



JOSIMAR ALEIXO DA SILVA

**DIVERSIDADE GENÉTICA E SELEÇÃO DE PROGÊNIES DE
CAFEIROS DO GRUPO “BIG COFFEE VL”**

**LAVRAS - MG
2016**

JOSIMAR ALEIXO DA SILVA

**DIVERSIDADE GENÉTICA E SELEÇÃO DE PROGÊNIES DE CAFEEIROS DO
GRUPO “BIG COFFEE VL”**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Samuel Pereira de Carvalho
Orientador

Profa. Dra. Flávia Maria Avelar Gonçalves
Coorientadora

Prof. Dr. Virgílio Anastácio da Silva
Coorientador

**LAVRAS - MG
2016**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Silva, Josimar Aleixo da.

Diversidade genética e seleção de progênies de cafeeiros do grupo “Big Coffee VL” / Josimar Aleixo da Silva. – Lavras: UFLA, 2016.

66 p.

Tese(doutorado)–Universidade Federal de Lavras, 2016.

Orientador(a): Samuel Pereira de Carvalho.

Bibliografia.

1. *Coffea arabica*. 2. Progênies. 3. Seleção. 4. Melhoramento genético. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

JOSIMAR ALEIXO DA SILVA

**DIVERSIDADE GENÉTICA E SELEÇÃO DE PROGÊNIES DE CAFEEIROS DO
GRUPO “BIG COFFEE VL”**

**GENETIC DIVERSITY AND COFFEE PROGENIES SELECTION FROM “BIG
COFFEE VL” GROUP**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 21 de Novembro de 2016.

Dr. Cesar Elias Botelho
Dr. José Airton Rodrigues Nunes
Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes
Dra. Flávia Maria Avelar Gonçalves
Dr. Rodrigo Luz da Cunha

EPAMIG
UFLA
UFLA
UFLA
EPAMIG

Prof. Dr. Samuel Pereira de Carvalho
Orientador

**LAVRAS - MG
2016**

Aos meus pais, Jandira Maria Aleixo da Silva e

José Carolino da Silva.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por mais essa graça alcançada.

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, pela oportunidade da realização do Doutorado.

À CAPES, pela bolsa de estudos.

Ao professor Samuel Pereira de Carvalho, meu orientador, pela confiança, paciência, apoio, ensinamentos, compreensão, orientação e incentivo a novos desafios.

Aos coorientadores professora Flávia Maria Avelar Gonçalves e professor Virgílio Anastácio da Silva pelo apoio, compreensão, confiança, paciência e ensinamentos.

A todo o pessoal do NEMEC (Amanda, Cássio, Clara, Danyanne, Davi, Dayane, Débora, Douglas, Éverton, Flávia, Guilherme, Indiara, Isadora, Joyce, Jussiara, Leonardo, Luana, Luiza, Marcelo, Mariana, Marlon, Matheus Sakai, Matheus Pereira, Mayra, Michelly, Naiara, Peterson, Thaynara, Tiago Teruel, Vânia, Victoria, Vitor, e outros tiveram a oportunidade de passar pelo núcleo), pela amizade, ajuda nas avaliações dos experimentos e confraternizações.

A todo o pessoal da Inovacafé: professores Rubens e Nazareno pelas experiências compartilhadas; Zé Mauricio e Alexandre, pelo auxílio nos experimentos; NECAF, pelo auxílio na condução e avaliação do experimento; e a todos que ajudaram direta ou indiretamente na concretização desse trabalho.

Ao Sirley e Manguinha do setor de Grandes Culturas, sempre disponíveis, pela ajuda.

Aos estudantes orientados pela professora Flávia Avelar entre eles, Gustavo, Juliana, Indalécio e Heloisa, pela ajuda no experimento.

A todos os professores que colocaram à disposição seus laboratórios, Vânia (Lab. de Citogenética), Alan (Lab. De Análises Avançadas), Moacir Pascoal e Leila (Lab. De Cultura de tecidos).

À Marli, sempre disponível para ajuda e esclarecimentos na secretaria da Pós-Graduação.

À Monica e Silvia, pela ajuda na tradução.

Aos meus pais, José Carolino da Silva e Jandira Maria Aleixo da Silva, por todo incentivo, apoio, amor e compreensão.

Aos meus irmãos, José Luiz, Cida, Maria Alice, Maria Eunice, Gilmar, Cremilce e João Carlos, por todo apoio, incentivo e amizade.

À Elizabeth Brun, por todo apoio, companheirismo e paciência nessa caminhada.

Aos companheiros de apartamento, Samuel, Rogério, Ricardo, Jader, Guilherme, pela amizade, companheirismo e apoio.

E aos demais, não menos importantes, meus sinceros agradecimentos pela contribuição à minha formação pessoal e profissional.

*“Sabedoria é a coisa principal. Adquire sabedoria;
e com tudo que adquire, adquire compreensão.”*

Provérbios 4:7

RESUMO

O melhoramento genético do cafeeiro tem tomado diversas vertentes, pois o mercado tem se tornado cada vez mais exigente. Dentre os objetivos do melhoramento do cafeeiro está o aumento no tamanho de grãos. A obtenção de grãos de peneiras altas permite uma maior agregação de valor ao produto, principalmente em se tratando de cafés especiais. Assim objetivou-se com este estudo avaliar caracteres de crescimento e produção, para estimação da diversidade genética e seleção, de progênies de cafeeiros Big Coffee VL (*Coffea arabica*) cultivados na UFLA, cuja principal característica é frutos maiores do que os de cafeeiros comuns. Em 1989, em uma lavoura cafeeira (*Coffea arabica*), em Capitólio-MG, foi encontrado um cafeeiro diferente dos demais, apresentando folhas e frutos grandes em relação aos cafeeiros comuns, e foi nomeado como “Big Coffee VL”. Posteriormente progênies desse cafeeiro foram cultivadas em Piumhi-MG e em 2012 foram coletadas sementes dessas progênies e instalado o experimento na Universidade Federal de Lavras, marcando o início de um programa de melhoramento para aumento do tamanho do grão. Foram avaliadas 100 progênies do cafeeiro Big Coffee VL dispostas no delineamento de latice 10 x 10, com 23 repetições. Foram avaliados os caracteres produtividade, número de pares de ramos plagiotrópicos, números de nós dos ramos plagiotrópicos, altura de plantas, diâmetro do caule e vigor vegetativo. Com base nestes caracteres foram realizados estudos de diversidade genética, usando métodos estatísticos multivariados, e predição do valor genético das progênies via abordagem de modelos mistos. Foi detectada a existência de variabilidade genética entre as progênies, além de diferenças quanto ao desempenho agrônômico, sendo possível a identificação e seleção daquelas promissoras na condução do programa de melhoramento.

Palavras Chave: Café, variabilidade genética, seleção, melhoramento genético.

ABSTRACT

The Coffee breeding has taken several ways, since the market has become more demanding, and among the coffee breeding aims are the increase the grain size. Obtaining coffee beans with high sieves gives an added value to the product, principally when it comes to specialty coffees production. Thus the aim with this study was to evaluate growth traits and production, to estimate the genetic diversity and selection, of Big Coffee VL (*Coffea arabica*) cultivated in UFLA, which, its main trait is larger fruits than common coffee. In 1989, in a coffee plantation (*C. arabica*), in Capitólio -MG, a different coffee plant was found, presenting larger leaves and fruits than those of common coffee trees and was named as “Big Coffee VL.” Subsequently, progenies from these coffee trees were grown in Piumhi-MG, and in 2012 seeds from these progenies were collected and installed the experiment at the Federal University of Lavras, marking the beginning of a breeding program to increase the grain size. We evaluated 100 Big Coffee VL progenies and the adopted design was lattice 10x10 with 23 replicates. The traits evaluated were productivity, pair numbers of plagiotropic branches, nodes number of plagiotropic branches, plant height, stem diameter and vegetative vigor. Based on these traits were carried out studies of genetic diversity, using multivariate statistical methods, and prediction of the breeding values of the progenies using mixed models. The existence of genetic diversity was found among progenies, as well as differences in agronomic performance, being possible the identification and selection of those promising in conducting the breeding program.

Keywords: Coffee, genetic variability, selection, breeding.

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	11
1	INTRODUÇÃO	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Importância econômica do café	14
2.2	Caracterização agronômica do Cafeeiro (<i>Coffea arabica</i>)	15
2.3	Diversidade genética em <i>Coffea arabica</i>	16
2.4	Estratégias de melhoramento do cafeeiro (<i>Coffea arabica</i>).....	17
2.5	Aplicação de modelos mistos no melhoramento do cafeeiro.....	18
2.6	Melhoramento de cafeeiros de frutos graúdos: “Big Coffee VL”	19
3	CONSIDERAÇÕES GERAIS	21
	REFERÊNCIAS	22
	SEGUNDA PARTE – ARTIGOS	25
	ARTIGO 1 – DIVERSIDADE GENÉTICA ENTRE PROGÊNIES DO CAFEIEIRO BIG COFFEE VL BASEADA EM CARACTERES DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO	26
	ARTIGO 2 - SELEÇÃO DE PROGÊNIES DO CAFEIEIRO BIG COFFEE VL COM BASE EM CARACTERES AGRONÔMICOS VIA MODELOS MISTOS	49

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

O café é uma das bebidas mais apreciadas no mundo. A produção comercial de grãos depende de duas espécies *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, que representam cerca de 60 e 40% do mercado total de café (ICO, 2016). O mercado consumidor está cada vez mais exigente, de cafés com características desejáveis, tal como grãos grandes, requisito necessário para nichos específicos de mercado, principalmente em se tratando de cafés especiais para utilização em máquinas de café expresso (FERREIRA et al., 2013). Assim, é importante a realização de pesquisas em melhoramento genético para aumento do tamanho do grão, aliado a produtividade e outros caracteres agronômicos.

O melhoramento genético do cafeeiro tem visado aumento da produtividade, obtenção de novas cultivares resistentes a diversos fatores bióticos e abióticos, melhor qualidade de bebida e maturação mais uniforme dos frutos (KALTCHUK-SANTOS e BODANESEZANETTINI, 2002; MORAIS e MELLO, 2011). Assim os estudos para atenderem tais necessidades podem proporcionar a seleção direta ou indireta para as características desejáveis, e reduzir o tempo gasto no lançamento de cultivares agronomicamente superiores.

A avaliação dos caracteres de interesse agronômico é indispensável nos programas de melhoramento genético, sendo o principal caráter para a seleção a produtividade (ANDRADE et al., 2016). Entre os objetivos do melhoramento genético do cafeeiro está o aumento do tamanho dos grãos (FERREIRA et al., 2005). Neste contexto, uma alternativa para incrementar o tamanho dos grãos é a utilização de progênies do cafeeiro Big Coffee VL (*Coffea arabica*) nos programas de melhoramento do cafeeiro, pois a principal característica desses cafeeiros é o desenvolvimento de frutos graúdos.

Em *Coffea arabica*, alguns autores destacam a existência de baixa variabilidade genética (GASPARI-PEZZOPANE et al., 2004; CARVALHO e KRUG, 2010). O aproveitamento de recursos genéticos com variabilidade genética é uma estratégia importante para a sustentabilidade dos programas de melhoramento. Assim vários autores têm estudado a diversidade genética em cafeeiros (SILVA, et al., 2013; GUEDES et al., 2013; MOURA et al., 2015) que é base para o melhoramento, na garantia de uma seleção eficiente.

No cafeeiro, cultura perene e com período juvenil longo, as pesquisas são muitas vezes demoradas, sendo assim primordial o uso de técnicas e procedimentos de avaliação e análise que permitam e facilitem uma seleção eficiente de genótipos agronomicamente superiores. Uma alternativa adequada para auxiliar na seleção, nos programas de melhoramento do

cafeeiro, é o uso da metodologia modelos mistos (REML/BLUP), conforme ressaltado por Resende et al. (2001) e aplicada em outros estudos no cafeeiro (OLIVEIRA et al., 2011; PEREIRA et al., 2013; RODRIGUES et al., 2013). Assim, objetivou-se estudar caracteres de crescimento e produção no melhoramento de cafeeiros de frutos graúdos cultivadas na UFLA, para estimação da diversidade genética das progênies, usando métodos estatísticos multivariados, e predição do valor genético via abordagem de modelos mistos, para identificação e seleção daquelas promissoras na condução do programa de melhoramento genético para aumento do tamanho do grão, aliado a produtividade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância econômica do café

A produção comercial de café depende de duas espécies, *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, que representam cerca de 60 e 40% do mercado mundial de café, respectivamente (VOSSSEN; BERTRAND; CHARRIER, 2015; ICO, 2016). O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café, sendo que as exportações brasileiras correspondem a aproximadamente 30% do total mundial. O estado de Minas Gerais é o maior produtor de café do Brasil, destacando-se com, aproximadamente, 70% da produção total brasileira de *C. arabica* (CONAB, 2016).

A produção brasileira de café, para a safra 2016, foi estimada em 49,64 milhões de sacas de 60 quilos de café beneficiado. A produção de café arábica foi estimada em 41,29 milhões de sacas, o que corresponde a 83,18% do volume de café produzido no país, e o estado de Minas Gerais, principal produtor de *C. arabica*, com uma produção de 28,62 milhões de sacas. A produção de *C. canephora* foi estimada em 8,35 milhões de sacas, o que representa 16,82% do total da produção brasileira, e o estado do Espírito Santo é o maior produtor dessa espécie, com 5,38 milhões de sacas (CONAB, 2016).

Segundo projeções da OCDE/FAO (2015) a produção brasileira de café deve alcançar 61 milhões de sacas de 60 kg em 2023/24, 25% acima de 2013/14. Esse crescimento é devido aos aumentos constantes na produção sustentada por melhor gestão dos cultivos e investimentos, além, de um escopo considerável para expansão da produção entre os pequenos agricultores. Embora o crescimento projetado seja mais lento do que na safra anterior, diversos fatores podem ter um impacto nos níveis de exportação. Em especial, o rápido crescimento no consumo interno pode reduzir os suprimentos para exportação. Além disso, o crescimento na exportação de produtos de café processado pode enfrentar perspectivas menos favoráveis devido à escalada tarifária existente em diversos mercados. Contudo, o fato do Brasil poder oferecer uma variedade ampla de cafés (instantâneo, grãos torrados, torrado moído, especial, orgânico etc.) confere-lhe uma vantagem competitiva sobre muitos outros países produtores e exportadores.

A importância da cafeicultura pode ser avaliada não apenas pela produção e exportação e geração de renda, mas pelo seu papel no mercado de trabalho como geradora de empregos e como fator de fixação de mão-de-obra no meio rural (SANTOS et al., 2009). Além disso, a importância econômica do café tem despertado o interesse de diversas

pesquisas para a melhoria da cultura, como nos estudos voltados para o melhoramento genético visando o lançamento de cultivares cada vez mais competitivas.

2.2 Caracterização agrônômica do Cafeeiro (*Coffea arabica*)

Na cultura do cafeeiro, *C.arabica*, os descritores mínimos, qualitativos e quantitativos (FAZUOLI et al., 1994; IPGRI, 1996) para a caracterização, identificação e discriminação de cultivares de café, envolvem o uso de características morfológicas, fisiológicas ou ligadas à produtividade de grãos.

A caracterização de cultivares de *C. arabica* mediante a utilização de descritores mínimos pode ser considerada eficiente na identificação de grupos distintos de cultivares, mas pouco úteis na discriminação entre cultivares de um mesmo grupo. Como exemplo, quanto às cultivares do grupo Mundo Novo, o descritor cor das folhas novas, pode separá-las em dois grupos: Mundo Novo IAC 376 e Mundo Novo IAC 388-17 – brotos verdes – e as demais cultivares – brotos bronzes (AGUIAR, et al., 2004). Fato interessante a ser considerado para as progênes desse estudo, uma vez que sua possível origem é do grupo Mundo Novo.

Na literatura podem ser encontrados diversos trabalhos em que os autores destacam a produtividade de grãos como um dos principais critérios de seleção no melhoramento do cafeeiro (CILAS et al., 2011; ANDRADE et al., 2016; LIMA et al., 2016), além da resistência à ferrugem (SERA et al., 2010; CARVALHO et al., 2012). Contudo, é interessante avaliar também outros caracteres como número de ramos produtivos, vigor e altura das plantas, pois estes podem ser utilizados como critério de seleção nos programas de melhoramento.

A identificação de caracteres com maior efeito direto, favoráveis à seleção, é primordial para que uma seleção indireta seja eficiente e, se tratando de plantas perenes, a existência de correlação entre caracteres na fase juvenil e na fase produtiva pode tornar viável a realização da seleção precoce (FREITAS et al., 2007). Neste contexto, Carvalho et al. (2010) estudando a correlação entre crescimento e produtividade de cultivares de café detectaram a existência de correlação positiva dos caracteres vegetativos entre si e entre eles e a produtividade inicial do cafeeiro. Isso é desejável se tratando de seleção com base nas primeiras safras.

Teixeira et al. (2012) estudaram a seleção precoce por meio de caracteres morfológicos e concluíram que o comprimento do primeiro ramo plagiotrópico e o vigor

vegetativo, aos 12 meses de idade podem ser utilizados efetivamente na seleção precoce quanto à produção de grãos em café arábica.

Na seleção de cafeeiros, mais produtivos, é importante que avaliações sejam nos locais de produção, pois a produtividade é muito influenciada por muitos fatores abióticos e varia em ciclos bienais (GICHIMU e OMONDI, 2010; PEDRO et al., 2011).

2.3 Diversidade genética em *Coffea arabica*

O cafeeiro pertence à família *Rubiaceae* e ao gênero *Coffea*, no qual são conhecidas cerca de 100 espécies, porém o cultivo comercial se restringe às espécies *C. arabica* L., originária da Etiópia, Sudão e Quênia e *C. canephora* Pierre ex A. Froehner, oriunda de regiões tropicais e subtropicais do continente africano (GASPARIPEZZOPANE et al., 2004; AGGARWAL et al., 2007). A única espécie poliploide (tetraploide) do gênero é *C. arabica*, com $2n=4x=44$ cromossomos, as demais espécies do gênero são diploides, com $2n=2x=22$ cromossomos.

O cafeeiro da espécie *C. arabica* é uma planta autógama, pois é multiplicado preferencialmente por autofecundação, e normalmente propagado via sementes. Assim as plantas apresentam estreita base genética, que também é consequência do método genealógico, comumente utilizado na obtenção de cultivares (GASPARI-PEZZOPANE et al., 2004;). No entanto, a ampliação da variabilidade genética em *C. arabica* pode ser alcançada por meio de mutações (KRUG, 1949), introduções (SAKIYAMA et al., 2005) e hibridações (KRUG e CARVALHO, 1952), e assim incrementar os ganhos nos programas de melhoramento genético.

As demais espécies do gênero *Coffea* são alógamas, diploides e, na maioria, autoincompatíveis, são importantes para o melhoramento genético por apresentarem variabilidade genética elevada, além de não terem passado pelo processo de melhoramento e seleção. Assim, constituem em reservas gênicas de resistência às pragas, doenças e condições adversas de ambiente (MEDINA FILHO et al., 1984; GASPARI-PEZZOPANE ET al., 2004).

Os bancos de germoplasma representam um conjunto de genes e um reservatório de variabilidade genética natural, potencial e indispensável para os programas de melhoramento das espécies (COSTA ET al., 2011), no Brasil o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) é a instituição que possui o maior banco ativo de germoplasma de café.

A espécie *C. arabica* apresenta diversas variedades naturais (mutações) como a Monosperma, Maragogipe, Semperflorens, Laurina, Caturra, Erecta, Xanthocarpa, San

Ramon, Murta, Purpurascens, Mokka, Bullata, Variegata, e outras. Todas essas variedades possuem 44 cromossomos somáticos, com exceção da variedade Bullata, que apresenta 66 a 88 cromossomos, e da var. Monosperma, com 22 cromossomos (CARVALHO, 1952).

O aproveitamento da variabilidade genética é uma estratégia importante para a sustentabilidade dos programas de melhoramento. Assim vários autores têm estudado a diversidade genética em cafeeiros (SILVA, et al., 2013; GUEDES et al., 2013; MOURA et al., 2015), a qual é importante para a disponibilidade contínua de cultivares agronomicamente superiores.

2.4 Estratégias de melhoramento do cafeeiro (*Coffea arabica*)

As pesquisas sobre melhoramento genético do cafeeiro têm proporcionado o desenvolvimento da cultura e obtenção de variedades agronomicamente superiores, porém a condução de um programa de melhoramento é demorada, pois se trata de uma cultura perene. Assim é essencial o uso de técnicas e procedimentos de avaliação e análise que facilitem uma seleção eficiente de genótipos agronomicamente superiores.

Para a espécie *C. arabica*, os métodos de melhoramento empregados, no Brasil, foram introdução, seleção de plantas individuais com teste de progênie e método genealógico (SAKIYAMA et al., 2005), além de hibridações, retrocruzamentos e seleção recorrente, o que resultou em ganhos surpreendentes para a atividade cafeeira. A variedade Typica ou Nacional foi a primeira a ser introduzida, além de Bourbon vermelho, Sumatra, entre outras (MENDES e GUMARÃES 1998).

A partir da introdução de cultivares, os trabalhos de melhoramento genético do cafeeiro, iniciados pelo IAC, se intensificaram dando origem às diversas cultivares utilizadas comercialmente como Catuaí e Mundo Novo. Além do IAC, é importante ressaltar que outras instituições como UFV, EPAMIG, Fundação PROCAFÉ, IAPAR, UFLA e INCAPER também tem contribuído para o melhoramento genético de *C. arabica*.

O melhoramento do cafeeiro tem tomado diversas vertentes, uma vez que o mercado tem se tornado cada vez mais exigente, no que se refere ao aumento da produtividade e obtenção de novas cultivares resistentes a diversos fatores bióticos e abióticos, melhor qualidade de bebida e maturação mais uniforme dos frutos (KALTCHUK-SANTOS e BODANESEZANETTINI, 2002; MORAIS e MELLO, 2011). Assim, os estudos para atenderem tais necessidades podem proporcionar a seleção direta ou indireta para

características desejáveis, inclusive em gerações segregantes precoces, e reduzir o tempo gasto no lançamento de cultivares agronomicamente superiores.

2.5 Aplicação de modelos mistos no melhoramento do cafeeiro

Culturas perenes, a exemplo do cafeeiro, apresentam peculiaridades, como ciclo reprodutivo longo, acentuada oscilação anual de produção, expressão dos caracteres ao longo de vários anos e diferenças em precocidade e longevidade produtiva. Essas características levam a algumas consequências, como: utilização do genótipo 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 (SERA, 2001; RESENDE et al., 2001; PEREIRA et al., 2013).

Na avaliação dos genótipos obtidos nos programas de melhoramento tem sido comum a análise baseada em modelos fixos. No entanto, se estes genótipos forem obtidos por amostragem de uma população, a análise baseada em modelo fixo não é a mais correta. Os modelos mistos incluem os efeitos fixos e aleatórios. Uma abordagem inadequada para a avaliação de uma característica para a seleção de genótipos superiores poderia prejudicar a eficiência do programa de melhoramento, por não conseguir isolar de forma eficiente o efeito genético do efeito ambiental. Neste contexto, o método de seleção dos modelos mistos se constitui num procedimento ótimo para estimação dos componentes da variância fenotípica e predição dos valores genéticos e genotípicos. (RESENDE et al., 2001; RESENDE, 2007).

Devido às peculiaridades do cafeeiro, o procedimento analítico recomendado para os estudos em genética quantitativa e também para a prática de seleção é o REML/BLUP. Tal procedimento permite a estimação dos componentes de variância por máxima verossimilhança restrita (REML) e a predição de valores genéticos pela melhor predição linear não viesada (BLUP) (RESENDE, 2007). Essa abordagem permite a predição mais acurada e não viesada dos valores genéticos mesmo sob desbalanceamento, além de facilitar 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 (PEREIRA et al., 2013).

O BLUP é o procedimento que maximiza a acurácia seletiva. É superior ou, pelo menos, igual a qualquer outro método de seleção sob modelo fixo (FARIAS NETO et al.

2009). Para aplicação do BLUP são necessárias estimativas de componentes de variância e de parâmetros genéticos, como a herdabilidade.

A flexibilidade do uso de metodologias de modelos mistos tem-se mostrado adequada à estimação de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos, podendo ser empregada rotineiramente nos programas de melhoramento do cafeeiro (RESENDE et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2011; RODRIGUES et al., 2013).

2.6 Melhoramento de cafeeiros de frutos graúdos: “Big Coffee VL”

Nos programas de melhoramento genético de cafeeiro busca-se um ideótipo cujo desempenho abranja, além de outras características, o aumento do tamanho do grão (FERREIRA et al., 2005), principalmente pensando em cafés especiais para utilização em máquinas de café expresso. A obtenção de grãos de café de peneiras altas permite maior agregação de valor ao produto, sendo preferência de alguns países importadores e, além da qualidade de bebida, um café padrão exportação deve ser classificado pelo tamanho do grão (OLIVEIRA, 1997; FERREIRA et al. 2013).

Uma cultivar que possui a característica citada anteriormente é a ‘Maragogipe’ (MONACO, 1960), porém apresenta desempenho produtivo inferior em relação às cultivares utilizadas comercialmente. Assim, uma alternativa para incrementar o tamanho dos grãos é a utilização de progênies do cafeeiro Big Coffee VL (*Coffea arabica*).

Em 1989, em uma lavoura cafeeira de Mundo Novo (Acaiá IAC - 474 - 19), no Centro-Oeste de Minas Gerais, no município de Capitólio-MG, foi encontrado um cafeeiro que se destacou dos demais, possivelmente por ter sofrido uma mutação, apresentando folhas e frutos grandes em relação aos cafeeiros convencionais, foram coletadas sementes neste cafeeiro e realizado um plantio em Pimhí, MG. Neste plantio foi observado que houve segregação entre as plantas, principalmente para o tamanho de frutos, de folhas e altura de plantas.

Assim, foi proposta uma classificação denominada “Pequeno”, “Médio” e “Grande”. Sendo que as progênies denominadas como “Grande” eram idênticas a planta original, apresentando frutos e folhas maiores, além de serem mais altas. As progênies denominadas “Pequeno” eram mais baixas com frutos e folhas menores, porém os frutos nas progênies dessa classificação eram maiores do que os encontrados em cafeeiros convencionais. As progênies denominadas “Médio” apresentaram características intermediárias, além de

segregarem para “Grande” e “Pequeno”, em duas gerações de seleção (realizadas de forma empírica).

O cafeeiro original foi nomeado de “Big Coffee VL”, para enfatizar a principal característica que é a presença de frutos grandes, e o “VL” é proveniente do nome Vista Longa que é uma fazenda do descobridor dessa planta, o Engenheiro Agrônomo Florêncio Feio de Freitas Filho.

Em 2011 foram coletadas sementes nas progênes do “Big Coffee VL” e foram usadas para iniciar um programa de melhoramento para cafeeiros de grãos grandes na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Em fevereiro de 2012 foi instalado um experimento, no setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura desta universidade, com 100 progênes do cafeeiro Big Coffee VL provenientes de Piumhí, MG. Sendo 32 progênes classificadas como “Grande” (G5, G6..., G36), 36 progênes como “Médio” (M1, M2,..., M36) e 32 progênes como “Pequeno” (P5, P6,..., P36). Anualmente são avaliados caracteres de importância agrônômica como produtividade, número de ramos produtivos, altura das plantas, vigor vegetativo, e outros.

Estudos preliminares indicam a possibilidade de seleção das progênes agronomicamente promissoras. Assim, é importante destacar que essas progênes têm grande potencial para a continuidade deste e outros programas de melhoramento genético para incremento do tamanho do grão.

3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O programa de melhoramento do cafeeiro Big Coffee VL na UFLA visando o aumento do tamanho do grão e produtividade, além de outros caracteres de interesse agrônômico, se encontra em fase inicial de avaliações, uma vez que o experimento foi instalado em 2012, tendo ocorrido a primeira colheita em 2014.

Os estudos realizados detectaram a existência de variabilidade genética entre as progênies do cafeeiro Big Coffee VL, a qual pode ser explorada neste e, outros programas de melhoramento genético.

As progênies do Big Coffee VL apresentam comportamento agrônômico diferenciado, sendo possível a identificação e seleção precoce daquelas promissoras na condução do programa de melhoramento.

REFERÊNCIAS

- AGGARWAL, R. K.. et al. Identification, characterization and utilization of EST-derived genic microsatellite markers for genome analyses of coffee and related species. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 114, p.359-372, 2007.
- AGUIAR, A. T. D. E. et al. Caracterização de cultivares de *Coffea arabica* mediante utilização de descritores mínimos. **Bragantia**, Campinas, v. 3, n.2, p.179-192, 2004.
- ANDRADE, V. T. et al. Statistical modeling implications for coffee progenies Selection. **Euphytica**, v.207, p.177-189, 2016.
- CARVALHO, A. Taxonomia de *Coffea arabica* L. V - Algumas recombinações genéticas. **Bragantia**, v.12 , n 4-6, p.172-178, 1952.
- CARVALHO, A.; KRUG, C. A. Biologia da flôr do cafeeiro *Coffea arabica* L. **Ciência e cultura**, v.62, p. 35-38, 2010.
- CARVALHO, A. M. et al. Desempenho agrônômico de cultivares de café resistentes à ferrugem no Estado de Minas Gerais, Brasil. **Bragantia**, v. 71, n. 4, p.481-487, 2012.
- CARVALHO, A. M. et al. Correlação entre crescimento e produtividade de cultivares de café em diferentes regiões de Minas Gerais, Brasil. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.45, n.2, p.269-275, 2010.
- CILAS, C.; MONTAGNON, C.; BAR-HEN, A. Yield stability in clones of *Coffea canephora* in the short and medium term: longitudinal data analyses and measures of stability over time. **Tree Genetics and Genome**, v.7, p.421-429, 2011.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO**. Acompanhamento da safra brasileira de café – Safra 2016, n.3 - Terceiro Levantamento, Brasília, p. 1-104, 2016. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/Caf%C3%A9%20safra%202016.pdf. Acesso em 14 de outubro de 2016.
- COSTA, T. S.; et al. Diversidade genética de acessos do banco de germoplasma de mangaba em Sergipe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.499-508, 2011.
- FARIAS NETO, et al. SELEÇÃO GENÉTICA EM PROGÊNIES HÍBRIDAS DE COQUEIRO1. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 1, p. 190-196, 2009.
- FAZUOLI, L. C. et al. . **Descritores mínimos para o registro institucional de cultivares: Café**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1994. 8p. (Documentos IAC, 46).
- FERREIRA, A. et al. Seleção simultânea de *Coffea canephora* por meio da combinação de análise de fatores e índices de seleção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.1189-1195, 2005.

FERREIRA, A. D. et al. Desempenho agrônômico de seleções de café Bourbon Vermelho e Bourbon Amarelo de diferentes origens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.4, p.388-394, 2013.

FREITAS, Z. M. T. S. et al. Avaliação de caracteres quantitativos relacionados com o crescimento vegetativo entre cultivares de café arábica de porte baixo. **Bragantia**, v.66, p.267-275, 2007.

GASPARI-PEZZOPANE, C. et al. Variabilidade genética do rendimento intrínseco de grãos em germoplasma de *Coffea*. **Bragantia**, v.63, n.1, p. 39-54, 2004.

GICHIMU, B. M.; OMONDI C. O. Early performance of five newly developed lines of Arabica Coffee under varying environment and spacing in Kenya. **Agriculture and Biology Journal of North America**, v.1 p.32-39, 2010.

GUEDES, J. M.; et al. Divergência genética entre cafeeiros do germoplasma Maragogipe. **Bragantia**, v. 72, n. 2, p.127-132, 2013.

ICO - INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. Produção total de 2015. Disponível em: <http://www.ico.org/trade_statistics.asp>. Acesso em: 30 de junho de 2016.

IPGRI – International Plant Genetic Resources Institute. **Descriptors for Coffee** (*Coffea* spp. and *Psilanthus* spp.) Roma: IPGRI, 1996. 35p.

KALTCHUK-SANTOS, E.; BODANESE-ZANETTINI, M. H. Androgênese: uma rota alternativa no desenvolvimento do pólen. **Ciência Rural**, v.32, n.1, p.165-173, 2002.

KRUG, C. A. Mutações em *Coffea arabica* L. **Bragantia**, v9, p.1-10, 1949.

KRUG, C. A.; CARVALHO, A. Melhoramento do cafeeiro V: Melhoramento por hibridação. **Bragantia**, v.12, p141-152, 1952.

LIMA, A. E. et al. Desempenho agrônômico de populações de cafeeiros do grupo ‘Bourbon’. **Coffee Science**, v. 11, n. 1, p. 22 - 32, 2016.

MEDINA FILHO, H. P. et al. Coffee breeding and related evolutionary aspects. **Plant Breeding Reviews**, v.2, p.157-193, 1984.

MENDES A. N. G.; GUIMARÃES R. J. (1998). **Genética e Melhoramento do Cafeeiro**. UFLA/FAEPE, Lavras.

MÔNACO, L. C. Melhoramento do cafeeiro. XVII- Seleção do Maragogipe A.D. **Bragantia**, v.19, n.29, p.460-492, 1960.

MORAIS, T. P.; MELO, B. Biotecnologia aplicada ao melhoramento genético do cafeeiro. **Ciência Rural**, v.41, n.5, p.753-760, 2011.

MOURA, W. M. et al. Genetic diversity in arabica coffee grown in potassium-constrained environment. **Ciência e Agrotecnologia**, v.39, n.1, p.23-31, 2015.

OECD/FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (2015), OECD-FAO Agricultural Outlook 2015, OECD Publishing, Paris. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2015-en, Acesso em 17 de outubro de 2016.

OLIVEIRA, L. H. SIG para a Gestão de Custos por Qualidade: Estudo de Caso em uma Cooperativa de Café. **Revista de Administração Contemporânea**, v.1, n.3, p.97-119, 1997.

OLIVEIRA, A. C. B. et al. Prediction of genetic gains from selection in Arabica coffee progenies. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.2, p.106-113, 2011.

PEDRO, F. C. et al. Comportamento agrônomico de progênies F4 de cafeeiros oriundos do cruzamento entre os cultivares Mundo Novo e Catuaí. **Revista Ceres**, v.58, p.139-150, 2011.

PEREIRA, T. B. et al. Eficiência da seleção de progênies de café F4 pela metodologia de modelos mistos (REML/BLUP). **Bragantia**, v. 72, n. 3, p.230-236, 2013.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, p. 182-194, 2007.

RESENDE, M. D. V. et al. Estimativas de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos no melhoramento do cafeeiro pelo procedimento REML/BLUP. **Bragantia**, v.60 n.3, p.185-193, 2001.

RODRIGUES, W. P. et al. Adaptability and genotypic stability of *Coffea arabica* genotypes based on REML/BLUP analysis in Rio de Janeiro State, Brazil. **Genet. Mol. Res.** V.12 n.3, p.2391-2399, 2013.

SAKIYAMA, N. S. et al. Melhoramento do café arábica. In: Borém, A. (ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. p. 203-223, 2005

SANTOS, V, E et al. Análise do setor de produção e processamento de café em Minas Gerais: uma abordagem matriz insumo-produto. Revista **Economia Sociologia Rural**, v.47, n. 2, p. 363-388, 2009.

SERA, G. H. et al. Resistência à ferrugem alaranjada em cultivares de café. **Coffee Science**, v.5, p. 59-66, 2010.

SERA, T. Coffee genetic breeding at IAPAR. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.1, p.179-190, 2001.

SILVA, F. L. et al. Integração de dados quantitativos e multicategóricos na determinação da divergência genética entre acessos de cafeeiro. **Bragantia**, v.72, n.3, p.224-229, 2013.

TEIXEIRA, A. L. et al. Seleção precoce para produção de grãos em café arábica pela avaliação de caracteres morfológicos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.47, n.8, p.1110-1117, 2012.

VOSSSEN, H. V. D.; BERTRAND, B.; CHARRIER, A. Next generation variety development for sustainable production of arabica coffee (*Coffea arabica* L.): a review. **Euphytica**, v.204, p.243-256, 2015.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1 – DIVERSIDADE GENÉTICA ENTRE PROGÊNIES DO CAFEEIRO BIG COFFEE VL BASEADA EM CARACTERES DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO

Manuscrito preparado conforme as normas do periódico Genetics and Molecular Research (No Prelo)

GENETIC DIVERSITY AMONG COFFEE TREE PROGENIES BIG COFFEE VL BASED ON GROWTH TRAITS AND PRODUCTION

ABSTRACT

In a coffee plantation of a coffee ‘Acaia’ cultivar (*Coffea arabica*), on the Midwest of Minas Gerais in Capitólio city, a different kind of coffee tree was found (1989), possibly due to a mutation. It presented larger leaves and grains than those of conventional coffee trees and was named as “Big Coffee VL.” The aim of this study was to estimate the genetic diversity of Big Coffee VL progenies cultivated at the Federal University of Lavras (UFLA), by evaluating growth and production traits, based on genetic distances and clusters. The experiment was established in a lattice design with 100 progenies of this coffee tree and 23 replicates. Traits evaluated were vigor, plant height, stem diameter, nodes number of plagiotropic branches, pair numbers of plagiotropic branches, and productivity. Genetic divergence was evaluated by multivariate procedures: Mahalanobis generalized distance, clustering methods, and principal component analysis. Genetic distances were estimated using Mahalanobis distance and presented variations from 0.04 to 18.70. The most similar progenies were P23 and P29 and the most dissimilar progenies were G8 and P14. The progenies were divided into three groups, with P14 present as an isolated group. Thus, it was possible to observe the existence of genetic variability among the progenies of Big Coffee VL, which can be used in breeding programs to increase grain size. Progenies G8 and P14 presented the highest genetic distance, and were the most suitable for future integration of crossings in plant breeding programs.

Keywords: *Coffea Arabica*. Genetic divergence. Multivariate analysis. Plant breeding.

INTRODUCTION

Coffee is one of the most widely consumed beverages in the world. Commercial production of coffee beans of two species, *Coffea arabica* L. and *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, represents about 60 and 40% of the total coffee market, respectively. Brazil is the largest producer and exporter of coffee, contributing approximately 30% to the total production (ICO, 2016). Coffees with desirable characters, such as large grains, are requirements needed for specific market niches. Thus, it is important to generate researches in genetic improvement for increased grain size, as genetic diversity study, which is the basis for the improvement.

Genetic variations among individuals of same or different species lead to genetic diversity, which must be ensured for sustainability of breeding programs, and continued availability of agronomically superior cultivars. Genetic diversity has been the subject of several studies in cultivated species, such as triticale (Niedziela et al., 2016), eucalyptus (Moraes et al., 2015), soybean (Ferreira Júnior et al., 2015), and coffee (Guedes et al., 2013; Silva et al., 2013; Moura et al., 2015; Rodrigues et al., 2015).

In coffee crops (*C. arabica*), several factors, such as predominance of self-pollination and propagation from seeds, contribute to a low genetic variability. Another factor that contributes to this is the pedigree method for conduction of segregated populations, which is used to obtain the commercial cultivars (Gaspari-Pezzopane et al., 2004; Carvalho and Krug, 2010). In this method, individuals are selected in the segregated generations, maintaining the relationship data between parents and offspring (Bueno et al., 2006).

However, broadening of the genetic variability of *C. arabica* can be achieved through mutations (Krug, 1949), introductions (Sakiyama et al., 2005), and hybridizations (Krug and Carvalho, 1952), thereby, increasing the gains from plant breeding programs for the release of new cultivars.

The majority of cultivars of *C. arabica* used in Brazil are genetically related, having originated from ancestral cultivars, such as Typica, Bourbon, and Sumatra, which have undergone spontaneous mutations and natural and artificial crossings (Mendes and Guimarães, 1998; Aguiar et al., 2004; Vieira et al., 2010).

Usage of genetic variability is an important strategy for the sustainability of breeding programs. Hence, in 1989, on a coffee plantation of Acaiá cultivar (*C. arabica*) in the Midwest of Minas Gerais (Capitólio), a coffee tree different from others was found, possibly due to a mutation; this tree presented larger leaves and grains than those of conventional

coffee plants, and was named “Big Coffee VL”,. Subsequently, its progenies were cultivated in Piumhí, Minas Gerais. Seeds collected from these progenies were used in this study, and have been maintained by the Department of Agriculture of the Federal University of Lavras (UFLA). These progenies have a great potential for use in breeding programs. According to Ferreira et al. (2005), increasing the grain size is one of the aims in coffee breeding.

Obtaining coffee beans with high sieves gives an added value to the product and such beans are preferred by some importing countries. In a cooperative case study of coffee, Oliveira (1997) suggested that a standard coffee for export must be classified by its grain size, besides the quality of the beverage prepared from it.

In this context, the objective of this study was to estimate the genetic diversity of Big Coffee VL progenies cultivated in UFLA, starting from the diversity in growth and production characters, based on genetic distances.

MATERIAL AND METHODS

The trial was carried out in the Agriculture Department of the Federal University of Lavras (UFLA), Lavras, Minas Gerais, Brazil, located at an altitude of 910 meters, and lying on 21°14'06" latitude and 45°00'00" longitude.

This study was initiated in 2012, with 100 progenies of Big Coffee VL from Piumhí, Minas Gerais. Of these, 32 progenies were classified as “Grande” (G5, G6,..., G36), 36 were classified as “Médio” (M1, M2,..., M36), and 32 were classified as “Pequeno” (P5, P6,..., P36). This classification was based on the grain size. Planting was done in February, 2012, and culturing practices recommended for the culture of coffee were followed (Ribeiro et al., 1999). The space adopted was 3.5 × 0.9 m. The design was a 10 × 10 lattice with 23 replicates, with a total of 2300 plots, in which each plant composed a plot.

The growth characters evaluated were: vigor (VIG), with notes from 1 to 5, where the most vigorous plants were note 5; stem diameter (SD), measured using a precision caliper (mm) at the base of plant's stem; plant height (PH) measured with the aid of a graduated ruler (m); pair number of plagiotropic branches (PNP); node number of plagiotropic branches (NNP), counted taking a branch from the third part of the plant to perform the count. Grain productivity (PROD) was measured using a precision scale during the harvest time (kg/plant). The evaluations were carried out annually. This study used the data for growth traits and production obtained from the second harvest in 2015.

The above-mentioned variables were analyzed by variance analysis to evaluate the existence of genetic variability among the progenies. Thereafter, multivariate analysis was carried out for the genetic diversity study among the progenies through genetic distances. Genetic distances were estimated based on Mahalanobis distance and Euclidean distances were determined by principal components analysis as described by Cruz, Carneiro and Regazzi (2014)

For a better understanding, distance clustering was performed using a hierarchical method, Unweighted Pair-Group Method Using Arithmetic Averages (UPGMA) or the average linkage, which does not allow characterization of the dissimilarity for extreme values between individuals (Cruz, Carneiro and Regazzi, 2014)). The cutoff point of the dendrogram was determined by the method described by Mojena (1977), which allowed the determination of the number of groups used for clustering by principal components.

Therefore, to evaluate the dendrogram clustering consistency, cophenetic correlation was carried out. The higher the value of cophenetic correlation coefficient (CCC), the lower would be the distortion caused by the grouping individuals in a dendrogram (Cruz, Carneiro and Regazzi, 2014).

Statistical analysis for the estimation of genetic distances and for the clustering of Big Coffee VL progenies was performed using the programs, Genes (Cruz, 2013) and R (R DEVELOPMENT CORE Team, 2015).

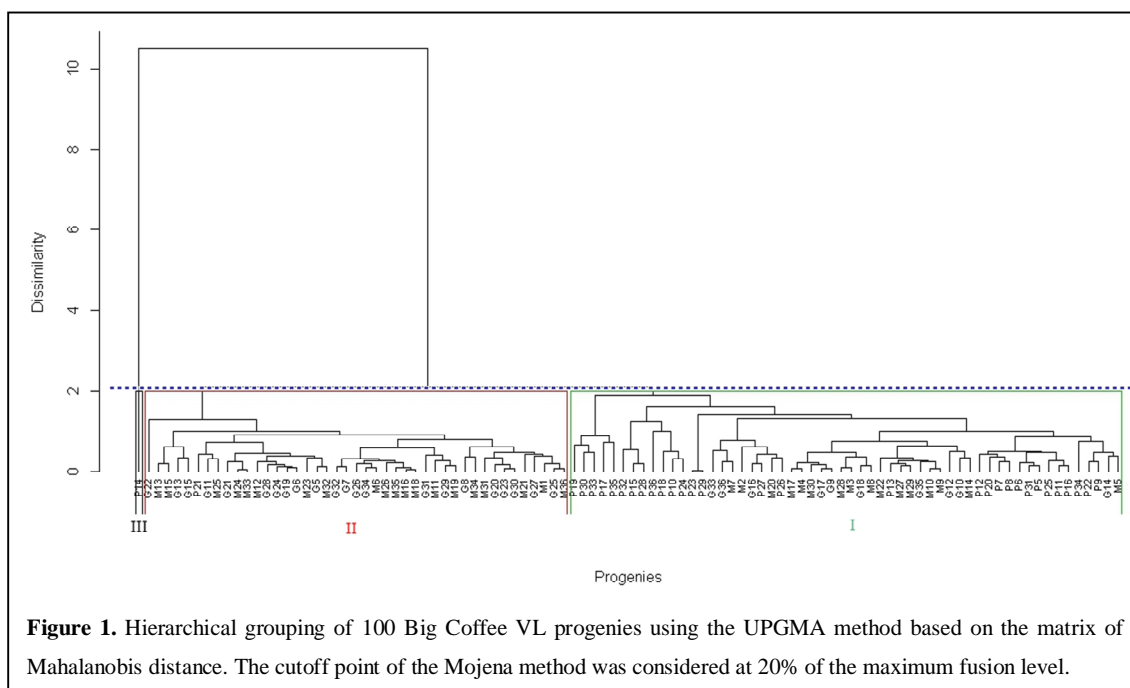
RESULTS

Measures of genetic distances, estimated by Mahalanobis distance between the pairs of coffee plant progenies of Big Coffee VL (Table S1), had magnitudes ranging from 0.04 to 18.70. Progenies P23 and P29 were the most similar and progenies G8 and P14 were the most dissimilar. Progeny P14 was involved in the bigger genetic dissimilarities that were observed. It is important to highlight that the progenies used in this study represent the third generation of the original plant found in Capitólio (Minas Gerais), a fact that should be considered for determining the variation of genetic distances.

These progenies were classified in “Grande” (G), “Médio” (M), and “Pequeno” (P). For progenies “G,” the magnitude of the genetic distances were from 0.07 to 3.30, respectively for pairs G23 and G30, as well for G12 and G30. The variation for the class “M” was from 0.06 to 3.22 for the pairs M16 and M18, as well as for M34 and M5. Lastly, for the

class “P,” such variation was from 0.04 to 10.6 for pairs P23 and P29, respectively, as well as for P14 and P26.

The hierarchical grouping by UPGMA method used the measure of genetic dissimilarity by Mahalanobis distance (Figure 1), which allowed the formation of three different groups of progenies, considering the cutoff point of Mojena method at 20% of the maximum fusion level, and a cophenetic correlation coefficient (CCC) of 0.80.



The first (I) group was composed of progenies P23, P29, M17, M4, G17, G9, M30, M5, G14, P9, P22, P34, P16, P11, P25, P5, P31, P6, P8, P7, P20, P12, M14, G10, G12, M9, M10, G35, M29, M27, P13, M22, M8, G18, M3, M28, P26, M20, P27, G16, M2, M7, G36, G33, P24, P10, P18, P36, P28, P15, P32, P35, P17, P33, P30, and P19. The second (II) group was composed of progenies M36, G25, M1, G27, M21, G30, G23, G20, M31, M34, G8, M19, G29, M11, G31, M18, M16, M35, M26, M6, G34, G26, G7, G32, M32, G5, M23, G6, G19, G24, G28, M12, M33, M24, G21, M25, G11, P21, G15, G13, M15, M13, and G22. The third (III) group was composed only of P14 progeny.

The principal component analysis (Table 1) exhibited that the first two principal components resulted in 73.05% of the contained variance in the progenies. The principal

component 1 (PC1) and principal component 2 (PC2) contributed 45.43 and 27.61% to this variance, respectively. In this context, Teixeira et al. (2013) studied the principal components in the morphological characters of *C. arabica* and found a contribution of 63.8 and 16.2% for PC1 and PC2 components, respectively.

Table 1. Summary of the Principal Components Analysis (PCA) with their eigenvectors and eigenvalues, from growth traits and production of 100 Big Coffee VL progenies.

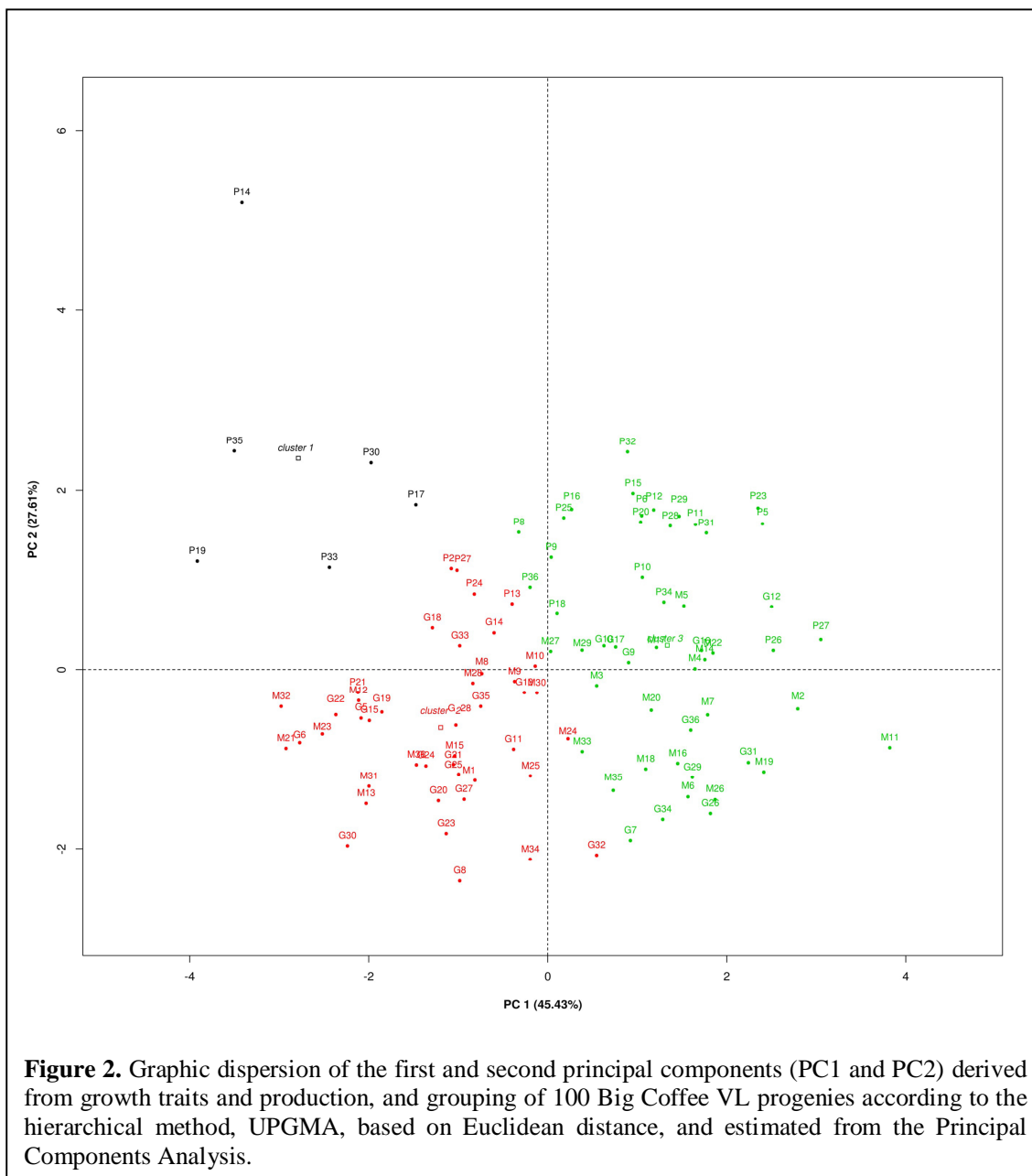
Components	Eigenvectors						Eigenvalues		
	VIG	PH	SD	NNP	PNP	PROD	Eigenvalue	% Variance	% Accumulated
PC1	0.48	0.42	0.45	0.43	0.30	0.33	2.73	45.43	45.43
PC2	0.01	-0.47	-0.41	0.07	0.58	0.52	1.66	27.61	73.05
PC3	-0.48	-0.19	0.05	0.84	-0.17	-0.05	0.63	10.53	83.58
PC4	-0.43	-0.05	0.48	-0.03	-0.25	0.65	0.48	8.04	91.62
PC5	0.58	-0.47	-0.05	0.13	-0.62	0.02	0.36	6.04	97.66
PC6	0.07	-0.59	0.63	-0.09	0.32	-0.04	0.14	2.33	100.00

VIG (Vigor); PH (Plant height); SD (Stem diameter); NNP (Node numbers of plagiotropic branches); PNP (Pair numbers of plagiotropic branches); PROD (Productivity).

Moreover, the contribution of each variable to the components, namely, the set of associated eigenvector is exhibited in Table 1. As seen

for PC1, the highest values, whether positive or negative, for vigor and stem diameter, were 0.48 and 0.45, respectively. In PC2, higher values were consistently obtained for pair numbers of plagiotropic branches (0.58), productivity (0.52), and plant height (-0.47).

The distribution of 100 progenies of Big Coffee VL determined through the graphic dispersion (Figure 2) was in concordance with the hierarchical UPGMA method, based on Euclidean distance, estimated from the Principal Components and corroborated the dendrogram results. Despite the formation of groups with different progenies, the most dissimilar progenies (P14 and G8) remained in different groups, even considering the most dissimilar progenies in the class “P,” “M,” and “G.”



DISCUSSION

Estimation of genetic Mahalanobis distance can be found in works such as that of Fonseca et al. (2006), who found magnitudes ranging from 0.67 to 87.74 in conilon coffee clones. In this context, Guedes et al. (2013) found magnitudes ranging from 0.52 to 84.90 in

coffee germplasm of Maragogipe. These authors pointed out the wide genetic diversity observed in these studies, a fact that should be considered for the progenies of Big Coffee VL.

The crossings of the most dissimilar individuals are of great interest in plant breeding programs; however, this does not guarantee the heterosis, because the superior performance also depends on the allelic complementarity. Moreover, in the parental selection, the selection of superior individuals in subsequent generations, especially their performance and allelic complementarity, should be taken in account (Dias and Kageyama, 1997; Souza et al., 2005; Guedes et al., 2013.).

The cophenetic correlation coefficient (CCC), a measure that evaluates the consistency of groups, was found to be 0.80 (ruz, Carneiro and Regazzi, 2014). A similar value for this coefficient was also found by Moura et al. (2015) in a group of 20 *C. arabica* cultivars with a CCC of 0.85.

It was observed that the most dissimilar progenies, G8 and P14, were situated in different groups indicating a greater genetic divergence between them. In other genetic diversity studies on coffee trees, the formation of different groups was also observed using the UPGMA method (Ivoglio et al., 2008; Guedes et al., 2013; Moura et al., 2015).

It is important to highlight that among the evaluated traits, the grain size was not determined; therefore, there was no tendency to previously classify the progenies in the same group as “P,” “M,” and “G.” In addition, the most dissimilar progenies, considering such a classification, were divided into different groups, such as G12 and G30, M34 and M5, and P14 and P26.

Multivariate analysis, such as principal component analysis, is interesting due to the possibility of discarding the characteristics that contribute less to genotype discrimination (Pereira et al., 2010). The characters that contribute more to the components are those that have higher weightings in the major eigenvalue components, and those that contribute less are those showing greater eigenvectors in less eigenvalue components (Cruz et al., 2004; Ferreira, 2011).

The candidate characters discarded in this work were stem diameter and plant height (Table 1), where these were the main contributors to the principal component having lower eigenvalues. In this context, Teixeira et al. (2013) selected the characters that contributed most to the discrimination of coffee genotypes and pointed out that smaller the number of variables evaluated, more efficient was the plant breeding program, thereby, maximizing the gains and reducing the labor costs.

The graphics associated with the groupings are of great importance in breeding programs aimed to obtain heterosis, since they assist as an indicator of the parent in the groups or different subgroups to be included in crossings (Fonseca et al., 2006).

Despite the genetic diversity found among the progenies of Big Coffee VL, generally, only the superior progenies are of greater interest to breeders in association with the most important characteristics and show sufficient divergence to produce variability in the segregating populations. The breeding programs for coffee seek an ideotype, which its performance covers, among other traits, these include high production and increased grain size. This last one is an inherent characteristic of Maragogipe group (Ferreira et al., 2005; Guedes et al. 2013), and a main feature of Big Coffee VL.

CONCLUSIONS

In conclusion, it was possible to observe the existence of genetic variability among the progenies of Big Coffee VL, which can be utilized in breeding programs to increase the grain size. The coffee tree progenies of Big Coffee VL were more genetically distant and may be promising in future artificial crossings. Progenies G8 and P14 had the highest genetic distance. Moreover, the characters stem diameter and plant height were the candidates that were determined to be discarded from the subsequent evaluations.

ACKNOWLEDGMENTS

The research was supported by Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), and Núcleo de Estudos em Melhoramento e Clonagem (NEMEC/UFLA).

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

Aguiar ATE, Guerreiro Filho O, Maluf MP, Gallo PB, et al. (2004). Caracterização de cultivares de *Coffea arabica* mediante utilização de descritores mínimos. *Bragantia* 63: 179-192.

- Bueno LCS, Mendes ANG and Carvalho SP (2006). Melhoramento Genético de Plantas: Princípios e Procedimentos. UFLA, Lavras.
- Carvalho A and Krug CA (2010). Biologia da flôr do cafeeiro *Coffea arabica* L. *Ciênc. Cult.* 62: 35-38.
- Cruz CD (2013). GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Sci. Agron.* 35: 271-276.
- Cruz CD, Carneiro PCS and Regazzi AJ (2014). Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. v.2, 3rd ed. UFV, Viçosa.
- Dias LAS and Kageyama PY (1997). Multivariate genetic divergence and hybrid performance of cacao (*Theobroma cacao* L.). *Braz. J. Genet.* 20: 63-70.
- Ferreira A, Cecon PR, Cruz CD, Ferrão RG, et al. (2005). Seleção simultânea de *Coffea canephora* por meio da combinação de análise de fatores e índices de seleção. *Pesq. Agropec. Bras.* 40: 1189-1195.
- Ferreira DF (2011). Estatística Multivariada. 2nd ed. UFLA, Lavras.
- Ferreira Júnior JA, Unêda-Trevisoli SH, Espíndola SMCG, Vianna VF, et al. (2015). Diversidade genética em linhagens avançadas de soja oriundas de cruzamentos biparentais, quádruplos e óctuplos. *Rev. Ciênc. Agron.* 46: 339-351.
- Fonseca AFA, Sedyama T, Cruz CD, Sakaiyama NS, et al. (2006). Divergência genética em café conilon. *Pesq. Agropec. Bras.* 41: 599-605.
- Gaspari-Pezzopane C, Medina Filho HP and Bordignon R (2004). Variabilidade genética do rendimento intrínseco de grãos em germoplasma de *Coffea. Bragantia* 63: 39-54.
- Guedes JM, Vilela DJM, Rezende JC, Silva FL, et al. (2013). Divergência genética entre cafeeiros do germoplasma Maragogipe. *Bragantia* 72: 127-132.
- ICO - INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION (2016). Total production 2015. Available at: [http://www.ico.org/trade_statistics.asp].
- Ivoglo MG, Fazuoli LC, Oliveira ACB de, Gallo PB, et al. (2008). Divergência genética entre progênies de café robusta. *Bragantia* 67: 823-831.
- Krug CA (1949). Mutações em *Coffea arábica* L. *Bragantia* 9: 1-10.
- Krug CA and Carvalho A (1952). Melhoramento do cafeeiro V: Melhoramento por hibridação. *Bragantia* 12: 141-152.
- Mendes ANG and Guimarães RJ (1998). Genética e Melhoramento do Cafeeiro. UFLA/FAEPE, Lavras.
- Mojena R (1977). Hierarchical grouping methods and stopping rules: an evaluation. *Comput. J.* 20: 359-363.

- Moraes CB, Carvalho EV, Zimback L, Luz OSL, et al. (2015). Variabilidade genética em progênies de meios-irmãos de eucaliptos para tolerância ao frio. *Rev. Árvore* 39: 1047-1054.
- Moura WM, Soares YJB, Amaral Júnior AT, Lima PC, et al. (2015). Genetic diversity in arabica coffee grown in potassium-constrained environment. *Ciênc. Agrotec.* 39: 23-31.
- Niedziela A, Orłowska R, Machczyńska J and Bednarek PT (2016). The genetic diversity of triticale genotypes involved in Polish breeding programs. *Springerplus* 355: 1-7.
- Oliveira LH (1997). S.I.G. para a gestão de custos por qualidade: estudo de caso em uma cooperativa de café. *Rev. Adm. Contemp.* 1: 97-119.
- Pereira MC, Chalfoun SM, Carvalho GR and Savian TV (2010). Multivariate analysis of sensory characteristics of coffee grains (*Coffea arabica* L.) in the region of upper Paranaíba. *Acta Sci. Agron.* 32: 635-641.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing (2015). Available at: [<http://www.R-project.org>]. Accessed december 20, 2015.
- Ribeiro AC, Guimarães PTG and Alvarez VVH (1999). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Comissão de Fertilidade de Solo do Estado de Minas Gerais, Viçosa.
- Rodrigues WN, Tomaz MA, Ferrão MAG, Ferrão RG, et al. (2015). Diversity among genotypes of conilon coffee selected in Espírito Santo state. *Biosci. J.* 31: 1643-1650.
- Sakiyama NS, Pereira AA, Moura WM and Zambolim L (2005). Melhoramento do café arábica. In: Melhoramento de espécies cultivadas (Borém A, ed). UFV, Viçosa, 203-223.
- Silva FL, Baffa DCF, Oliveira ACB, Pereira AA, et al. (2013). Integração de dados quantitativos e multicategóricos na determinação da divergência genética entre acessos de cafeeiro. *Bragantia* 72: 224-229.
- Souza FF, Queiroz MA and Dias RCS (2005). Divergência genética entre linhagens de melância. *Hortic. Bras.* 23: 179-183.
- Teixeira AL, Gonçalves FMA, Rezende JC, Rocha RB, et al. (2013). Principal component analysis on morphological traits in juvenile stage arabica coffee. *Coffee Sci.* 8: 205-210.
- Vieira ESN, Von Pinho EVR, Carvalho MGG and Esselink DG, et al. (2010). Development of microsatellite markers for identifying Brazilian *Coffea arabica* varieties. *Genet. Mol. Biol.* 33: 507-514.

Table S1. Dissimilarity matrix between 100 Big Coffee VL progenies based on Mahalanobis distance. (Continuation...)

Progenies	G30	G31	G32	G33	G34	G35	G36	G5	G6	G7
G10	1.8309	0.7207	1.9555	0.634	1.0804	0.6906	1.0707	0.846	1.0435	1.5985
G11	0.5515	0.6272	0.9	0.7606	0.3229	0.5242	0.9644	0.4190	0.4878	0.6237
G12	3.3048	0.9873	2.8455	1.0423	1.7786	0.9033	1.4458	1.4767	1.768	2.2235
G13	1.531	0.9082	1.196	1.4681	1.2678	1.2303	0.6832	1.4674	0.939	1.2956
G14	1.8096	1.7749	1.7533	0.6119	1.651	0.9091	0.8587	0.8354	0.7315	1.5001
G15	1.0956	1.6736	1.1011	1.8241	1.547	0.9968	1.2339	1.3757	0.5663	1.2226
G16	2.4895	0.6526	1.7962	0.7341	1.2676	1.49	0.3607	1.2927	1.4146	1.543
G17	2.3922	1.0402	1.7925	0.7088	1.4742	0.8903	0.6179	0.9952	0.9186	1.4254
G18	2.0869	1.7449	2.2304	0.8504	1.9021	0.3766	1.5177	0.7911	0.5779	1.8274
G19	0.9609	0.9385	1.2201	0.5849	0.8981	0.3483	0.9604	0.2759	0.0969	0.9465
G20	0.1986	1.0474	0.6695	1.5381	0.4611	1.0009	1.3219	0.8868	0.6648	0.6218
G21	0.8807	0.6513	1.015	0.5395	0.482	1.0775	0.7048	0.3432	0.507	0.7356
G22	1.7955	1.3377	2.0882	1.8148	1.7566	0.7587	2.0442	1.2587	0.7418	1.9021
G23	0.0735	1.3449	0.2959	1.8532	0.4861	1.2562	1.1909	1.0856	0.6863	0.3269
G24	0.6179	0.8746	0.7863	0.7352	0.52	0.417	0.9006	0.2334	0.1074	0.4707
G25	0.5096	0.5692	0.5595	1.1694	0.4402	0.9235	0.6852	0.7662	0.4517	0.5491
G26	0.6648	0.5989	0.2994	1.6142	0.1082	1.2239	0.6734	1.219	1.1342	0.1456
G27	0.6098	0.6702	0.7007	1.3687	0.4442	0.4733	1.1761	0.6399	0.3378	0.4544
G28	0.9093	1.1757	0.8719	0.9042	0.8944	0.3719	0.8281	0.5291	0.1791	0.6373
G29	1.2981	0.496	0.5424	2.073	0.6557	1.2879	0.617	1.7615	1.2105	0.5808
G30	0	1.6517	0.5358	1.8917	0.6588	1.4779	1.5404	1.031	0.7006	0.5684
G31		0	1.1272	1.3232	0.3731	1.2212	0.7142	1.2575	1.3814	0.8255
G32			0	2.3007	0.4773	1.7932	0.7198	1.6791	1.1294	0.1267
G33				0	1.3430	0.9776	1.1590	0.2968	0.8192	1.7788
G34					0	1.1322	0.7702	0.9238	1.0074	0.2278

Table S1. Dissimilarity matrix between 100 Big Coffee VL progenies based on Mahalanobis distance. (Continuation...)

Progenies	G8	G9	M1	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
G10	2.0337	0.8492	1.0097	0.3666	0.8699	0.7714	2.0927	0.3376	1.5932	0.8972
G11	0.7433	1.1648	0.4641	0.4143	0.9925	0.5854	1.1977	0.5613	1.0694	0.4714
G12	3.2658	0.7674	2.2185	0.6197	0.9895	1.4969	3.1872	0.5629	2.251	1.1681
G13	1.8554	0.5623	0.4745	1.2237	0.914	0.4208	0.9308	1.0197	0.6871	0.8521
G14	2.532	0.3801	1.4232	0.497	1.9932	0.3761	1.3267	0.4521	0.7052	0.7609
G15	1.9138	0.8667	0.4133	1.305	1.6061	0.3356	0.4076	1.507	0.4321	0.9114
G16	2.2097	0.3207	1.6737	0.9344	1.093	0.8349	2.1373	0.4413	1.26	0.8625
G17	2.4529	0.0798	1.7638	0.6314	1.3909	0.5895	1.7715	0.5357	0.9123	0.6579
G18	2.8077	0.5644	1.4965	0.4035	1.8764	0.4973	1.6367	0.846	1.1004	0.9805
G19	1.2311	0.6385	0.7904	0.3975	1.4991	0.1561	0.9903	0.7915	0.6943	0.6041
G20	0.5561	1.7669	0.199	1.0864	1.3243	0.7996	0.8447	1.2542	1.0718	0.7675
G21	0.5387	1.0774	1.1686	0.7933	1.7058	0.5741	1.4243	0.8682	1.0444	0.7261
G22	2.0474	1.4221	1.0355	1.3018	1.6328	0.842	1.6362	1.9693	1.5677	1.5166
G23	0.4985	1.7247	0.319	1.3842	1.6095	0.8404	0.4662	1.4632	0.7157	0.6204
G24	0.7436	0.8407	0.8487	0.4915	1.5202	0.3556	0.8766	0.8577	0.6393	0.3734
G25	0.5744	0.976	0.2348	0.9781	1.0034	0.374	0.6713	1.0129	0.6381	0.5512
G26	0.641	1.2941	0.6279	1.1202	0.7133	1.1504	1.0916	0.8173	0.968	0.236
G27	0.6438	1.1736	0.5813	0.8404	1.0799	0.6546	0.9151	1.2543	0.8875	0.4732
G28	1.4198	0.4668	0.7681	0.4744	1.4213	0.2194	0.638	0.742	0.3509	0.296
G29	1.2873	0.8174	0.4621	1.4948	0.3410	0.9413	0.9121	1.1866	0.7629	0.443
G30	0.3997	2.1738	0.5093	1.5824	2.186	0.9581	0.6429	1.804	0.9798	0.9876
G31	1.0274	1.0969	1.1128	1.0946	0.3857	1.2801	2.0618	0.8315	1.6161	0.6401
G32	0.6159	1.414	0.6032	1.9006	1.3189	1.0827	0.4636	1.5912	0.53	0.465
G33	1.9277	1.01	1.9461	0.3233	2.2744	0.7221	2.3963	0.4487	1.6524	1.1829
G34	0.3543	1.4291	0.7742	1.0236	0.816	1.1501	1.3803	0.873	1.2198	0.375

Table S1. Dissimilarity matrix between 100 Big Coffee VL progenies based on Mahalanobis distance. (Continuation...)

Progenies	M17	M18	M19	M2	M20	M21	M22	M23	M24	M25
G10	0.7894	0.98	0.774	1.5203	0.8194	0.9054	0.4361	1.5514	0.6173	1.1342
G11	1.2772	0.4539	0.5264	1.5163	1.0143	0.5145	0.7083	0.9485	0.3954	0.3027
G12	0.343	1.4803	1.2657	1.2358	0.8407	1.9171	0.4432	2.0905	0.8737	2.0662
G13	0.9813	0.8409	0.6067	1.4459	0.6109	0.6869	1.2783	1.6534	0.9196	1.7008
G14	0.7207	0.7221	1.4068	0.8444	1.1596	1.3945	0.6672	0.7793	0.9726	1.1475
G15	1.343	0.9052	1.0468	1.8472	1.3094	0.7332	1.4294	1.4202	1.2684	1.4039
G16	0.4877	0.8825	0.9048	0.6131	0.2011	1.3396	1.1066	1.3561	0.5591	2.0124
G17	0.0994	0.7949	1.1561	0.4474	0.357	1.3227	0.7992	0.9009	0.5223	1.796
G18	0.4691	1.1641	1.5858	1.4212	1.191	1.1262	0.5726	1.0159	0.9227	1.4241
G19	0.6779	0.6603	0.9976	1.3161	0.6688	0.2612	0.9091	0.4534	0.3043	0.912
G20	2.1322	0.6582	0.6709	2.2086	1.5874	0.5826	1.3987	1.3739	0.9141	0.4142
G21	1.2331	0.6374	1.0345	1.2379	0.5946	0.4557	1.5773	0.4032	0.1869	1.0123
G22	1.2266	1.7427	1.4776	2.697	1.1623	0.4394	1.6997	1.7474	1.0229	2.0837
G23	2.2908	0.4622	0.7611	1.9001	1.7455	0.9089	1.6777	1.2252	1.0856	0.4114
G24	0.9123	0.407	0.9009	1.1197	0.8000	0.4559	1.0254	0.2999	0.235	0.5865
G25	1.3157	0.4854	0.4576	1.5127	0.6693	0.2314	1.3727	0.9919	0.4548	0.8814
G26	1.6594	0.1825	0.2252	1.0558	1.1441	1.3405	1.102	1.4639	0.709	0.4629
G27	1.1602	0.5866	0.658	1.5868	0.8842	0.4167	1.2106	0.924	0.3833	0.7713
G28	0.6576	0.3551	0.8638	0.8932	0.8764	0.7379	0.7152	0.5135	0.5112	0.6958
G29	1.1569	0.5117	0.14	1.1561	0.6325	1.0836	1.3246	1.9355	0.8261	1.44
G30	2.7511	0.7699	1.1837	2.4123	2.0712	0.842	2.1318	1.1779	1.2468	0.5245
G31	1.035	0.7483	0.3312	1.1933	0.3697	1.0204	1.2278	1.7187	0.3368	1.4429
G32	2.1119	0.3204	0.5513	1.2707	1.3451	1.3687	2.0292	1.477	1.1201	0.9817
G33	0.9785	1.1386	1.7321	1.36	1.0199	1.0373	1.0044	0.5616	0.5289	1.2235
G34	1.6137	0.3447	0.353	1.2413	0.9511	1.0154	1.2604	1.2521	0.4398	0.5594

Table S1. Dissimilarity matrix between 100 Big Coffee VL progenies based on Mahalanobis distance. (Continuation...)

Progenies	M26	M27	M28	M29	M3	M30	M31	M32	M33	M34
G10	1.2816	0.7202	0.9004	0.7486	1.1222	0.4714	1.1872	0.7906	0.6495	1.6571
G11	0.7854	0.9507	0.9347	0.8671	1.191	0.5438	0.4452	0.4916	0.3867	0.7726
G12	1.6221	0.5773	1.2116	0.7067	1.1988	0.6839	2.5373	1.5759	0.9258	2.6661
G13	0.9212	1.7021	0.4678	1.714	0.698	0.3958	0.8524	1.0997	0.6408	1.0224
G14	1.4242	1.017	0.4387	0.621	0.522	0.4307	1.3538	0.8735	0.9211	2.4428
G15	1.3462	1.6681	0.2066	1.5868	0.4828	0.6353	0.9184	1.0517	0.9094	1.2257
G16	0.7569	1.4946	1.159	1.4284	1.2143	0.3364	1.4266	1.2178	0.5581	1.7988
G17	0.9215	0.8814	0.5881	0.814	0.6163	0.1592	1.6653	0.9953	0.4765	2.0564
G18	1.7887	0.426	0.2675	0.4048	0.4793	0.4093	1.7398	0.7312	0.8594	2.4112
G19	0.9377	0.7118	0.4425	0.7724	0.7987	0.1724	0.6451	0.1631	0.2702	1.0764
G20	1.0154	1.7625	1.1914	1.6382	1.5151	1.0312	0.3173	0.8584	0.7734	0.5348
G21	0.5767	1.5093	1.4379	1.4941	1.7823	0.4913	0.4189	0.3534	0.29	0.8205
G22	1.7776	1.2208	0.8252	1.7094	1.3426	0.7764	1.4188	0.8442	0.8488	1.2434
G23	0.8564	2.1578	1.1864	1.8529	1.3865	1.1487	0.3835	1.1461	0.8612	0.5821
G24	0.6495	0.8905	0.7043	0.8449	0.961	0.3325	0.578	0.3087	0.2064	0.8508
G25	0.5165	1.5871	0.8021	1.6032	1.1259	0.4346	0.2091	0.5827	0.2972	0.2937
G26	0.3203	1.821	1.3357	1.5157	1.2731	0.922	0.7534	1.4776	0.5437	0.6229
G27	0.6491	1.0834	0.8148	1.2233	1.0852	0.5351	0.6768	0.6317	0.2459	0.4275
G28	0.8095	0.7861	0.1999	0.621	0.3393	0.236	0.8601	0.5642	0.3598	1.2449
G29	0.3647	1.9011	0.7975	1.8951	0.7973	0.6242	1.0148	1.6444	0.4677	0.4857
G30	1.1803	2.4511	1.5685	2.1768	1.9114	1.4232	0.3239	1.054	1.0924	0.6931
G31	0.3669	1.5203	1.5835	1.6833	1.6735	0.642	1.1015	1.2955	0.2962	0.6456
G32	0.365	2.7239	1.3314	2.3757	1.3182	1.134	0.6811	1.7596	0.7846	0.4801
G33	1.5184	0.9281	1.4460	0.8	1.7718	0.5978	1.1885	0.3873	0.8035	2.3124
G34	0.3081	1.689	1.5811	1.5601	1.6547	0.8622	0.6312	1.1463	0.3868	0.4545

Table S1. Dissimilarity matrix between 100 Big Coffee VL progenies based on Mahalanobis distance. (Continuation...)

Progenies	M35	M36	M4	M5	M6	M7	M8	M9	P10	P11
G10	0.9468	0.8656	0.7447	1.0174	1.082	0.7794	0.4013	0.5096	0.7603	0.6662
G11	0.3692	0.4443	1.1141	1.5638	0.5092	0.8055	0.5704	0.3902	1.5168	1.85
G12	1.4918	1.837	0.4041	0.5869	1.5313	1.2021	0.6443	0.882	0.3877	0.5719
G13	0.6983	0.2732	0.7609	1.5497	1.2526	0.9777	0.4599	1.1157	2.1712	1.8498
G14	1.013	1.1697	0.688	0.3798	1.4638	1.1581	0.536	0.3535	1.0714	1.1864
G15	0.8351	0.2195	1.0301	1.8371	1.7093	1.8381	0.4542	0.9547	2.6469	2.3628
G16	0.8597	1.2953	0.5683	0.6774	0.8401	0.28	0.8453	1.1507	1.1521	1.5547
G17	0.8433	1.238	0.1818	0.2451	1.0719	0.8109	0.4399	0.7103	0.8565	1.4275
G18	1.2501	1.0485	0.4731	0.5896	1.8166	1.7546	0.1426	0.3267	0.8182	0.9803
G19	0.5229	0.3863	0.6821	1.0932	0.8628	1.0336	0.1816	0.3859	1.2778	1.8632
G20	0.5106	0.3259	1.8022	2.5705	0.8409	1.3426	1.0099	0.8917	2.7287	2.8594
G21	0.4327	0.8171	1.3296	1.5987	0.3119	0.4919	0.9928	0.9481	1.7877	2.9452
G22	1.306	0.5219	1.1558	2.3296	1.8802	2.1363	0.4261	1.3154	2.1972	2.4215
G23	0.4041	0.4609	1.8919	2.6024	0.8237	1.4991	1.2807	1.0423	3.2675	3.5709
G24	0.2917	0.5217	0.8653	1.2715	0.5146	1.0074	0.487	0.4319	1.6022	2.5282
G25	0.2443	0.0888	1.1232	1.9383	0.5436	0.7732	0.6131	0.9033	2.3144	2.6409
G26	0.1725	0.7916	1.2947	1.905	0.2695	0.7905	1.2542	0.9565	2.5037	2.8965
G27	0.3042	0.3223	0.9805	1.9187	0.6019	1.2911	0.538	0.7594	2.1203	2.8357
G28	0.3916	0.4825	0.5142	0.8563	0.8916	1.2126	0.2476	0.2704	1.4942	1.9443
G29	0.3147	0.3933	0.7742	1.9071	0.7287	0.9832	0.81	1.332	2.6957	2.6814
G30	0.6568	0.6195	2.4187	3.0782	1.02	1.7399	1.5767	1.2748	3.5917	4.0839
G31	0.452	0.9234	0.9339	1.7612	0.2862	0.4438	1.0185	1.3116	1.8115	2.4315
G32	0.2481	0.6826	1.6749	2.5233	0.6117	1.2408	1.5924	1.5563	3.7351	4.1948
G33	1.2002	1.5544	1.2391	0.8057	1.0638	0.7556	0.8928	0.5754	0.6388	1.4908
G34	0.1935	0.8032	1.3867	2.0323	0.1068	0.6515	1.2441	1.0191	2.305	3.0465

Table S1. Dissimilarity matrix between 100 Big Coffee VL progenies based on Mahalanobis distance. (Continuation...)

Progenies	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21
G10	1.0807	0.6068	10.4748	1.8878	0.9764	1.973	1.0298	1.3813	0.7979	0.8707
G11	2.5174	1.0731	13.1617	3.1439	2.1407	2.9345	1.3376	1.8147	2.0262	0.4768
G12	0.473	0.6621	9.1915	1.1232	0.8334	2.0041	1.3422	1.9504	0.4641	1.8362
G13	1.9145	1.8692	11.2658	3.4514	2.0639	2.9875	2.9749	2.2876	1.539	1.4236
G14	1.5026	0.9958	7.8379	1.6775	1.1329	1.6731	1.8351	1.0643	0.7895	0.6276
G15	2.4441	1.9113	10.7266	4.134	2.2518	2.5543	3.1275	1.9138	2.2449	0.9856
G16	1.5409	1.6584	10.6862	1.7298	1.9611	3.478	2.5177	2.5407	0.7066	1.9428
G17	1.1346	1.1744	8.7934	1.3769	1.4837	2.5109	2.2776	1.8409	0.606	1.5207
G18	0.8517	0.5007	7.3727	1.6251	0.725	1.0505	1.502	0.6721	0.8046	0.7077
G19	1.8657	0.9406	10.6538	2.4483	1.8055	2.4315	1.7648	1.2083	1.4761	0.6186
G20	3.6999	1.945	15.0667	4.7725	3.1537	3.7765	2.2465	2.5124	3.1909	0.7001
G21	3.192	1.8252	13.8278	2.9501	3.2151	4.4016	2.319	2.4056	2.1804	1.2381
G22	1.9849	1.534	11.6746	3.7513	2.2869	2.8369	2.6671	1.8952	2.2805	1.6016
G23	4.4038	2.5211	15.4629	5.3008	3.8151	4.3498	2.9785	3.0508	3.6948	0.8738
G24	2.6793	1.2948	12.3165	2.9582	2.5454	3.2075	1.9734	1.8178	2.1281	0.6884
G25	2.9577	1.8921	13.8971	3.9581	2.907	3.8248	2.6034	2.4437	2.3779	1.0289
G26	3.699	2.2541	15.621	4.349	3.4389	4.4904	2.5812	3.5694	2.9737	1.2771
G27	2.9186	1.6036	13.9794	3.9169	2.9398	3.6346	2.3249	2.4369	2.7146	1.0482
G28	2.0522	1.1248	10.2985	2.7116	1.8581	2.3044	2.0449	1.5007	1.6586	0.5556
G29	2.814	2.4334	14.2552	4.4414	3.0999	4.1951	3.4246	3.6314	2.5163	1.8798
G30	4.9774	2.7661	16.1526	5.6514	4.2833	4.7735	3.1181	3.0648	4.1431	0.9316
G31	2.6084	1.9521	15.1492	3.3246	3.0442	4.6164	2.4585	3.5253	2.1222	2.0432
G32	4.7619	3.3668	16.3856	5.6386	4.5922	5.505	4.1335	4.2863	3.8701	1.7684
G33	1.8521	0.8214	9.9448	1.1933	1.6213	2.6296	1.1468	1.1142	0.9178	0.8719
G34	3.7084	2.1356	16.2033	4.1143	3.5931	4.7933	2.3806	3.4694	2.9654	1.3703

Table S1. Dissimilarity matrix between 100 Big Coffee VL progenies based on Mahalanobis distance. (Continuation...)

Progenies	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31
G10	1.059	1.6985	1.2069	0.6783	1.109	0.9355	1.5513	1.6727	2.2621	0.7667
G11	1.5379	3.2355	1.5879	1.7933	1.8300	1.463	2.5037	3.0664	3.5863	1.9391
G12	1.1574	0.9553	1.2228	0.6856	0.8062	0.7211	0.9427	1.0807	1.8099	0.4045
G13	2.0204	1.8466	2.9807	2.0547	0.6746	1.3516	3.1989	1.7053	3.2131	1.4424
G14	0.4102	1.4088	1.4567	1.1466	1.2401	0.8276	1.2793	1.1761	1.7652	0.7562
G15	1.8848	2.8021	3.1111	2.5958	1.5317	2.2274	3.6012	2.5391	3.0747	1.923
G16	1.6196	0.8639	2.0947	1.4507	0.2689	0.2011	1.7809	0.7936	3.0185	1.024
G17	0.9944	0.8075	1.6512	1.3448	0.4174	0.4382	1.3053	0.6896	2.0146	0.7498
G18	0.4504	1.5444	1.1529	0.9428	1.3602	1.4383	1.2749	1.3793	1.042	0.6576
G19	1.123	2.3607	1.4536	1.6067	1.3463	1.4126	2.1437	2.1007	2.4342	1.5691
G20	2.4393	4.4786	2.7045	2.9124	2.5296	2.3894	3.9535	4.2356	4.8058	2.9692
G21	2.0130	3.1001	1.9194	2.4282	1.6411	1.2387	2.7594	2.7961	4.2254	2.6311
G22	2.3429	3.0702	2.562	2.3303	1.7610	2.7434	3.5473	2.9013	2.8577	2.2114
G23	2.6989	4.8084	3.2882	3.6918	2.668	2.4753	4.3743	4.4993	5.405	3.4161
G24	1.4793	3.0949	1.6804	2.2798	1.7003	1.5015	2.4799	2.8125	3.3512	2.1882
G25	2.2676	3.1724	2.6545	2.5866	1.4000	1.6379	3.5328	2.9347	4.2144	2.3994
G26	2.6034	3.7964	2.9295	3.1742	1.8165	1.4224	3.4985	3.6848	5.366	2.7059
G27	2.2455	3.6627	2.3218	2.7937	1.8008	2.0318	3.3498	3.4622	4.0175	2.591
G28	1.0479	2.386	1.7835	1.9583	1.3433	1.3338	2.1608	2.1424	2.5652	1.4919
G29	2.9130	2.7627	3.6315	3.1322	0.8567	1.4893	3.9126	2.713	4.7003	2.2078
G30	2.9478	5.4747	3.3703	3.9931	3.2534	2.9466	4.7664	5.0815	5.7862	4.0091
G31	2.7736	2.6863	2.5496	2.4625	0.9821	1.0384	3.0407	2.6899	4.7095	2.2199
G32	3.4081	4.3969	4.2449	4.4709	2.0181	2.0631	4.8418	4.1395	6.2758	3.6316
G33	0.7148	1.9998	0.6723	0.8974	1.7338	0.8603	1.0784	1.7545	2.3216	1.3859
G34	2.6971	3.9215	2.6063	3.0704	1.8851	1.4679	3.4382	3.7884	5.4004	2.9211

Table S1. Dissimilarity matrix between 100 Big Coffee VL progenies based on Mahalanobis distance. (Continuation...)

Progenies	P32	P33	P34	P35	P36	P5	P6	P7	P8	P9
G10	3.1561	1.7384	0.9722	2.5569	1.6622	1.2492	1.0386	0.68	1.017	0.8103
G11	4.706	2.2705	1.4019	3.8307	2.4598	2.4142	2.1443	1.4694	1.9861	1.5196
G12	1.8621	1.4858	1.4135	2.835	0.9513	0.8656	1.1098	0.6238	0.8098	0.7953
G13	4.4049	2.6882	1.7147	2.8555	2.9113	1.8047	1.6967	1.0161	1.6203	1.9282
G14	2.3313	1.1994	0.5906	1.7089	2.2249	0.7816	0.767	0.4559	0.6115	0.5285
G15	4.9123	2.3418	2.2734	2.5584	3.0948	2.2194	1.9846	1.2303	1.6571	2.3084
G16	2.6212	2.3865	0.9062	3.4283	2.3177	1.3219	1.6146	0.8215	1.5034	0.9964
G17	1.8364	1.3431	1.1455	2.6176	1.5458	1.0125	1.377	0.3991	0.8664	0.7758
G18	2.1036	0.5558	1.4962	1.3815	1.1163	1.0136	0.9515	0.2016	0.3374	0.7457
G19	3.4156	1.3118	1.6241	2.7291	1.7022	2.1005	1.9736	0.695	1.3209	1.2131
G20	6.52	3.2971	2.1717	4.6225	3.6858	3.4314	2.9943	2.3234	2.9274	2.6045
G21	4.3704	2.5401	1.627	4.7017	2.7532	3.1804	3.1751	1.6271	2.6539	1.6629
G22	4.6362	2.0064	3.3276	3.1529	1.8192	3.0863	2.8389	1.2233	1.9456	2.5287
G23	6.8833	3.6616	2.339	5.1529	4.3505	3.6844	3.415	2.7088	3.3134	2.9866
G24	4.055	1.7703	1.8124	3.8477	2.1621	2.6576	2.6498	1.2906	1.9669	1.5904
G25	5.3538	2.8886	1.9344	4.1533	3.0846	2.9076	2.7243	1.6154	2.451	2.1969
G26	5.912	3.7372	1.7722	5.6609	3.8136	2.9166	2.9942	2.5419	3.0768	2.5045
G27	5.1369	2.4102	2.5975	4.546	2.3687	3.2169	3.1705	1.7496	2.4793	2.3897
G28	3.4778	1.4328	1.5312	2.7942	2.0693	1.7597	1.7837	0.8676	1.2502	1.3392
G29	5.5341	3.6328	2.3534	4.8054	3.4002	2.5505	2.7201	1.9728	2.6153	2.8076
G30	7.3943	3.854	2.6389	5.4725	4.6745	4.3702	3.9641	3.0246	3.769	3.2398
G31	4.7771	3.3859	2.0382	5.5066	2.6268	2.8252	3.0315	1.9455	2.8064	2.2078
G32	6.985	4.4721	2.5505	6.1575	4.9278	3.7624	3.894	3.0564	3.8183	3.4746
G33	2.3922	1.3034	0.7194	2.8454	1.795	1.8156	1.7002	0.7529	1.3299	0.3765
G34	5.8002	3.5938	1.9525	5.9465	3.4375	3.3452	3.3975	2.5061	3.2626	2.4496

Table S1. Dissimilarity matrix between 100 Big Coffee VL progenies based on Mahalanobis distance. (Continuation...)

Progenies	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31
G35	0.9936	1.4456	1.9405	1.8314	1.6838	2.6847	2.0478	1.4137
G36	3.0703	2.6432	0.6051	0.4741	2.8955	1.7101	4.4412	1.9046
G5	0.8561	1.5915	2.2559	1.5949	1.8014	2.8291	2.7790	2.0732
G6	1.7210	2.2079	1.9662	1.9287	2.6072	2.7997	2.8619	2.1871
G7	3.2425	3.7706	1.8987	1.689	3.8480	3.8315	5.5045	3.1302
G8	3.6625	4.5048	3.0240	2.707	5.1261	5.2899	6.9498	4.6469
G9	2.2423	1.7333	0.3227	0.4983	1.8054	0.7761	2.4157	0.8700
M1	3.4563	3.0626	1.9423	2.2903	4.3416	3.6481	4.7316	2.6679
M10	0.5044	0.7782	1.6709	1.0315	0.9326	2.0044	1.8840	0.9635
M11	3.2969	2.6975	1.0283	1.3802	3.4185	2.8636	4.7556	1.9231
M12	2.0462	1.8708	1.2313	1.3234	2.4884	1.8351	2.6708	1.6131
M13	4.3101	4.228	2.2214	2.6481	4.8912	3.7283	5.0356	3.3338
M14	1.1986	0.968	1.0743	0.3329	1.1380	1.5165	2.6914	0.8264
M15	3.4389	3.2721	1.3393	1.5805	3.5687	2.4038	3.9988	2.3346
M16	2.2618	2.4329	1.1217	0.9176	2.4421	2.4387	3.7957	1.7472
M17	1.5557	1.3452	0.5281	0.6996	1.2483	0.8953	1.8409	0.7237
M18	2.4879	2.6055	1.2497	0.9198	2.7085	2.5625	4.1769	1.9779
M19	3.1017	2.7291	1.0427	1.1670	3.4007	2.8323	4.7816	2.0498
M2	2.7000	2.6313	0.7463	0.3721	2.0552	1.4971	3.8244	1.6028
M20	2.4930	2.1697	0.3275	0.6350	2.5252	1.3940	3.6075	1.6609
M21	2.3072	2.4045	1.9032	2.2153	3.5196	3.0958	3.7027	2.6638
M22	1.0237	0.8983	1.5347	1.0303	1.0338	1.9859	2.0067	0.6238
M23	1.6385	2.4478	2.1635	1.5849	2.2687	2.6549	3.2494	2.5307
M24	1.4724	1.8354	1.1022	0.8844	2.0304	2.1905	3.3488	1.8054
M25	1.8305	2.4710	2.9037	2.0028	2.7431	4.1259	4.2227	2.5532

Table S1. Dissimilarity matrix between 100 Big Coffee VL progenies based on Mahalanobis distance. (Continuation...)

Progenies	P32	P33	P34	P35	P36	P5	P6	P7	P8	P9
G35	3.1678	0.9339	2.0970	2.9180	0.9943	1.9877	1.9243	0.9122	1.1456	1.2895
G36	4.2127	3.3638	1.0478	4.4401	3.7082	1.9753	2.2716	1.6126	2.3551	1.7688
G5	3.4315	1.2942	1.5146	3.3924	1.7809	2.6381	2.4430	1.1251	1.7552	1.0297
G6	4.0097	1.4665	1.9884	3.0795	2.1641	2.6750	2.5035	1.0968	1.732	1.5989
G7	5.9496	3.6329	2.2593	5.8770	3.8721	3.3496	3.5554	2.6250	3.2934	2.8274
G8	7.6739	4.6394	3.0742	7.2112	4.7484	5.2327	5.0877	3.5541	4.7307	3.6653
G9	2.4226	1.7905	1.1570	2.6923	2.1631	1.0007	1.3591	0.5883	1.0252	1.0952
M1	6.5807	3.6199	2.2193	4.1761	4.0477	3.0137	2.6417	2.1660	2.7356	2.8383
M10	2.4847	0.9165	0.9933	2.6033	1.1781	1.3826	1.2958	0.6513	0.8821	0.4985
M11	5.2956	3.8769	2.3617	5.3548	3.0342	2.3296	2.5666	2.2480	2.6713	2.7240
M12	3.6644	1.7210	1.3169	2.4424	2.5582	1.9237	1.7707	0.7496	1.3731	1.2894
M13	6.5503	3.6768	2.6888	4.3179	4.8264	3.4115	3.2973	2.4388	3.0594	3.3171
M14	2.7645	1.9064	0.3642	3.1094	2.1591	0.9883	1.0490	0.9102	1.1658	0.5442
M15	4.7833	2.8350	1.8350	3.6098	3.8564	2.3574	2.4702	1.6118	2.1921	2.2864
M16	4.1233	2.4565	1.4501	4.2736	2.6583	1.9192	2.1728	1.5294	1.9405	1.7136
M17	1.7199	1.1815	1.6528	2.8090	1.0289	1.1123	1.5470	0.4590	0.8460	0.9661
M18	4.5309	2.7959	1.2372	4.3656	3.2436	2.0713	2.2392	1.6971	2.1742	1.7694
M19	5.4238	3.6458	1.7848	4.9945	3.3909	2.3339	2.4502	2.0582	2.5888	2.4066
M2	2.9768	2.7323	1.2425	4.4836	3.0219	1.5383	2.1979	1.5635	1.9944	1.5474
M20	3.3519	2.5909	1.7388	4.2241	2.2636	2.1498	2.5114	1.1230	2.0417	1.6677
M21	5.0669	2.3936	2.4015	3.7221	2.6348	3.4229	3.0657	1.4427	2.4345	2.1557
M22	2.6891	1.3726	1.0954	2.7143	1.4401	0.8598	0.8950	0.9042	0.7886	0.8011
M23	3.4413	1.6156	1.6880	3.6968	2.5313	2.8905	2.9295	1.3360	2.1065	1.3667
M24	3.4317	1.9252	1.5675	4.1930	1.7579	2.3752	2.5303	1.1430	1.9323	1.3093
M25	5.3889	2.6344	1.5631	4.4565	3.2721	2.7760	2.5038	2.2454	2.4688	1.8913

Table S1. Dissimilarity matrix between 100 Big Coffee VL progenies based on Mahalanobis distance. (Continuation...)

Progenies	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18
M26	2.4681	3.2119	3.4230	2.6155	15.0475	3.9041	3.7136	5.0915	3.3953
M27	0.3935	1.01	0.9550	0.1592	9.0457	1.4298	0.8885	1.3692	0.7018
M28	1.7454	1.65	1.5791	1.287	8.9169	2.894	1.487	1.8116	2.5196
M29	0.4411	0.9108	1.1843	0.2336	8.653	1.3976	0.8327	1.2398	0.6834
M3	1.8559	1.6981	1.6739	1.5253	9.0177	2.9873	1.6148	2.0002	2.7795
M30	1.0888	1.5934	1.4986	1.0944	10.2897	2.034	1.6893	2.6256	2.0522
M31	2.932	3.3397	4.0344	2.4903	14.8579	4.5196	3.6552	4.5796	2.9719
M32	1.356	2.2169	2.3658	1.0378	11.152	2.4161	2.1481	2.8116	1.5997
M33	1.4057	2.2056	2.1901	1.3872	12.6846	2.693	2.4403	3.5234	2.1599
M34	3.6948	4.2592	4.5484	3.2417	17.8596	5.8271	4.726	5.8929	3.9379
M35	2.1273	2.7093	3.0508	1.9724	13.9855	3.6697	3.0516	4.0707	2.6687
M36	2.6129	2.625	2.8626	1.9788	13.1871	4.3385	2.7674	3.4417	2.8856
M4	0.9964	1.3452	1.0151	1.1054	9.3701	1.8893	1.4123	2.3019	2.2421
M5	0.5731	1.0775	1.031	0.9763	7.4222	0.8546	1.0921	1.953	1.8633
M6	2.0082	2.9878	3.4279	2.1542	15.4076	3.4543	3.5305	4.9333	2.5396
M7	1.7129	2.2961	2.7734	2.1469	13.6101	2.6444	2.9325	4.602	2.5915
M8	1.0038	1.1846	1.0671	0.6532	9.3431	2.1502	1.1104	1.6654	1.6105
M9	0.7679	1.104	1.561	0.427	9.575	1.9014	1.0965	1.5332	0.885
P10	0	0.6398	0.6847	0.2885	8.0215	0.4147	0.6942	1.6118	0.6565
P11		0	0.4353	0.5735	7.1171	1.2604	0.1476	0.8555	0.9843
P12			0	0.802	6.047	1.0264	0.333	1.0719	1.806
P13				0	8.1828	1.182	0.4728	0.9044	0.3283
P14					0	6.1629	5.6693	4.8174	10.2671
P15						0	1.1919	2.2536	1.7465
P16							0	0.3491	1.1032

Table S1. Dissimilarity matrix between 100 Big Coffee VL progenies based on Mahalanobis distance. (Continuation...)

Progenies	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27
M26	3.9032	2.5643	1.9621	2.8256	2.8634	3.2487	3.3228	0.9637	0.9654
M27	1.0567	1.1842	0.9658	0.7133	2.3113	0.5409	0.9174	2.0051	1.6829
M28	1.543	1.4646	0.8954	1.1506	1.9039	2.3233	1.9134	1.1147	1.5628
M29	1.0189	1.119	0.6374	0.3991	2.2308	0.5658	0.914	2.0216	1.3629
M3	2.0891	1.5597	1.194	1.3056	1.8127	2.6319	2.1712	1.0376	1.4034
M30	1.6827	1.0016	1.0242	1.1507	1.4714	1.6679	1.4962	0.5901	0.7024
M31	2.6592	2.9627	1.0422	2.5545	3.9794	2.9962	3.071	2.1577	1.9872
M32	1.0486	1.7443	0.6537	1.2091	2.9649	1.1986	1.6199	2.0621	1.7792
M33	2.3645	1.6983	1.2204	1.7702	2.3046	1.9103	2.1036	0.8886	0.9339
M34	4.2914	3.9845	2.1422	4.0046	4.7005	4.1487	4.3105	2.0637	2.5406
M35	2.9595	2.3531	1.1798	2.1763	2.9513	2.6329	2.8055	1.1802	1.1182
M36	2.345	2.5009	1.034	2.3153	3.2274	3.0034	2.7220	1.4935	2.0287
M4	2.1586	0.9301	1.5989	1.2672	1.1256	1.9017	1.5770	0.4831	0.7646
M5	1.6933	0.4837	1.5094	0.5531	0.8298	1.2661	1.0644	0.9894	0.4726
M6	3.4769	2.5035	1.6212	2.5264	3.2208	2.4618	2.8802	1.4263	0.9766
M7	3.1692	1.5736	1.8382	2.1961	2.0419	2.4037	2.1151	0.8767	0.4035
M8	1.1487	1.0602	0.7739	0.9438	1.7607	1.4436	1.2205	1.0322	1.3323
M9	0.9631	1.2409	0.2454	0.4849	2.3545	0.8471	1.0857	1.7775	1.2198
P10	1.1935	0.5055	1.5401	0.5670	1.4959	0.3004	0.3513	1.8768	1.1058
P11	1.2994	0.5153	1.6246	0.7855	1.3935	1.2012	0.2296	2.0003	1.5708
P12	1.5263	0.4173	2.4751	1.119	0.8639	1.5262	0.5518	1.5881	1.8188
P13	0.6166	0.9451	0.8213	0.4495	2.2823	0.2961	0.4157	2.382	1.8198
P14	6.367	6.437	10.2351	6.1492	6.4977	8.6563	6.972	10.5854	10.5068
P15	1.7521	0.5436	2.8817	0.9292	1.2473	0.8524	0.7074	2.5052	1.5100
P16	0.8229	0.5905	1.5508	0.5422	1.5176	1.1065	0.2871	2.3569	2.0638

Table S1. Dissimilarity matrix between 100 Big Coffee VL progenies based on Mahalanobis distance. (Continuation...)

Progenies	P28	P29	P30	P31	P32	P33	P34
M26	3.4849	2.7292	5.2363	2.5995	5.1007	3.6693	1.9182
M27	0.9453	2.2838	1.4371	1.0008	2.1775	0.5884	1.9884
M28	2.3812	1.7223	2.1070	1.1142	3.3673	1.5013	1.7874
M29	0.7492	2.1658	1.5350	0.8584	2.1670	0.6924	1.3562
M3	2.3585	1.7028	2.3931	1.0606	3.3439	1.8198	1.7790
M30	1.8309	1.3031	2.4496	1.0988	2.8291	1.5289	1.2398
M31	4.0771	3.6058	5.0614	3.1720	6.2134	3.5332	1.8180
M32	2.2162	2.619	2.6848	2.0995	3.6409	1.3901	1.7002
M33	2.3822	2.1584	3.4810	1.7865	3.7547	2.1206	1.6991
M34	5.3133	4.4934	6.4245	3.9601	7.4681	4.6085	3.3139
M35	3.1061	2.7726	4.4556	2.2719	4.8947	2.9442	1.6810
M36	3.8453	2.9870	3.9719	2.3499	5.5657	2.8582	2.2453
M4	1.5875	1.1197	2.1406	0.7394	2.3005	1.4903	1.6712
M5	0.6073	0.7575	1.6011	0.4997	1.2092	1.0897	0.8606
M6	3.0061	3.0787	5.1185	2.6608	4.9495	3.3690	1.6809
M7	2.5091	1.9149	4.4924	1.9525	4.0866	3.3465	0.8941
M8	1.7876	1.6372	1.7655	0.9024	2.8704	1.0720	1.6675
M9	1.2400	2.1989	1.9853	1.0365	2.8911	1.0203	1.0385
P10	0.2362	1.5125	1.2601	0.6490	1.1936	0.7577	1.3132
P11	0.8604	1.5155	1.1769	0.2332	2.0852	1.4878	1.2556
P12	0.9916	0.9942	0.6731	0.2731	1.2637	1.0711	2.2423
P13	0.7139	2.2487	1.0901	0.8069	2.094	0.5531	1.6327
P14	6.4517	6.3169	3.5036	6.2841	4.3669	5.7191	9.4651
P15	0.2019	1.2256	1.2115	1.0162	0.3699	1.0779	1.7189
P16	0.8122	1.5658	0.5347	0.2843	1.7132	0.8966	1.6638

Table S1. Dissimilarity matrix between 100 Big Coffee VL progenies based on Mahalanobis distance. (Continuation...)

Progenies	P35	P36	P5	P6	P7	P8	P9
M26	5.6967	3.5572	2.8740	3.2483	2.1840	3.0401	2.4739
M27	2.6429	0.4722	1.5851	1.6107	0.7351	0.8140	0.8919
M28	2.0560	2.1556	1.3152	1.3294	0.6921	0.8973	1.5467
M29	2.4647	1.0034	1.1703	1.2008	0.7726	0.6927	0.6392
M3	2.4630	2.4141	1.0983	1.3029	0.9469	0.9984	1.6962
M30	2.8362	1.7302	1.4842	1.6222	0.5458	1.1430	1.0214
M31	4.6195	4.2051	3.5842	3.2159	2.1867	3.1429	2.4340
M32	2.9921	1.9123	2.7489	2.4430	0.9597	1.7330	1.1964
M33	4.1472	1.9934	2.2875	2.4760	1.1748	1.9278	1.5732
M34	6.5460	4.3509	4.5868	4.5302	3.0851	4.2004	3.8350
M35	4.7589	3.0979	2.5661	2.7186	1.7802	2.4736	2.0805
M36	3.6778	3.1936	2.8243	2.5714	1.5794	2.2904	2.4526
M4	2.9205	1.3713	1.0374	1.4481	0.6324	0.9160	1.2259
M5	2.3625	1.5326	0.5564	0.9602	0.5145	0.5966	0.4312
M6	5.8102	3.1943	3.0545	3.2870	2.1999	3.0603	2.0989
M7	4.7922	3.3252	2.2431	2.4111	1.6713	2.5288	1.4703
M8	2.1485	1.2462	1.3836	1.3358	0.4227	0.7634	1.1077
M9	2.4423	1.5653	1.3158	1.2001	0.7569	0.8636	0.7133
P10	2.5245	0.6287	1.1378	1.2424	0.6359	0.7224	0.3040
P11	1.5947	1.5697	0.5085	0.3133	0.7928	0.4671	0.6886
P12	1.5256	0.8105	0.7523	0.8523	0.5045	0.3777	1.0199
P13	2.0068	0.6538	1.3603	1.1419	0.6597	0.6077	0.5893
P14	3.4324	8.0626	5.9551	5.9809	6.4306	5.1406	7.0365
P15	2.5578	1.2263	1.3790	1.6606	0.9875	1.0571	0.4615
P16	0.9549	1.2554	0.5852	0.3551	0.5974	0.1937	0.7120

ARTIGO 2 - SELEÇÃO DE PROGÊNIES DO CAFEIRO BIG COFFEE VL COM BASE EM CARACTERES AGRONÔMICOS VIA MODELOS MISTOS

Manuscrito preparado conforme a norma NBR 6022 (ABNT, 2003)

RESUMO

Em culturas perenes, como a do cafeeiro, as pesquisas são muitas vezes demoradas, sendo assim primordial o uso de técnicas e procedimentos de avaliação e análise que possibilitem uma seleção eficiente de genótipos agronomicamente superiores. Objetivou-se com este estudo avaliar o desempenho agrônômico de progênies do cafeeiro Big Coffee VL via metodologia de modelos mistos. Em 1989, em uma lavoura cafeeira (*Coffea arabica*), em Capitólio – MG, foi encontrado um cafeeiro diferente dos demais, apresentando folhas e frutos grandes em relação aos cafeeiros convencionais, e foi nomeado como “Big Coffee VL”. Posteriormente progênies desse cafeeiro foram cultivadas em Piumhi MG e em 2012 foram coletadas sementes dessas progênies e instalado o experimento na UFLA. Foram avaliadas 100 progênies do cafeeiro Big Coffee VL e o delineamento adotado foi o latice 10 X 10, com 23 repetições. Os caracteres agrônômicos avaliados foram: altura de plantas, vigor vegetativo, número de pares ramos plagiotrópicos e produtividade. A análise dos dados foi realizada pelo método de máxima verossimilhança restrita e melhor predição linear não viesada (REML/BLUP), resultando na estimação dos componentes da variância, parâmetros genéticos, predição de valores genéticos e ordenamento das progênies. As progênies do Big Coffee VL tiveram desempenho agrônômico diferenciado, sendo possível a seleção de progênies, com base na produtividade e nos demais caracteres, e indicar as promissoras, como P14, P32, P36, M11 e G16, para o programa de melhoramento visando aumento do tamanho dos grãos.

Palavras Chave: *Coffea arabica*, REML/BLUP, seleção, melhoramento genético.

BIG COFFEE VL PROGENIES SELECTION BASED ON AGRONOMIC TRAITS USING MIXED MODELS

ABSTRACT

In perennial crops, such as coffee, the researches are often time-consuming. Thus it is essential to use techniques and procedures of evaluation and analysis to facilitate an efficient selection of agronomically superior genotypes. The aim in this study was to evaluate the agronomic performance of Big Coffee VL coffee progenies using mixed models methodology. In 1989, on a coffee plantation (*C. arabica*), in Capitólio - MG, a coffee tree different from others was found, presenting larger leaves and grains than those of conventional coffee plants, and was named "Big Coffee VL". Subsequently, progenies of this coffee tree were cultivated in Piumhi-MG, in 2012 seeds collected from these progenies were used to install this experiment in Federal University of Lavras (UFLA). We evaluated 100 Big Coffee VL progenies and the adopted design was lattice 10x10 with 23 replicates. The agronomic traits evaluated were plant height, vigor, pair numbers of plagiotropic branches, and productivity. Data analysis was performed using Restricted Maximum Likelihood and Best Linear Unbiased Prediction (REML/BLUP), resulting on variance components estimation, genetic parameters, genetic values prediction and progenies ordainment. The Big Coffee VL progenies presenting different agronomic performance, being possible to select progenies based on productivity and other traits, and to indicate the promising, such as P14, P32, P36, M11 and G16, for the coffee breeding program aiming to increase grain size.

Keywords: *Coffea arabica*, REML/BLUP, selection, breeding

INTRODUÇÃO

A produção comercial de café depende de duas espécies, *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, que representam cerca de 60 e 40% do mercado total de café, respectivamente. O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café, sendo que, as exportações brasileiras correspondem a aproximadamente 30% do total mundial (VOSSSEN; BERTRAND; CHARRIER, 2015; ICO, 2016).

No cafeeiro, cultura perene e com período juvenil longo, as pesquisas são muitas vezes demoradas, sendo assim primordial o uso de técnicas e procedimentos de avaliação e análise que permitam e facilitem uma seleção eficiente de genótipos agronomicamente superiores. A avaliação dos caracteres agronômicos é indispensável nos programas de melhoramento genético, sendo o principal caráter para a seleção a produtividade (ANDRADE et al., 2016). Assim, a avaliação do desempenho agronômico de cafeeiros (*Coffea arabica*) tem sido alvo de estudo de vários pesquisadores (CARVALHO et al., 2012; FERREIRA et al., 2013; RODRIGUES et al., 2014; TEIXEIRA et al., 2015; LIMA et al., 2016), com a obtenção de resultados valiosos que certamente têm contribuído para o melhoramento da cultura.

A produtividade é um caráter de natureza quantitativa, de arquitetura genética complexa e altamente influenciada pelo ambiente, sendo assim necessários métodos acurados de análises estatísticas para uma seleção eficiente (BERNARDO 2010; ANDRADE et al., 2016). Além da produtividade é interessante também avaliar caracteres como número de ramos produtivos, vigor vegetativo e altura das plantas, pois estes podem ser utilizados como critério de seleção no programa de melhoramento.

As peculiaridades da cultura do cafeeiro, como ciclo reprodutivo longo, oscilação anual da produção e diferenças na longevidade produtiva, em conjunto às conseqüências da avaliação por vários anos tendem a gerar dados desbalanceados, dificulta o melhoramento genético do cafeeiro. Assim é necessário o uso de métodos especiais para estimar parâmetros genéticos, incluindo a herdabilidade, e predizer valores genéticos, como a metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) (RESENDE et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2011; PEREIRA et al., 2013; RODRIGUES et al., 2013).

O procedimento ótimo de estimação de componentes de variância é o de máxima verossimilhança residual ou restrita (REML), o qual é superior ao método da análise de variância em situação de dados desbalanceados e delineamentos não ortogonais (como alguns blocos incompletos), e a predição de valores genéticos pela melhor predição linear não

viciada (BLUP). Desta forma o procedimento ótimo de avaliação genética é o REML/BLUP, podendo ser empregado rotineiramente nos programas de melhoramento genético do cafeeiro (RESENDE et al., 2001; RESENDE, 2007).

Um dos objetivos do melhoramento do cafeeiro é o aumento no tamanho de grãos (FERREIRA et al., 2005; GUEDES et al., 2013), pois a obtenção de grãos de peneiras alta permite maior agregação de valor ao produto, em especial para a produção de cafés especiais. Segundo Ferreira et al. (2013) é desejável que os grãos utilizados em máquinas de café expresso sejam de peneira alta. Atualmente, uma cultivar que possui a característica citada anteriormente é ‘Maragogipe’ (MONACO, 1960), porém apresenta desempenho produtivo inferior em relação às outras cultivares utilizadas comercialmente. Assim é importante que os programas de melhoramento utilizem genótipos produtivos e com grãos graúdos, para atender esta necessidade.

Em 1989, em uma lavoura, de ‘Acaiaí’ (*Coffea arabica*), no Centro-Oeste de Minas Gerais, em Capitólio, foi encontrado um cafeeiro que se destacou dos demais, possivelmente por ter sofrido uma mutação, apresentando folhas e grãos grandes em relação aos cafeeiros comerciais, e foi nomeado como “Big Coffee VL”, posteriormente progênies desse cafeeiro foram cultivadas em Piumhi MG e em 2012 foram coletadas sementes dessas progênies para montagem do presente experimento.

Neste contexto, uma alternativa para incrementar o tamanho dos grãos é a utilização de progênies do cafeeiro Big Coffee VL (*Coffea arabica*) nos programas de melhoramento do cafeeiro, pois a principal característica desses cafeeiros é o desenvolvimento de frutos graúdos. Assim, objetivou-se selecionar progênies as do cafeeiro Big Coffee VL, mais promissoras, com base em caracteres agrônômicos via metodologia de modelos mistos (REML/BLUP).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no setor de cafeicultura do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no município de Lavras, Minas Gerais, com altitude de 910 metros, latitude de 21°14’06’ (S) e longitude de 45°00’00’ (W).

O experimento foi instalado, em 2012, com 100 progênies do cafeeiro Big Coffee VL provenientes de Piumhi, MG. Sendo 32 progênies classificadas como “Grande” (G5, G6..., G36), 36 progênies como “Médio” (M1, M2, ..., M36) e 32 progênies como “Pequeno” (P5, P6, ..., P36), classificação essa estabelecida de acordo com o tamanho dos grãos. O plantio foi

realizado em fevereiro desse ano, aplicando-se os tratos culturais recomendados para a cultura de cafeeiro (RIBEIRO et al., 1999), e o espaçamento adotado foi 3,5 x 0,9m. O delineamento utilizado foi o látice 10x10, com 23 repetições, com um total de 2300 parcelas, sendo que cada parcela foi constituída por uma planta.

Os caracteres agronômicos avaliados foram: o vigor vegetativo, com notas de 1 a 5, sendo as plantas com nota 5 as mais vigorosas; a altura das plantas (m), com o auxílio de régua graduada; número de pares de ramos plagiotrópicos, produtividade (kg/planta) medida utilizando-se balança de precisão, no momento da colheita. As avaliações foram realizadas nos anos 2014 e 2015.

Com base nas avaliações dos caracteres agronômicos citados anteriormente foram realizados os procedimentos estatísticos: definição de um modelo adequado e definição da natureza dos efeitos, fixos ou aleatórios; estimação dos componentes da variância, parâmetros genéticos, predição de valores genotípicos e ordenamento das progênies, através de gráficos.

A análise dos dados foi realizada pelo método de máxima verossimilhança restrita e melhor predição linear não viesada (REML/BLUP), utilizando o modelo escrito através da equação seguinte:

$$y = X_m + Z_g + U_t + W_b + T_p + e,$$

em que: y , m , g , t , b , p , e = vetores de dados, efeitos de medições (fixos), efeitos genotípicos das progênies (assumidos como aleatório), efeito da interação progênies x medições (assumidos como aleatório), de efeitos de blocos (combinação bloco e repetição assumidos como aleatórios), de efeitos de parcelas (assumidos como aleatórios) e de erros aleatórios, respectivamente. E , X , Z , U , W , T = matrizes de incidência para m , g , t , b e p , respectivamente.

As análises estatísticas foram realizadas por meio do software R versão 3.2.3 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015), utilizando as funções `lmer` e `ranef` da biblioteca `lme4` para a estimação e predição do modelo misto (REML/BLUP) (BATES et al., 2015). A significância dos efeitos aleatórios foi verificada pelo teste da razão de verossimilhança (LRT), obtido pela função `rand` (), da biblioteca `lmerTest` (KUZNETSOVA et al., 2016). Foram estimados intervalos de confiança (95%) para os componentes da variância pela técnica de amostragem Bootstrap. E foi utilizada a função `dotplot` () da biblioteca `Lattice` para a criação do gráfico dos efeitos genotípicos (SARKAR, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das estimativas dos componentes da variância de altura de plantas, vigor vegetativo, número de pares de ramos plagiotrópicos e produtividades das progênies do cafeeiro Big Coffee VL, estão apresentados na Tabela 1, e suas significâncias pelo teste da razão de verossimilhança (LTR). Além disso, foi estimado o intervalo de confiança (95%) para os componentes, pois é possível verificar que, quando o limite inferior é maior que zero, existe diferença significativa para a fonte de variação considerada, corroborando com o teste LTR.

Tabela 1. Componentes da Variância de caracteres agrônômicos de progênies do cafeeiro Big Coffee VL.

Altura de plantas				
Componentes	Variância	Limite Inferior	Limite Superior	Desvio Padrão
Progênies	0,0423*	0,0329	0,0508	0,2057
Progênies:ano	0,0183*	0,0112	0,0289	0,1351
Bloco:repetição	0,0813*	0,0716	0,0917	0,2852
Progênies:bloco:repetição	0,1026*	0,0969	0,1082	0,3203
Resíduo	0,1104	0,1070	0,1143	0,3323
Vigor vegetativo				
Componentes	Variância	Limite Inferior	Limite Superior	Desvio Padrão
Progênies	0,1022*	0,0658	0,2045	0,3197
Progênies:ano	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Bloco:repetição	0,4654*	0,4110	0,5235	0,6822
Progênies:bloco:repetição	0,3197*	0,2668	0,3759	0,5654
Resíduo	0,7669	0,7447	0,7918	0,8757
Número de pares de ramos plagiotrópicos				
Componentes	Variância	Limite Inferior	Limite Superior	Desvio Padrão
Progênies	1,2361*	0,9961	1,4968	1,1118
Progênies:ano	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Bloco:repetição	1,7619*	1,5394	1,9913	1,3274
Progênies:bloco:repetição	2,0187*	1,8521	2,1839	1,4208
Resíduo	3,0584	2,9699	3,1677	1,7488
Produtividade				
Componentes	Variância	Limite Inferior	Limite Superior	Desvio Padrão
Progênies	0,2382*	0,1912	0,2980	0,4881
Progenie:ano	0,1414*	0,0942	0,2049	0,3760
Bloco:repetição	0,5059*	0,4429	0,5591	0,7112
Progênies:bloco:repetição	0,3076*	0,2473	0,3773	0,5546
Resíduo	0,8297	0,8019	0,8550	0,9109

*Efeito aleatório significativo ($p < 0,05$) para os componentes da variância do modelo, pelo teste da razão de verossimilhança (Qui-quadrado).

As estimativas das variâncias para o efeito de progênies dos caracteres avaliados foram 0,0423 (altura), 0,1022 (vigor vegetativo), 1,2361 (número de pares de ramos plagiotrópicos) e 0,2382 (produtividade), todas significativas pelo de LTR. Contudo, é importante ressaltar que para os intervalos de confiança estimados os limites inferiores foram maiores que zero, demonstrando que existem diferenças entre as progênies em relação a todos os caracteres avaliados. Evidenciando assim, desempenho agrônômico diferenciado entre as progênies, quanto a estes caracteres.

Os parâmetros genéticos (Tabela 2) estimados para as características em estudo foram a herdabilidade (h^2), coeficiente de variação genotípica (CVg), coeficiente de variação experimental (CVe), a relação CVg/CVe e acurácia seletiva (AS), além das médias. A estimação dos parâmetros genéticos tem grande importância para os programas de melhoramento, pois estes auxiliam na tomada de decisões relacionadas à escolha da estratégia mais apropriada, a qual envolve a seleção dos caracteres a serem avaliados nas etapas iniciais e avançadas do programa de melhoramento, além do peso atribuído a cada caráter, separadamente ou em conjunto (FARIA et al., 2007). Segundo Pereira et al. (2013) As estimativas desses parâmetros são essenciais para orientar uma seleção correta de indivíduos agronomicamente superiores.

Tabela 2. Parâmetros genéticos de caracteres agrônômicos de progênies do cafeeiro Big Coffee VL.

Parâmetros	Características			
	Altura (m)	Vigor vegetativo	Número de pares de ramos plagiotrópicos	Produtividade (kg/planta)
h^2	0,90	0,75	0,90	0,87
CVg(%)	14,50	8,67	5,31	35,66
CVe(%)	23,43	23,74	8,36	66,55
CVg/CVe	0,62	0,37	0,64	0,54
AS	0,95	0,87	0,95	0,93
Média	1,42	3,69	20,92	1,37

h^2 = Herdabilidade média de progênies; CVg= Coeficiente de variação genotípica; CVe= Coeficiente de variação residual; AS= Acurácia seletiva.

Os coeficientes de herdabilidade encontrados foram 0,90 para altura de plantas, 0,75 para o vigor vegetativo 0,90 para número de pares ramos plagiotrópicos e 0,87 para a produtividade. De acordo com Stansfield (1974), valores de herdabilidade maiores que 0,5 são considerados altos, valores entre 0,2 e 0,5 médios e menores que 0,2 baixos. Assim, os valores de herdabilidade desse estudo podem ser considerados altos para todas as características.

Rodrigues et al. (2013) e Pereira et al. (2013) também estimaram a herdabilidade para cafeeiros (*C. arabica*) e constataram que grande parte da variação encontrada foi de natureza genética.

A herdabilidade tem papel preditivo no estudo genético de caracteres, a qual expressa a confiabilidade com que o valor fenotípico representa o valor genético. Seu valor pode ser aumentado pela introdução de maior variação genética na população, além da melhoria das condições experimentais, o que possibilita reduzir a contribuição da variação ambiental para a variação fenotípica total (SILVA et al., 2013; CARIAS et al., 2016).

Os coeficientes de variação genotípica (CVg) e experimental (CVe) apresentaram os respectivos valores em porcentagem: 14,50 e 23,43 para altura das plantas; 8,67 e 23,74 para vigor das plantas; 5,31 e 8,36 para número de pares de ramos plagiotrópicos e; 35,66 e 66,55 para produtividade. Os coeficientes de variação relativa (CVg/CVe) apresentaram os valores 0,62 para altura, 0,37 para o vigor vegetativo, 0,64 para número de pares de ramos plagiotrópicos e 0,54 para produtividade. Carias et al. (2016) estudando progênies de *C. canephora* encontraram valores do coeficiente de variação relativo (CVg/CVe) com magnitudes maiores que 0,5 e, destacaram a possibilidade de sucesso com a seleção entre as progênies, uma vez que esse parâmetro indicou que a variação genética foi maior do que a variação ambiental. Neste estudo os valores dessa relação foram acima de 0,5 exceto para o vigor vegetativo das plantas.

Os valores de acurácia seletiva deste trabalho foram 0,95 para altura de plantas, 0,87 para vigor vegetativo, 0,95 para número de pares de ramos plagiotrópicos e 0,93 para produtividade. Conforme Sturion e Resende (2005) quanto maior a acurácia seletiva, maior é a confiança na avaliação e no valor genético predito. Esse parâmetro está associado à precisão na seleção e refere-se à correlação entre valores genéticos preditos e valores genéticos verdadeiros dos indivíduos. A acurácia seletiva depende da herdabilidade do caráter, refletindo a quantidade e a qualidade das informações e procedimentos utilizados na predição dos valores genéticos (PEREIRA et al, 2013). Nesse contexto, Resende e Duarte (2007) estudaram a utilização da acurácia seletiva para avaliação da qualidade experimental e sugerem valores muito alto acima de 0,90.

Nas Figuras de 1 a 4 estão apresentados os ordenamentos das 100 progênies do cafeeiro Big Coffee VL com base nos valores genotípicos preditos e seus intervalos de confiança para cada caráter. Não foi utilizado um índice de seleção combinando os caracteres, pois este estudo faz parte da etapa inicial do programa de melhoramento de cafeeiros de frutos graúdos na UFLA e, foi analisado o desempenho agrônômico das progênies para cada caráter

individualmente. Segundo Farias Neto et al. (2009) o BLUP é o procedimento que maximiza a acurácia seletiva, o qual é superior ou, pelo menos, igual a qualquer outro método de seleção.

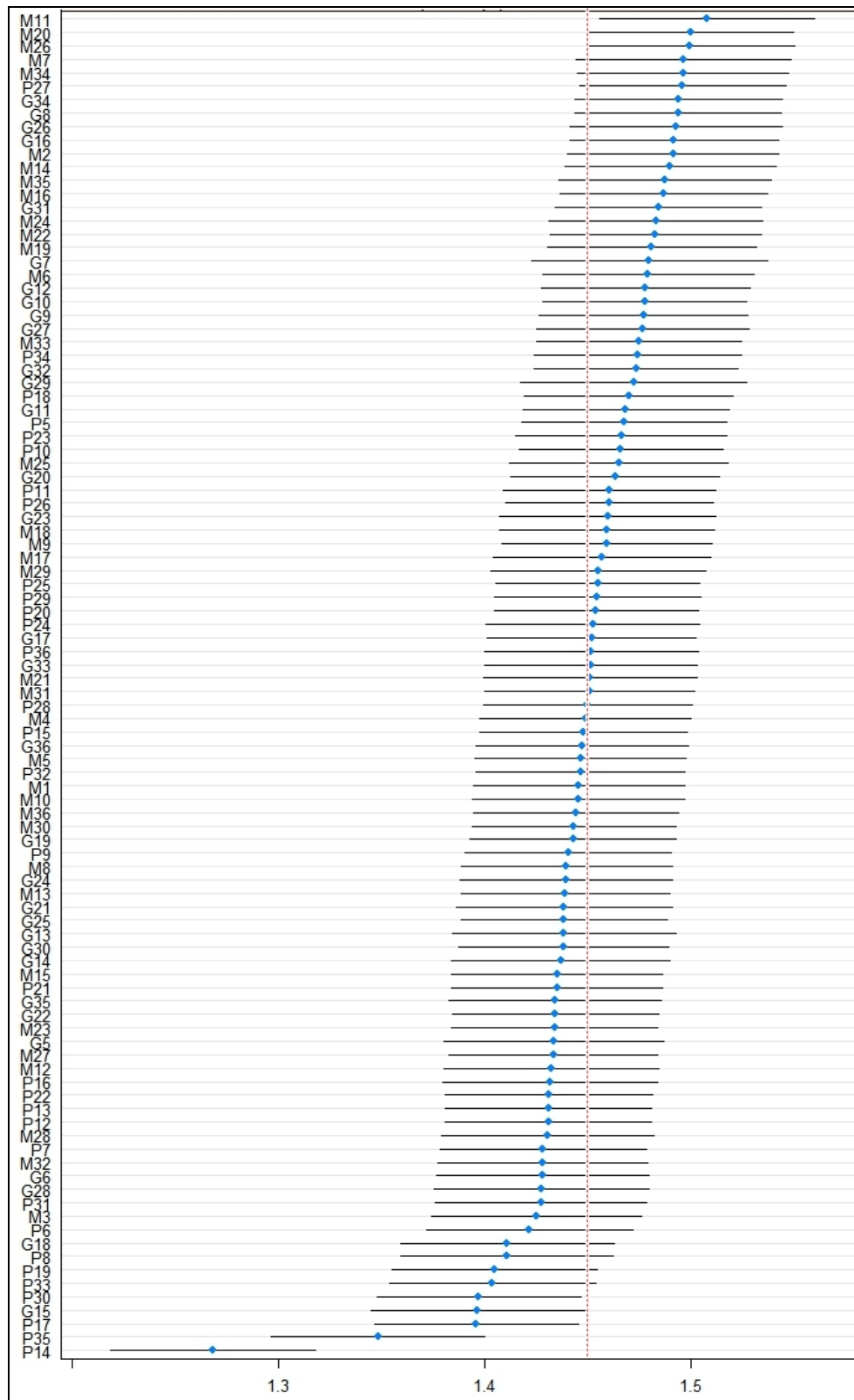


Figura 1. Ordenamento de 100 progênies do cafeeiro Big Coffee VL com base nos valores genotípicos preditos e seus intervalos de confiança para altura das plantas (m).

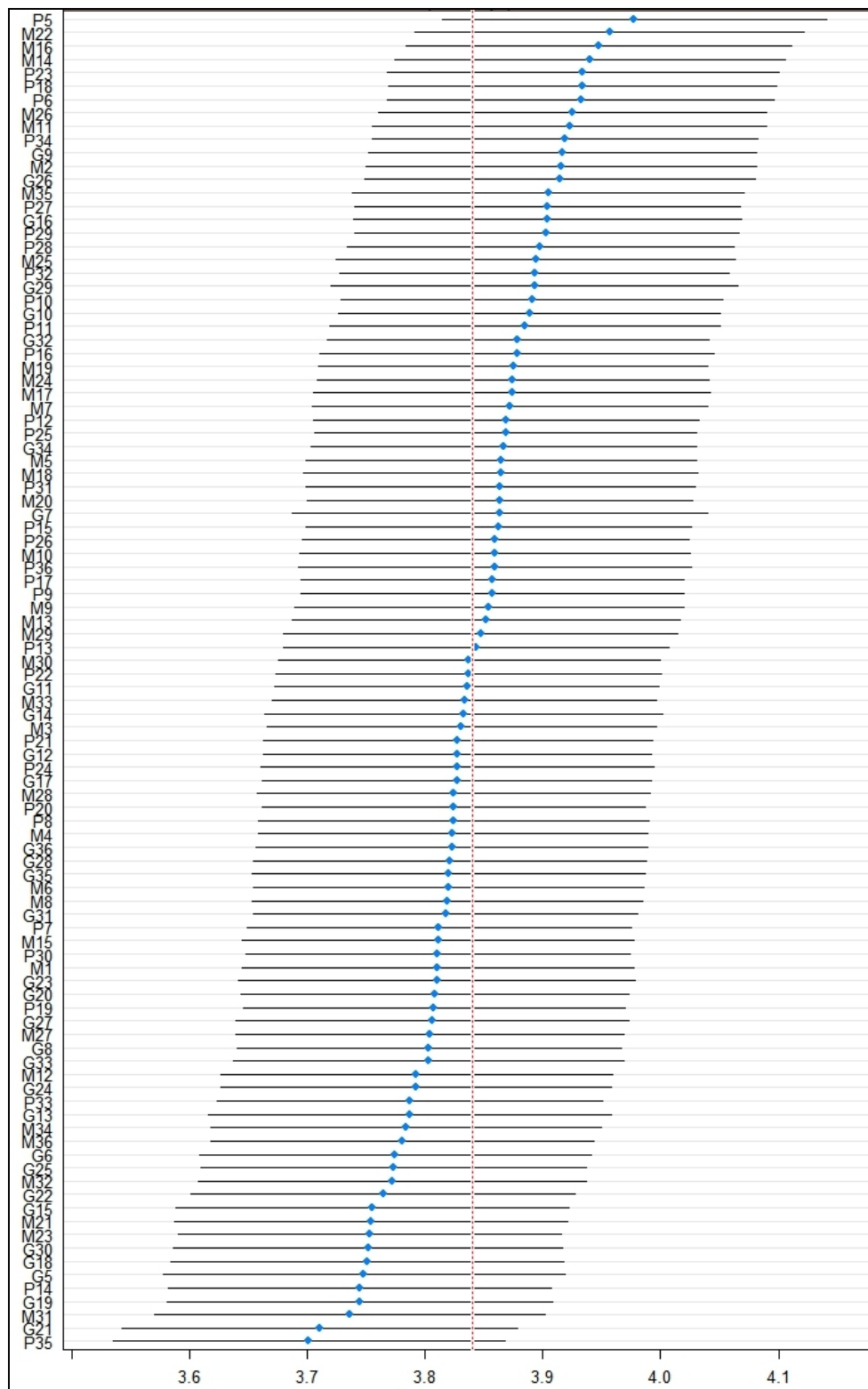


Figura 2. Ordenamento de 100 progênies do cafeeiro Big Coffee VL com base nos valores genotípicos preditos e seus intervalos de confiança para vigor vegetativo das plantas.

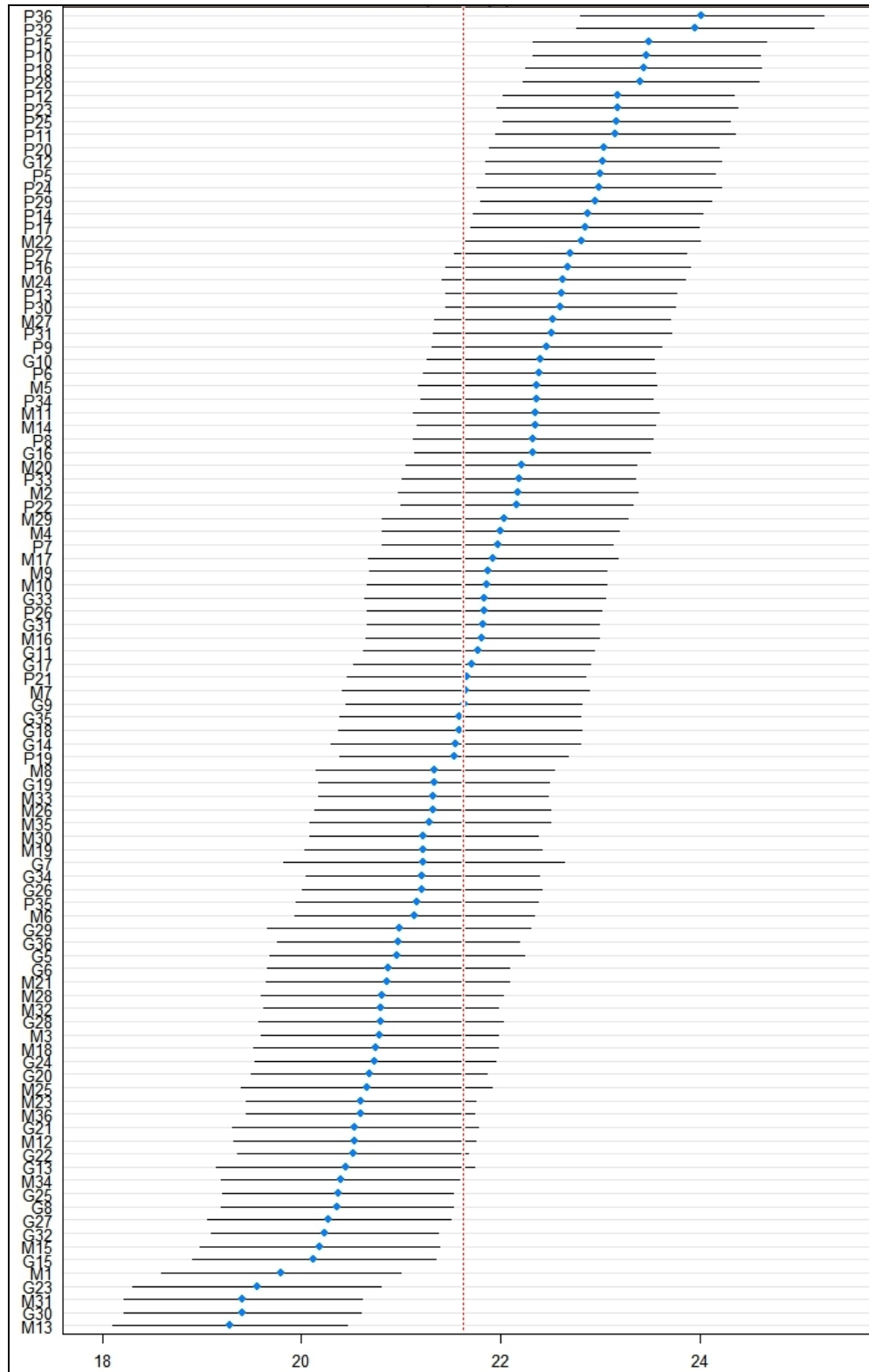


Figura 3. Ordenamento de 100 progênies do cafeeiro Big Coffee VL com base nos valores genotípicos preditos e seus intervalos de confiança para o número de pares de ramos plagiotrópicos.

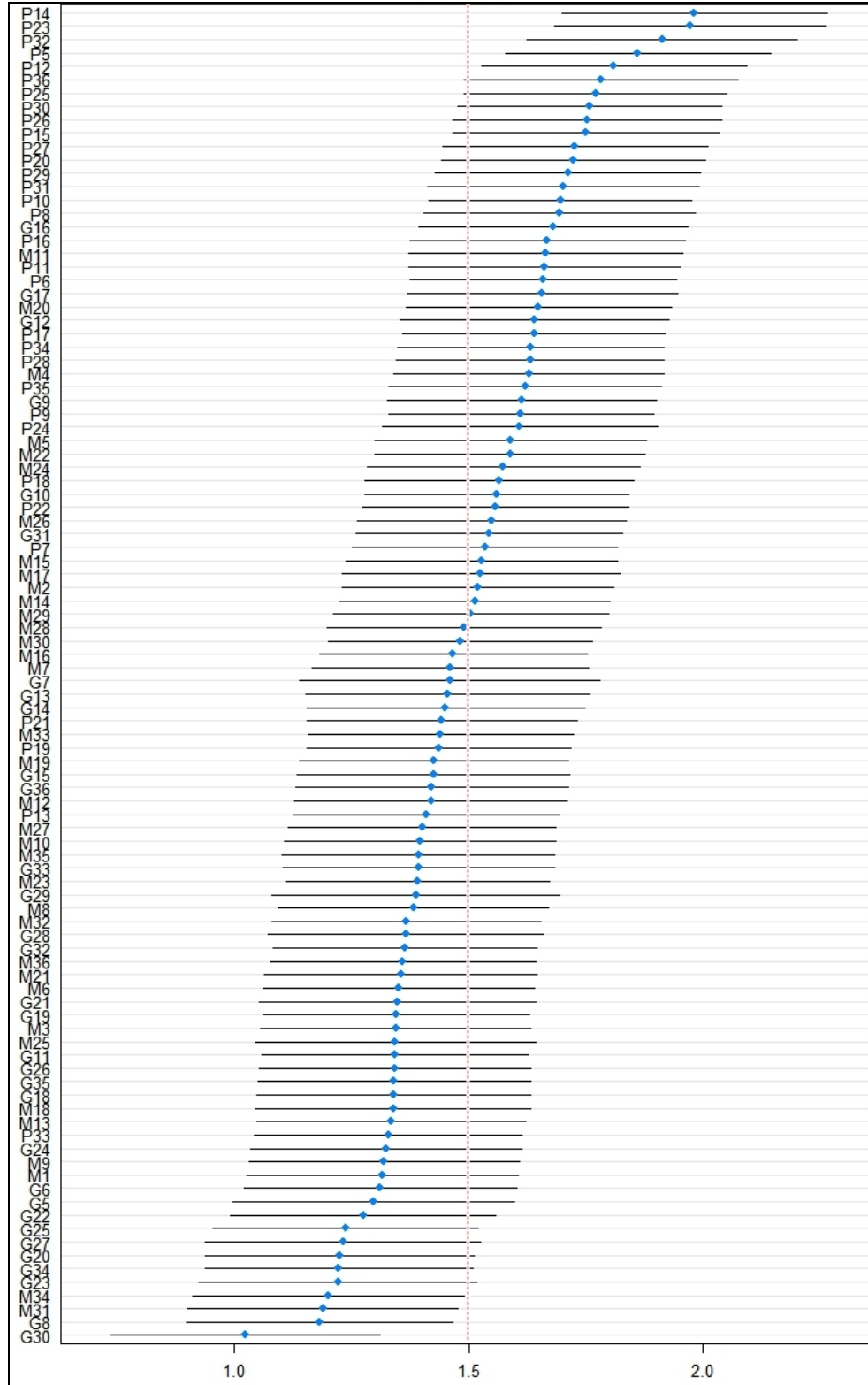


Figura 4. Ordenamento de 100 progênies do cafeeiro Big Coffee VL com base nos valores genotípicos preditos e seus intervalos de confiança para produtividade (kg/planta).

Com base na altura de plantas as progênies que ocuparam as primeiras posições no ordenamento (Figura 1) foram M11, M20, M26, M7, M34, P27 e G34, sendo a progênie P14 com menor altura e diferente das demais, com exceção a P35, pois não há sobreposição de seu intervalo de confiança com as outras. Severino et al. (2002) avaliando linhagens de ‘Catimor’ (*C. arabica*), nas primeiras colheitas, encontraram correlação genotípica negativa de baixa magnitude entre produtividade e altura de planta. Martinez et al. (2007) estudaram a correlação entre o crescimento vegetativo e a produtividade em cultivares de *C. arabica* e encontraram alta correlação fenotípica entre altura de planta e produtividade na primeira colheita. Assim é importante destacar que o caráter altura, pode ser um bom candidato à seleção indireta, principalmente para a seleção precoce.

Em relação ao vigor vegetativo as progênies P5, M22, M16, M14, P23, P18 e P6 ocuparam as primeiras posições no ordenamento (Figura 2). Carvalho et al., (2016) também avaliaram o vigor vegetativo em progênies de *C. arabica* e apesar de não encontrarem diferenças significativas eles apontam que esta característica aliada à produtividade e resistência à ferrugem, é de grande interesse no melhoramento genético do cafeeiro visando atender à demanda dos cafeicultores.

As progênies P36, P32, P15, P10, P18, P28 e P12 foram as que apresentaram maiores números de pares de ramos plagiotrópicos no ordenamento (Figura 3). Neste contexto, Carvalho et al. (2010) ao estudar a correlação entre caracteres de crescimento e produtividade encontraram, entre outras, maior correlação fenotípica entre produtividade e número de ramos plagiotrópicos, apesar do efeito ambiental envolvido.

Segundo Teixeira et al. (2012) a seleção indireta, com uso de caracteres correlacionados à produtividade, é uma estratégia que vem sendo utilizada em programas de melhoramento, pois permite maximizar os ganhos com a seleção. Assim o número de ramos produtivos é um dos principais caracteres a serem observados na seleção indireta para produtividade. Conforme os resultados deste estudo vale ressaltar que progênies como a P36 e P32 ocuparam posições de destaque no ordenamento para número de pares ramos plágotrópicos e produtividade.

Analisando o ordenamento em relação à produtividade (Figura 4) pode-se observar que as progênies P14, P23, P32, P5, P12, P36, e P25 ocuparam as primeiras posições. Dentre as progênies classificadas como “G” e “M” as melhores no ranqueamento foram G16 e M11, respectivamente. Vale ressaltar que a progênie P14 apresentou a menor altura e foi a primeira colocada no ordenamento de produtividade. Vários autores ressaltam que a produtividade é um dos principais critérios de seleção no melhoramento do cafeeiro (CILAS et al., 2011;

ANDRADE et al., 2016; LIMA et al., 2016). Assim é possível selecionar progênies do Big Coffee VL, com base na produtividade e demais caracteres deste estudo, e indicar as promissoras para o programa de melhoramento.

CONCLUSÕES

As progênies do Big Coffee VL tiveram desempenho agrônomico diferenciado em relação aos caracteres avaliados e com base nos ordenamentos é possível identificar aquelas promissoras, como P14, P32, P36, M11 e G16, na condução do programa de melhoramento para aumento do tamanho do grão, aliado à produtividade.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, V. T.; GONÇALVES, F. M. A.; NUNES, J. A. R.; BOTELHO, C. E. Statistical modeling implications for coffee progenies Selection. **Euphytica**, n.207, p.177–189, 2016.

BATES, D.; MÄCHLER, M.; BOLKER, B. M.; WALKER, S. C. Fitting linear mixed-effects models using lme4. **Journal of Statistical Software**, Linz, v. 67, n. 1, 2015.

BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. Stemma Press, Woodbury, 2010

CARIAS, C. M. O. M.; GRAVINA, G. A.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, R. G.; VIVAS, M.; VIANA, A.P. Predição de ganhos genéticos via modelos mistos em progênies de café Conilon. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 39 - 45, 2016.

CARVALHO, A. M.; MENDES, A. N. G.; BOTELHO, C. E.; OLIVEIRA, A. C. B.; REZENDE, J.C.; REZENDE, R.M. Desempenho agrônomico de cultivares de café resistentes à ferrugem no Estado de Minas Gerais, Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p.481-487, 2012.

CARVALHO, A. M.; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, G. R.; BOTELHO, C. E.; GONÇALVES, F. M. A.; FERREIRA, A. D. Correlação entre crescimento e produtividade de cultivares de café em diferentes regiões de Minas Gerais, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v.45, n.2, p.269-275, mar. 2010.

CARVALHO, A. M.; MENDES, A. N. G.; REZENDE, F. V.; BOTELHO, C. E.; CARVALHO, G. R.; FERREIRA, A. D. Seleção de progênies de cafeeiros do grupo catucaí. **Coffee Science**, v. 11, n. 2, p. 244 - 254, 2016.

CILAS, C.; MONTAGNON, C.; BAR-HEN, A. Yield stability in clones of *Coffea canephora* in the short and medium term: longitudinal data analyses and measures of stability over time. **Tree Genetics and Genome**, v.7, p.421-429, 2011.

FARIA, A. P.; FONSECA JÚNIOR, N. S.; DESTRO, D.; FARIA, R. T. Ganho Genético na Cultura da Soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 28, n. 1, p. 71-78, 2007.

FARIAS NETO, J. T.; LINS, P. M. P.; RESENDE, M. D. V.; MULLER, A. A. Seleção genética em progênies híbridas de coqueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.31, n.1, p.190-196, 2009.

FERREIRA, A.; CECON, P. R.; CRUZ, C. D.; FERRÃO, R. G.; SILVA, M. F.; FONSECA, A.F.A.; FERRÃO, M.A.G. Seleção simultânea de *Coffea canephora* por meio da combinação de análise de fatores e índices de seleção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.1189-1195, 2005.

FERREIRA, A. D.; CARVALHO, G. R.; REZENDE, J. C.; BOTELHO, C. E.; REZENDE, R. M.; CARVALHO, A. M. Desempenho agrônomico de seleções de café Bourbon Vermelho e Bourbon Amarelo de diferentes origens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.4, p.388-394, 2013.

GUEDES, J. M.; VILELA, D. J. M.; REZENDE, J. C.; SILVA, F. L.; BOTELHO, C. E.; CARVALHO, S.P. Divergência genética entre cafeeiros do germoplasma Maragogipe. **Bragantia**, v. 72, n. 2, p.127-132, 2013.

ICO - INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. Produção total de 2015. Disponível em: <http://www.ico.org/trade_statistics.asp>. Acesso em: 30 de junho de 2016.

KUZNETSOVA, A., BROCKHOFF, P. B.; CHRISTENSEN, R. H. B. **lmerTest: Tests in Linear Mixed Effects Models**. R package version 2.0-33, 2016. Disponível: <https://cran.r-project.org/web/packages/lmerTest/lmerTest.pdf>, Acesso em 18/11/2016.

LIMA, A. E.; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, G. R.; BOTELHO, C. E.; CASTRO, E. M.; CARDOSO, D. A. Desempenho agrônomico de populações de cafeeiros do grupo 'Bourbon'. **Coffee Science**, v. 11, n. 1, p. 22 - 32, 2016.

MARTINEZ, H. E. P.; AUGUSTO, H. S.; CRUZ, C.D.; PEDROSA, A. W.; SAMPAIO, N. F. Crescimento vegetativo de cultivares de café (*Coffea arabica* L.) e sua correlação com a produção em espaçamentos adensados. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.29, p.481-489, 2007.

MÔNACO, L. C. Melhoramento do cafeeiro. XVII- Seleção do Maragogipe A.D. **Bragantia**, v.19, n.29, p.460-492, 1960.

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 progenies. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.2, p.106-113, 2011.

PEREIRA, T. B.; CARVALHO, J. P. F.; BOTELHO, C. E.; RESENDE, M. D. V.; REZENDE, J. C.; MENDES, A. N. G. Eficiência da seleção de progênies de café F4 pela metodologia de modelos mistos (REML/BLUP). **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 3, p.230-236, 2013.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2015. Disponível em: www.r-project.org. Acesso em: 12 dez. 2015.

RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. p.975.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, p. 182-194, 2007.

RESENDE, M. D. V, FURLANI-JÚNIOR, E.; MORAES, M. L. T.; FAZUOLI, L. C. Estimativas de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos no melhoramento do cafeeiro pelo procedimento REML/BLUP. **Bragantia**, v.60 n.3, p.185-193, 2001.

RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 435p.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade de Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.

RODRIGUES, W. P.; VIEIRA, H. D.; BARBOSA, D. H. S. G.; SOUZA FILHO, G. R.; CANDIDO, L. S. Adaptability and genotypic stability of *Coffea arabica* genotypes based on REML/BLUP analysis in Rio de Janeiro State, Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v.12 n.3 p. 2391-2399, 2013.

RODRIGUES, W. P.; VIEIRA, H. D.; BARBOSA, D. H. S. G.; SOUSA FILHO, G. R.; PARTELLI, F. L. Agronomic performance of arabica coffee genotypes in northwest Rio de Janeiro State. **Genetics and Molecular Research**, v.13, n.3 p.5664-5673, 2014.

SARKAR, D. **Lattice: multivariate data visualization with R**. New York: Springer-Verlag, 2008. 280 p.

SEVERINO, L. S.; SAKIYAMA, N. S.; PEREIRA, A. A.; MIRANDA, G. V.; ZAMBOLIM, L.; BARROS, U. V. Associações da produtividade com outras características agronômicas de café (*Coffea arabica* L. Catimor). **Acta Scientiarum Agronomy**, v.24, p.1467-1471, 2002.

SILVA, T. R. C.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; GONÇALVES, L. S. A.; CANDIDO, L. S.; VITTORAZZI, C.; SCAPIM, C. A. Agronomic performance of popcorn genotypes in Northern and Northwestern Rio de Janeiro State. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 35, n. 1, p. 57-63, 2013.

STANSFIELD, W. D. **Genética**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1974. 958p.

STURION, J. A.; RESENDE, M. D. V. Seleção de progênies de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) para produtividade, estabilidade e adaptabilidade temporal de massa foliar. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n.50, p.37-51, 2005.

TEIXEIRA, A. L.; GONÇALVES, F. M. A.; REZENDE, J. C.; CARVALHO, S. P.; PEREIRA, A. A.; MORAES, B. F. X.; TEIXEIRA, L. G. V. Seleção precoce para produção

de grãos em café arábica pela avaliação de caracteres morfológicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.8, p.1110-1117, 2012.

TEIXEIRA, A. L.; SOUZA, A. F.; PEREIRA, A. A.; OLIVEIRA, A. C. B.; ROCHA, R. B. Selection of arabica coffee progenies tolerant to heat stress. **Ciência Rural**, v.45, n.7, p.1228-1234, 2015.

VOSSSEN, H. V. D.; BERTRAND, B.; CHARRIER, A. Next generation variety development for sustainable production of arabica coffee (*Coffea arabica* L.): a review. **Euphytica**, v. 204, p.243–256, 2015.