2,09
56	10,69	11,42	53,16	0,04	0,07	1,99
51	10,67	11,35	52,81	0,07	0,07	2,00
59	10,50	11,27	52,46	0,00	0,06	1,82
51	10,27	11,19	52,07	-0,15	0,04	1,29
51	9,58	11,06	51,49	0,04	0,04	1,28
51	9,49	10,95	50,97	0,08	0,05	1,37
59	9,39	10,85	50,49	0,00	0,04	1,27
51	9,34	10,75	50,05	-0,11	0,03	0,99
12	8,77	10,63	49,51	0,27	0,05	1,41
92	8,74	10,53	49,02	0,18	0,05	1,64
92	8,67	10,43	48,56	0,23	0,06	1,92
51	8,42	10,33	48,09	-0,08	0,06	1,70
87	8,41	10,24	47,67	0,12	0,06	1,79
59	7,89	10,13	47,17	-0,09	0,05	1,59
79	7,83	10,03	46,70	-0,01	0,05	1,50
92	7,81	9,94	46,27	0,09	0,05	1,56
63	7,71	9,85	45,86	-0,15	0,04	1,31
56	7,63	9,77	45,46	0,05	0,04	1,32
20	7,61	9,69	45,09	0,56	0,06	1,90
51	7,60	9,61	44,74	0,03	0,06	1,86
27	7,55	9,54	44,41	-0,05	0,06	1,75
98	7,51	9,47	44,10	0,03	0,06	1,72

seada no Índice Multiefeitos os ganhos são mais elevados, por conta da exploração dos efeitos de progênies, de parcela e de indivíduos dentro da parcela.

Na Tabela 6 estão as estimativas dos valores e ganhos genéticos, com base na seleção da variável produção de frutos e ganho na variável diâmetro de copa de progênies de acerola, das mesmas 30 plantas selecionadas anteriormente. Os ganhos na variável diâmetro de copas foram bastante reduzidos, com variação na porcentagem de 0,20% a 2,09%, inclusive para a progênie de número 63 o valor genético foi negativo. Estes resultados são reflexos da correlação genética negativa entre produção de frutos e diâmetro da copa.

As comparações dos métodos de seleção que propiciam diferentes intensidades de seleção devem basear-se no ganho genético e não apenas na acurácia seletiva. Considerando a seleção dos 30 melhores indivíduos pelo método do Índice Multiefeitos, os três melhores indivíduos de cada uma das dez melhores famílias pela seleção entre e dentro de famílias, os 62 indivíduos (o melhor de cada família) pela seleção dentro de famílias, e de 10 genitores e 10 famílias pela seleção entre genitores, entre famílias e seleção de irmãos (ou seleção de famílias, nos dois sexos, usando sementes remanescentes, respectivamente), obtiveram-se os ganhos genéticos e acurácias (Tabela 6).

A seleção e recombinação dos genitores, embora seja o método mais preciso, conduziu a um menor ganho genético em relação ao Índice Multiefeitos, pois propiciou menor intensidade de seleção.

De todos os métodos estudados, a seleção de irmãos usando sementes remanescentes forneceu o menor ganho. Por outro lado, o Índice Multiefeitos propiciou o maior ganho, aumentando em cerca de 20% a produção de frutos em relação à seleção entre e dentro de progênies.

Comparando-se as acurácias e os ganhos genéticos estimados com os diferentes métodos, constata-se superioridade do Índice de Multiefeitos em relação aos demais. Estes resultados são compatíveis com os que foram conduzidos com algumas espécies arbóreas usando a seleção combinada (Pires et al., 1996; Costa et al., 2000); inclusive a seleção feita por meio do Índice Multiefeitos deve ser, preferencialmente, utilizada para os casos em que a herdabilidade dos caracteres é baixa, por considerar simultaneamente o comportamento do indivíduo, o de sua família e da parcela em que foi plantado.

É importante ressaltar a diferença entre o Índice Multiefeitos e os demais índices de seleção combinada. O Índice Multiefeitos usa ocasionalmente o efeito de parcela e, para o caso balanceado, o Índice Multiefeitos é a melhor predição linear não-viciada (BLUP), ao passo que as formas de seleção combinada (usando o valor individual como desvio da média da parcela ou como desvio da média do bloco) não é BLUP (Resende & Fernandes, 1999; Resende et al., 1999). Os resultados comprovam a superioridade teórica do Índice Multiefeitos como procedimento ótimo. A seleção combinada pode, em algumas situações, gerar resultados próximos aos obtidos pelo Índice Multiefeitos, mas serão, na melhor das hipóteses, iguais ao do Índice Multiefeitos.

Tabela 6. Estimativas das acurácias e dos ganhos genéticos de 30 plantas selecionadas por diferentes métodos, com base na seleção da variável produção de frutos de progênies de acerola.

Método	Acurácia	Ganho genético (kg de frutos/planta)	Ganho genético (%)
Índice Mutiefeitos	0,5955	9,47	44,10
Entre e dentro de famílias	0,4138 e 0,3983	7,89	36,73
Dentro de família	0,3983	4,35	20,25
Entre famílias	0,4138	4,37	20,34
Seleção de irmãos	0,3310	3,49	16,25
Seleção de genitores	0,6620	6,99	32,54

Conclusões

1. Os parâmetros genéticos estimados para a população de acerola indicam condições favoráveis à seleção que, em associação com métodos elaborados de seleção, podem conduzir a avanços genéticos consideráveis.

2. Os caracteres altura da planta e diâmetro de copa, por apresentarem correlações genéticas negativas com a produção de frutos, não podem ser utilizados como auxiliares no melhoramento da produção.

3. A seleção baseada no Índice Multifeitos é indicada para acerola porque fornece maior ganho genético e alta acurácia em relação à seleção entre e dentro de progênies, seleção de genitores com base no comportamento da progênie, e seleção individual.

Referências

- CORDEIRO, E. R. **Seleção de progênies de polinização livre de acerola e estimativas de parâmetros genéticos**. 2000. 64 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- COSTA, R. B.; RESENDE, M. D. V. de; ARAÚJO, A. J.; GONÇALVES, P. S.; BORTOLETTO, N. Seleção combinada univariada e multivariada aplicada ao melhoramento genético da seringueira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 2, p. 381-388, fev. 2000.
- FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa, MG: UFV, 1981. 279 p.
- LOPES, R. **Polimorfismo, sistema de acasalamento, polinizações, repetibilidade de características do fruto e avaliação de genótipos de aceroleira (*Malpighia emarginata* DC.)**. 1999. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- PAIVA, J. R.; ALVES, R. E.; CORREA, M. P. F.; FREIRE, F. C. O.; BRAGA SOBRINHO, R.; JUCÁ, W. Seleção massal de acerola (*Malpighia* spp.) em plantio comercial. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 3, p. 505-511, mar. 1999.
- PATERNIANI, E.; MIRANDA FILHO, J. B. Melhoria de populações. In: PATERNIANI, E. (Coord.). **Melhoramento e produção de milho no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 217-274.
- PIRES, I. E.; CRUZ, C. D.; BORGES, R. C. G.; REGAZZI, A. I. Índice de seleção combinada aplicado ao melhoramento genético de *Eucalyptus* spp. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 20, n. 2, p. 191-197, 1996.
- RELATÓRIO TÉCNICO ANUAL DO CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE CAJU 1987-1988. Fortaleza: Embrapa-CNPc, 1990. 88 p.
- RESENDE, M. D. V. de. Avanços da genética biométrica florestal. In: ENCONTRO SOBRE TEMAS DE GENÉTICA E MELHORAMENTO, 14., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Esalq, 1997. p. 20-46.
- RESENDE, M. D. V. de; FERNANDES, J. S. C. Procedimento BLUP individual para delineamentos experimentais aplicados ao melhoramento florestal. **Revista de Matemática e Estatística**, São Paulo, v. 17, p. 89-107, 1999.
- RESENDE, M. D. V. de; FERNANDES, J. S. C.; SIMEÃO, R. M. BLUP individual multivariado em presença de interação genótipo x ambiente para delineamentos experimentais repetidos em vários ambientes. **Revista de Matemática e Estatística**, São Paulo, v. 17, p. 209-228, 1999.
- RESENDE, M. D. V. de; HIGA, A. R. Maximização da eficiência da seleção em testes de progênies de *Eucalyptus* através da utilização de todos os efeitos do modelo matemático. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, v. 28/29, p. 37-55, 1994.
- RESENDE, M. D. V. de; OLIVEIRA, E. B. de; MELINSKI, L. C.; GOULART, F. S.; OAIDA, G. R. **SELEGEN - seleção genética computadorizada**: manual do usuário. Curitiba: Embrapa-CNPf, 1994. 31 p.
- SEARLE, S. R. Topics in variance component estimation. **Biometrics**, Raleigh, v. 27, p. 22-24, 1971.
- VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E. (Coord.). **Melhoramento e produção de milho no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 122-201.