

Eficiência da seleção de progênies de café F_4 pela metodologia de modelos mistos (REML/BLUP)

Thamiris Bandoni Pereira (1*); João Paulo Felicori Carvalho (1); César Elias Botelho (2); Marcos Deon Vilela de Resende (3); Juliana Costa de Rezende (2); Antônio Nazareno Guimarães Mendes (1)

(1) Universidade Federal de Lavras (UFLA), Departamento de Agricultura, Caixa Postal 3037, 37200-000 Lavras (MG), Brasil.

(2) Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Unidade Regional do Sul de Minas, Caixa Postal 176, 37200-000 Lavras (MG), Brasil.

(3) Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Caixa Postal 319, 83411-000 Colombo (PR), Brasil.

(*) Autor correspondente: thamirisbandoni@hotmail.com

Recebido: 27/mar./2013; Aceito: 21/ago./2013

Resumo

Objetivou-se verificar a eficiência da seleção de cafeeiros em geração F_4 para características agrônômicas e resistência a doenças mediante o emprego da metodologia de modelos mistos de Henderson. O experimento foi instalado na Fazenda Experimental da EPAMIG, em Machado, MG, sendo utilizadas progênies F_4 derivadas do cruzamento entre cultivares do grupo Icatu com Catuaí Amarelo IAC 62 e IAC 17 e com as progênies IAC 5002 e IAC 5010. O delineamento experimental utilizado foi o látice com quatro repetições e as avaliações foram realizadas ao longo de dois anos (2010 e 2011). Foram avaliadas as seguintes características: produção (litros planta⁻¹), reação à ferrugem, vigor vegetativo e reação à cercosporiose. Foram utilizados o procedimento REML/BLUP para estimar os parâmetros genéticos, o índice de seleção de Mulamba e Mock a fim de verificar os ganhos para múltiplos caracteres, a acurácia e eficiência, calculadas a partir do diferente número de medições e, ainda, o agrupamento multivariado de progênies pelo método de Tocher. Verificou-se, a partir da análise dos parâmetros genéticos, um maior sucesso na seleção entre famílias para todas as características avaliadas. A adoção de quatro colheitas poderá elevar a acurácia a 80% na seleção de indivíduos para as características produção, reação à ferrugem e vigor vegetativo. A seleção das 12 melhores progênies para caracteres múltiplos pelo índice de Mulamba e Mock proporcionaria um ganho médio de 70,4%.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, seleção precoce, Icatu, melhoramento genético.

Selection efficiency of F_4 coffee progenies by mixed model methodology (REML/BLUP)

Abstract

The aim of this paper was to evaluate the selection efficiency in the F_4 generation of coffee for agronomic traits and disease resistance through the use of mixed model methodology of Henderson. The experiment was carried out in Machado (MG) Brazil, using F_4 progenies from a cross between cultivars of Icatu group with Catuaí Amarelo IAC 62 and IAC 17 and with the progenies IAC 5002 and IAC 5010. The experimental design was a square lattice with four replications and the evaluations were taken during two years (2010 and 2011). The traits evaluated were: production (L plant⁻¹), reaction to rust, vegetative vigor and reaction to *Cercospora*. We used the REML/BLUP procedure to estimate genetic parameters, the Mulamba & Mock selection index to verify the gains for multiple characters, the accuracy and efficiency and also the multivariate clustering progenies through the Tocher method. The analysis of genetic parameters using mixed models was successful for selecting families for all characteristics under consideration. The adoption of four crop harvests may increase to 80% the accuracy in selecting individuals for production characteristics, reaction to rust and vegetative vigor. The selection of the 12 best progenies for multiple characters by Mulamba and Mock index provided an average gain of 70.4%.

Key words: *Coffea arabica*, early selection, Icatu, genetic improvement.

1. INTRODUÇÃO

O uso de cultivares resistentes às principais pragas e doenças do cafeeiro tem papel importante no aumento de produtividade e diminuição dos custos de produção (FREITAS et al., 2007), sendo possível reduzir a utilização de fungicidas (BOTELHO et al., 2010a) e evitar a contaminação do ambiente e de trabalhadores rurais.

A população de Icatu apresenta-se como boa opção para ser utilizada em programas de melhoramento, por demonstrar rusticidade, elevado vigor vegetativo e produtividade, aliando adaptabilidade e estabilidade fenotípica para essa característica (CARVALHO et al., 2009) e, principalmente, variabilidade para resistência à ferrugem (BOTELHO et al., 2007).

Porém, espécies vegetais perenes como o cafeeiro apresentam aspectos biológicos peculiares como: ciclo reprodutivo longo; acentuada oscilação anual de produção, resultando em ciclo bienal; sobreposição de gerações; expressão dos caracteres ao longo de vários anos e diferenças em precocidade e longevidade produtiva (SERA, 2001). Essas características levam a algumas consequências, como: utilização do material genético selecionado por vários anos; uso de avaliações repetidas em cada indivíduo ao longo do tempo e redução na taxa de sobrevivência dos experimentos durante sua vida útil, fato que tende a gerar dados desbalanceados para uso na estimação de parâmetros genéticos e na predição dos valores genéticos aditivos e genotípicos (RESENDE, 2001).

Devido a essas peculiaridades agrônômicas, o melhoramento genético do cafeeiro é dificultado, sendo recomendado o uso de métodos especiais para estimar os parâmetros genéticos e predizer os valores genéticos (OLIVEIRA et al., 2011; PETEK et al., 2008). Atualmente, o procedimento analítico padrão recomendado para os estudos em genética quantitativa e também para a prática da seleção em plantas perenes é a metodologia de modelos mistos (HENDERSON, 1984). Essa abordagem permite a predição acurada e não enviesada dos valores genéticos mesmo sob desbalanceamento e também facilita o uso simultâneo das informações do indivíduo, da família e de medidas repetidas no tempo, propiciando estimativas mais precisas dos componentes da variação genética e dos valores genéticos individuais.

Outra justificativa para a utilização de modelos mistos em *C. arabica* consiste na seleção de cultivares do tipo linhagem, sendo essa realizada a partir de plantas individuais dentro de progênies ainda segregantes. Assim, a predição do valor genético aditivo de cada indivíduo levará à maximização da acurácia na seleção do melhor entre dois indivíduos e, conseqüentemente, à maximização do ganho genético com a seleção de novas linhagens, capitalizando assim as propriedades dos preditores BLUP (RESENDE, 2002). RAMALHO et al. (2013) também enfatizam as vantagens da aplicação do BLUP no melhoramento do café arábica.

Essa metodologia foi utilizada por outros autores em diversas culturas como milho (MACHADO et al., 2010), arroz (BORGES et al., 2010), cana-de-açúcar (PEDROZO et al., 2011), feijão (BERTOLDO et al., 2009), entre outros. Contudo, são escassos na literatura os relatos do emprego dessa metodologia na seleção de plantas individuais da espécie *Coffea arabica*.

Com base no exposto, objetivou-se verificar a eficiência da seleção de cafeeiros em geração F_4 para características agrônômicas e resistência a doenças mediante o emprego do método de modelos mistos de Henderson, visando explorar a variação genética entre e dentro das progênies.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As progênies F_4 foram obtidas no Programa de Melhoramento Genético do Cafeeiro (Tabela 1) de Minas Gerais. O experimento foi instalado em janeiro de 2007 na Fazenda Experimental da EPAMIG, no município de Machado, no sul de Minas Gerais, situado em uma região de relevo ondulado (21°40'S e 45°55'W, altitude de 900 m). A precipitação pluvial média anual é de 1.670 mm e temperatura média anual, de 19,8°C.

O delineamento experimental foi o de blocos incompletos (látice) 6x6, com quatro repetições, no espaçamento de 3,0 m entre linhas e 0,8 m entre plantas, sendo utilizadas 10 plantas por parcela.

As seguintes características agrônômicas foram avaliadas a partir da primeira colheita significativa, safras 2010/2011 e 2011/2012: produção de frutos avaliada em litros de “café da roça” por planta, sendo as colheitas realizadas entre os meses de maio e julho de cada ano. O vigor vegetativo foi avaliado atribuindo-se notas conforme escala arbitrária de 10 pontos, conforme sugerido por CARVALHO et al. (1979). Para a avaliação da reação à ferrugem, causada pelo fungo *Hemileia vastatrix* Berk. et Br., foram utilizadas notas em escala variando de 1 a 5, adaptada por PETEK et al. (2008), sendo: 1=ausência de pústulas e reações de hipersensibilidade; 5=alta quantidade de pústulas com alta produção de esporos e alta desfolha da planta. A avaliação da reação à cercosporiose (*Cercospora coffeicola*) foi realizada anteriormente à colheita, segundo notas em escala de variação de 1 a 5, sendo a nota 1 correspondente a plantas que apresentaram ausência de lesões; 2=plantas com poucas lesões devidas à doença; 3=lesões espalhadas pela planta e alguns sintomas nos frutos; 4=lesões espalhadas pela planta em frutos e folhas com manchas grandes e negras chegando às bordas; e 5=lesões grandes e negras espalhadas pela planta, frutos atacados e alguns ramos secos.

O programa utilizado para estimação e predição dos valores genéticos foi o SELEGEN – REML/BLUP (Restricted Maximum Likelihood – Best Linear Unbiased Prediction), sendo o procedimento adotado pelo programa para a predição dos valores genéticos o BLUP (melhor

Tabela 1. Progenies F_4 de *Coffea arabica* L. avaliadas em Machado (MG)

Nº de ordem	Progenies	Genitores
1	H 141-17-46 cova 1	Icatu A. IAC 2944 x Catuaí A. IAC 62
2	H 141-17-46 Cova 8	Icatu A. IAC 2944 x Catuaí A. IAC 62
3	H 141-17-46 Cova 9	Icatu A. IAC 2944 x Catuaí A. IAC 62
4	H 141-17-46 Cova 16	Icatu A. IAC 2944 x Catuaí A. IAC 62
5	H 141-17-46 Cova 18	Icatu A. IAC 2944 x Catuaí A. IAC 62
6	H 141-17-46 Cova 19	Icatu A. IAC 2944 x Catuaí A. IAC 62
7	H 140-18-02 cova 6	Icatu V. IAC 4042 x Catuaí A. IAC 62
8	H 101-71-44 cova 5	Icatu V. IAC 4040 x IAC 5010
9	H 101-71-44 Cova 15	Icatu V. IAC 4040 x IAC 5010
10	H 108-43-37 Cova 6	Icatu V. IAC 4042 x IAC 5002
11	H 108-43-37 Cova 18	Icatu V. IAC 4042 x IAC 5002
12	H 141-26-48 Cova 5	Icatu A. IAC 2944 x Catuaí A. IAC 62
13	H 141-26-48 Cova 14	Icatu A. IAC 2944 x Catuaí A. IAC 62
14	H 105-01-39 Cova 1	Icatu A. IAC 2944 x IAC 5002
15	H 105-01-39 Cova 4	Icatu A. IAC 2944 x IAC 5002
16	H 105-01-39 Cova 12	Icatu A. IAC 2944 x IAC 5002
17	H 140-03-41 Cova 8	Icatu V. IAC 4042 x Catuaí A. IAC 62
18	H 145-17-17 Cova 2	Icatu V. IAC 4042 x Catuaí A. IAC 17
19	H 145-17-17 Cova 10	Icatu V. IAC 4042 x Catuaí A. IAC 17
20	H 140-09-02 Cova 1	Icatu V. IAC 4042 x Catuaí A. IAC 62
21	H 141-27-40 Cova 11	Icatu A. IAC 2944 x Catuaí A. IAC 62
22	H 141-27-40 Cova 12	Icatu A. IAC 2944 x Catuaí A. IAC 62
23	H 111-38-5 Cova 12	Icatu V. IAC 4040 x Catuaí A. IAC 62
24	H 107-47-02 Cova 1	Icatu V. IAC 4040 x IAC 5002
25	H 107-47-02 Cova 6	Icatu V. IAC 4040 x IAC 5002
26	H 130-65-45 Cova 8	Icatu V. IAC 2942 x IAC 5002
27	H 130-65-45 Cova 10	Icatu V. IAC 2942 x IAC 5002
28	H 141-10-10 Cova 1	Icatu A. IAC 2944 x Catuaí A. IAC 62
29	H 141-10-10 Cova 5	Icatu A. IAC 2944 x Catuaí A. IAC 62
30	H 141-10-10 Cova 8	Icatu A. IAC 2944 x Catuaí A. IAC 62
31	H 141-10-10 Cova 11	Icatu A. IAC 2944 x Catuaí A. IAC 62
32	H 141-10-10 Cova 12	Icatu A. IAC 2944 x Catuaí A. IAC 62
33	H 141-10-10 Cova 19	Icatu A. IAC 2944 x Catuaí A. IAC 62
34	Rubi MG 1192	Cultivar*
35	Topázio MG 1190	Cultivar*
36	Catuaí Amarelo IAC 62	Cultivar*

*Cultivares utilizados como testemunha. A. = amarelo; V. = vermelho

predição linear não viciada) ou modelos mistos, que utilizam estimativas de variância obtidas pelo método REML (máxima verossimilhança restrita), descritos por RESENDE (2007). As variáveis foram analisadas de acordo com o seguinte modelo (RESENDE, 2007):

$$y = X\beta + Za + Wc + Tp + Qt + Ub + e \quad (1)$$

em que:

y , β , a , c , p , t , b e e são vetores dos dados observados, dos efeitos fixos (repetição, colheita e interação repetições x

colheitas), dos efeitos genéticos aditivos dos indivíduos, dos efeitos aleatórios de parcela, dos efeitos aleatórios permanentes do indivíduo, dos efeitos aleatórios da interação genótipos x medições, dos efeitos aleatórios de blocos incompletos e de erros aleatórios, respectivamente; e X , Z , W , T , Q e U são matrizes de incidência para β , a , c , p , t e b , respectivamente.

Os efeitos aleatórios foram assumidos como não correlacionados e como tendo distribuição normal.

As equações de modelo misto são dadas por (RESENDE, 2002):

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'W & X'T & X'Q & X'U \\ Z'X & Z'Z + A^{-1}\lambda_1 & Z'W & Z'T & Z'Q & Z'U \\ W'X & W'Z & W'W + I\lambda_2 & W'T & W'Q & W'U \\ T'X & T'Z & T'W & T'T + I\lambda_3 & T'Q & T'U \\ Q'X & Q'Z & Q'W & Q'T & Q'Q + I\lambda_4 & Q'U \\ U'X & U'Z & U'W & U'T & U'Q & U'U + I\lambda_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta} \\ \hat{a} \\ \hat{c} \\ \hat{p} \\ \hat{t} \\ \hat{b} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ W'y \\ T'y \\ Q'y \\ U'y \end{bmatrix} \quad (2)$$

em que:

$$\lambda_1 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_a^2} = \frac{1 - h^2 - c^2 - p^2 - t^2 - b^2}{h^2};$$

$$\lambda_2 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_c^2} = \frac{1 - h^2 - c^2 - p^2 - t^2 - b^2}{c^2};$$

$$\lambda_3 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_p^2} = \frac{1 - h^2 - c^2 - p^2 - t^2 - b^2}{p^2};$$

$$\lambda_4 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_t^2} = \frac{1 - h^2 - c^2 - p^2 - t^2 - b^2}{t^2};$$

$$\lambda_5 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_b^2} = \frac{1 - h^2 - c^2 - p^2 - t^2 - b^2}{b^2};$$

$$h^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_p^2 + \sigma_t^2 + \sigma_b^2 + \sigma_e^2}, \text{ herdabilidade}$$

individual no sentido restrito;

$$c^2 = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_p^2 + \sigma_t^2 + \sigma_b^2 + \sigma_e^2}, \text{ coeficiente de}$$

determinação dos efeitos de parcela;

$$p^2 = \frac{\sigma_p^2}{\sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_p^2 + \sigma_t^2 + \sigma_b^2 + \sigma_e^2}, \text{ coeficiente de}$$

determinação dos efeitos permanentes de indivíduo;

$$t^2 = \frac{\sigma_t^2}{\sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_p^2 + \sigma_t^2 + \sigma_b^2 + \sigma_e^2}, \text{ coeficiente de}$$

determinação dos efeitos da interação genótipos x ambientes;

$$b^2 = \frac{\sigma_b^2}{\sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_p^2 + \sigma_t^2 + \sigma_b^2 + \sigma_e^2}, \text{ coeficiente de}$$

determinação dos efeitos de blocos incompletos;

A: matriz de parentesco genético aditivo entre os indivíduos;

A repetibilidade é dada por

$$r = \frac{\sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_p^2 + \sigma_b^2}{\sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_p^2 + \sigma_t^2 + \sigma_b^2 + \sigma_e^2}.$$

Os componentes de variância foram estimados por REML via algoritmo EM.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes às estimativas dos parâmetros genéticos para os caracteres produção, vigor vegetativo e reação à ferrugem e à cercosporiose são apresentados na Tabela 2. O modelo de análise propiciou a estimação simultânea da herdabilidade individual, da repetibilidade individual e da correlação genética por meio das colheitas.

Tabela 2. Estimativas de parâmetros genéticos para produção (PROD, L planta⁻¹), reação à ferrugem (RF, nota), vigor vegetativo (VV, nota) e reação à cercosporiose (RC, nota) em progênies F₄ de cafeeiro, no município de Machado (MG)

Parâmetro	PROD	RF	VV	RC
h_{atc}^2	6,62	33,72	8,64	4,01
h_{ad}^2	0,65	7,21	1,42	0,66
h_{mpr}^2	47,64	86,54	57,82	38,42
AC _{mpr}	69,03	93,02	76,01	62,03
c_{int}^2	5,00	9,34	8,43	6,70
r	44,62	38,41	28,82	21,74
r _{med}	15,94	70,35	14,85	2,46
Média geral	3,65	1,95	6,69	2,21
CV _{at} (%)	13,20	27,20	4,50	5,10

h_{atc}^2 : herdabilidade individual total no sentido restrito, ajustada para os efeitos do modelo; h_{ad}^2 : herdabilidade aditiva individual dentro de progênie; h_{mpr}^2 : herdabilidade da média de progênies através das repetições e safras; AC_{mpr}: acurácia da seleção de progênies; c_{int}^2 : coeficiente de determinação dos efeitos da interação progênies x colheitas; r: coeficiente de repetibilidade individual; r_{med}: coeficiente de correlação genotípica entre o desempenho das progênies nas duas safras; CV_{at} (%): coeficiente de variação genética aditiva individual total

As estimativas desses parâmetros são essenciais para orientar a correta seleção de indivíduos superiores.

Os coeficientes de herdabilidade e de variação genética indicam a possibilidade de seleção para todos os caracteres, principalmente para produção, reação à ferrugem e vigor vegetativo, com destaque para a variável reação à ferrugem, que apresentou valor de 33,7% para a herdabilidade individual no sentido restrito. As herdabilidades de médias de família apresentaram magnitudes moderadas a altas, variando de 38,4% a 86,5%, conduzindo a acurácias elevadas, variando de 62% a 93%. De acordo com a classificação de RESENDE (2002), as acurácias encontradas neste estudo foram de magnitudes moderadas a altas.

As herdabilidades aditivas dentro de famílias foram praticamente zero, exceto para ferrugem, que apresentou um valor de 7,2%, podendo-se inferir que a seleção dentro de progênies é possível somente para essa variável. Esses baixos valores de herdabilidade dentro de famílias indicam que a seleção de indivíduos, utilizando-se o BLUP, para o avanço de geração proporciona maior peso ao efeito de família e, exceto para reação à ferrugem, assemelha-se muito à seleção entre famílias. Isso é esperado em gerações F₄ de espécies autógamas, em que 6/4 da variação genética aditiva encontra-se entre famílias e apenas 1/4 dentro delas.

A acurácia seletiva depende da herdabilidade e da repetibilidade do caráter, refletindo a quantidade e a qualidade das informações e dos procedimentos utilizados na predição dos valores genéticos. Essa medida está associada à precisão na seleção e refere-se à correlação entre valores genéticos preditos e valores genéticos verdadeiros dos indivíduos. Quanto maior a acurácia na avaliação de um indivíduo, maior é a confiança na avaliação e no valor genético predito do indivíduo (STURION e RESENDE, 2005).

Os coeficientes de determinação da interação progênies x colheitas foram altos em relação à herdabilidade individual

total no sentido restrito, com exceção da reação à ferrugem, indicando alta interação com safras. Isso conduziu a baixos coeficientes de correlação genotípica entre o desempenho das progênies nas duas safras, com valores variando entre 2% e 16%, exceto para reação à ferrugem. Para esse caráter, o coeficiente de correlação genotípica foi de magnitude alta, com valor de 70%.

Para os caracteres produção, reação à cercosporiose e vigor vegetativo, os efeitos genotípicos individuais e os efeitos da interação de progênies com colheitas explicaram praticamente a mesma percentagem da variação total. Essa interação é problemática para o melhorista, visto que a correlação das respostas obtidas em cada uma das colheitas foi de magnitude baixa, com coincidência de 15% ou menos entre os melhores em cada uma das safras. A magnitude dessa correlação indica também que o caráter não é o mesmo de uma colheita para outra. Dessa forma, um modelo simplificado de repetibilidade sem a inclusão do efeito da interação genótipos x colheitas não é adequado.

Em relação à correlação genotípica das progênies nas duas safras, verifica-se que a característica reação à ferrugem obteve o maior dos valores, o qual indica a concordância das melhores progênies nos dois anos de avaliação, enquanto a reação à cercosporiose obteve o menor dos valores. Isso indica que para aumentar a eficiência seletiva, exceto para reação à ferrugem, é necessária a avaliação em um maior número de safras.

O conhecimento do coeficiente de repetibilidade das características de interesse permite avaliar o dispêndio de tempo necessário para que a seleção de indivíduos geneticamente superiores seja feita com a acurácia desejada pelo pesquisador (BRUNA et al., 2012). Os coeficientes de repetibilidade individual foram de baixas magnitudes para as características vigor vegetativo e reação a cercosporiose, a moderadas magnitudes para produção e reação à ferrugem, variando de 22% a 45%, conforme classificação de RESENDE (2002). Baixas repetibilidades indicam a necessidade de um grande número de repetições para se alcançar um valor de determinação satisfatório.

A acurácia pode ser incrementada por meio de uma experimentação mais adequada, aumentando-se o número de medições por planta (RESENDE, 2002). Na Tabela 3 são apresentadas as acurácias que seriam obtidas utilizando-se um maior número de medições ou safras na experimentação. Verifica-se que, considerando-se as repetibilidades individuais estimadas, a adoção de quatro colheitas conduz a acurácias acima ou próximas de 80% na inferência sobre os valores fenotípicos permanentes dos indivíduos, para todas as características avaliadas, com exceção de reação à cercosporiose. Vale ressaltar que essa doença é altamente influenciada pelo ambiente, principalmente pelas condições climáticas e nutricionais da planta, a exemplo da deficiência de nitrogênio, que torna as plantas mais atacadas pelo patógeno, ao contrário de altas doses de potássio, que tornam as plantas mais resistentes (ZAMBOLIM et al., 2005).

A eficiência do uso de quatro colheitas em relação ao uso de apenas uma é de 1,38, ou seja, cerca de 40% para os caracteres produção, reação à ferrugem e vigor vegetativo, corroborando resultados obtidos por outros autores (PEDRO et al., 2011), os quais afirmam que a estabilidade de produção do cafeeiro é alcançada na quarta colheita.

Os índices de seleção são geralmente utilizados com o propósito de escolher materiais superiores, com base em um complexo de variáveis que reúna atributos de interesse do melhorista, de modo a resultar em melhores ganhos simultâneos (CRUZ et al., 2004). Assim, visando aumentar a confiabilidade dos resultados obtidos, foi utilizado índice com base na média de ranks (MULAMBA e MOCK, 1978). Na Tabela 4 são listadas as 12 melhores famílias que apresentaram maiores ganhos simultâneos para as quatro variáveis avaliadas. Verifica-se que a progênie H 141-17-46 Cova 9 (com rank médio nas quatro variáveis igual a 3,75) apresentou ganho de 393,3% sobre o rank médio (18,5) de toda a população de progênies, indicando que é possível promover o efetivo aumento simultâneo da concentração de alelos favoráveis na população.

Nesse caso, em que foi utilizada uma intensidade de seleção de 33% (12 progênies) com vistas a compor a próxima geração F_5 , o ganho estimado é de 70,4% em

Tabela 3. Acurácia e eficiência obtidas a partir do diferente número de medições para as características produção, reação à ferrugem, vigor vegetativo e reação à cercosporiose

Medida	Produção		Ferrugem		Vigor		Cercosporiose	
	Acurácia	Eficiência	Acurácia	Eficiência	Acurácia	Eficiência	Acurácia	Eficiência
1	0,67	1,00	0,62	1,00	0,53	1,00	0,46	1,00
2	0,78	1,17	0,75	1,20	0,67	1,24	0,60	1,28
3	0,84	1,26	0,81	1,30	0,74	1,38	0,67	1,45
4	0,87	1,31	0,85	1,36	0,78	1,46	0,72	1,56
5	0,89	1,34	0,87	1,40	0,82	1,52	0,76	1,63
6	0,91	1,36	0,88	1,43	0,84	1,57	0,79	1,69
7	0,92	1,38	0,90	1,45	0,85	1,60	0,81	1,74
8	0,93	1,39	0,91	1,47	0,87	1,63	0,83	1,78
9	0,94	1,40	0,92	1,48	0,88	1,65	0,84	1,81
10	0,94	1,41	0,93	1,49	0,89	1,67	0,86	1,84

relação à população original. Observa-se que entre as plantas selecionadas seis pertencem à família 141, proveniente do cruzamento entre Icatu Amarelo IAC 2944 e Catuaí Amarelo IAC 62. O potencial produtivo desses parentais foi relatado por outros autores. BOTELHO et al. (2010b), avaliando cultivares do grupo Catuaí nas regiões produtoras do estado de Minas Gerais, verificaram que a cultivar Catuaí Amarelo IAC 62 apresentou-se mais promissora por aliar estabilidade e adaptabilidade em ambientes favoráveis e desfavoráveis com média alta de produção. Da mesma forma, avaliando a resposta de linhagens de cafezais de Icatu e Mundo Novo no município de Uberlândia, MELO et al. (2005) observaram que a cultivar Icatu Amarelo IAC 2944 foi altamente produtiva, apresentando a melhor renda entre os cafeeiros estudados.

Foi realizada ainda a análise de Agrupamento Multivariado pelo método de Tocher, a qual separou os 36 genótipos em oito grupos distintos (Tabela 5), para todas as variáveis avaliadas simultaneamente. IVOGLO et al. (2008), utilizando o mesmo método, reuniram 21 progênies de café robusta em quatro grupos distintos e FONSECA et al. (2006) agruparam 32 clones de café conilon em três grupos diferentes.

A formação desses grupos propicia informação valiosa na escolha de genitores dentro de um programa de melhoramento

Tabela 4. Rank médio das progênies e ganhos (%) sobre o rank médio igual a 18,5 com a seleção pela metodologia adaptada de MULAMBA e МОСК (1978) para os caracteres produção, reação à ferrugem, reação à cercosporiose e vigor vegetativo

Progênies	Rank médio	Ganho (%)
H 141-17-46 Cova 9	3,75	393,3
H 141-17-46 Cova 18	5,50	300,0
H 141-17-46 Cova 8	7,50	231,3
H 141-10-10 Cova 1	10,50	171,6
H 141-26-48 Cova 14	11,50	138,7
H 108-43-37 Cova6	11,50	120,9
H 140-18-02 cova 6	11,75	108,9
H 105-01-39 Cova 4	12,25	99,3
H 130-65-45 Cova 8	12,50	91,9
H 141-17-46 Cova 16	14,25	83,2
H 145-17-17 Cova 10	14,50	76,2
H 141-17-46 Cova 19	14,75	70,4

Tabela 5. Agrupamento baseado nos caracteres avaliados, pelo método de Tocher, das progênies de cafeeiro no município de Machado (MG)

Grupos	Número de ordem da progênie
1	1, 4, 12, 15, 26, 31, 7, 28, 29, 9, 13, 33, 2, 14, 27, 21, 24, 30, 32, 6, 25
2	3, 5, 11, 19, 10
3	16, 8, 17, 22
4	36, 23
5	35
6	20
7	18
8	34

pois, segundo BERTAN et al. (2006), as novas combinações híbridas a serem estabelecidas devem embasar-se na magnitude de suas dissimilaridades. O cruzamento entre linhagens de diferentes grupos amplia a variabilidade genotípica na população de seleção e com isso aumenta a probabilidade de seleção de indivíduos transgressivos superiores.

Quatro progênies que se destacaram pelos ganhos simultâneos maiores, conforme a metodologia de MULAMBA e МОСК (1978), foram alocadas no mesmo grupo, o de número dois, o que revela que elas são geneticamente próximas. As demais famílias superiores divergentes das do grupo dois foram alocadas no grupo um, o qual abrangeu 21 progênies, o que indica que essas progênies apresentaram resposta semelhante para as variáveis analisadas. Desse modo, os acessos superiores do grupo um devem ser considerados promissores em cruzamentos artificiais com os acessos do grupo dois.

4. CONCLUSÃO

A seleção para resistência à ferrugem dentro de progênies pode contribuir para aumentar a eficiência da seleção. As acurácias para seleção das progênies para todas as características avaliadas foram de moderadas a altas, com destaque para a resistência à ferrugem, com valor de 93%. A adoção de uma experimentação com quatro colheitas pode elevar a acurácia a 80% na seleção de indivíduos para as características produção, reação à ferrugem e vigor vegetativo. A seleção das 12 melhores progênies com base em caracteres múltiplos pelo índice de Mulamba e Mock proporciona um ganho médio de 70,4%.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela concessão da bolsa PNPd (JCR), ao Consórcio Pesquisa Café e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café (INCT Café/ CNPq) pelo apoio financeiro ao projeto, e à CAPES pela concessão de bolsa de mestrado à primeira autora.

REFERÊNCIAS

BERTAN, I.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; SILVA, J.A.G.; BENIN, G.; VIEIRA, E.A.; SILVA, G.O.; HARTWIG, I.; VALERIO, I.; FINATTO, T. Dissimilaridade genética entre genótipos de trigo avaliados em cultivo hidropônico sob estresse por alumínio. *Bragantia*, v.65, p.55-63, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052006000100008>

BERTOLDO, J.G.; COIMBRA, J.L.M.; GUIDOLIN, A.F.; NODARI, R.O.; ELIAS, H.T.; BARILI, L.D.; VALE, N.M.; ROZZETTO, D.S. Rendimento de grãos em feijão preto: o componente que mais interfere no valor fenotípico é o ambiente. *Ciência Rural*, v.39, p.1974-1982, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009005000166>

- BORGES, V.; SOARES, A.A.; REIS, M.S.; RESENDE, M.D.V.; CORNÉLIO, V.M.O.; LEITE, N.A.; VIEIRA, A.R. Desempenho genotípico de linhagens de arroz de terras altas utilizando metodologia de modelos mistos. *Bragantia*, v.69, p.833-841, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052010000400008>
- BOTELHO, C.E.; MENDES, A.N.G.; CARVALHO, S.P.; CARVALHO, G.R.; GONÇALVES, F.M.A.; CARVALHO, A.M. Avaliação de progênies de café obtidas por cruzamentos das cultivares Icatu e Catimor. *Coffee Science*, v.2, p.10-19, 2007.
- BOTELHO, C.E.; MENDES, A.N.G.; CARVALHO, G.R.; BARTHOLO, G.F.; CARVALHO, S.P. Seleção de progênies F₄ de cafeeiros obtidas pelo cruzamento de Icatu com Catimor. *Revista Ceres*, v.57, p.274-281, 2010a. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2010000300010>
- BOTELHO, C.E.; REZENDE, J.C.; CARVALHO, G.R.; CARVALHO, A.M.; ANDRADE, V.T.; BARBOSA, C.R. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares de café arábica em Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45, p.1404-1411, 2010b. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2010001200010>
- BRUNA, D.E.; MORETO, A.L.; DALBÓ, M.A. Uso do coeficiente de repetibilidade na seleção de clones de pessegueiro para o litoral sul de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.34, p.206-215, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452012000100028>
- CARVALHO, A.; MÔNACO, L.C.; FAZUOLI, L.C. Melhoramento do café. XL – Estudos de progênies e híbridos de café Catuaí. *Bragantia*, v.38, p.202-216, 1979. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051979000100022>
- CARVALHO, G.R.; BOTELHO, C.E.; BARTHOLO, G.F.; PEREIRA, A.A.; NOGUEIRA, A.M.; CARVALHO, A.M. Comportamento de progênies F₄ obtidas por cruzamentos de 'Icatu' com 'Catimor'. *Ciência e Agrotecnologia*, v.33, p.47-52, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542009000100006>
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 3.ed. Viçosa: UFV, 2004. v.1, 480p.
- FONSECA, A.F.A.; SEDIYAMA, T.; CRUZ, C.D.; SAKAIYAMA, N.S.; FERRÃO, M.A.; FERRÃO, R.G.; BRAGANÇA, S.M. Divergência genética em café conilon. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, p.599-605, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2006000400008>
- FREITAS, Z.M.T.S.; OLIVEIRA, F.J.; CARVALHO, S.P.; SANTOS, V.F.; SANTOS, J.P. Avaliação de caracteres quantitativos relacionados com o crescimento vegetativo entre cultivares de café arábica de porte baixo. *Bragantia*, v.66, p.267-275, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052007000200010>
- HENDERSON, C.R. Applications of linear models in animal breeding. Guelph: University of Guelph, 1984.
- IVOGLO, M.G.; FAZUOLI, F.C.; OLIVEIRA, A.C.B.; GALLO, P.B.; MISTRO, J.C.; SILVAROLLA, M.B.; TOMA BRAGHINI, M. Divergência genética entre progênies de café robusta. *Bragantia*, v.67, p.823-831, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052008000400003>
- MACHADO, J.R.A.; GUIMARÃES, L.J.M.; GUIMARÃES, P.E.O.; PACHECO, C.A.P.; MEIRELLES, W.F.; PARENTONI, S.N.; SILVA, A.R.; EMYGDIO, B.M.; TEIXEIRA, M.C.C. Adaptabilidade e estabilidade de híbridos de milho para região subtropical via modelos mistos. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento).
- MELO, B.; MARCUZZO, K.V.; TEODORO, R.E.F.; CARVALHO, H.P. Comportamento de seleções de Icatu Vermelho e Amarelo e linhagens de Mundo Novo em solos sob vegetação de cerrado, em Uberlândia- MG. *Bioscience Journal*, v.21, p.21-25, 2005.
- MULAMBA, N.N.; MOCK, J.J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. *Egypt Journal of Genetics and Cytology*, v.7, p.40-51, 1978.
- OLIVEIRA, A.C.B.; PEREIRA, A.A.; SILVA, F.L.; REZENDE, J.C.; BOTELHO, C.E.; CARVALHO, G.R. Prediction of genetic gains from selection in Arabica coffee progênies. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v.2, p.106-113, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1984-70332011000200002>
- PEDRO, F.C.; GUIMARÃES, R.J.; CARVALHO, G.R.; BOTELHO, C.E.; REZENDE, J.C.; CARVALHO, A.M. Comportamento agrônomico de progênies F₄ de cafeeiros oriundos do cruzamento entre os cultivares Mundo Novo e Catuaí. *Revista Ceres*, v.58, p.315-322, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2011000300011>
- PEDROZO, C.A.; BARBOSA, M.H.P.; SILVA, F.L.; RESENDE, M.D.V.; PETERNELLI, L.A. Repeatability of full-sib sugarcane families across harvests and the efficiency of early selection. *Euphytica*, v.182, p.423-430, 2011. <http://dx.doi.org/10.1007/s10681-011-0521-z>
- PETEK, M.R.; SERA, T.; FONSECA, I.C.B. Exigências climáticas para o desenvolvimento e maturação dos frutos de cultivares de *Coffea arabica*. *Bragantia*, v.68, p.169-181, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052009000100018>
- RAMALHO, M.A.P.; CARVALHO, B.L.; NUNES, J.A.R. Perspectives for the use of quantitative genetics in breeding of autogamous plants. *ISRN Genetics*, v.2013, 2013. <http://dx.doi.org/10.5402/2013/718127> <http://dx.doi.org/10.5402/2013/718127>
- RESENDE, M.D.V. Estimativas de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos no melhoramento do cafeeiro pelo procedimento REML/BLUP. *Bragantia*, v.60, p.185-193, 2001. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052001000300005>
- RESENDE, M.D.V. Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes. Colombo: Embrapa Floresta; Brasília: Informação Tecnológica, 2002. 975p.
- RESENDE, M.D.V. Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 435p.
- SERA, T. Coffee genetic breeding at IAPAR. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v.1, p.179-190, 2001. <http://dx.doi.org/10.13082/1984-7033.v01n02a08>
- STURION, J.A.; RESENDE, M.D.V. Seleção de progênies de ervamate (*Ilex paraguarensis* St. Hil.) para produtividade, estabilidade e adaptabilidade temporal de massa foliar. *Boletim de Pesquisa Florestal*, Colombo, n.50, p.37-51, 2005.
- ZAMBOLIM, L.; VALE, F.X.R.; ZAMBOLIM, E.M. Doenças do cafeeiro. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas. São Paulo: Ceres, 2005. v.2, p.165-180.