

Ganho Genético em uma População de Café Robusta Utilizando a Seleção Recorrente¹

Roland Vencovsky², Júlio César Mistro³, Luiz Carlos Fazuoli⁴, Marcos Deon Vilela de Resende⁵

Resumo

O presente estudo objetivou verificar o potencial genético para a produtividade de grãos e a viabilidade da seleção recorrente em uma população de café robusta a fim de que essa se torne fonte de indivíduos promissores para a clonagem. O experimento foi composto por 25 tratamentos, sendo 21 progênies de *C. canephora* e quatro cultivares de *C. arabica*, plantados em Mococa (SP). O delineamento experimental utilizado foi em látice balanceado 5x5 quadruplicado, com seis repetições e uma planta por parcela. Foram realizadas seis colheitas. Utilizou-se a metodologia REML/BLUP e as significâncias para cada um dos efeitos do modelo foi estimada pela análise de deviance. As análises mostraram que a população em estudo apresentou elevada variabilidade genética, passível de ser explorada pela seleção recorrente. Os ganhos genéticos foram elevados e a perspectiva de clonagem dos melhores indivíduos é promissora. A seleção recorrente deverá ser conduzida concomitantemente com o programa de seleção clonal, a fim de evitar o esgotamento da variabilidade genética e comprometimento do programa de melhoramento genético visando o desenvolvimento de cultivares clonais.

Introdução

Utilizado nas produções de café solúvel e tradicional o café robusta (*Coffea canephora*) vem aumentando a sua importância na cafeicultura nacional e mundial. Essa espécie, alógama e auto-incompatível, permite as propagações sexual e assexual, sendo a última a mais indicada para o cultivo comercial. Preconiza-se que uma cultivar clonal de café robusta seja composta por no mínimo oito clones, a fim de garantir maior estabilidade e adaptação às condições adversas de cultivo (Ferrão 2004). Por ser alógama, auto-incompatível e permitir às duas formas de propagações a seleção recorrente torna-se viável para ser utilizada no café robusta. Além disso, ela passa a ser uma importante fonte de geração de indivíduos promissores para o desenvolvimento de cultivares clonais, o que dará maior sustentabilidade ao programa de melhoramento da espécie.

Esse método permite acumular alelos favoráveis e elevar a média populacional após vários ciclos seletivos e de recombinações (Paterniani and Miranda-Filho, 1987; Souza Júnior 2001). Nesse sentido os conhecimentos da variância genética aditiva, do efeito aditivo, do ganho genético e do tamanho efetivo populacional são de extrema importância quando se planeja esse tipo de esquema.

Espécies em que várias tomadas de dados são realizadas no mesmo indivíduo durante anos fazem com que essas medidas sejam correlacionadas ao longo do tempo, o que fere a independência e homogeneidade dos erros, pressuposições básicas para efetuar a Anova. Uma das principais razões para usar o modelo misto é que ele permite a modelagem da parte aleatória através da inclusão de uma matriz de variâncias-covariâncias, essencial para que as inferências sobre os parâmetros sejam válidas (Resende 2002).

Vários são os trabalhos com seleção recorrente em espécies vegetais, porém poucos pesquisadores vêm trabalhando com esta metodologia em *C. canephora*. Os escassos resultados obtidos até o momento no café robusta são promissores, haja vista os ganhos genéticos de até 60% na produtividade de grãos que a seleção recorrente proporcionou em uma população de café robusta conduzida na Costa do Marfim (Leroy et al. 1994).

O objetivo desse trabalho foi verificar o potencial genético para a produtividade e a viabilidade da seleção recorrente em uma população de café robusta a fim de que essa se torne fonte de indivíduos promissores para a clonagem.

¹ Parte da tese de doutorado do segundo autor

² Professor Titular Sênior do Departamento de Genética - ESALQ/USP, Piracicaba (SP). e-mail: rvencovs@usp.br

³ Doutorando do Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas - ESALQ/USP, Piracicaba (SP). Pesquisador científico no Centro de Café do Instituto Agronômico (IAC/APTA), Campinas (SP); e-mail: mistroj@iac.sp.gov.br

⁴ Pesquisador científico no Centro de Café do Instituto Agronômico (IAC/APTA), Campinas (SP); e-mail: fazuoli@iac.sp.gov.br

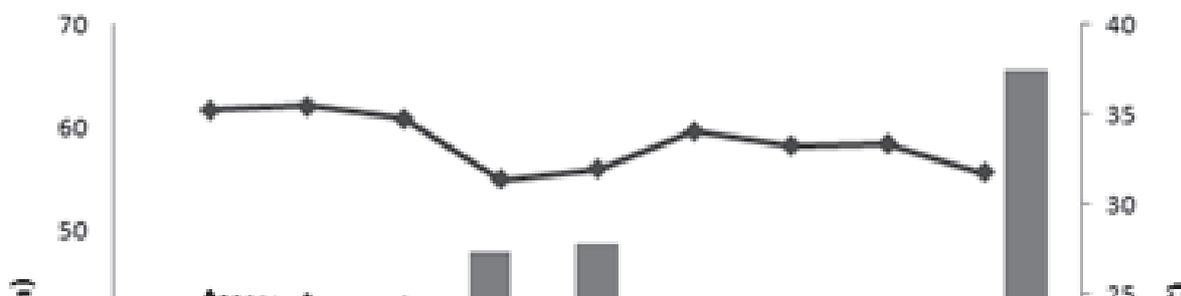
⁵ Pesquisador da Embrapa Florestas -Colombo, PR. email: marcos.deon@gmail.com

Material e Métodos

O experimento, instalado no Pólo Regional do Nordeste Paulista - Mococa (SP) pertencente à APTA, foi composto por 21 progênies de *C. canephora* introduzidas da Costa Rica, após uma seleção fenotípica, e quatro cultivares de *C. arabica*. O delineamento experimental utilizado foi em látice balanceado 5x5 quadruplicado, com seis repetições e uma planta por parcela. Foram realizadas seis colheitas consecutivas após a poda das plantas e o peso individual de cada planta foi expresso em kg de café da roça por planta.

As análises estatísticas e biométricas foram realizadas considerando os modelos lineares mistos (procedimento REML/BLUP), por meio do software Selegen desenvolvido por Resende (2007b), em que os componentes de variância são estimados pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML) e os valores genotípicos preditos pela melhor predição linear não viesado (BLUP).

A significância de cada um dos efeitos do modelo foi estimada pela análise de deviance (ANADEV), segundo Resende (2007a). As predições dos valores genotípicos (componentes de médias) e o ganho genético na seleção recorrente para cada indivíduo, realizada via BLUP, foram obtidas considerando (Resende 2002, 2007a, 2007b):



O programa SELEGEN de Resende (2007b) forneceu ainda estimativas das seguintes quantidades, de interesse do melhorista:

$h^2; h_m^2$: coeficientes de herdabilidade, no sentido restrito, relativos a indivíduos e médias de progênies, respectivamente;

$N_e; N_{ef}$: tamanhos efetivos populacionais, após a seleção, ao nível de indivíduos e de progênies, respectivamente;

F : coeficiente de endogamia após a seleção; e

c^2 : coeficiente de determinação relativos aos vários efeitos do modelo.

Resultados e Discussão

O teste de razão da verossimilhança (LRT) mostrou, Tabela 1, através dos valores das variâncias genéticas aditivas (V_a), efeitos altamente significativos para progênies ($p \leq 0,01$), indicando a existência de variabilidade genética na população em estudo, sinalizando que as possibilidades de melhoramento deste material para o desenvolvimento de futuras cultivares são promissoras.

Resende (2002) salienta que a situação ideal no melhoramento genético de plantas é aquela em que o efeito de blocos é significativo e o valor é baixo. Em plantas perenes um abaixo de 10% é o desejável. Nessa população, a significância dos efeitos de blocos associada ao baixo valor de indicam que o delineamento utilizado foi eficiente e a capacidade de teste foi adequada, isto é, houve boa homogeneidade entre as parcelas dentro dos blocos.

O elevado valor encontrado no presente trabalho para a herdabilidade, reflexo do alto valor de V_a , mostra que o germoplasma em questão possui considerável variabilidade genética, apto a ser aproveitado e trabalhado ao longo deste programa de melhoramento. De acordo com Latter (1964), citado por Matsuoka et al. (2005), quando a herdabilidade individual for superior a 0,50 a seleção com base em plantas individuais pode ser mais eficiente do que a baseada na média de progênies. O valor da foi de alta magnitude, confirmando o potencial genético que essa população possui para o seu aprimoramento.

Tabela 1 - Análises de deviances (ANADEV), significâncias do teste de razão da verossimilhança (LRT), os componentes de variância e os coeficientes de determinação referentes à análise conjunta das seis colheitas na população de *Coffea canephora* avaliada em Mococa, SP.

Efeito	ANADEV ¹	LRT (X ²) ²	Componentes de variância ³	Coeficientes de determinação ⁴		
Progênes	13.447,70 ⁺	20,40**	V _a = 21,14	-	37,95	71,08
Blocos	13.431,53 ⁺	4,23*	V _{blocos} = 1,85	= 0,03	-	-
Interação G x A	13.820,09 ⁺	392,79**	V _{ge} = 6,75	= 0,12	-	-
Ambiente permanente	14.022,75 ⁺	595,45**	V _{perm} = 17,42	= 0,32	-	-
Resíduo	-	-	V _e = 8,54	= 0,15	-	-
Modelo Completo	13.427,30			= 1,00	-	-

* e **: X² (Qui-quadrado) tabelado: significativo a 5% (3,84) e 1% (6,63) de probabilidade; 1 : ⁺ = deviance do modelo ajustado sem os efeitos correspondente; 2: LRT = Teste de Razão da Verossimilhança, havendo distribuição com 1 grau de liberdade para o X²; 3: V_a = variância genética aditiva; V_{blocos} = variância ambiental entre blocos; V_{ge} = variância da interação genótipos x ambientes; V_{perm} = variância dos efeitos permanentes; V_e = variância residual; 4: = coeficiente de determinação dos efeitos de blocos; = coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipos x ambientes; = coeficiente de determinação dos efeitos permanentes; = coeficiente de determinação dos efeitos residuais; = herdabilidade individual no sentido restrito; = herdabilidade com base na média de progênes.

Na tabela 2 é apresentada a classificação dos melhores indivíduos, com base nos efeitos genéticos aditivos (a), da população de *C. canephora*, bem como o ganho genético esperado (G_s).

Inicialmente verificou-se que as magnitudes do efeito *a* prevaleceram sobre os efeitos de dominância (*d*) (não mostrado) indicando que a população em estudo tem potencial para ser submetida a um esquema de seleção recorrente. A classificação dos indivíduos, realizada de acordo com o valor *a*, revelou que as progênes 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 16 e 21 tiveram pelo menos um representante até o 25º lugar, sendo que a progênie 14 contribuiu com o maior número de indivíduos (5), concentrados principalmente nas cinco primeiras posições. Para que a seleção recorrente tenha sucesso é necessário que a cada ciclo de seleção a média populacional seja maior que a do ciclo anterior e que a variabilidade genética aditiva remanescente seja mantida num nível adequado a fim de extrair genótipos superiores até um limite, sendo que a partir daí uma nova população deverá ser constituída.

Tabela 2- Classificação de plantas ordenadas com base nos efeitos aditivos (*a*), bem como as médias melhoradas (_m) e seus ganhos genéticos (G_s), do conjunto de plantas selecionadas nas seis colheitas realizadas na população de *Coffea canephora* avaliada em Mococa, SP.

Ordem	Planta	Prog	a	u + a	_m	G _s	G _s (%)	N _e	N _{ef}	F (%)
	— n° —		— kg café roça/planta —					— n° —		
1º	129	14	12,16	20,42	20,42	12,16	147,22	1,00	1,00	50,00
2º	215	14	11,00	19,26	19,84	11,58	140,19	1,60	1,00	31,25
3º	83	21	10,94	19,20	19,62	11,36	137,53	2,48	1,80	20,16
4º	350	16	10,57	18,83	19,43	11,16	135,11	3,49	2,67	14,33
5º	175	14	10,56	18,82	19,30	11,04	133,66	3,66	2,27	13,66
10º	210	8	9,05	17,31	18,59	10,33	125,06	7,21	4,17	6,93
15º	74	14	7,72	15,99	17,89	9,63	116,59	10,23	5,49	4,89
20º	581	16	7,13	15,39	17,31	9,05	109,56	14,35	8,00	3,48
25º	51	13	6,76	15,02	16,88	8,62	104,36	17,41	9,33	2,87
30º	94	15	6,08	14,34	16,48	8,22	99,52	17,70	8,20	2,82
50º	552	14	5,32	13,58	15,45	7,19	87,05	27,16	11,68	1,84
75º	362	14	4,52	12,78	14,69	6,42	77,72	35,03	13,22	1,43
100º	261	16	3,52	11,78	14,12	5,86	70,94	40,46	14,41	1,23

a = efeitos aditivos; u + a = valor genético aditivo; _m = média melhorada do conjunto de plantas selecionadas; G_s = ganho na seleção; N_e = tamanho efetivo populacional ao nível de indivíduos; N_{ef} = tamanho efetivo ao nível de progênes selecionadas; F = coeficiente de endogamia das plantas selecionadas. **original= 8,26 kg de café da roça/planta.**

Considerando um coeficiente de endogamia (F) de aproximadamente 5% poder-se-ia selecionar 15 indivíduos (129, 215, 83, 350, 175, 72, 23, 249, 141, 210, 128, 196, 195, 46 e 74) para recombinação e serem então submetidos ao segundo ciclo de seleção recorrente. Espera-se que essa seleção, em ambos os sexos, propiciará um ganho genético esperado de 116,59%. Neste caso, a média melhorada esperada (\bar{m}) para um ciclo de seleção passaria para 17,89 kg, mais que o dobro da população inicial. Resultados semelhantes foram obtidos por Leroy et al. (1997), para a produtividade de grãos, em que os autores encontraram um ganho genético de 65%, utilizando uma forte pressão de seleção (5%) e seleção em um só sexo. Caso o melhorista prefira trabalhar com um valor de N_e maior para diminuir os riscos de endogamia, poder-se-ia selecionar as 50 melhores plantas (intensidade de 10%), o que daria um $N_e = 27,16$ e $F = 1,84\%$, porém a média melhorada seria reduzida para 15,45 kg (bem maior ainda que a média original de 8,26 kg). Isto daria ainda um considerável ganho de 87,05%. No caso de seleção de 150 plantas o ganho cairia para 58,47% (o efeito aditivo reduziu de 12,16 para 2,01), com uma média de 13,09 kg e um valor F próximo de 1%. Uma barreira que pode limitar atualmente o plantio de muitos indivíduos, no caso do café, é o espaço físico para a implantação desta nova população melhorada.

Sabe-se que na seleção sexuada os valores de N_e e F são mais relevantes do que na seleção sexuada. Num programa de seleção recorrente, em que novas populações são formadas após ciclos de seleção, N_e e F afetam diretamente a grandeza da variância aditiva remanescente nas gerações subseqüentes. Na seleção recorrente faz-se necessário atentar tanto nos ganhos genéticos quanto no tamanho efetivo populacional. Uma seleção muito intensa, isto é ganhos genéticos altos e baixo número de indivíduos para a próxima geração, comprometem os ganhos futuros. Por isso o usual é fazer uma seleção mais branda, onde os ganhos iniciais são mais modestos, porém a nova população melhorada será constituída por um maior número de indivíduos, tendo, portanto, menor risco de endogamia e maior retenção da variância genética aditiva. Isso garante a sustentabilidade no longo prazo.

Como evidenciado a população em estudo apresentou grande perspectiva para ser submetida à seleção recorrente permitindo extrair indivíduos para a clonagem visando o desenvolvimento de cultivares clonais para o estado de São Paulo. Isso foi aqui verificado apesar de a população base inicial ter sido composta por apenas 21 progênies de polinização livre.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café (CBP&D - Café) e à Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (SAA-SP) pelo auxílio financeiro na condução do experimento, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão de bolsas de produtividade científica, aos funcionários do Pólo Regional do Nordeste Paulista - Mococa (SP) pertencente à APTA pela condução do experimento.

Referências

- Ferrão RG (2004) **Biometria aplicada ao melhoramento genético do café conilon**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 256 p.
- Leroy T et al. (1994) Reciprocal recurrent selection applied to *Coffea canephora* Pierre. II. Estimation of genetic parameters. **Euphytica** 74: 121-128.
- Paterniani E and Miranda Filho JB (1987) Melhoramento de populações. In: Paterniani E e Viegas GP (eds) **Melhoramento de milho no Brasil: 1** Campinas. p.217-265.
- Resende MDV (2002) **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Embrapa, Brasília, 975p.
- Resende MDV (2007a) **Matemática e Estatística na Análise de Experimentos e no Melhoramento Genético**. Embrapa Florestas. 2007. 362 p.
- Resende MDV (2007b) **Software SELEGEN - REML/BLUP: Sistema estatístico e seleção computadorizada via modelos lineares mistos**. Embrapa, Colombo, 359p.
- Souza Júnior CL(2001) Melhoramento de espécies alógamas. In: Nass LL et al. (eds) **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**. Rondonópolis, p. 159-199.