

GUSTAVO SESSA FIALHO

ANÁLISES BIOMÉTRICAS EM GRÃOS DE CAFÉ CONILON

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2011

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

F438a
2011

Fialho, Gustavo Sessa, 1984-
Análises biométricas em grãos de café conilon / Gustavo
Sessa Fialho. – Viçosa, MG, 2011.
xi, 75f. : il. ; 29cm.

Orientador: Ney Sussumu Sakiyama.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. *Coffea canephora* - Melhoramento genético.
 2. Biometria. 3. *Coffea canephora* - Tecnologia pós-colheita.
 4. Bioestatística. I. Universidade Federal de Viçosa.
- II. Título.

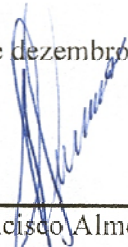
CDD 22. ed. 633.732

GUSTAVO SESSA FIALHO

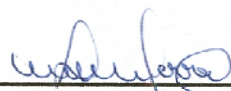
ANÁLISES BIOMÉTRICAS EM GRÃOS DE CAFÉ CONILON

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 23 de dezembro de 2011.



Pesq. Aymbiré Francisco Almeida da Fonseca



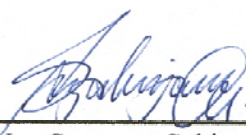
Pesq. Maria Amélia Gava Ferrão



Prof. Luiz Antonio dos Santos Dias
(Coorientador)



Pesq. Romário Gava Ferrão
(Coorientador)



Prof. Ney Sussumu Sakiyama
(Orientador)

*“No universo todas as coisas se conectam.
Portanto, estude a ciência da arte e a arte da
ciência, desenvolva seus sentidos, mas especialmente
aprenda a observar”*

-Leonardo da Vinci-

Ao meu pai *João Antônio Delfino Fialho* (*in memoriam*), que sonhava em me ver doutor,

OFEREÇO.

A minha mãe *Valeska*, ao meu segundo pai *Cláudio*, aos meus irmãos *Anne Gabriela* e *Alexandre (Dudu)*, e ao meu sobrinho *Benjamim*; por terem me ajudado a concretizar o sonho do pai João,

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, motivo maior de nossa existência.

Ao Professor NEY SUSSUMU SAKIYAMA, pela orientação e inestimáveis ensinamentos, indispensáveis ao prosseguimento de minha vida profissional.

Ao D.Sc. Aymbiré Francisco Almeida da Fonseca pela amizade, acompanhamento de minha vida acadêmica, oportunidade e vivência com a pesquisa científica, apoio incondicional desde a admissão até a conclusão deste doutoramento, e pela importante contribuição científica na realização deste trabalho.

À D.Sc. Maria Amélia Gava Ferrão pela amizade e ensinamentos de vida e ciência, pelo exemplo de dedicação à cafeicultura e pelas valiosas considerações nesta tese.

Aos meus coorientadores, Professor Luiz Antonio dos Santos Dias, e D.Sc. Romário Gava Ferrão, pela atenção, amizade e preciosas sugestões, que muito contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos professores do curso de Doutorado em Fitotecnia, em particular a Denise Cunha dos Santos Dias e Hermímia Pietro Martinez, pelo apoio irrestrito e amigo.

Ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper); pela oportunidade da realização desta tese junto ao seu Programa de Melhoramento Genético de Café Conilon que disponibilizou os dados objetos este estudo.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de realização do curso de doutorado e ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café (CBP&D/Café), por ter sido bolsista vinculado a Embrapa Café/Incaper sob a orientação do D.Sc. Aymbiré Francisco Almeida da Fonseca antes de iniciar o doutorado na UFV.

Ao Professor Augusto César Soares Leite, pela presença constante, amizade, apoio incondicional e iniciação à docência na graduação.

Ao Professor Edivaldo Fialho dos Reis, pela amizade, apoio e iniciação científica, também na graduação.

À Professora Magaly de Almeida Franco, pelos ensinamentos transmitidos no ensino fundamental, gestão pedagógica durante minha iniciação à agricultura na escola agrotécnica Eugênio de Souza Paixão e acompanhamento da minha vida acadêmica.

Às minhas avós presentes Hilma e Rita e as que infelizmente já partiram: Tilita, Sônia e Noemi, pelo amor e constantes orações; também a todos os meus tios e primos, pelo carinho e apoio.

Ao Doutor Francisco Jorge Neto, por toda paciência e atenção dedicada a mim, por cada ligação, conselho e preocupação, pelo apoio irrestrito, amigo e companheiro e por todos os momentos que compartilhamos juntos.

Aos irmãos Fábio Jorge (Neguim), Flávio Jorge (Patrão), Gustavo Azevedo (Buda), Fábio Jaccoud (Cabelinho) e José Guilherme Olmo (Collins), por todo apoio e estímulo, por cada conselho e abraço amigo, pelos momentos de união e por fazerem parte da minha história.

Aos amigos, Leandro Pin Dalvi, Nathale Dalvi, Júlio César DoVale, Flávia Santos, Fabrício Sobreira, Milton Pereira, Maristela Dias, Danilo Paulúcio e Yhasmim Paiva, pelos anos de convivência repletos de alegria, descontração, apoio, força, troca de experiências e estímulo ao trabalho científico. “Amigos de hoje e sempre”.

Ao amigo Roberto Fritsche-Neto, pela presença constante neste último ano de doutorado e pelas valiosas contribuições científicas, também à sua esposa Liana Fritsche pela força, apoio e amizade.

Aos Colegas de república Fabiano Caliman, Willian Silva, Fábio Moreira, Cleiton Siquiera, Mariano Silva, Marco Dell’orto, Steferson Bezerra, André Mattedi, João Paulo, Pedro César e Filipe Soares; pelos momentos de descontração, amizade e convivência.

A todas as pessoas que me acolheram, ajudaram e que, por serem amigas, muito contribuíram para o meu engrandecimento pessoal e profissional e hoje fazem parte da minha vida.

BIOGRAFIA

GUSTAVO SESSA FIALHO, filho de João Antônio Delfino Fialho e Valeska de Melo Sessa Carvalho, nasceu em 29 de Agosto de 1984, em Alegre, Espírito Santo.

Cursou as séries iniciais do ensino básico na extinta Escola Agrotécnica Eugênio de Souza Paixão, em Guaçuí – ES, onde teve o primeiro contato com a agricultura. Em 1999 iniciou o ensino médio e técnico em agropecuária, na Escola Agrotécnica Federal de Alegre, hoje Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – (IFES), concluindo-o em 2001.

Iniciou o curso de Agronomia no primeiro semestre de 2002, concluindo-o em julho de 2006 pelo Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES), localizado em Alegre – ES. Durante a graduação, foi bolsista de iniciação a docência na disciplina de Biologia Celular e Molecular por oito períodos consecutivos. Também participou do programa de iniciação científica da referida universidade, onde atuou na linha de Pesquisa Recursos hídricos e manejo da lavoura cafeeira.

De Agosto de 2006 a fevereiro de 2007, foi bolsista do Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café (CBP&D/Café) vinculado a Embrapa Café/ Incaper, onde atuou junto ao programa de melhoramento genético do cafeeiro arábica e conilon.

Em março de 2007 ingressou no mestrado pelo programa de Pós- Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, na linha de Pesquisa Melhoramento de plantas, recursos genéticos e biotecnologia, sob a orientação do professor D.Sc. Ney Sussumu Sakiyama. Conforme normas vigentes do programa supracitado, em março de 2008, foi aprovado para mudança de nível do mestrado para o doutorado direto, sem defesa de dissertação. Qualificou-se no dia 07 de dezembro de 2010 e submeteu-se a defesa da tese de doutorado no dia 23 de dezembro de 2011.

Em dezembro de 2011, foi aprovado em concurso público para o cargo de professor do ensino básico, técnico e tecnológico no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Roraima - IFRR, onde iniciará as atividades de docência a partir de 11 de janeiro de 2012.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT.....	x
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	4
2 ARTIGO A.....	7
BIOMETRIA APLICADA AO MELHORAMENTO GENÉTICO DO CAFEEIRO: UMA REVISÃO.....	7
3 ARTIGO B.....	34
COMPARAÇÃO ENTRE A PRODUÇÃO DE GRÃOS OBSERVADA E ESTIMADA POR UM ÍNDICE DE RENDIMENTO EM CAFEEIROS CONILON.....	34
4 ARTIGO C.....	56
REPETIBILIDADE DAS CARACTERÍSTICAS DO GRÃO DE CAFEEIROS CONILON VISANDO A SELEÇÃO PRECOCE.....	56
5 CONCLUSÕES GERAIS.....	76

RESUMO

FIALHO, Gustavo Sessa, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2011. **Análises biométricas em grãos de café conilon.** Orientador: Ney Sussumu Sakiyama; Coorientadores: Luiz Antonio dos Santos Dias e Romário Gava Ferrão.

Visando não apenas o aumento da produtividade, mas também a melhoria da qualidade da bebida, as características do grão do cafeeiro têm sido alvo dos atuais programas de melhoramento tanto de café arábica, quanto de conilon. Não obstante, a identificação e seleção de genótipos superiores está relacionada à utilização de metodologias biométricas adequadas que permitam ao melhorista maior confiabilidade no estudo dos caracteres sob melhoramento. Assim, esta tese é composta pelos artigos científicos A, B e C cujos objetivos foram respectivamente: fazer uma revisão de literatura sobre a utilização da biometria em café, elucidando suas aplicações e resultados nas etapas comuns aos programas de melhoramento de plantas; avaliar a precisão do uso de um índice de rendimento, relação entre frutos colhidos e grãos beneficiados igual a 4,0, na estimação da produção de grãos de cafeeiros conilon e, estimar por diferentes métodos os coeficientes de repetibilidade para características do grão de conilon avaliando a possibilidade de seleção precoce. Para tal, foram analisados dados de três ensaios experimentais totalizando o estudo de 157 genótipos da espécie *C. canephora* var. *conilon*, pertencentes ao programa de melhoramento genético de café conilon do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper); no Estado do Espírito Santo, Brasil. Nos ensaios I e II foram estudados 40 genótipos e no III, 117. Os ensaios foram instalados sem irrigação em Sooretama e Marilândia; locais representativos do plantio de conilon no Espírito Santo. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições e duas plantas por parcela nos ensaios I e II, e duas repetições com cinco plantas por parcela no ensaio III. No artigo - A, encontrou-se que diferentes biometrias têm sido aplicadas nos vários segmentos do melhoramento genético do cafeeiro e a opção por cada uma delas tem sido função das peculiaridades da cultura, preferências do melhorista, da disponibilidade de recursos e da eficácia dos métodos biométricos. Observou-se também, a interação entre biometria e biotecnologia nos estudos de diversidade genética. No artigo - B, avaliaram-se as seguintes características: relação entre frutos colhidos e grãos beneficiados (FcBe), produção de grãos observada por planta (PGO), e a estimada (PGE) com base em FcBe igual a 4,0. Executaram-se estatísticas descritivas,

testes para o estudo da adequação do estimador da PGE e a coincidência entre genótipos de conilon nos conjuntos referentes a 20% das observações superiores de PGO e PGE. Assim, na estimação da produção de grãos em conilon, o uso de FcBe igual a 4,0 mostrou elevada precisão na média dos ensaios analisados. Contudo, novos estudos devem ser conduzidos visando elucidar os efeitos das variáveis climáticas sobre o rendimento do cafeeiro conilon, especialmente em anos atípicos para a cultura. Assim, a utilização de um índice de rendimento torna-se interessante em casos onde o número de genótipos a ser avaliado é muito grande e, um *screening* dos promissores desejável. Finalmente, no artigo - C, os coeficientes de repetibilidade foram obtidos a partir da análise de variância, componentes principais baseados nas matrizes de correlações e covariâncias e na análise estrutural baseada na matriz de correlações. As estimativas foram feitas com base na média de quatro colheitas e para as seguintes características: percentual de grãos chatos, percentual de grãos moca e peneira média. Os métodos adotados proporcionaram estimativas de repetibilidade similares e de média a elevada magnitudes para todas as características analisadas. Assim, é possível avaliar e selecionar acuradamente cafeeiros conilon após duas colheitas sucessivas para a característica peneira média e três para o percentual de grãos chatos e moca.

ABSTRACT

FIALHO, Gustavo Sessa, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2011. **Biometric analysis in conilon coffee grains.** Adviser: Ney Sussumu Sakiyama; Co-advisers: Luiz Antonio dos Santos Dias and Romário Gava Ferrão.

Nowadays, in order not only to increase productivity but also to improve the cup quality, the characteristics of coffee grains have been the targets of current breeding programs of *Coffea canephora* coffee. Nevertheless, the identification and selection of superior genotypes is linked to the use of appropriate biometric methodologies to enable the breeder the study of characters under a certain level of improving reliability. Thus, this thesis is composed of papers A, B and C whose purposes were, respectively: literature surveys of the use of biometrics in coffee, elucidating its applications and results in steps common to plant breeding programs, to evaluate the precision of the use of an index of bean outturn, relationship between harvested fruits and processed grains equals to 4.0, in the estimation of the production of conilon coffee beans and, by different methods, to estimate the coefficients of repeatability for conilon coffee grain characteristics assessing the possibility of early selection. To do so, we analyzed data from three trials totaling the study of 157 genotypes of the species *C. canephora* var. *conilon*, belonging to the breeding program of the conilon coffee, from the Capixaba Institute of Research, Technical Assistance and Rural Extension (Incaper) in Espírito Santo state, Brazil. In trials I and II, we analyzed 40 genotypes and III, 117. The trials were installed under rainfed system in Sooretama and Marilândia; representative regions of conilon coffee plantation in Espírito Santo. The experimental design was of randomized blocks with four replications and two plants per plot in trials I and II, and two replicationss with five plants per plot in trial III. In article - A it was found that different biometrics have been implemented in several segments of the coffee breeding and the option for each of them has been a function of the peculiarities of the culture, preferences of the breeder, the availability of financial technician resources and the accuracy of biometric methodologies. There was also an interaction between biometrics and biotechnology in studies of genetic diversity. In article - B, we evaluated the following characteristics: relationship between harvested fruits and processed grains (FcBe), grain production observed per plant (PGO) and the estimated one (PGE) based on FcBe equals to 4.0. Descriptive statistics were performed, tests to study the suitability of the estimator of

PGE and the coincidence between genotypes selected by PGO and PGE. Therefore, in the estimation of grain production in conilon coffee, the use of FcBe equals to 4.0 showed high precision in the average of the analyzed trials. Further studies should be conducted to elucidate the effects of climatic variables on the bean outturn of conilon coffee, especially in atypical year for the crop. Thereby, the use of a bean outturn index is interesting in cases where the number of genotypes to be evaluated is very large, and a *screening* of the promising is desirable. Finally, in the article - B, the repeatability coefficients were obtained from the analysis of variance, principal components based on the covariance and correlation matrices and in the structural analysis based in the correlation matrix. The estimates were based on the average of four harvests and for the following characteristics: percentage of flat beans, percentage of mocha grains and average sieve. The adopted methods provided similar estimates of repeatability and intermediate to high magnitudes for all variables analyzed. Thereby, it is possible to evaluate and select accurately conilon coffee plants after two successive crops for average sieve and three for the percentage of flat beans and mocha.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O gênero *Coffea*, de origem africana, possui cerca de 104 espécies (Fazuoli, 1986; Davis et al., 2006; Ferrão et al., 2007; Fazuoli, 2009a). Dentre as quais, *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre ex Froehner são as únicas de importância econômica, contribuindo respectivamente, com 62,88% e 37,32% do total mundial produzido em 2010; 133,631 milhões de sacas de 60 kg beneficiadas (OIC, 2011).

Brasil é o maior produtor e exportador de café do mundo, em 2011 sua produção foi de 43,48 milhões de sacas de 60 kg beneficiadas, destas 32,18 foram de café arábica e 11,29 de café conilon (CONAB, 2011). Assim, a cafeicultura constitui-se como atividade fundamental para o desenvolvimento socioeconômico do país, garantindo a geração de postos de trabalho, tributos e contribuindo para a formação da receita cambial brasileira (Fassio e Silva, 2007).

O café conilon, espécie perene, caracteriza-se por suas notáveis propriedades na produção de cafés solúveis, sendo muito freqüentemente utilizado em *blends* com o café arábica na indústria de torrados e moídos, conferindo ao produto final expressiva capacidade de competição mercadológica, devido ao seu maior rendimento industrial e aos menores preços praticados em sua comercialização (Fonseca et al., 2007).

Fazuoli et al. (2009b), destacaram que o alto potencial produtivo, a rusticidade e adaptabilidade, a resistência a pragas, doenças e nematóides; as diferentes formas de consumo aliados ao custo de produção, a valorização comercial e aos impulsionados mercados asiático e europeu; são os fatores que têm estimulado o plantio de conilon e seu conseqüente melhoramento genético.

Sera et al. (2002), Fonseca (1999), Fonseca et al. (2004) e Ferrão et al. (2007a) relataram que, a eficiência dos programas de melhoramento do cafeeiro está embasada na habilidade de se lidar com as particularidades da espécie; quais sejam: período juvenil longo e por conseqüência tardia realização de cruzamentos e obtenção de sementes; custo alto das avaliações de campo demandando maiores áreas e tempo; necessidade de avaliação da precocidade e da longevidade produtiva; e necessidade da avaliação da bienalidade da produção, o que também envolve análises de medidas repetidas em vários caracteres no tempo e no espaço.

No conilon, planta alógama auto-incompatível diplóide ($2n = 2x = 22$), a exploração da heterosigose tem sido feita via seleção de plantas-matrizes, formação de população-base e seu melhoramento por seleção recorrente, desenvolvimento de

variedades clonais, variedades de polinização aberta e híbridos sintéticos (Leroy, 1997; Fonseca, 1999; Fonseca et al., 2002; Ferrão et al., 2007ab).

Até o presente foram lançadas pelo Instituto Capixaba de Pesquisa Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) seis cultivares de café conilon, que por sua vez, vêm cumprindo seu papel no tocante do aumento da produtividade (Bragança, 2001; Fonseca et al. 2008). O grande desafio futuro é a superação da produtividade e melhoria da qualidade das cultivares atuais, em face às particularidades da cultura, anteriormente citadas. Neste contexto, Ferrão (2004) e Ferrão et al. (2007a) afirmam que na busca desta superação, faz-se necessário direcionar esforços no sentido do estudo da biometria e biotecnologia associados ao melhoramento clássico. Além disso, são imprescindíveis metodologias biométricas adequadas, que permitam classificar, identificar e selecionar genótipos superiores (Borém e Miranda, 2009).

Visando continuar aumentando a produtividade e também a melhoria da qualidade da bebida; as características do grão do cafeeiro como o rendimento, a porcentagem de grãos chatos e moca, e a peneira média, têm sido prioridades atuais, no programas de melhoramento de café conilon.

O rendimento do café pode ser definido como a relação entre os frutos colhidos e seus respectivos grãos beneficiados (Mendes et al., 1955; Monaco, 1960). Este caráter exerce influência direta na economia da atividade cafeeira visto que os custos operacionais do plantio a colheita incidem diretamente sobre a produção dos frutos. Entretanto, a receita vem da venda dos grãos que correspondem a apenas uma porcentagem da composição total frutos (Medina Filho et al., 2008). O rendimento, recebem grande influencia dos efeitos genotípicos e ambientais e para os programas de melhoramento sua análise é dispendiosa e morosa.

As características dos grãos de café comumente avaliadas nos programas de melhoramento são: porcentagem de grãos chatos e moca, e peneira média.

Os genótipos de conilon apresentam grande variabilidade para grãos moca. Estes grãos são produzidos em frutos com apenas uma semente, devido ao aborto de uma das duas lojas do fruto na fase inicial de seu desenvolvimento. Se ambas as lojas se desenvolvem o resultado é a produção de duas sementes chatas. Assim, a semente moca, embora se desenvolva sozinha, não consegue compensar em tamanho a semente ausente. Desta foram o fruto que contém uma semente tipo moca apresenta rendimento inferior a aqueles de duas sementes chatas (Medina Filho et al., 2008).

A peneira média reflete o tamanho médio dos grãos e sua avaliação torna-se importante à medida que os mercados têm preferência e oferecem melhor remuneração por lotes de café com grãos maiores.

Os grãos de conilon apresentam dimensões menores que os de arábica, seu formato varia de arredondado ao canoa, são ainda amarronzados e pouco brilhantes, embora haja grande variabilidade genética para essas características (Ferrão et al., 2007a).

Assim, esta tese é composta por três artigos cujos objetivos foram, respectivamente: fazer uma revisão de literatura sobre a utilização da biometria em café, elucidando suas aplicações e resultados nas etapas comuns aos programas de melhoramento de plantas; avaliar a precisão do uso de um índice de rendimento, relação entre frutos colhidos e grãos beneficiados igual a 4,0, na estimação da produção de grãos de cafeeiros conilon e; estimar por diferentes métodos os coeficientes de repetibilidade para características do grão de conilon, porcentagem de grãos chatos, moca e peneira média; avaliando a possibilidade de seleção precoce.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOREM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 5. ed. Viçosa: UFV, 2009. v.1. 529p.

BRAGANCA, S. M.; CARVALHO, C. H. S.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, R. G. Variedades clonais de café conilon para o Estado do Espírito Santo. **Pesq. agropec. bras.**, v. 36, p. 765-770, 2001.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira**: café, safra 2011. Disponível: em <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_09_13_12_12_02_boletim_cafe_-_setembro_-_2011..pdf> Acesso em: 02 dez. 2011.

DAVIS, A. P.; GOVAERTS, R.; BRIDSON, D. M.; STOFFELEN, P. An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 152, p. 456 – 512, 2006.

FASSIO, L. H.; SILVA, A. E. S. Importância econômica e social do café conilon. In: FERRÃO, R. G. et al. (Eds.). **Café Conilon**. Vitória, ES: INCAPER, 2007, p. 37-49.

FAZUOLI, L. C. Melhoramento do café arábica. In: congresso de melhoramento de plantas, 5, Guarapari, 10-13 ago. 2009a, **Palestras...** Vitória: Incaper, 2009, p. 1 – 155.

FAZUOLI, L. C.; MISTRO, J.C.; BRAGHUNI, M. T. Melhoramento do café robusta no Instituto Agrônomo de Campinas. In: ZAMBOLIM, L. (Org.). **Tecnologias para produção do café conilon**. Viçosa, MG: UFV, 2009b, p. 201-248.

FAZUOLI, L. C. Genética e melhoramento do cafeeiro. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafos, 1986. p. 87-106.

FERRÃO, M. A. G.; FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. S. Origem, dispersão geográfica, taxonomia e diversidade genética de *Coffea*

canephora. In: FERRÃO, R. G. et al. (Eds.). **Café Conilon**. Vitoria, ES: Incaper, 2007. p. 65-91.

FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; PACOVA, B. E. V. Melhoramento genético de *Coffea canephora*. In: FERRÃO, R. G. et al. (Eds.). **Café Conilon**. Vitoria, ES: INCAPER, 2007a, p. 121-173.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; BRAGANCA, S. M.; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. S. Cultivares café conilon. In: FERRÃO, R.G. et al. (Eds.). **Café Conilon**. Vitoria, ES: Incaper, 2007b, p. 203-225.

FERRÃO, R. G. **Biometria aplicada ao melhoramento genético do café Conilon**. Viçosa, MG: DBG/UFV, 2004. 256f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, 2004.

FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, R. G.; FERRÃO M. A. G. VOLPI, P. S.; VERDIN FILHO, A. C. FAZUOLI, L. C. Cultivares de café robusta. In: CARVALHO, C. H. S. (Org.). **Cultivares de Café: origem, características e recomendações**. Brasília: EMBRAPA CAFÉ, 2008. p. 225-280.

FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. S. Qualidade do café conilon: operações de colheita e pós-colheita. In: FERRÃO, R. G. et al. (Eds.). **Café Conilon**. 1. ed. Vitoria, ES: INCAPER, 2007, p. 501-515.

FONSECA, A. F. A.; SEDIYAMA, T.; CRUZ, C. D.; SAKIYAMA, N. S.; FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; BRAGANCA, S. M. Repeatability and number of harveste required for selectuin in robusta *Coffea*. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 4, n. 3, p. 325-329, 2004.

FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; FERRÃO, R. G. A cultura do café Robusta. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Palestras...** Brasília, DF: EMBRAPA – Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento de Café, 2002. p.119-145.

FONSECA, A. F. A. da. **Análises biométricas em café conilon** (*Coffea canephora*). Viçosa, MG: DFT/UFV, 1999. 121 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.

LEROY, T.; MONTAGNON, C.; CILAS, C.; YAPO, A.; CHARMETANT, P.; ESKES, A.B. Reciprocal recurrent selection applied to *Coffea canephora* Pierre. III. Genetic gains and results of first cycle intergroup crosses. **Euphytica**, v. 95, p. 347–354, 1997.

MEDINA FILHO, H. P.; BORDIGNON, R.; CARVALHO, C. H. S. Desenvolvimento de novas cultivares de café arábica. In: CARVALHO, C. H. S. (Org.). **Cultivares de Café: origem, características e recomendações**. Brasília: EMBRAPA CAFÉ, 2008. p. 79-102.

MENDES, A. J. T.; CONAGIN, A. Produtividade e rendimento dos dois clones de plantas existentes no café Mundo Novo. **Bragantia**, Campinas, v. 14, n. 10, p. 102-107, 1955.

MONACO, L. C. Efeito das lojas vazias sobre o rendimento do café Mundo Novo. **Bragantia**, v. 19, p. 01-12, 1960.

OIC. **Estatísticas do comércio: produção**. Disponível em: < <http://www.ico.org/prices/po.htm> >. Acesso em 29 dez. 2011.

SERA, T.; ALTEIA, M. Z.; PETEK, M. R. Melhoramento do cafeeiro variedades melhoradas no Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR). In: ZAMBOLIM, L. (Ed). **O estado da arte de tecnologias na produção de café – IV Encontro sobre Produção de Café com Qualidade**. Viçosa, MG: DFP/UFV, 2002. p. 217-251.

2. ARTIGO - A

BIOMETRIA APLICADA AO MELHORAMENTO GENÉTICO DO CAFEIRO: UMA REVISÃO

RESUMO

Brasil é o maior produtor e exportador de café do mundo. Assim, a cafeicultura constitui-se como atividade fundamental para o desenvolvimento socioeconômico do país, garantindo a geração de postos de trabalho, tributos e contribuindo para a formação da receita cambial brasileira. A crescente utilização do café em suas diferentes formas: tradicional, expresso, gelado, entre outras, tem impulsionado o consumo mundial. Desta forma, a cada dia maiores produtividades do cafeeiro têm sido demandadas. A produção das plantas pode ser aumentada eficientemente via melhoramento genético, por intermédio da utilização de técnicas biométricas e biotecnológicas. A grande aplicação da biometria tem sido auxiliar os cientistas na solução dos problemas cotidianos, transformando o senso comum em conhecimentos inovadores, dentro do arcabouço de testes de hipóteses e metodologias estatísticas e genéticas. Diversas cultivares de café arábica e conilon têm sido lançadas com incrementos produtivos satisfatórios, o que em grande parte se deve ao uso da biometria. Pretende-se abordar nesta revisão, a utilização da biometria em café, elucidando suas aplicações e eficácia nas etapas comuns aos programas de melhoramento de plantas.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, modelos biométricos, ganhos genéticos, planejamento estratégico de programas de melhoramento

BIOMETRICS APPLIED TO GENETIC COFFEE BREEDING: A REVIEW

ABSTRACT

Brazil is the largest producer and exporter of coffee in the world. Thus, the coffee is as fundamental activity for the socioeconomic development of the country, ensuring the creation of employment and contributing to the formation of the Brazilian foreign exchange earnings. The increasing use of coffee in its different forms: traditional, espresso, iced coffee, among others, has driven the worldwide consumption. Therefore, day by day higher yields of coffee have been demanded. Plant production can increase efficiently through plant breeding, grouped here the biometric techniques and biotechnology. The largest application of biometrics has been helping scientists to solve problems, transforming the common sense in scientific knowledge, through hypothesis testing, statistical and genetic techniques. Several cultivars of coffee arabica and conilon have been launched with satisfactory production increases, which in large part is due to the use of biometric techniques. We intend to discuss in this review, the use of biometrics in coffee, eliciting its applications and results in steps common to the breeding programs.

Keywords: *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, biometric models, genetic gains, strategic planning of breeding programs

1. INTRODUÇÃO

O gênero *Coffea*, de origem africana, possui cerca de 104 espécies (Fazuoli, 1986; Davis et al., 2006; Ferrão et al., 2007; Fazuoli, 2009). Dentre as quais, *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre ex Froehner são as únicas de importância econômica, contribuindo respectivamente, com 62,88% e 37,32% do total mundial produzido em 2010; 133,631 milhões de sacas de 60 kg beneficiadas (OIC, 2011).

Brasil é o maior produtor e exportador de café do mundo, em 2011 sua produção foi de 43,48 milhões de sacas de 60 kg beneficiadas, destas 32,18 foram de café arábica e 11,29 de café conilon (CONAB, 2011). Assim, a cafeicultura constitui-se como atividade fundamental para o desenvolvimento socioeconômico do país, garantindo a geração de postos de trabalho, tributos e contribuindo para a formação da receita cambial brasileira (Fassio e Silva, 2007).

A espécie *C. arabica* origina cafés mais apreciados para o consumo nas formas tradicionais de preparo, porém apresenta elevada suscetibilidade a pragas, doenças e nematóides. Já a espécie *C. canephora* tem sido utilizada na produção de cafés solúveis e também na forma de misturas com o café arábica. *C. canephora*, também tem é considerada como valiosa fonte de alelos favoráveis para a resistência a pragas doenças e nematóides em programas de melhoramento genético interespecífico (Ferrão et al., 2007a).

Segundo Ferrão et al. (2007a) e Medina Filho et al. (2008), o melhoramento genético de plantas tem sido entendido como uma ciência que visa manipular as plantas na direção dos interesses social, econômico e ambiental da humanidade. Através dele, pode-se aumentar a rentabilidade da cultura aumentando-se a quantidade produzida, a qualidade do produto, diminuindo a necessidade de insumos ou introduzindo modificações nas plantas que simplifiquem processos da produção da lavoura ou de pós-colheita.

De acordo com Cruz (2005), um programa de melhoramento genético de plantas é dividido em três fases: (I) início, onde o objetivo é a formação de população-base para fins de melhoramento, que apresente ampla variabilidade genética e boa adaptação; (II) meio, preocupa-se aqui com a condução das famílias segregantes que permitam maximizar os ganhos genéticos para as características de interesse; e (III) fim, nesta etapa a concentração está na recomendação dos materiais genéticos melhorados.

Salienta-se ainda que a existência de variabilidade genética, associada à média alta de uma dada característica, é condição básica para a eficácia de um programa de melhoramento genético (Bonomo, 2004; Cruz et al., 2004; Cruz, 2005).

Em *C. arabica* a maioria dos programas de melhoramento tem se concentrado no aumento da produtividade e na introgressão de genes de resistência a pragas e doenças, mas especialmente os que visam o controle genético da ferrugem do cafeeiro causada pelo fungo *Hemileia vastatrix* (Carvalho e Fazuoli, 1993; Sera 1998; Mendes, 1999; Sakiyama et al., 1999; Fazuoli et al., 2002; Pereira et al., 2002; Sera et al., 2002; Bonomo et al., 2004; Brito et al., 2010).

Em *C. canephora*, inicialmente dedicou-se atenção especial à obtenção de variedades produtivas e com uniformidade de maturação, posteriormente foram incorporadas outras características importantes no processo de seleção, como tolerância à seca, resistência à ferrugem, qualidade da bebida e do produto, arquitetura de planta, entre outras (Ferrão et al., 2000; Bragança et al., 2001; Fonseca et al., 2004a; Ferrão et al., 2004; Ferrão et al., 2007a, Ferrão et al., 2010, Fonseca et al., 2011).

Sera et al. (2002), Fonseca (1999), Fonseca et al. (2004b) e Ferrão et al. (2007a) relataram que, a eficiência dos programas de melhoramento do cafeeiro está embasada na habilidade de se lidar com as particularidades da espécie; quais sejam: período juvenil longo e por consequência tardia realização de cruzamentos e obtenção de sementes; custo alto das avaliações de campo demandando maiores áreas e tempo; necessidade de avaliação da precocidade e da longevidade produtiva; e necessidade da avaliação da bienalidade da produção, o que também envolve análises de medidas repetidas em vários caracteres no tempo e no espaço. Por essas dificuldades, há menor ganho genético da seleção por ano.

Ainda assim, para o café conilon, o programa de melhoramento genético da espécie tem atingindo os desafios supracitados onde no Estado do Espírito Santo a produtividade média passou de 9,2 sacas por hectare (sc/ha) em 1993 para 30,33 sc/ha em 2011, um incremento de 230% (Ferrão et al., 2010; CONAB, 2011).

Em arábica, planta autógama alotetraplóide ($2n = 4x = 44$) os principais métodos de melhoramento empregados no Brasil são: introdução, seleção de plantas individuais seguidas de teste de progênie, método genealógico e retrocruzamentos (Sakiyama et al., 1999; Sakiyama et al. 2008). No conilon, planta alógama, auto-incompatível e diplóide ($2n = 2x = 22$), a exploração da heterozigose tem sido feita via

seleção de plantas-matrizes, formação de população-base e seu melhoramento por seleção recorrente, desenvolvimento de variedades clonais, variedades de polinização aberta e híbridos sintéticos (Leroy et al., 1997; Fonseca, 1999; Fonseca et al., 2002; Ferrão et al., 2007ab).

A possibilidade de combinar as diversas características favoráveis de *C. arabica* e *C. canephora* através de híbridos interespecíficos, naturais ou artificiais, tem sido objetivo de programas de melhoramento em varias instituições de pesquisa. Citam-se como exemplos, trabalhos envolvendo ‘Híbridos de Timor’, ‘Icatu’ e ‘Arabustas’ (Vacarelli et al., 2003; Bonomo, 2004; Sakiyama et al., 2008; Brito et al., 2010).

Até o presente, diversas cultivares de café arábica e conilon foram lançadas, que por sua vez, vêm cumprindo seu papel no tocante do aumento de suas médias de produtividade, aliando-se a isto, a melhoria da qualidade dos cafés do Brasil (Bragança, 2001; Fonseca, 2004a; Ferrão et al., 2007ab; Sakiyama et al., 2008).

O grande desafio daqui por diante é a superação da produtividade das melhores cultivares atuais, face às particularidades da cultura, anteriormente citadas. Neste contexto, Ferrão (2004) e Ferrão et al. (2007a) afirmam ser necessário direcionar esforços no sentido do estudo da biometria e biotecnologia, associados ao melhoramento clássico. Além disso, são imprescindíveis metodologias biométricas adequadas, que permitam classificar, identificar e selecionar genótipos superiores (Borém e Miranda, 2009).

A grande aplicação da biometria tem sido auxiliar os cientistas na solução dos problemas cotidianos, transformando o senso comum em conhecimentos inovadores, dentro do arcabouço de testes de hipóteses e metodologias estatísticas e genéticas.

Pretende-se abordar nesta revisão, o uso da biometria em café, elucidando seu emprego e resultados em três fases comuns aos programas de melhoramento de plantas, identificadas neste trabalho como, Fase I: população base (formação e conhecimento); Fase II: seleção de genótipos superiores e; Fase III: recomendação de cultivares.

2. FASE I: POPULAÇÃO BASE - FORMAÇÃO E CONHECIMENTO

Nesta fase é imprescindível o conhecimento da estrutura genética da população a ser melhorada, sua variabilidade e similaridades genéticas entre os indivíduos. Por intermédio desse conhecimento, é possível definir com maior segurança os métodos de

melhoramentos a serem adotados e proceder a orientação dos genitores a serem cruzados. Nesse sentido, os estudos biométricos envolvendo a diversidade genética, análises de agrupamento e estimativas de parâmetros genéticos são de fundamental importância na definição de estratégias para trabalhos futuros.

2.1. Divergência genética e análises de agrupamentos

A grande importância da estimação da divergência genética em *Coffea sp.* resume-se essencialmente na identificação de progenitores divergentes para cruzamentos e na identificação de progenitores produtivos e similares que ao serem agrupados e propagados vegetativamente, poderão resultar em uma população ou variedade sintética uniforme. Os marcadores de DNA têm sido largamente utilizados nos estudos de divergência genética de materiais existentes em bancos ativos de germoplasmas e, também em acessos que se encontram na forma silvestre em ambientes naturais (Ferrão et al., 2007; Ferrão et al., 2009a; Souza, 2011).

Labouisse et al. (2008) discorrendo sobre a diversidade do germoplasma de arábica na Etiópia, alertam que a produção mundial dessa espécie é baseada em poucas cultivares: Typica, Bourbon e seus mutantes ou híbridos. Assim, a baixa diversidade genética observada nessas variedades reflete possível vulnerabilidade dos materiais genéticos a estresses bióticos e abióticos. Os autores salientaram que a compreensão da magnitude da diversidade dentro dos sistemas de produção etíopes, poderiam contribuir para o aumento da base genética dos materiais utilizados atualmente. Logo, técnicas biométricas e o uso de marcadores de DNA são ferramentas indispensáveis em sua quantificação.

Preocupados com a tendência atual de aumento do consumo de café descafeinado, Dessalegn et al. (2008) estudaram a diversidade genética de 42 genótipos de arábica oriundos da Etiópia utilizando como variáveis descritoras o teor de cafeína, a qualidade da bebida e os atributos físicos dos grãos; a saber: tamanho, forma, uniformidade e peso de 100 grãos. Desta forma procederam ao agrupamento hierárquico entre os genótipos via método de ligação média entre grupo (UPMGA). Por intermédio desse método se formaram dois grupos: o primeiro com 11 genótipos de bebidas pobres e elevado teor de cafeína; e o segundo com 31 genótipos, estes por sua vez, foram reagrupados em dois subgrupos. O destaque foi para o subgrupo que conteve cinco dos 31 genótipos (AD0191, AD0691, AD0791, AD1691, AD1891) que apresentaram boa qualidade da bebida, desejáveis características físicas dos grãos e médio teor de cafeína. Esses autores concluíram haver variabilidade genética para teor de cafeína nos

genótipos estudados, ressaltando que alguns genótipos apresentaram baixos valores para o caráter, podendo ser utilizados em programas de melhoramento.

Ivoglo et al. (2008) visando a identificação de genótipos divergentes para possível cruzamento e obtenção de populações segregantes ou híbridos heteróticos, avaliaram a divergência genética de 21 progênies de meios irmãos do germoplasma de *C. canephora* do IAC. Para este estudo utilizaram-se de análises multivariadas de 14 variáveis morfo-agronômicas. O agrupamento dos genótipos foi realizado com base nos métodos de Tocher e UPGMA e a matriz de dissimilaridade genética foi obtida por meio da distância generalizada de Mahalanobis. Os autores concluíram que as progênies IAC 2262, IAC 2290, IAC 2286, IAC 2292 e IAC 2291 são indicadas para compor programas de intercruzamentos. De igual modo, Fonseca et al. (2006) após avaliarem a dissimilaridade entre 32 clones de *C. canephora* componentes de variedades clonais melhoradas do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) utilizando a distância generalizada de Mahalanobis, o método de agrupamento de otimização de Tocher e a técnica de variáveis canônicas; elencaram os genótipos ES 92, ES 25 e ES 22 como os mais divergentes. Os dois últimos clones foram os indicados para cruzamento, tendo em vista aliarem divergência genética a boas médias de produção.

Também no Incaper, Ferrão et al. (2009b) estudaram a diversidade genética entre 49 clones de conilon por meio de marcadores do tipo RAPD. Foram utilizados 31 primers com padrões de polimorfismo que geraram 333 marcadores, dos quais 231 (69,4%) apresentaram-se polimórficos. Assim, o agrupamento dos genótipos com base no algoritmo UPGMA e no método de otimização de Tocher mostrou elevada divergência entre os mesmos. A maior distância genética encontrada foi entre os genótipos 7 e 38 (0.398), par mais dissimilar. Os autores ainda salientaram que a diversidade genética relativamente ampla observada demonstra a importância da realização de hibridações entre os germoplasmas estudados.

Souza (2011) usou 20 primers microssatélites para genotipar 127 acessos de *C. canephora* das coleções de São Paulo, Minas Gerais, e coletados em plantios comerciais no Espírito Santo e Rondônia. O alto polimorfismo encontrado entre os genótipos estudados levou a formação de dois. O primeiro foi constituído pelos genótipos Conilon do Espírito Santo e Rondônia e o segundo pelos genótipos Robusta de São Paulo e Minas Gerais. Ambos mostraram variabilidade expressiva, porém limitada. Desta forma o autor enfatizou que esforços adicionais deveriam ser dispensados para aumentar a

diversidade genética das coleções brasileiras de *C. canephora*. Via de regra, isto pode ser conseguido através da introdução de genótipos de outras regiões produtoras de *C. canephora* do mundo.

2.2. Estimativa de parâmetros genéticos

De acordo com Ferrão et al. (2008a) entre os parâmetros genéticos e fenotípicos que podem auxiliar o direcionamento da seleção de cafeeiros mais promissores destacam-se : as variâncias genética e fenotípica, a variabilidade genotípica, a variância ambiental e o coeficiente de variação genotípico. Tais parâmetros na grande maioria das vezes, são específicos numa dada população. É através deles que se pode inferir acerca da estrutura genética e variabilidade da referida população além, de auxiliarem na predição de ganhos genéticos. Essas estimativas também são importantes na redefinição dos métodos de melhoramento a serem utilizados, na identificação da natureza da ação dos genes e na definição das diferentes estratégias de melhoramento, maximizando ganhos e concorrendo para a manutenção de adequada base genética na população (Cruz e Carneiro, 2006).

Vencovsky (1987) salienta que as estimativas dos parâmetros genéticos podem, entre outros fatores, ser influenciadas pelos diferentes métodos de melhoramento, pelo tipo de material genético utilizado, pelas diferentes condições ambientais e pela época e idade das plantas a serem avaliadas.

Em *C. canephora*, Ferrão et al. (2008a), estimando parâmetros genéticos e não genéticos em 40 genótipos do Incaper para 16 caracteres vegetativos, reprodutivos e de pós-colheita, relataram que os materiais apresentaram grande variabilidade para a maioria deles; além de elevados coeficientes de determinação genotípicos (H^2) e de variação genéticos ($CV_g\%$) aliados a altas produtividades. Os componentes quadráticos da variância genotípica (Φ_g) foram estimados por meio do método dos momentos, usando a ANOVA para o delineamento em blocos ao acaso em dois ambientes: Marilândia e Sooretama, municípios do estado do Espírito Santo. Desta forma, as magnitudes das variações de Φ_g foram: ciclo = de 71,45 a 951,19; produção média de grãos = de 95.902,89 a 1.244.839,62; relação cereja/coco = de 0,003 a 0,065; relação cereja/beneficiado = de 0,022 a 2,473; relação coco beneficiado = de 0,001 a 0,245; grãos chochos (%) = de 0,67 a 322,45; grãos chatos (%) = de 11,06 a 36,87; grãos moca (%) = de 10,67 a 38,19; umidade = de 0,01 a 3,15; peneira 17 (%) = de 20,79 a 370,68; peneira 15 (%) = de 102,24 a 426,89; peneira 13 (%) = de 99,53 a 342,32; peneira 11 (%) = de 29,87 a 368,96; e peneira média (%) = de 0,428 a 0,838.

Montagnon et al. (1998), cruzaram dois genitores de *C. canephora* do grupo congolês com 14 do grupo guineano no Quênia, e estimaram os parâmetros genéticos de plantas individuais resultantes dos citados cruzamentos, para características associadas a compostos bioquímicos, peso e rendimento de grãos. Assim, altas estimativas de herdabilidade foram encontradas para teor de cafeína (0,80), conteúdo de lipídeos (0,74) e peso de grão (0,73). Ainda salientaram que foi predominante o efeito genético aditivo para a maioria das características analisadas.

Mistro et al. (2007) estimaram parâmetros genéticos em oito progênies de arábica resistentes a ferrugem derivadas do cruzamento ‘Villa Sarchi’ x ‘Híbrido de Timor’ para as seguintes características: produção por planta, altura de plantas, diâmetro de copa, tipo de semente e tamanho da semente. Os autores relataram alta herdabilidade no sentido amplo, estimada na média das parcelas para todas as características avaliadas, mas em especial para o tipo de semente: chata (0,9272), moca (0,9249) e concha (0,9636). De modo geral, o coeficiente de variação genotípico foi maior que o ambiental. O destaque foi para as progênies IAC 3786, IAC 3788, IAC 4094, IAC 4095, IAC 3425 e IAC 3429 que apresentaram assim, alto potencial agrônomo para fins de melhoramento.

Alta herdabilidade (0,928) para resistência a ferrugem foi encontrada por Botelho et al. (2007) ao avaliarem a produtividade e resistência à ferrugem de 24 progênies F₄ de café originadas do cruzamento entre as cultivares ‘Icatu’ e ‘Catimor’ em Três Pontas, Minas Gerais. Os autores também observaram médias altas de produção que chegaram até a 31,9 sc/há e destacaram ainda ser possível a seleção progênies superiores na população estudada com potencial de serem lançadas como novas cultivares produtivas e resistentes à ferrugem.

Oliveira (2010) estudou três grupos de genótipos de café Conilon, de maturação precoce, intermediária e tardia, selecionados e avaliados na região Sul do Estado do Espírito Santo. Um total de 60 genótipos, 20 por grupo, foram avaliados para as seguintes características: ciclo de maturação, tamanho de frutos, uniformidade de maturação, cor dos frutos, produtividade, porte, vigor, índice de avaliação visual, ocorrência de ferrugem, cercosporiose, mancha manteigosa, seca de ramos, bicho mineiro e chochamento. Para a maioria das características, o coeficiente de determinação genotípico foi baixo, exceto para porte, vigor e tamanho de fruto, indicando a grande influência ambiental e ou a pequena variabilidade genética dos materiais estudados. Os maiores coeficientes de variação ambientais estiveram atrelados

a características muito influenciáveis por estresses bióticos e abióticos, a saber: porcentagem de chochamento e ataque de pragas e doenças.

Rodrigues (2010), à semelhança de Oliveira (2010) e para as mesmas características estudadas por este último, avaliou 60 genótipos de café conilon; 20 por grupo de maturação, selecionados na região Norte do Estado do Espírito Santo e avaliados na região Sul. O autor encontrou expressiva variabilidade genética para a maioria das características estudadas aliada a produtividades acima de 60 sc ha⁻¹. Salientou ainda que há possibilidade de se obter êxito na seleção de genótipos para tamanho de frutos, porte, vigor, índice de avaliação visual e ferrugem em todos os grupos de clones; cercosporiose nos grupos precoce e tardio; ciclo de maturação no grupo precoce; e produtividade no grupo tardio.

3. FASE II, SELEÇÃO DE GENÓTIPOS SUPERIORES

Uma vez conhecida a população-base, seja oriunda de introdução ou mesmo hibridação é necessário que dela sejam selecionados indivíduos de interesse, que podem ser auto-fecundados ou cruzados entre si. A partir daí, são diversos os métodos para a condução de populações segregantes. Em *Coffea arabica* os mais utilizados são o genealógico e os retrocruzamentos. Em *C. canephora*, a auto-fecundação é impraticável, assim, grande ênfase tem sido dada a seleção recorrente, onde se torna possível elevar a frequência de alelos favoráveis através de repetidos ciclos de seleção, sem contudo estreitar a base genética da população.

Os ganhos genéticos obtidos com a seleção estão associados aos caracteres de interesse no que tange a sua variabilidade genética e herdabilidade. Selecionar indivíduos superiores com base em avaliações fenotípicas é sem dúvidas o maior labor imposto ao melhorista que deve estar sempre atento para não descartar um genótipo que futuramente daria origem a uma variedade ou mesmo a um clone importante para o programa de melhoramento.

Muitas vezes a seleção da característica de interesse apresenta dificuldades, quer seja por apresentar baixa herdabilidade ou mesmo por dificuldades de mensuração; medição morosa e ou aquela que demanda expressivos recursos financeiros.

Nesse sentido a biometria aplica-se ao melhoramento, visto que através dela pode-se ter acesso a caracteres correlacionados de mais fácil mensuração. Assim, a prática da seleção simultânea tem se tornado rotineira. Outro aspecto importante é a

oportunidade de se conhecer com acurácia, o real valor genético de um caráter que sobre o qual se deseja praticar seleção. Esta informação pode ser acessada via análise de repetibilidade, o que trás eficácia à seleção e garantia de ganhos genéticos futuros. Por fim, têm-se os índices de seleção, que podem proporcionar resultados superiores em comparação com a seleção direta num caráter específico (Cruz et al, 2004; Ferrão et al., 2008b; Borém e Vieira, 2009).

3.1. Correlação entre caracteres e índice de seleção

Esther e Adomako (2010), visando à seleção de 18 genótipos de *C. canephora* para alta produtividade ensaiados em Gana, estudaram as correlações genotípicas e de ambiente entre variáveis agronômicas e a produção. Relataram que a correlação entre a produção e as variáveis vegetativas nas plantas a partir da 7ª colheita foram positivas com: o comprimento (0,65), o diâmetro (0,55) e o número de ramos primários (0,53). Observaram que a produção média das três primeiras colheitas melhor correlacionou-se com a produção média das três últimas (0,79), denotando sua possível utilização para previsão da capacidade produtiva em robusta. Os autores ainda salientaram que a seleção de genótipos para alta produtividade deveria ser baseada em um índice de seleção que envolvesse comprimento, diâmetro e número de ramos primários durante os três primeiros anos de produção.

De modo semelhante, Carvalho et al. (2010) estudaram em 22 genótipos de café arábica no estado de Minas Gerais as correlações genotípicas e fenotípicas entre o crescimento inicial, aos 12 meses pós plantio e a primeira produção. Concluíram haver correlação positiva entre a produtividade inicial do cafeeiro e as características de crescimento avaliadas, com exceção do número de nós. A maior correlação genética envolvendo a produção foi encontrada com a variável número de ramos plagiotrópicos (0,42).

Cilas et al. (2006), após estudarem seis clones de *C. canephora*, concluíram que o número de nós nos ramos plagiotrópicos que mostrou-se um bom indicador da produção por mais de duas colheitas consecutiva, correlação genética (0,884). Indicando a possibilidade de seleção indireta para produção via número de nós nos ramos plagiotrópicos.

Ao elencarem nove características de pós-colheita em conilon, objetivando avaliá-las quanto a possibilidade de se realizar a seleção direta e indireta para a

produtividade em 40 genótipos de conilon no Incaper, Ferrão et al. (2008b) concluíram que as associações genótípicas mostraram-se superiores às fenotípicas demonstrando influência predominante dos efeitos de genótipo. Para os autores, os caracteres ciclo, produção, relação café cereja/beneficiado, grãos chochos, chatos e peneira 17 devem ser mantidos na seleção.

A seleção simultânea de caracteres em conilon foi estudada através da utilização de índices de seleção na predição de ganhos genéticos em genótipos do Incaper avaliados em Marilândia Espírito Santo, por Ferreira et al. (2005). Tais autores constataram que o índice de Smith e Hazel foi a melhor alternativa na obtenção de expressivos ganhos simultâneos. As variáveis utilizadas foram ciclo; produção de grãos; relações frutos cereja/frutos coco, cereja/grãos beneficiados, coco/grãos beneficiados; percentuais de grãos chochos, chatos, moca, umidade, grãos retidos em peneira superior a 15, 15, 13, 11 e média.

3.2. Análise de repetibilidade

No melhoramento genético de espécies perenes um procedimento desejável, em um grupo de indivíduos, é a análise de sucessivas medições de um caráter. Através dessa, espera-se que a superioridade ou inferioridade verificada inicialmente num indivíduo, em relação aos demais, mantenha-se ao longo das medições (Cruz et al., 2004).

Segundo Cruz et al. (2004), a repetibilidade representa o máximo valor que a herdabilidade no sentido amplo pode atingir. Dessa forma, quando a variância proporcionada pelos efeitos permanentes do ambiente é minimizada, a repetibilidade aproxima-se da estimativa da herdabilidade.

Valores altos da estimativa do coeficiente de repetibilidade do caráter avaliado indicam que é possível prever o valor real dos indivíduos com um número relativamente pequeno de medições (Cornacchia et al., 1995); isto indica que pouco ganho em acurácia haverá com o aumento do número de medidas repetidas (Falconer, 1989). No entanto, quando a repetibilidade é baixa, grande número de repetições será necessário para que se alcance um coeficiente de determinação satisfatório. O conhecimento do coeficiente de repetibilidade permite portanto, que a fase de avaliação e seleção seja executada com eficiência, mas com dispêndio mínimo de tempo e mão-de-obra (Lopes et al., 2001).

Resende (2001) classificou o coeficiente repetibilidade (r) para espécies perenes em três classes: alta, $r > 0,60$; média, $0,30 < r < 0,60$; e baixa, $r < 0,30$.

Em café, estudos de repetibilidade embora necessários e úteis, foram pouco explorados no século passado (Fonseca, 1999). Nos últimos anos, vários trabalhos têm sido realizados explorando essa importante ferramenta para o melhoramento da espécie.

Em café conilon, estudou-se inicialmente a repetibilidade para o caráter produção média de grãos com base no comportamento de 80 genótipos do Incaper avaliados em quatro safras (Fonseca, 1999; Fonseca et al., 2004b). Neste trabalho, para a estimação do coeficiente de repetibilidade (r), utilizou-se os métodos da análise de variância com efeito temporário de ambiente removido do erro e os de componentes principais, obtidos das matrizes de correlação e covariância. As maiores estimativas do coeficiente de repetibilidade foram obtidas pelo método dos componentes principais via matriz de covariâncias. A precisão na predição do valor real dos indivíduos (R^2), com base em quatro colheitas, variou de 65,32 a 81,59%. A partir da sexta colheita, contudo, o aumento em R^2 tornou-se inexpressivo, não sendo mais justificado, tendo em vista os custos despendidos com tempo e recursos financeiros.

Ferrão et al., (2003a) estimaram o coeficiente de repetibilidade, utilizando dados de produção de grãos de 50 genótipos de café conilon avaliados por sete colheitas no Espírito Santo. Verificaram que o método de componentes principais, com o uso da matriz de covariâncias, apresentou o maior coeficiente de repetibilidade ($r = 0,662$) e a maior acurácia com $R^2 = 93,19\%$, sendo cinco colheitas suficientes para se ter uma confiabilidade de 90% para predição do valor real do indivíduo. Estudos realizados com outros 40 materiais genéticos oriundos de sete colheitas e dois ambientes, indicaram que o método dos componentes principais é o mais adequado para estimar r , pois proporciona maior acurácia na expressão do valor real do genótipo, uma vez que leva em consideração o comportamento dos mesmos no que concerne à bienalidade da característica estudada (Ferrão, 2004). Nesse estudo e com esse método, encontrou-se que para se ter cerca de 80% de acurácia no valor real dos genótipos, são necessárias quatro colheitas em Sooretama e cinco colheitas em Marilândia, evidenciando o efeito do ambiente na mensuração desta estimativa.

Mistro et al., (2008) estimaram o coeficiente de repetibilidade para a produção de grão em 21 progênies F_3RC_2 de 'Icatu'. O ensaio foi conduzido em blocos ao acaso com nove repetições durante nove anos. Os autores concluíram ser possível a realização da seleção das progênies utilizando-se os três primeiros anos de produção com eficácia

de 80%. Afirmaram ainda que na estimativa do coeficiente de repetibilidade o método dos componentes principais baseado na matriz de covariâncias foi o melhor, minimizando os efeitos da bienalidade.

Em ensaio durante quatro colheitas utilizando 28 progênies de *C. arabica* na geração F3, provenientes de cruzamentos entre descendentes do ‘Híbrido de Timor’ e cultivares de ‘Catuai Vermelho’ e ‘Catuai Amarelo’, Bonomo et al. (2004) avaliaram a seleção antecipada para a produção de grãos por meio da análise de repetibilidade. Desta forma, encontraram que a repetibilidade para o caráter em questão apresentou menor amplitude de variação entre as estimativas quando foram consideradas a 2^a, 3^a e 4^a colheitas combinadas ($r=0,39$ a $0,48$). Os autores elegeram a técnica dos componentes principais baseada na matriz de correlações fenotípicas como a mais adequada para o estudo.

4. FASE III: RECOMENDAÇÃO

Uma vez tendo-se o material genético melhorado torna-se necessário avaliar suas potencialidades sob diferentes locais e tecnologias, e então direcioná-lo ao seu destino. Certamente que com o tempo, há a tendência de que o mesmo seja substituído por cultivares superiores, todavia, o melhorista trabalha no presente prevendo o ideótipo do futuro e assim corrobora com a longevidade das cultivares obtidas. Neste contexto, cabem os estudos biométricos da interação genótipos por ambientes e da adaptabilidade e estabilidade. Para maiores informações sobre as principais variedades melhoradas de café e suas recomendações para as diversas regiões cafeeiras do país recomenda-se Ferrão et al; (2007a) e Carvalho (2008).

4.1. Interação genótipos x ambientes e adaptabilidade e estabilidade

Duas ou mais cultivares podem responder diferencialmente a ambientes distintos. A este fato, dá-se o nome de interação genótipos por ambientes (GxA). Tal interação só é detectável quando se ensaia mais de um genótipo em mais de um ambiente. As causas desta interação têm sido atribuídas a fatores fisiológicos e bioquímicos próprios de cada genótipo; gene(s) sendo expressos diferencialmente (Cruz et al. 2004). A interação (GxA) pode ser um complicador nos programas de melhoramento, pois geralmente influencia a obtenção de ganhos genéticos, onera e prolonga o tempo da pesquisa e dificulta a recomendação de cultivares, principalmente quando se trabalha em ambientes dissimilares (Ferrão, 2004).

Ocorrendo alterações no ranking dos genótipos quando passam de um ambiente para outro, diz-se que a interação (GxA) é de natureza complexa, caso contrário, é de natureza simples (Robertson, 1959). A interação simples não traz complicações na recomendação de cultivares ou eleição de genótipos para dar prosseguimento ao programa de melhoramento. Já a interação complexa pode ocasionar problemas, vez que os melhores genótipos num dado ambiente não o são em outros (Cruz et al., 2004; Ferrão, 2004). Assim, as alternativas para contornar a interação (GxA) significativa, de modo geral concentram-se nos estudos de estratificação ambiental (Moraes, 1980), adaptabilidade e estabilidade ou no desenvolvimento de cultivares de ampla adaptação (Eberhart e Russell, 1966).

Segundo Cruz et al. (2004), além do conhecimento da natureza e significância da interação (GxA) é preciso que se tenha conhecimento sobre o comportamento de cada genótipo frente as variações ambientais, podendo os mesmos serem de adaptação geral, ou específica a diferentes ambientes. Ainda é importante conhecer a previsibilidade de cada material genético que se pretende recomendar. Dispõe-se aqui das análises de adaptabilidade e estabilidade.

Os conceitos e os princípios estatísticos empregados nas metodologias de análises da adaptabilidade e estabilidade são quem as tornam distintas (Cruz et al., 2004). Como exemplo, citam-se as metodologias baseadas em regressão linear simples (Eberhart e Russell, 1966), regressão linear múltipla (Cruz et al., 1989), análises não paramétricas (Carneiro, 1998), centróides múltiplos e centróide ampliado (Nascimento et al., 2009ab).

Agwanda et al. (2003), estudaram a interação (GXA) na qualidade da bebida e grãos, em 21 famílias de irmãos completos descendentes da cultivar 'Ruiru' (*C. arabica*), em cinco ambientes diferindo para as condições edafo-climáticas no Quênia. Segundo os autores, houve resposta diferencial das famílias, que foram melhor discriminadas para o tamanho de grãos no ambiente sem restrição hídrica durante a fase de granação. No que tange a qualidade de bebida, o oposto foi observado, as melhores diferenciações foram encontradas no local onde ocorreu estresse hídrico moderado.

Ferrão et al. (2003b), encontraram interação tripla significativa pelo teste F ($\alpha=0,01$) para, genótipo x local x ano, ao ensaiarem variedades de conilon em quatro locais no Estado do Espírito Santo. Os autores analisaram a adaptabilidade e estabilidade pelas metodologias de Eberhart e Russell (1966) e Cruz et al. (1989) e concluíram que os genótipos mostraram adaptabilidade geral ($\beta_1=1$), boa

previsibilidade ($R^2 > 80\%$) e desvio da regressão igual a zero. Entretanto, em ambas as metodologias não encontraram material algum que apresentasse média alta, resposta positiva à melhoria de ambiente e alta previsibilidade; um ideótipo. Trabalhando também com café conilon, em dois locais, 40 genótipos e sete colheita, Ferrão (2004) e Ferrão et al. (2007a) verificaram diferenças significativas para genótipos, anos, genótipos x locais, anos x locais e, genótipo x anos x locais, caracterizando mais uma vez a necessidade de estudos de adaptabilidade e estabilidade para recomendação de cultivares.

Nascimento et al. (2010), verificando interação (GxA) significativa ($\alpha = 0,01$) para a produção média de grãos em 40 genótipos de conilon ensaiados em 10 ambientes no Incaper, se propuseram a estudar a adaptabilidade e estabilidade destes materiais via regressão não paramétrica. Após comparar o método proposto com metodologias de Eberhart e Russell (1966) e de Lin e Binns (1988) concluíram que a regressão não paramétrica demonstrou ser adequada e eficiente, pois extingue os efeitos impróprios induzidos pela presença de pontos extremos e proporciona uma recomendação mais segura de genótipos quanto à adaptabilidade. Segundo a metodologia proposta por estes autores, os genótipos ES 311, ES 314, ES 317, ES 321, ES 322, ES 325, ES 330, ES 332, ES 333, ES 335, ES 336, ES 01 e ES 23 foram classificados como previsíveis e de adaptabilidade geral.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Da seleção de plantas matrizes até os grãos beneficiados, longos são os caminhos percorridos pelos melhoristas que deparam-se com situações inusitadas de solução complexa. Tarefas árduas são impostas desde a classificação, seleção e definição a favor dos genótipos superiores. Neste contexto, a biometria insere-se como ferramenta importante em todas as fases dos programas de melhoramento do cafeeiro.

Esforços para se alcançar maiores produtividades e melhor qualidade do café têm sido mútuos, bem como os avanços alcançados pelas diversas instituições de pesquisa que trabalham diretamente com o café. Desta forma, destacam-se os trabalhos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA CAFÉ); Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG); Fundação PROCAFÉ; Instituto Agrônomo de Campinas (IAC); Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR); Instituto

Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER); Universidade Federal de Lavras (UFLA) e Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Diferentes metodologias e técnicas de estudos biométricos têm sido aplicadas nos vários segmentos do melhoramento do cafeeiro. A opção por cada uma delas tem sido função das peculiaridades da cultura, preferências do melhorista, da disponibilidade de recursos técnico financeiros e da eficácia de cada método.

Atualmente, nas diversas regiões cafeeiras do país e de acordo com o sistema de produção adotado, um grande número de cultivares está disponível tanto para a cafeicultura de arábica quanto para a de conilon. Cada uma delas, dentro de certas especificidades, traz peculiaridades imprescindíveis ao sucesso da atividade cafeeira; entre outras, maior produtividade, redução do porte, arquitetura adequada ao adensamento, tolerância à ferrugem, uniformidade de maturação de frutos, grãos maiores e melhor qualidade de bebida.

Por fim, salienta-se que o melhoramento genético do cafeeiro é uma prática dinâmica e flexível admitindo diversas metodologias, o que pode conduzir a maiores ganhos genéticos por ciclos de seleção. Não obstante e com sucesso, a interação da biometria com a biotecnologia tem sido observada em etapas distintas do melhoramento.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGWANDA, O.; BARADAT, P.; ESKES, A.B.; CILAS, C.; CHARRIER, A. Selection for bean and liquor qualities within related hybrids of *Arabica* coffee in multilocal field trials. **Euphytica**, v. 131, p. 1–14, 2003.

BONOMO, P.; CRUZ, C. D.; PEREIRA, A. A.; VIANA, J. M. S.; OLIVEIRA, V. R.; CARNEIRO, P. C. S. Seleção antecipada de progênies de café descendentes de híbrido de Timor x catuaí amarelo e catuaí vermelho. **Acta Scientiarum**, v. 26, p. 91-96, 2004.

BOREM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 5. ed. Viçosa: UFV, 2009. v.1. 529p.

BOTELHO, C. E.; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, S. P.; CARVALHO, G. R.; GONÇALVES, F. M. A.; CARVALHO, A. M. Avaliação de progênies de café obtidas por cruzamentos das cultivares ‘icatu’ e ‘catimor’. **Coffee Science**, v. 2, n. 1, p. 10-19, 2007.

BRAGANCA, S. M.; CARVALHO, C. H. S.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, R. G. Variedades clonais de café conilon para o Estado do Espírito Santo. **Pesq. agropec. bras.**, v. 36, p. 765-770, 2001.

BRITO, G. G.; CAIXETA, E. T.; GALLINA, A. P.; ZAMBOLIM, E. M.; ZAMBOLIM, L.; DIOLA, V.; LOUREIRO, M. E. Inheritance of coffee leaf rust resistance and identification of AFLP markers linked to the resistance gene. **Euphytica**, v. 173, p. 255-264, 2010.

CARNEIRO, P.C.S. **Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento**. Viçosa, MG: DBG/UFV, 1998. 168f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, 1998.

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. **Pesq. agropec. bras.**, v.45, n.3, p.269-275, 2010.

CARVALHO, A.; FAZUOLI, L. C. Café. In: FURLANI, A. M. C.; VIEGAS, G. P. P. **Melhoramento de plantas no Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas, SP: Instituto Agrônomo, 1993. p. 29-76.

CARVALHO, C. H. S. (Org.). **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. 1. ed. Brasília: EMBRAPA CAFÉ, 2008. 332 p.

CILAS, C.; BAR-HEN, A.; MONTAGNON, C.; GODIN, C. Definition of architectural ideotypes for good yield capacity in *Coffea canephora*. **Annals of Botany**, v. 97, p. 405–411, 2006.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira:** café, safra 2011. Disponível: em <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_09_13_12_12_02_boletim_cafe_-_setembro_-_2011.pdf> Acesso em: 02 dez. 2011.

CORNACCHIA, G.; CRUZ, C. D.; LOBO, P. R.; PIRES, I. E. Estimativas do coeficiente de repetibilidade para características fenotípicas de procedências de *Pinus tecunumanii* (Schw.) Eguluz, Perry e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barret, Golfari. **Revista Árvore**, v. 19, n. 3, p. 333-345, 1995.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.S.C. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2006. v.2. 586p.

CRUZ, C. D. **Princípios de genética quantitativa**. Viçosa, MG: UFV, 2005. 394 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2004. v.1, 480 p.

CRUZ, C.D.; TORRES, R.A. de A.; VENCOSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, v.12, p.567-580, 1989.

DAVIS, A. P.; GOVAERTS, R.; BRIDSON, D. M.; STOFFELEN, P. An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 152, p. 456 – 512, 2006.

DESSALEGN, Y.; LABUSCHAGNE, M.; OSTHOFF, G.; HERSELMAN, L. Genetic diversity and correlation of bean caffeine content with cup quality and green bean physical characteristics in coffee (*Coffea arabica* L.). **J. Sci. Food Agric.**, v. 88, p. 1726–1730, 2008.

EBERHART, S.A.; RUSSELL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v.6, p.36-40, 1966.

ESTHER, A. K.; ADOMAKO, B. Genetic and environmental correlations between bean yield and agronomic traits in *Coffea canephora*. **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, v. 2, n. 4, p. 64-72, 2010.

FALCONER, D.S. **Introduction to quantitative genetics**. Longman, London, 1989, p. 438.

FASSIO, L. H.; SILVA, A. E. S. Importância econômica e social do café conilon. In: FERRÃO, R. G. et al. (Eds.). **Café Conilon**. Vitória, ES: INCAPER, 2007, p. 37-49.

FAZUOLI, L. C. Melhoramento do café arábica. In: congresso de melhoramento de plantas, 5, Guarapari, 10-13 ago. 2009, **Palestras...** Vitória: Incaper, 2009, p. 1 – 155.

FAZUOLI, L. C.; MEDINA FILHO, H.; GONÇALVES, W.; GUERREIRO FILHO, O.; SILVAROLLA, M. B. Melhoramento do cafeeiro: variedades tipo arábica obtidas no Instituto Agrônomo de Campinas. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa, MG: UFV/DFT, 2002. p. 163-215.

FAZUOLI, L. C. Genética e melhoramento do cafeeiro. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafos, 1986. p. 87-106.

FERRÃO, M. A. G.; FERRÃO, R.G.; FONSECA, A. F. A.; VERDIN FILHO, A.C.; VOLPI, P. S.; RIVA-SOUZA, E. M. Melhoramento de café conilon no Espírito Santo. In: Laércio Zambolim. (Org.). **Tecnologias para produção do café conilon**. Viçosa-MG: UFV, 2010, v. 1, p. 01-360

FERRÃO, M. A. G.; RIVA SOUZA, E. M.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, R.G.; ATAYDE, L. S. Divergência genética entre clones de *Coffea canephora* utilizando marcadores moleculares. In: 5º Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas,

2009, Guarapari, ES. **Anais...** do 5º Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas. Vitória, ES : Incaper, DCM, 2009a.

FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, R. G.; MAROTA, W. B.; RIVA-SOUZA, E. M. Genetic divergence in Conilon coffee revealed by RAPD markers. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 9, p. 67-74, 2009b.

FERRÃO, M. A. G.; FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. S. Origem, dispersão geográfica, taxonomia e diversidade genética de *Coffea canephora*. In: FERRÃO, R. G. et al.(Eds.). **Café Conilon**. Vitória, ES: Incaper, 2007. p. 65-91.

FERRÃO, R.G.; CRUZ, C.D.; FERREIRA, A.; CECOM, P. R.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; SILVA, M. F. Parâmetros genéticos em café conilon. **Pesq. agropec. bras.**, v. 43, p. 61-69, 2008a.

FERRÃO, R.G.; FERREIRA, A.; CRUZ, C. D.; CECOM, P. R.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; CARNEIRO, P.C.S. ; SILVA, M.F.da. Inter-trait relations for direct and indirect selections in coffee. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 8, p. 271-278, 2008b.

FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; PACOVA, B. E. V. Melhoramento genético de *Coffea canephora*. In: FERRÃO, R. G. et al. (Eds). **Café Conilon**. Vitória, ES: INCAPER, 2007a, p. 121-173.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; BRAGANCA, S. M.; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. S. Cultivares café conilon. In: FERRÃO, R.G. et al. (Eds). **Café Conilon**. Vitória, ES: Incaper, 2007b, p. 203-225.

FERRÃO, R. G. **Biometria aplicada ao melhoramento genético do café Conilon**. Viçosa, MG: DBG/UFV, 2004. 256f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, 2004.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H.; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. S.; MARQUES, E, M, G.; ZUCATELI, F. **Café Conilon: técnicas de produção com variedades melhoradas**. Vitória, ES: INCAPER, 2004. 60 p. (INCAPER: Circular Técnica, 03 – I).

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. da.; FERRÃO, M.A. G.; CARNEIRO, P. C. de S.; CRUZ, C. D. Estimativa do coeficiente de repetibilidade por diferentes métodos em *Coffea canephora*. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DE CAFÉS DO BRASIL, 1., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília, DF: EMBRAPA CAFÉ Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, 2003a. p. 236.

FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; CECOM, P. R.; CRUZ, C. D. Adaptabilidade e estabilidade de produção em variedades de café Conilon. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DE CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília, DF: EMBRAPA CAFÉ – Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, 2003b. p. 235.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; SILVEIRA, J. S. M.; FERRÃO, M. A. G.; BRAGANCA, S. M. Emcapa 8141- Robustão Capixaba, variedade clonal de café conilon tolerantes à seca, desenvolvida para o estado do Espírito Santo. **Revista Ceres**, v. 47, p. 555-559, 2000.

FERREIRA, A.; CECOM, 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 de combinações de análise de fatores e índices de seleção. **Pesq. agropec. bras.**, v. 40, n. 12, p. 20-28, 2005.

FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; FERRÃO, R. G.; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. S.; ZUCATELI, F. 'Conilon Vitória - Incaper 8142': improved *Coffea canephora* var. kouillou clone cultivar for the state of Espírito Santo. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 4, p. 503-505, 2004a.

FONSECA, A. F. A. da. **Análises biométricas em café conilon** (*Coffea canephora*). Viçosa, MG: DFT/UFV, 1999. 121 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.

FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; FERRÃO, R. G. A cultura do café Robusta. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Palestras...** Brasília, DF: EMBRAPA – Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento de Café, 2002. p.119-145.

FONSECA, A. F. A.; SALVA, T. J. G.; FERRÃO, M. A. G.; FERRÃO, R. G.; VOLPI, P. S.; VERDIN FILHO, A. C.; GUARÇONI, R. C. Composição química de café conilon (*Coffea canephora*). In: VI simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2011, Araxá, MG. Coletânea de **Anais...** I a VII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Brasília, DF : Embrapa Café, 2011.

FONSECA, A. F. A.; SEDIYAMA, T.; CRUZ, C. D.; SAKAIYAMA, N. S.; FERRÃO, M. A. G.; FERRÃO, R. G.; BRAGANCA, S. M. Divergência genética em café conilon. **Pesq. agropec. bras.**, v. 41, p. 599-605, 2006.

FONSECA, A. F. A.; SEDIYAMA, T.; CRUZ, C. D.; SAKIYAMA, N. S.; FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; BRAGANCA, S. M. Repeatability and number of harveste required for selectuin in robusta *Coffea*. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 4, n. 3, p. 325-329, 2004b.

IVOGLO, M. G.; FAZUOLI, L. C.; OLIVEIRA, A. C. B.; GALLO, P. B.; MISTRO, J. C.; SILVAROLLA, M. B.; TOMA-BRAGHINI, M. Divergência genética entre progênes de café robusta. **Bragantia**, v.67, n.4, p.823-831, 2008.

LABOUISSSE, J. P.; BELLACHEW, B.; KOTECHE, S.; BERTRAND, B. Current status of coffee (*Coffea arabica* L.) genetic resources in Ethiopia: implications for conservation. **Genet Resour. Crop. Evol.**, v.55, p. 1079–1093, 2008.

LEROY, T.; MONTAGNON, C.; CILAS, C.; YAPO, A.; CHARMETANT, P.; ESKES, A.B. Reciprocal recurrent selection applied to *Coffea canephora* Pierre. III. Genetic gains and results of first cycle intergroup crosses. **Euphytica**, v. 95, p. 347–354, 1997.

LIN, C.S.; BINNS, M.R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, v.68, p.193-198, 1988.

LOPES, R.; BRUCKNER, C.H.; CRUZ, C.D.; LOPES, M.T.G.; FREITAS, G.B. Repetibilidade de características de frutos de aceroleira. **Pesq. agropec. bras.** v. 36, n. 3, p. 507-513, 2001.

MEDINA FILHO, H. P.; BORDIGNON, R.; CARVALHO, C. H. S. Desenvolvimento de novas cultivares de café arábica. In: CARVALHO, C. H. S. (Org.). **Cultivares de Café: origem, características e recomendações**. Brasília: EMBRAPA CAFÉ, 2008. p. 79-102.

MENDES, A. N. G. Métodos de melhoramento aplicados na cultura do cafeeiro. In: SIMPÓSIO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, 3., 1999, Lavras. **Anais...** Lavras, MG: UFLA, 1999. p. 18-35.

MISTRO, J. C.; FAZUOLI, L. C.; Filho, O. G.; SILVAROLLA, M. B.; TOMABRAGHINI, M. Determination of the number of years in Arabic coffee progenies selection through repeatability. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 8, p. 79-84, 2008.

MISTRO, J. C.; FAZUOLI, L. C.; GALLO, P. B.; OLIVEIRA, A.C. B.; TOMABRAGHINI, M.; SILVAROLLA, M. B. Estimates of genetic parameters in Arabic coffee derived from the Timor hybrid. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.7, p. 141-147, 2007.

MONTAGNON, C.; GUYOT, B.; CILAS, C.; LEORY, L. Genetic parameters of several biochemical compounds from green coffee, *Coffea canephora*. **Plant Breeding**, v. 177, p. 576 – 578, 1998.

MORAIS, O. P. **Adaptabilidade, estabilidade de comportamento e correlações fenotípicas, genotípicas e de ambiente em variedades e linhagens de arroz (*Oryza sativa*, L.)**. Viçosa, MG: DBG/UFV, 1980. 64 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, 1980.

NASCIMENTO, M.; CRUZ, C.D.; CAMPANA, A.C.M.; TOMAZ, R.S.; SALGADO, C.C.; FERREIRA, R. de P. Alteração no método centroide de avaliação da adaptabilidade genotípica. **Pesq. agropec. bras.**, v.44, p.263-269, 2009a.

NASCIMENTO, M.; FERREIRA, A.; CAMPANA, A.C.M.; SALGADO, C.C.; CRUZ, C.D. Multiple centroid methodology to analyze genotype adaptability. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.9, p.8-16, 2009b.

NASCIMENTO, M.; FERREIRA, A.; FERRÃO, R. G.; CAMPANA, A. C. M.; BHERING, L. L.; CRUZ, C. D.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A. Adaptabilidade e estabilidade via regressão não paramétrica em genótipos de café. **Pesq. agropec. bras.**, v. 45, p. 41-48, 2010

OIC. **Estatísticas do comércio**: produção. Disponível em: <<http://www.ico.org/prices/po.htm>>. Acesso em 29 dez. 2011.

OLIVEIRA, C. M. **Estimativa de parâmetros genéticos em três grupos de genótipos de café conilon selecionados no sul do estado do Espírito Santo**. Alegre, ES: PPGPV/UFES, 2010. 92f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, 2010.

PEREIRA, A. A.; MOURA, W. de M.; ZAMBOLIM, L.; SAKIYAMA, N. S.; CHAVES, G. M. Melhoramento genético do cafeeiro no Estado de Minas Gerais – Cultivares lançados e em fase de obtenção. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa, MG: DFP/UFV, 2002. p. 253-295.

RESENDE, M. D. V. Melhoramento de espécies perenes. In: NASS, L. L. et al. (Eds.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**. Rondonópolis, MT: Fundação MT, 2001. 1183 p.

ROBERTSON, A. **Experimental design on the measurement of heritabilities and genetic correlations – Biometrical genetics**. New York: Pergamon Press, 1959. 186 p.

RODRIGUES, W. N. **Comportamento de grupos de clones de café conilon, selecionados no Norte, na região Sul do estado do Espírito Santo**. Alegre, ES: PPGPV/UFES, 2010. 103f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, 2010.

SAKIYAMA, N. S.; PEREIRA, A. A.; OLIVEIRA, A. C. B. ; TOMAZ, M. A. . Avanços no melhoramento genético do café arábica. In: TOMAZ, M. A. et al. (Orgs.). **Seminário para a Sustentabilidade da Cafeicultura**. Alegre: CCA UFES, 2008, p. 113-121.

SAKIYAMA, N. S.; PEREIRA, A. A.; ZAMBOLIM, L. Melhoramento de café arábica. In: BOREM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, MG: Impr. Univ., 1999. p.189-204.

SERA, T. Desafios no melhoramento genético do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, 2., 1998, Lavras. **Anais...** Lavras, MG: UFLA, 1998. p.105-122.

SERA, T.; ALTEIA, M. Z.; PETEK, M. R. Melhoramento do cafeeiro variedades melhoradas no Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR). In: ZAMBOLIM, L. (Ed). **O estado da arte de tecnologias na produção de café – IV Encontro sobre Produção de Café com Qualidade**. Viçosa, MG: DFP/UFV, 2002. p. 217-251.

SOUZA, F. F. **Estudos sobre a diversidade, estrutura populacional, desequilíbrio de ligação e mapeamento associativo em *Coffea canephora* Pierre ex Froehner**. Viçosa, MG: DBG/UFV, 2011. 145f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Julho de 2011.

VACARELLI, V. N.; MEDINA FILHO, H. P.; FAZUOLI, L. C. Avaliação de frutos chochos e de sementes do tipo moca no rendimento de híbridos arabustas tetraplóides (*Coffea arabica* x *Coffea canephora*). **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 19, n. 3, p. 155-165, 2003.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. (Eds.). **Melhoramento do milho**. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1987. p.137-214.

3. ARTIGO - B

COMPARAÇÃO ENTRE A PRODUÇÃO DE GRÃOS OBSERVADA E ESTIMADA POR UM ÍNDICE DE RENDIMENTO EM CAFEEIROS CONILON

RESUMO

O rendimento do café pode ser definido como a relação entre o café colhido e seus respectivos grãos beneficiados. Este caráter sofre grande influência dos efeitos genotípicos e ambientais, e para os programas de melhoramento sua análise é dispendiosa e morosa. Neste sentido, o uso de um índice de rendimento para a estimação da produção de café nas parcelas experimentais é medida desejável visando à redução de recursos e tempo nas avaliações de pós-colheita. Dessa forma, o presente estudo objetivou avaliar a precisão do uso de um índice de rendimento, relação entre frutos colhidos e grãos beneficiados igual a 4,0, na estimação da produção de grãos de cafeeiros conilon. Para tanto, com base na média de 157 genótipos em três ensaios e quatro safras, avaliou-se a relação entre frutos colhidos e grãos beneficiados (FcBe), a produção de grãos observada por planta (PGO), e a estimada (PGE) com base em FcBe igual a 4,0. Executaram-se estatísticas descritivas, testes para o estudo da adequação do estimador da PGE e a coincidência da ocorrência dos genótipos de conilon nas observações superiores referentes a 20% do total das observações de PGO e PGE. Deste modo, na estimação da produção de grãos em conilon, o uso de FcBe igual a 4,0 mostrou elevada precisão na média dos ensaios analisados. Contudo, novos estudos devem ser conduzidos visando elucidar os efeitos das variáveis climáticas sobre o rendimento do cafeeiro conilon, especialmente em anos atípicos para a cultura. Assim, a utilização de um índice de rendimento torna-se interessante em casos onde o número de genótipos a ser avaliado é muito grande e, um *screening* dos promissores desejável.

Palavras-chave: *Coffea canephora*, biometria, rendimento

COMPARISON BETWEEN GRAIN PRODUCTION OBSERVED AND ESTIMATED BY A BEAN OUTTURN INDEX IN CONILON COFFEE

ABSTRACT

The bean outturn of coffee can be defined as the relationship between harvested coffee fruits and its respective processed grains. This character is greatly influenced by genotypic and environmental effects, and for improvement programs its analysis is expensive and slow. In this sense, the use of an index of bean outturn for the estimation of coffee production in the experimental plots would be desirable, as resources could be saved with the post-harvest assessments. This way, the present study aimed to evaluate the precision of using an index of bean outturn, relationship between harvested coffee fruits and processed grains equal to 4.0, in the estimation of the production of conilon coffee grains. To do so, based on an average of 157 genotypes and three trials and four crops, we evaluated the relationship between harvested coffee fruits and processed grains (FcBe), the observed production of grains per plant (PGO) and estimated (PGE) based on FcBe equal to 4.0. Descriptive statistics were performed, tests to study the suitability of the estimator of PGE and the coincidence between genotypes selected through PGO and PGE. Therefore, in the estimation of grain production in conilon coffee, the use of FcBe equals to 4.0 showed high precision in the average of the analyzed trials. Further studies should be conducted to elucidate the effects of climatic variables on the bean outturn of conilon coffee, especially in atypical year for the crop. Thereby, the use of a bean outturn index is interesting in cases where the number of genotypes to be evaluated is very large, and a *screening* of the promising is desirable.

Keywords: *Coffea canephora*, biometrics, bean outturn, conilon coffee

INTRODUÇÃO

O rendimento do café pode ser definido como a relação entre o café colhido e seus respectivos grãos beneficiados (Mendes et al., 1955; Monaco, 1960). Este caráter exerce influência direta na economia da atividade cafeeira (Gaspari-Pezzopane et al., 2009). Os custos operacionais com, insumos, colheita, transporte, secagem, armazenamento, beneficiamento, entre outros, incidem diretamente sobre a produção dos frutos. Entretanto, a receita vem da venda dos grãos que correspondem a apenas uma porcentagem dos frutos (Medina Filho et al. 2008).

O rendimento como relação entre frutos colhidos e grãos beneficiados é influenciado pelo efeito de genótipos, enfolhamento das plantas, estágio de maturação dos frutos na época da colheita, espessura do epicarpo, volume do mesocarpo, ocorrência de sementes tipo moca e concha, densidade das sementes e principalmente da presença de frutos chochos; além de fatores ambientais como quantidade e distribuição de chuvas, balanço de nutrientes e ataque de pragas, doenças e nematóides (Monaco, 1960; Vaccarelli et al., 2003; Medina Filho e Bordignon, 2003).

Vaccarelli et al. (2003) estudaram 138 genótipos de *Coffea* mantidos em coleção viva no Centro de Análises e Pesquisa Tecnológica do Agronegócio do Café “Alcides Carvalho”, e demonstraram que o rendimento é variável entre espécies e entre híbridos interespecíficos.

Rena e Maestri (1985) relataram que a retenção foliar em plantas de *C. arabica* foi capaz de promover um aumento de 20% no rendimento de grãos.

No que se refere à maturação dos frutos, no início da colheita, o café muito verde e ainda mal granado apresenta rendimento inferior ao do final quando se concentram frutos cereja, passa e secos.

A espessura da casca e o teor de mucilagem dos frutos também são características de origem genética. Assim, a relação entre frutos colhidos e grãos beneficiados, será tanto maior quanto maior for a espessura do epicarpo e o volume do endocarpo (Monaco, 1960) resultado em baixo rendimento. Desta forma, genótipos de conilon por apresentarem casca mais fina e menor conteúdo de mucilagem, via de regra, rendem mais que os de café arábica como o observado por Vaccarelli et al. (2003).

Medina Filho e Bordignon (2003) salientaram baseados em Vaccarelli (2001) que o rendimento de frutos contendo sementes moca é 25% menor que o dos frutos que possuem ambos os grãos chatos. As sementes tipo concha são pequenas quebradiças e

pouco densas, daí contribuírem para um baixo rendimento. Monaco (1960) estudando plantas de *C. arabica* cv. ‘Mundo Novo’ observou que o rendimento reduz linearmente com o aumento da porcentagem de frutos chochos.

O estresse hídrico prolongado interfere nos processos fisiológicos da planta de café limitando seu crescimento e desenvolvimento. Assim, sob estresse hídrico pode ocorrer queda de folhas e frutos, má granação de frutos e com isso reduzir o rendimento do café (Rena e Maestri, 1985).

Plantas de café bem nutridas apresentam-se mais vigorosas e melhor equilibradas no que tange ao seu balanço energético (Rena et al., 1994). São ainda capazes de suportar melhor as adversidades ambientais e concorrem para uma produção satisfatória de grãos, quer seja em arábica ou em conilon. Plantas sadias são indispensáveis ao bom rendimento, visto que a adequada nutrição pode ser prejudicada pela elevada incidência de pragas e doenças. A ocorrência severa da ferrugem do café conduz freqüentemente a elevada desfolha; ataques de bicho mineiro reduzem a área foliar fotossinteticamente ativa; e os de nematóides e cigarras contribuem para o depauperamento dos cafeeiros seguindo-se a morte de suas raízes (Picanço et al., 2008; Zambolim et al., 2008). Assim, diferentes fatores bióticos e abióticos interferem na produção do cafeeiro.

Ferrão et al. (2007), discorrendo sobre tamanho de sementes e rendimento em café conilon, afirmaram que se tratam de caracteres quantitativos e por tanto, controlados por vários genes. Entretanto, constata-se que o caráter tem sido pouco estudado cientificamente; contudo, de maneira alternativa, índices da relação entre frutos colhidos e grãos beneficiados vêm sendo sugeridos para a estimação da produção de cafeeiros tanto em arábica (Malta et al., 2008) quanto em conilon (Paulino et al., 1987; Matiello, 1998).

Para os programas de melhoramento de café, a análise do rendimento é dispendiosa e morosa. Por exemplo, em um ensaio com 40 genótipos repetidos quatro vezes, em dois locais e em quatro safras; seriam necessárias 1280 medidas da relação entre frutos colhidos e grãos beneficiados. Além do mais, a safra do café é concentrada e cuidados especiais devem ser direcionados a cada amostra de frutos visando sua adequada secagem e beneficiamento, evitando-se misturas.

Neste sentido, o uso de um índice de rendimento para a correção da produção de cafeeiros nas parcelas experimentais seria desejável, à medida que tempo, mão de obra e recursos financeiros poderiam ser reduzidos com as avaliações de pós-colheita.

Dessa forma, o presente estudo objetivou avaliar a precisão do uso de um índice de rendimento, relação entre frutos colhidos e grãos beneficiados igual a 4,0, na estimação da produção de grãos de cafeeiros conilon.

MATERIAL E MÉTODOS

Material genético e desenvolvimento experimental

Foram analisados em três ensaios experimentais 157 genótipos da espécie *C. canephora* var. *conilon*, pertencentes ao programa de melhoramento genético de café conilon do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper); no Estado do Espírito Santo, Brasil. Nos ensaios I e II foram estudados 40 materiais genéticos e no III, 117. Os ensaios foram instalados em regiões representativas do café conilon no Espírito Santo, em condições de sequeiro. As práticas de manejo, adubação, tratos culturais, podas e colheitas foram realizadas de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do café conilon (Ferrão et al., 2004) (Tabelas 1, 2).

Tabela 1. Relação dos locais, espaçamento, épocas de plantio e colheita, número de colheitas, e número de genótipos de cada ensaio experimental

Ensaio	Município	Espaçamento	Época de plantio	Épocas de colheita	Número de colheitas	Número de genótipos
I	Sooretama	3x1,5m	1993	1998 a 2001	4	40
II	Marilândia	3x1,5m	1993	1998 a 2001	4	40
III	Sooretama	3x1,0m	2005	2008 a 2011	4	117

Tabela 2. Locais, georreferenciamento e variáveis edafoclimáticas das regiões onde foram instalados os ensaios I, II e III. Médias anuais, segundo a carta agroclimática do Espírito Santo (Ferrão et al., 2008; INCAPER, 2011)

Local	Coordenadas Geográficas	Altitude (m)	Solo	Fertilidade	Topografia	Precipitação ¹ (mm)	Temp. ² (°C)	U. R. ³ (%)
Sooretama	Lat.	15° 47' S	LVAd ⁴ (80% de areia)	Baixa	Plana	1.200	24	80
	Long.	43° 18' O						
Marilândia	Lat.	19° 24' S	LVA ⁵	Baixa	Ondulada acidentada	1.130	24	74
	Long.	40° 31' O						

¹Precipitação média anual

²Temperatura média anual - Temp

³Umidade Relativa do ar - U.R.

⁴Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Arenoso – LVAd

⁵Latossolo Vermelho-Amarelo

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições e duas plantas por parcela nos ensaios I e II, e duas repetições com cinco plantas por parcela no ensaio III.

As variáveis analisadas para cada genótipo na média das repetições foram:

- rendimento como relação entre frutos colhidos e grãos beneficiados (FcBe):

a determinação de FcBe para cada genótipo foi feita calculando-se a relação existente entre uma alíquota de 2 kg de frutos recém colhidos, amostra composta da parcela experimental, e os grãos resultantes de sua secagem e beneficiamento;

- produção de grãos observada em kg.panta⁻¹ (PGO):

$$PGO = (PF/FcBe) ,$$

em que, PF é a produção de frutos em kg.planta⁻¹ e FcBe é o rendimento do genótipo como relação entre frutos colhidos e seus respectivos grãos beneficiados; e

- produção de grãos estimada em kg.panta⁻¹ (PGE):

$$PGE = (PF/4,0) ,$$

em que, PF é a produção de frutos em kg.planta⁻¹ e 4,0 é um índice para FcBe. Este índice indica que seriam necessários quatro quilogramas de frutos colhidos para que se obtivesse um quilograma de grãos beneficiados. No Incaper desde 1985, quando se iniciou o programa de melhoramento genético de café conilon, tem-se observado que a média para FcBe situa-se em valores próximos a 4,0 (Fonseca e Ferrão, 2008). Paulino

et al. (1987) e Matiello (1998) também indicaram este índice para a estimação da produção de cafeeiros conilon.

Toda a parte experimental foi planejada e conduzida pelo programa de melhoramento genético de café conilon do Incaper, que muito gentilmente cedeu os dados experimentais para a realização desta pesquisa.

Análises biométricas

a) Biometrias descritivas para o caráter rendimento (FcBe)

Com a finalidade de detectar e descrever padrões de interesse na performance dos genótipos em relação ao rendimento (FcBe), para cada ensaio e safra calcularam-se: média, erro-padrão da média, mediana, moda, coeficiente de variação, curtose e os valores mínimos e máximos encontrados para o caráter.

b) Comparação entre a produção de grãos observada (PGO) e a estimada (PGE)

Nesta etapa confrontou-se os dados de PGO tidos como padrão de comparação, com os de PGE a fim de se verificar a precisão e o erro inerente ao estimador da PGE baseado em FcBe = 4,0.

Assim, em cada ensaio e para cada safra estudada, ajustou-se um modelo de regressão linear simples relacionando-se os valores de PGO e PGE. Desta forma:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i ,$$

em que: Y_i é a produção de grãos estimada do i-ésimo genótipo – PGE; β_0 é o coeficiente linear; β_1 é coeficiente angular ou regressor; X_i é a produção de grãos observada do i-ésimo genótipo - PGO; e ε_i é o erro aleatório associado a cada observação. Os parâmetros do modelo foram estimados pelo método dos mínimos quadrados ordinários e em seguida, procedeu-se o cálculo do coeficiente de determinação do modelo (r^2):

$$r^2 = \text{SQReg}/\text{SQTotal} ,$$

em que, SQReg é a soma de quadrados da regressão e SQTotal é a soma de quadrados total.

A existência de associação linear entre os dados de PGO e PGE no que tange a sua magnitude e sentido foi investigada através da correlação de Pearson (r), neste caso,

estimada como a raiz quadrada de r^2 , ela também se refere à acurácia das estimativas da PGE.

A verificação da concordância, entre as estimativas da PGE e os valores observados da PGO, foi realizada executando-se a estatística (d) de Willmott, na qual os valores encontrados variam de “zero” (sem concordância) a “um” (concordância perfeita). Esta metodologia tem sido amplamente utilizada nas diversas áreas das agrociências (Reis et al., 2007; Fialho et al., 2011).

O valor de (d) é calculado por meio da seguinte equação:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=0}^n (PGE - PGO)^2}{\sum_{i=1}^n (|PGE - \overline{PGO}| + |PGO - \overline{PGO}|)^2} \right],$$

onde:

d = índice de concordância de Willmott;

PGE = produção de grãos estimada;

PGO = produção de grãos observada; e

$\overline{PGO}$ = média geral das observações da PGO .

O erro inerente ao estimador da PGE foi avaliado como “erro relativo médio” (ERM%), média do valor das diferenças (em módulo) entre os valores de PGE e PGO, expressas como porcentagem dos valores de PGO.

Os valores de PGO e PGE foram plotados em gráficos do tipo dispersão X, Y contendo a reta de equivalência 1:1.

Entre os conjuntos de dados formados pelas variáveis PGO e PGE, também calculou-se a coincidência da ocorrência dos genótipos de conilon nas observações superiores referentes a 20% do total das observações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise exploratória dos dados de rendimento (FcBe)

Para o rendimento como relação entre frutos colhidos e grãos beneficiados (FcBe) o coeficiente de variação (CV), considerando os ensaios I, II e III, variou de 4,97% a 19,75% (Tabela 3); valores que estiveram dentro da faixa considerada aceitável para culturas perenes (Fonseca, 1999; Bonomo et al., 2004; Ferrão et al., 2008).

O valor mínimo encontrado para o caráter foi de 3,07 no ensaio II safra 2000, e máximo de 10,53 no ensaio III safra 2008 (Tabela 3). Esta variação era de certo modo esperada visto que foram analisados 157 genótipos não irrigados em um total de 12 ambientes, combinação de safras e locais. Assim, a variabilidade encontrada para FcBe, muito provavelmente, deveu-se ao efeito de genótipos e a sazonalidade.

De modo geral, os valores da média, mediana e moda, foram semelhantes e os de curtose positivos para todos os ensaios (Tabela 3). Isto indica grande concentração de valores homogêneos de FcBe próximos à média (Ferreira, 2005; Ribeiro Júnior, 2008; Dias e Barros, 2009).

A média de FcBe considerando todos os ensaios foi de $4,11 \pm 0,09$ (Tabela 3). O pequeno erro-padrão detectado denota boa precisão da estimativa média do caráter e, reforça a hipótese de que há a tendência de FcBe manter seus valores em torno de 4,0, e estão de acordo com Paulino et al. (1987) e Matiello (1998).

Estudo da adequação do estimador da PGE baseado em $FcBe = 4,0$

A adequação de estimadores matemáticos que simulam observações biológicas é possível a partir da combinação de um conjunto de estatísticas apropriadas a respeito do propósito para o qual o estimador foi concebido. Assim, encontram-se nas Figuras 1, 2 e 3 para os ensaios I, II e III, respectivamente; os gráficos de dispersão X, Y contendo a equação de regressão linear, o coeficiente de determinação, a reta de equivalência 1:1, a correlação de Pearson (r), a estatística d de Willmott e o erro relativo médio expresso em porcentagem dos dados observados para as variáveis PGO e PGE.

Na a maioria dos ensaios e safras detectou-se através de r forte associação linear entre os dados de PGO e PGE, com magnitudes próximas a unidade e mesmo sentido de variação. Entretanto na safra 1999 do ensaio II o valor de r foi 0,79, que embora menor, também pode ser considerado como de alta magnitude (Figuras 1, 2, 3). Assim, os

valores de r detectados denotam elevada acurácia para o estimador de PGE. Porém, embora r seja um bom indicador de associação linear, ele não consegue detectar os desvios do conjunto de dados em relação à reta de equivalência 1:1 (Lin, 1989).

Assim, o índice de concordância de Willmott (d) mede o quão próximo da reta de equivalência 1:1 estão os dados estimados, ou, em outras palavras, indica o grau de aproximação dos valores estimados em relação aos observados (Willmott et al., 1985).

Desta forma, estimativas de d superiores a 0,90, foram detectadas para a maioria dos ensaios e safras, exceto para o ensaio II safra 1999 (0,87) (Figuras 1, 2, 3). Portanto, os valores de d encontrados revelam que o estimador de PGE baseado em $FcBe = 4,0$ estimou valores próximos aos de PGO.

O erro relativo médio expresso em porcentagem dos dados observados (ERM%) na média das quatro safras foi de 6,72%, 11,92% e 9,08% para os ensaios I, II e III, respectivamente (Figuras 1, 2, 3). O ERM% encontrado pode ser considerado como de pequena magnitude. Esse resultado era esperado devido ao grande número de variáveis envolvidas na relação $FcBe$ e às variações ambientais de ano para ano.

Para os três ensaios, a coincidência da ocorrência dos genótipos de conilon nas observações superiores referentes a 20% do total das observações de PGO e PGE encontra-se na Tabela 4. Os limites máximos e mínimos encontrados para a coincidência, considerando todos os ensaios e safras foram de 38% a 100%.

Torna-se importante salientar que o limite mínimo de coincidência correspondeu a safra de 1999 no ensaio II, reafirmando o encontrado pelas estatísticas anteriores, onde nesta safra detectou-se CV para $FcBe$ de 19,75 (Tabela 3), d abaixo de 0,90 e ERM% de 14,68% (Figura 2). Segundo INCAPER (2011), a média de precipitação anual para o ano de 1999 em Marilândia foi de 833 mm, 297 mm abaixo da média da série histórica da localidade. Em contra partida, o limite máximo de coincidência correspondeu a safra de 2000 também no ensaio II, neste ano a média de precipitação foi de 1360 mm, 230 mm acima da média da referida série histórica (INCAPER, 2011). Resultados como este indicam que novos estudos devem ser conduzidos visando elucidar os efeitos das variáveis climáticas sobre o rendimento do cafeeiro conilon, especialmente em anos atípicos para a cultura.

Para a coincidência medida em biênios, valores discordantes foram detectados (Tabela 4). Assim, torna-se mais confiável usar as estimativas da coincidência tomadas considerando-se todas as safras acumuladas que no geral mostraram magnitudes acima

de 74% (Tabela 4). Exemplificando, dentre os 23 genótipos superiores do ensaio III, 20% do total das observações, 17 foram coincidentes nos conjuntos de dados de PGO e PGE (Tabela 4).

Tabela 3. Estatísticas descritivas para o caráter rendimento, relação entre frutos colhidos e grãos beneficiados (FcBe), para 40 genótipos de café conilon nos ensaios I e II; e 117 no esnsaio III

Ensaio	Safr	n ^a	PM ^b	FcBe						
				($\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$) ^c	Md ^d	Mo ^e	CV (%) ^f	k ^g	Mín. ^h	Máx. ⁱ
I	1998	40	57,63 ± 2,82	4,15 ± 0,05	4,16	4,48	8,00	0,48	3,42	5,08
	1999		45,45 ± 2,73	3,96 ± 0,05	3,96	4,01	8,20	1,05	3,40	4,60
	2000		71,34 ± 3,04	3,85 ± 0,04	3,82	3,78	6,46	0,83	3,18	4,45
	2001		54,63 ± 3,16	3,76 ± 0,03	3,78	3,70	4,97	0,89	3,28	4,18
II	1998	40	55,67 ± 2,25	3,87 ± 0,06	3,84	3,93	9,12	1,47	3,35	4,93
	1999		54,38 ± 1,93	4,39 ± 0,14	4,17	-	19,75	2,72	3,39	7,10
	2000		36,42 ± 2,49	3,60 ± 0,04	3,60	-	7,04	0,18	3,07	4,19
	2001		36,28 ± 1,90	4,64 ± 0,09	4,59	4,95	11,75	0,07	3,80	5,98
III	2008	117	93,51 ± 1,82	4,25 ± 0,06	4,19	4,24	15,80	66,41	3,36	10,53
	2009		42,87 ± 1,78	4,21 ± 0,07	4,10	-	17,13	30,35	3,37	9,13
	2010		106,78 ± 2,66	4,55 ± 0,07	4,35	-	15,65	24,03	3,66	9,75
	2011		61,16 ± 2,46	4,14 ± 0,03	4,14	-	7,09	0,79	3,41	5,08
A ^j		12		4,11 ± 0,09	4,15	-	7,73	0,76	3,60	4,64

^aTamanho da amostra - n

^bProdutividade média de grãos e erro padrão da média em sacas beneficiadas por hectare - PM

^cMédia e erro-padrão da média dos valores de rendimento (FcBe) - ($\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$)

^dMediana dos valores de rendimento (FcBe)-Md

^eModa dos valores de rendimento (FcBe)- Mo

^fCoefficiente de variação em porcentagem dos valores de rendimento (FcBe) – CV

^gCurtose dos valores de rendimento (FcBe) - k

^hValor mínimo de rendimento (FcBe) – Mín.

ⁱValor máximo de rendimento (FcBe) – Máx.

^jEstatísticas considerando as médias de todos os ensaios - A

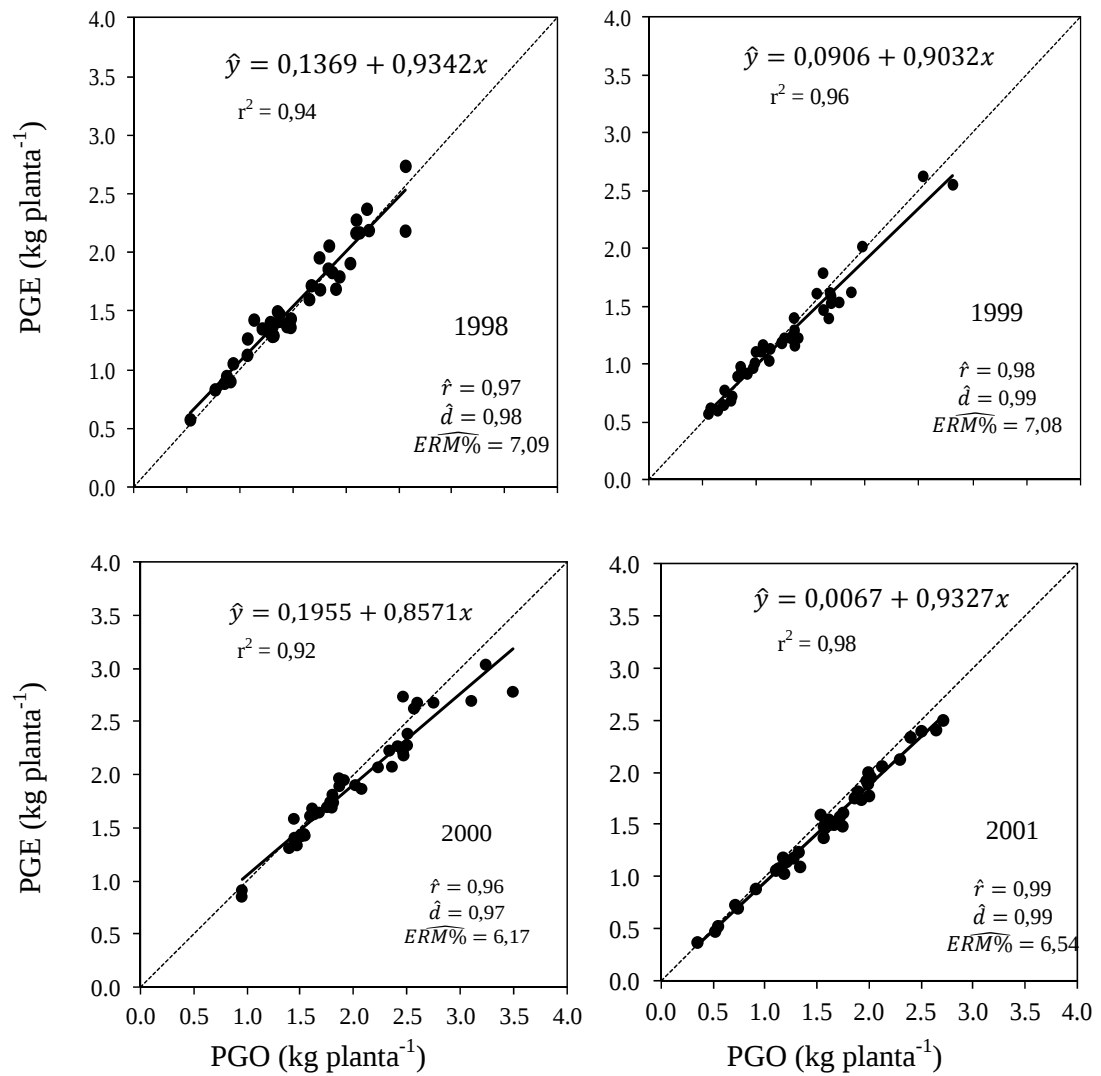


Figura 1. Relação entre a produção de grão observada (PGO) e estimada (PGE) considerando o índice de rendimento FcBe igual a 4,0; e índices estatísticos “r”, “d” e ERM% nas safras de 1998, 1999, 2000 e 2001 para 40 genótipos de café conilon (Ensaio I). A linha diagonal contínua representa a reta de equivalência 1:1.

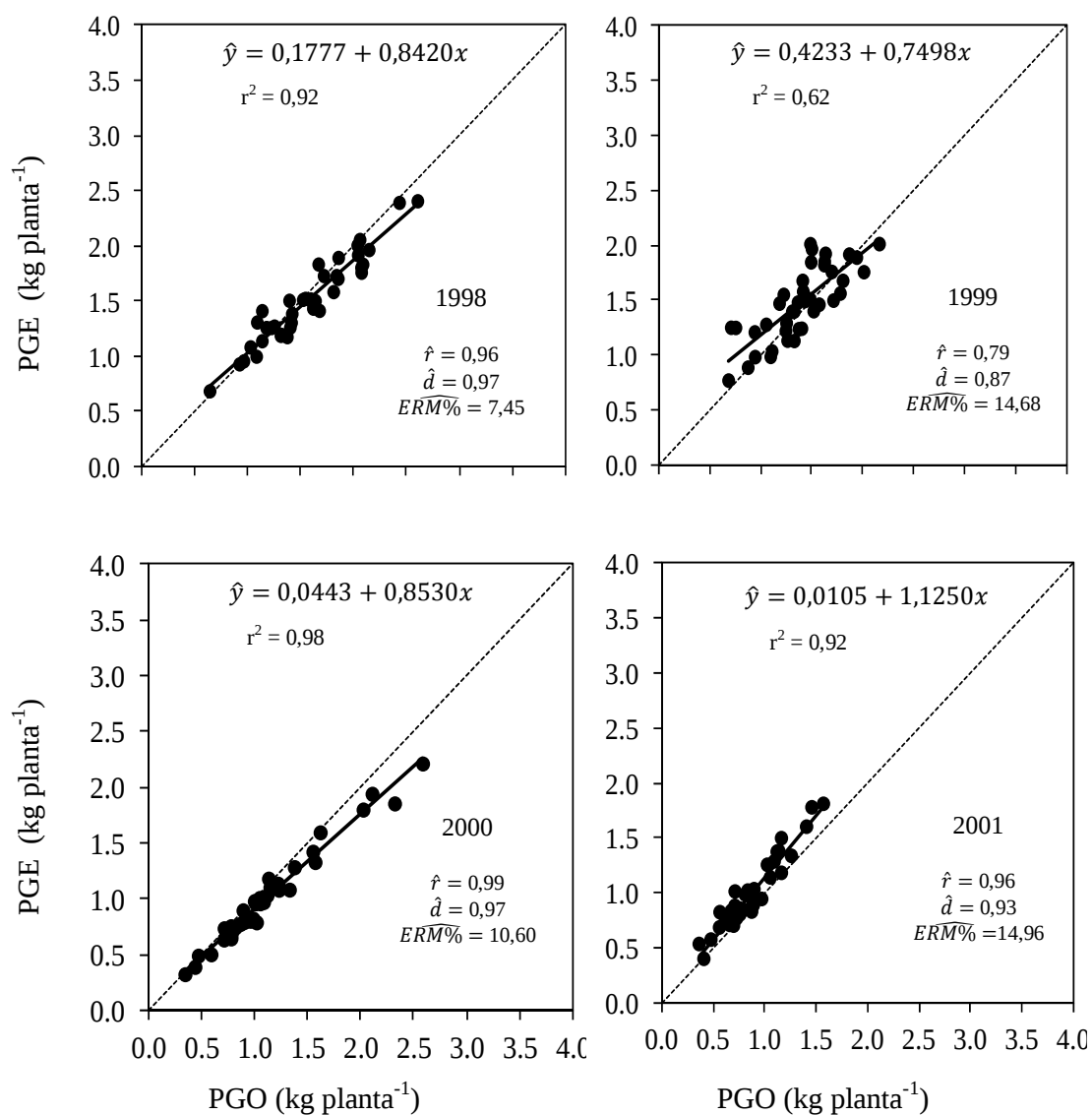


Figura 2. Relação entre a produção de grão observada (PGO) e estimada (PGE) considerando o índice de rendimento FcBe igual a 4,0; e índices estatísticos “r”, “d” e ERM% nas safras de 1998, 1999, 2000 e 2001 para 40 genótipos de café conilon (Ensaio II). A linha diagonal contínua representa a reta 1:1.

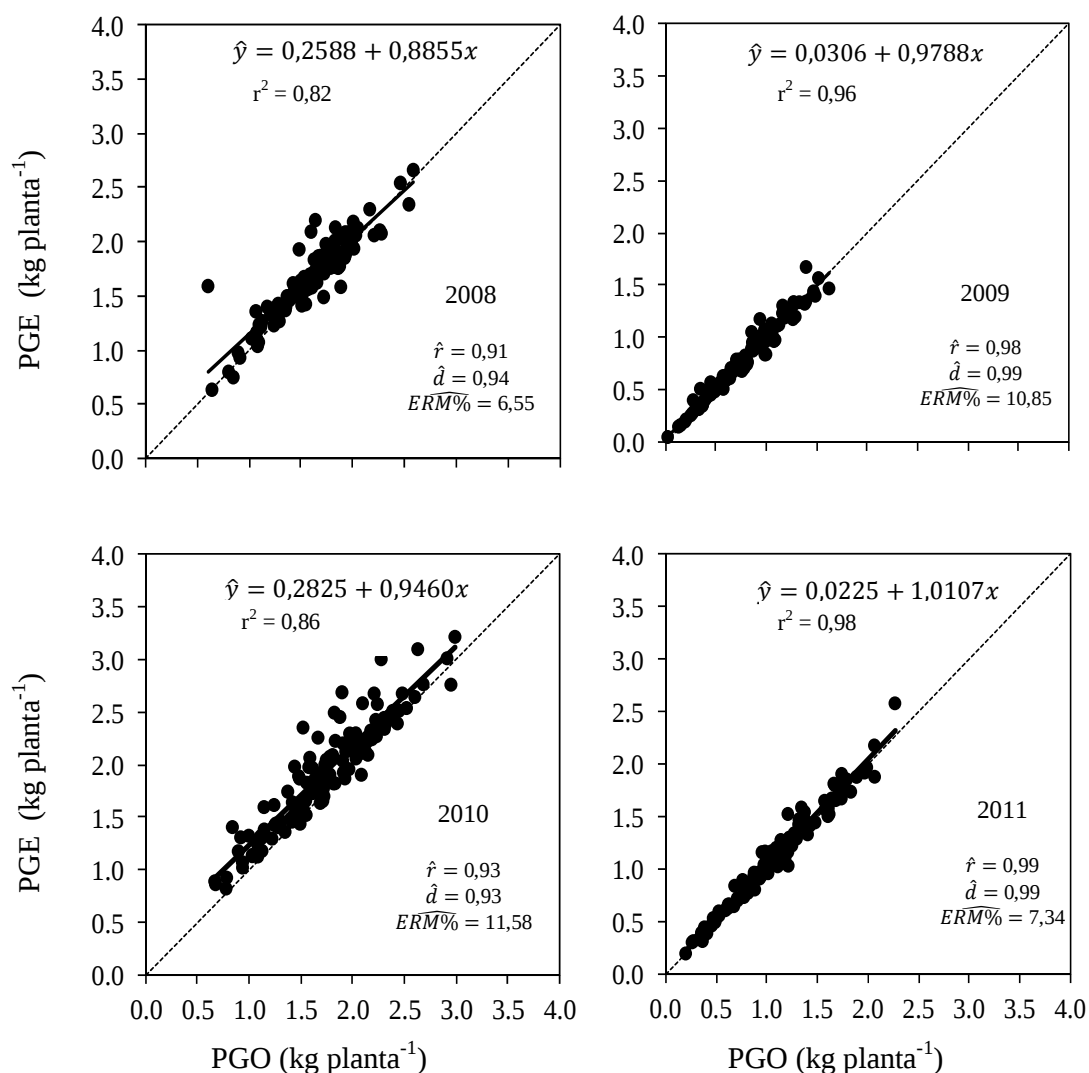


Figura 3. Relação entre a produção de grão observada (PGO) e estimada (PGE) considerando o índice de rendimento FcBe igual a 4,0; e índices estatísticos “r”, “d” e ERM% nas safras de 2008, 2009, 2010 e 2011 para 117 genótipos de café conilon (Ensaio III). A linha diagonal contínua representa a reta 1:1.

Tabela 4. Coeficiente de coincidência (CC %) para 20% do total das observações superiores, obtido confrontando-se os dados da produção de grãos observados (PGO) e estimados (PGE) pelo índice de rendimento^a em diferentes ensaios, safras, biênios e genótipos de café conilon

Ensaio	NG ^b	Safras	CC %
I	8	1998	88
		1999	75
		2000	88
		2001	88
		B1 ^c	75
		B2 ^d	88
		TSA ^e	75 (6)
II	8	1998	63
		1999	38
		2000	100
		2001	88
		B1 ^c	50
		B2 ^d	75
		TSA ^e	88 (7)
III	23	2008	74
		2009	87
		2010	83
		2011	91
		B1 ^c	83
		B2 ^d	78
		TSA ^e	74 (17)

^aÍndice de rendimento, relação entre frutos colhidos e grãos beneficiados de 4:1

^bNúmero de genótipos referente a 20% do total das observações de cada ensaio -NG

^cBiênio 1, corresponde a soma das safras duas primeiras safras – B1

^dBiênio 2, corresponde a soma das safras duas últimas safras – B2

^eTodas as safras acumuladas – TSA

Obs: valores em parênteses se referem ao número de genótipos coincidentes entre PGO e PGE considerando uma amostra de 20% do total das observações superiores em ambos os conjuntos de dados

Resultados e suas implicações em programas de melhoramento do cafeeiro conilon

Assim, nas condições ambientais em que os experimentos foram conduzidos e com o germoplasma pesquisado, foi possível verificar que a elevada precisão associada a um baixo erro relativo médio para o estimador de PGE, e as coincidências entre genótipos de conilon nas observações de PGO e PGE; indicam que o índice de rendimento $FcBe = 4,0$ se ajusta aos estudos da estimação da produção de grãos destes cafeeiros. Os resultados estão de acordo com o citado por Paulino et al. (1987) e Matiello (1998).

Salienta-se que devido a grande variabilidade para rendimento encontrada no germoplasma de *Coffea* (Medina Filho et al., 2008), em casos particulares, o uso de um índice de rendimento pode sub ou superestimar a produtividade de genótipos que apresentem desvio acentuado em relação a esse índice.

Em ensaios de competição onde o interesse é o *ranking* dos genótipos, é relevante o uso medidas individuais de rendimento $FcBe$ em cada material genético. Dessa forma a precisão do trabalho é resguardada.

Os materiais genéticos mais produtivos dentre os 157 genótipos analisados exibiram média de $FcBe$ em torno de 4,0. Assim, a utilização deste índice de rendimento é interessante nos casos onde o número de genótipos a ser avaliado é elevado e, um *screening* dos promissores desejável. O uso desse índice proporcionaria redução de tempo, mão de obra e recursos financeiros nas avaliações de pós-colheita dos ensaios experimentais.

Ao se tomar decisão a favor do uso do índice de rendimento $FcBe = 4,0$, é de suma importância acompanhar as porcentagens de frutos chochos e grãos moca nos genótipos, visto que o rendimento real é fortemente dependente dos valores destas características (Medina Filho et al., 2008). Essa conduta reduziria possíveis equívocos referentes ao comportamento dos genótipos de café para o caráter em questão.

CONCLUSÕES

1. O uso do índice de rendimento FcBe (relação entre frutos colhidos e grãos beneficiados) igual a 4,0, na estimação da produção em cafeeiros conilon, mostrou elevada precisão na média dos ensaios analisados.
2. Novos estudos devem ser conduzidos visando elucidar os efeitos das variáveis climáticas sobre o rendimento do cafeeiro conilon, especialmente em anos atípicos para a cultura.
3. A utilização de um índice de rendimento torna-se interessante em casos onde o número de genótipos a ser avaliado é muito grande e, um *screening* dos promissores desejável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BONOMO, P.; CRUZ, C. D.; PEREIRA, A. A.; VIANA, J. M. S.; OLIVEIRA, V. R.; CARNEIRO, P. C. S. Seleção antecipada de progênies de café descendentes de híbrido de Timor x catuaí amarelo e catuaí vermelho. **Acta Scientiarum**, v. 26, p. 91-96, 2004.
- DIAS, L. A. S.; BARROS, W. S. **Biometria experimental**. Vicosá, MG: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2009. 408 p.
- FERRÃO, R. G.; CRUZ, C. D.; FERREIRA, A.; CECON, P. R.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; SILVA, M. F. Parâmetros genéticos em café conilon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 61-69, 2008.
- FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; PACOVA, B. E. V. Melhoramento genético de *Coffea canephora*. In: FERRÃO, R. G. et al. (Eds.). **Café Conilon**. Vitória, ES: INCAPER, 2007, p. 121-173.
- FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H.; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. S.; MARQUES, E. M. G.; ZUCATELI, F. **Café Conilon: técnicas de produção com variedades melhoradas**. Vitória, ES: INCAPER, 2004. 60 p. (INCAPER: Circular Técnica, 03 – I).
- FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. Lavras, MG: UFLA, 2005. 664p.
- FIALHO, G. S.; DALVI, L. P. CORRÊA, N. B.; KUHLCAMP, K. T.; EFFGEN, E. M. Predição da área foliar em abobrinha-italiana: um método não destrutivo, exato, simples, rápido e prático. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.1, n.2, p. xx – xx, 2011. (Aceito para publicação no número indicado).
- FONSECA, A. F. A. **Análises biométricas em café conilon** (*Coffea canephora* Pierre). Viçosa, MG: DFT/UFV, 1999. 121 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.

FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, R. G. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper). Vitória, ES. (Comunicação Pessoal). 2008.

GASPARI-GASPARI-PEZZOPANE, C. de; FAVARIN, J. L.; MALUF, M. P.; GASPARI-PEZZOPANE, J. R. M.; GUERREIRO FILHO, O. Atributos fenológicos e agronômicos em cultivares de cafeeiro arábica. **Ciência Rural**, v. 39, n. 3, p. 711-717, 2009.

INCAPER. **Meteorologia e Recursos Hídricos**: Série Histórica. Disponível em: <<http://hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/?pagina=sh>> . Acesso em 27 dez. 2011.

LIN, L. I. K. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. **Biometrics**, v. 45, p. 255–268, 1989.

MALTA, M. R.; CHAGAS, S. J. R.; CHALFOUN, S. M. Colheita e pós-colheita do café: recomendações e coeficientes técnicos. **Informe Agropecuário**, v.29, n. 247, p.83-94, 2008.

MATIELLO, J. B. **Café Conillon**: como plantar, tratar, colher, preparar e vender. Rio de Janeiro: PROCAFÉ, 1998. 162p.

MEDINA FILHO, H. P.; BORDIGNON, R. Rendimento intrínseco: critério adicional para selecionar de cafeeiros mais rentáveis. **O Agrônomo**, v. 55, n. 2, 2003.

MEDINA FILHO, H. P.; BORDIGNON, R.; CARVALHO, C. H. S. Desenvolvimento de novas cultivares de café arábica. In: CARVALHO, C. H. S. (Org.). **Cultivares de Café**: origem, características e recomendações. Brasília: EMBRAPA CAFÉ, 2008. p. 79-102.

MENDES, A. J. T.; CONAGIN, A. Produtividade e rendimento dos dois clones de plantas existentes no café Mundo Novo. **Bragantia**, v. 14, n. 10, p. 102-107, 1955.

MONACO, L. C. Efeito das lojas vazias sobre o rendimento do café Mundo Novo.

Bragantia, Campinas, v. 19, p. 01-12, 1960.

PAULINO, A. J.; MATIELLO, J. B.; PAULINI, A. E.; BRAGANÇA, J. B. **Cultura do café conillon**. Rio de Janeiro: MIC-IBC-DIPRO, 1987. 43p.

PICANÇO, M. C.; FERNANDES, F. L.; FERNANDES, M. E. S.; MOREIRA, M. D.; GONTIJO, P. C.; SILVA, G. A. Manejo integrado das pragas do cafeeiro. In: TOMAZ, M. A. et al. (Orgs.). **Seminário para a Sustentabilidade da Cafeicultura**. Alegre: CCA UFES, 2008, p. 229-248.

REIS, E. F.; BRAGANÇA, R.; GARCIA, G. O.; PEZZOPANE, J. E. M.; TAGLIAFERRI, C. Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do Estado do Espírito Santo no período seco. **Idesia**, v. 23, p. 1-10, 2007.

RENA, A. B.; BARROS, R. S.; MAESTRI, M.; SÖNDAHL, M. R. Coffee. In: Schaffer, B.; Andersen, P.C. (Ed.). **Handbook of Environmental Physiology of Tropical Fruit Crops: Sub-Tropical and Tropical Crops**. Boca Raton: C.R.C. Press, 1994. p.101-122.

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, v.11, p.26-40, 1985.

RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Análises estatísticas no EXCEL**: guia prático. Viçosa, MG: UFV, 2008, 251p.

VACARELLI, V. N.; MEDINA FILHO, H. P.; FAZUOLI, L. C. Avaliação de frutos chochos e de sementes do tipo moca no rendimento de híbridos arabustas tetraplóides (*Coffea arabica* x *Coffea canephora*). **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 19, n. 3, p. 155-165, 2003.

VACCARELLI, V. N. **Frutificação e caracterização de frutos e sementes de híbridos arabustas tetraplóides (*Coffea arabica* x *c. canephora*)**. Campinas, SP: IAC.

2001. 77 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Instituto Agronômico de Campinas, 2001.

WILLMOTT, C. J.; CKLESON, S. G.; DAVIS, R. E. Statistics for evaluation and comparasion of models. **Journal of Geophysical Research**, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.

ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; JESUS JÚNIOR, W. C. Manejo integrado das doenças do cafeeiro. In: TOMAZ, M. A.; AMARAL, J. F. T.; JESUS JUNIOR, W. C.; PEZZOPANE, J.R.M. (Org.). **Seminário para a Sustentabilidade da Cafeicultura**. Alegre: CCA UFES, 2008, p. 169-190.

4. ARTIGO - C

REPETIBILIDADE DAS CARACTERÍSTICAS DO GRÃO DE CAFÉ CONILON VISANDO A SELEÇÃO PRECOCE

RESUMO

O café conilon (*Coffea canephora*) apresenta propriedades notáveis para produção de cafês solúveis e utilização em *blends* com o café arábica. Por esta razão, estudos sobre as características de seus grãos têm sido alvo dos programas de melhoramento genético da espécie. Entretanto, estes cafeeiros apresentam período juvenil e ciclo reprodutivo longo, além de instabilidade temporal de produção, conseqüentemente, seu melhoramento genético é demorado. Assim, a antecipação das avaliações e do processo de seleção resultaria em menor gasto de tempo e áreas experimentais, tornando os programas de melhoramento menos onerosos. Desta forma, o objetivo do presente estudo foi estimar, por diferentes métodos, os coeficientes de repetibilidade para características relativas aos grãos de café conilon e avaliar a possibilidade de seleção precoce. Para tanto, os coeficientes de repetibilidade foram obtidos a partir da análise de variância, componentes principais baseados nas matrizes de correlações e covariâncias e na análise estrutural baseada na matriz de correlações. As estimativas foram feitas com base na média de quatro colheitas e em três ensaios experimentais distintos totalizando 157 genótipos estudados. Avaliou-se o percentual de grãos chatos, percentual de grãos moca e peneira média. Os métodos adotados proporcionaram estimativas de repetibilidade similares e de média a elevada magnitudes para todas as características analisadas. Assim, é possível avaliar e selecionar acuradamente cafeeiros conilon após duas colheitas sucessivas para a característica peneira média e três para o percentual de grãos chatos e moca.

Palavras-chave: *Coffea canephora*, melhoramento genético, medidas repetidas, biometria

REPEATABILITY OF ROBUSTA COFFEE TRAITS GRAINS IN ORDER TO EARLY SELECTION

ABSTRACT

Conilon coffee (*Coffea canephora*) has remarkable properties for soluble coffee production and use in blends with arabica coffee. For this reason, the characteristics of its grain have been the targets of current breeding programs of the species. However, these trees present long juvenile period and reproductive cycle besides temporal instability of production. Thus, genetic improvement becomes slow and requires evaluations of precocity and productive longevity. Nevertheless, the anticipation of the evaluations and the selection process would result in less waste of time and experimental areas, making breeding programs less expensive. This way, the objective of this study was to estimate, by different methods, the repeatability coefficients for characteristics of the grain of conilon coffee and evaluate the possibility of early selection. For this purpose, the coefficients of repeatability were obtained from the analysis of variance, principal components based on the covariance and correlation matrices and on the structural analysis based on correlation matrix. The estimates were based on the average of four crops and three experimental trials totaling 157 distinct studied genotypes. We evaluated the percentage of flat beans, percentage of mocha and average sieve. The adopted methods provided similar estimates of repeatability and intermediate to high magnitudes for all variables analyzed. Thereby, it is possible to evaluate and select accurately conilon coffee plants after two successive crops for average sieve and three for the percentage of flat beans and mocha.

Keywords: *Coffea canephora*, genetic improvement, repeated measures, biometrics

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e exportador de café do mundo, em 2011 sua produção foi de 43,48 milhões de sacas de 60 kg beneficiadas, destas 32,18 foram de café arábica (*Coffea arabica*) e 11,29 de café conilon (*Coffea canephora*) (CONAB, 2011).

O café conilon, espécie perene, caracteriza-se por suas notáveis propriedades na produção de cafés solúveis, sendo muito freqüentemente utilizado em *blends* com o café arábica na indústria de torrados e moídos, conferindo ao produto final expressiva capacidade de competição mercadológica, devido ao seu maior rendimento industrial e aos menores preços praticados em sua comercialização (Fonseca et al., 2007).

O maior Estado brasileiro produtor de conilon é o Espírito Santo com a produção de 8,49 milhões de sacas (CONAB, 2011). Isto se deve, em grande parte, aos programas de melhoramento genético e a adoção tecnologias associadas, tais como as variedades clonais, o plantio em linha, a poda e o adensamento, o uso eficiente da irrigação e aos avanços em nutrição. No referido estado, a produtividade média de conilon passou de 9,2 sacas por hectare (sc.ha⁻¹) em 1993 para 30,33 sc.ha⁻¹ em 2011, um incremento de 230% (Ferrão et al., 2010; CONAB, 2011).

O café conilon apresenta como aspectos peculiares, o período juvenil e o ciclo reprodutivo longo, além da instabilidade temporal de produção, conseqüentemente, seu melhoramento genético é demorado (Ferrão et al., 2007). Assim, a antecipação das avaliações e do processo de seleção resultaria em menor gasto de tempo e áreas experimentais, tornando os programas de melhoramento menos onerosos.

Neste sentido, segundo Dias e Kageyama (1998), o coeficiente de repetibilidade é fonte de informação indispensável aos melhoristas de plantas perenes, pois permite a seleção precoce acurada de indivíduos superiores. A repetibilidade é a análise da correlação entre sucessivas medições de um caráter, em que, através desta, espera-se que a superioridade ou inferioridade verificada inicialmente num indivíduo, mantenha-se ao longo do tempo e/ou espaço. Além disso, sua estimativa é facilmente alcançada dispensando cruzamentos controlados e testes de progênies.

Quando um caráter na mesma planta é mensurado η vezes, a média dessas η observações é um estimador não viesado de seu valor genotípico. Assim, a variância fenotípica pode ser fracionada em dois componentes. Um deles devido à variação temporal, causando diferenças entre as sucessivas mensurações dentro de um mesmo

indivíduo, completamente de origem ambiental. O outro ocorre em parte devido à variação ambiental permanente e à variação genotípica, sendo útil para descrever as diferenças entre indivíduos (Falconer, 1989).

Segundo Cruz et al. (2004), a repetibilidade representa o máximo valor que a herdabilidade no sentido amplo pode atingir. Dessa forma, quando a variância proporcionada pelos efeitos permanentes do ambiente é minimizada, a repetibilidade aproxima-se da estimativa da herdabilidade. Portanto, a repetibilidade expressa a proporção da variância total do caráter que é devida ao genótipo e as alterações permanentes do ambiente.

Valores altos de repetibilidade em um dado caráter indicam que é possível prever o valor real dos indivíduos com um menor número de medições (Cornacchia et al., 1995), de modo que pouco ganho em acurácia haverá com o aumento do número de medidas repetidas (Falconer, 1989). No entanto, quando a repetibilidade é baixa, grande número de repetições será necessário para que se alcance um coeficiente de determinação satisfatório. O conhecimento do coeficiente de repetibilidade permite, portanto, que a fase de avaliação e seleção seja executada com maior eficiência.

A estimativa do coeficiente de repetibilidade tradicionalmente tem sido feita pelo método da análise de variância. Entretanto, outros métodos como, por exemplo, o dos componentes principais (Abeywardena, 1972; Rutledge, 1974) e a análise estrutural (Mansour et al., 1981) têm sido propostos e utilizados visando aumentar a acurácia da referida estimativa (Cruz et al., 2004).

Vários trabalhos sobre repetibilidade podem ser encontrados na literatura pertinente, por exemplo, cacau (Dias e Kageyama, 1998), cana-de-açúcar (Ferreira et al., 2005) e pinheira (DoVale et al., 2011). Para a cultura do café, tanto no arábica quanto no conilon, tais publicações têm se concentrado na estimativa da repetibilidade para a produção média de grãos (Ferrão, 2004; Fonseca et al., 2004; Bonomo et al., 2004; Mistro et al., 2008) sendo raros ou inexistentes trabalhos desta natureza para as características do grão do café. O que seria relevante especialmente para *C. canephora*. Isto porque, a redução de grãos tipo moca e o aumento do tamanho médio dos grãos têm sido alvo dos atuais programas de melhoramento genético da espécie. Os grãos de conilon apresentam dimensões quase sempre menores que os de arábica e seu formato varia de arredondado ao canoa, são ainda amarronzados e pouco brilhantes, embora haja grande variabilidade genética para as essas características (Ferrão et al., 2007).

Dessa forma, o objetivo do presente estudo, foi estimar por diferentes métodos os coeficientes de repetibilidade para características dos grãos de café conilon e avaliar a possibilidade de seleção precoce.

MATERIAL E MÉTODOS

Material genético e desenvolvimento experimental

Foram avaliados em três ensaios experimentais 157 genótipos da espécie *C. canephora* var. *conilon* pertencentes ao programa de melhoramento genético de café conilon do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper); no Estado do Espírito Santo, Brasil. Nos ensaios I e II foram estudados 40 genótipos e no ensaio III, 117. Os ensaios foram instalados em regiões representativas da produção de conilon no Espírito Santo, sem irrigação e seguindo as recomendações técnicas para a cultura (Ferrão et al., 2004, 2007) (Tabela 1, 2).

Tabela 1. Relação dos locais, espaçamento, épocas de plantio e colheita, número de colheitas, e número de genótipos de cada ensaio experimental

Ensaio	Município	Espaçamento	Época de plantio	Épocas de colheita	Número de colheitas	Número de genótipos
I	Sooretama	3x1,5m	1993	1998 a 2001	4	40
II	Marilândia	3x1,5m	1993	1998 a 2001	4	40
III	Sooretama	3x1,0m	2005	2008 a 2011	4	117

Tabela 2. Locais, georreferenciamento e variáveis edafoclimáticas das regiões onde foram instalados os ensaios I, II e III. Médias anuais, segundo a carta agroclimática do Espírito Santo (Ferrão et al., 2008; INCAPER, 2011)

Local	Coordenadas Geográficas		Altitude (m)	Solo	Fertilidade	Topografia	Precipitação (mm)	Temp. ¹ (°C)	U. R. ² (%)
Sooretama	Lat.	15° 47' S	40	LVAd ³ (80% de areia)	Baixa	Plana	1.200	24	80
	Long.	43° 18' O							
Marilândia	Lat.	19° 24' S	70	Cristalino	Baixa	Ondulada acidentada	1.100	24	74
	Long.	40° 31' O							

¹Temperatura - Temp

² Umidade Relativa - U.R.

³ Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico - LVAd

Avaliaram-se o percentual de grãos chatos (GCHA); percentual de grãos moca (GMO) e peneira média (PM). Em todos os ensaios realizou-se quatro medições (colheitas) em diferentes épocas ao longo do tempo (Tabela 1). O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições e duas plantas por parcela nos ensaios I e II, e duas repetições com cinco plantas por parcela no ensaio III.

Toda a parte experimental foi planejada e conduzida pelo programa de melhoramento genético de café conilon do Incaper, que muito gentilmente cedeu os dados experimentais para a realização desta pesquisa.

Análises biométricas

Com base na média das repetições de cada colheita, obtiveram-se as estimativas do coeficiente de repetibilidade (r) pelos métodos da análise de variância (ANOVA), componentes principais baseado nas matrizes de correlações (CP_{cor}) e covariâncias (CP_{cov}), e análise estrutural baseada na matriz de correlações (AE_{cor}). Para todas as estimativas calculou-se o coeficiente de determinação (R^2) e o número mínimo de avaliações (η_0) necessárias para se predizer o real valor genotípico associado a um R^2 pré estabelecido.

a) Método da análise de variância (ANOVA)

Utilizou-se o modelo estatístico com duas fontes de variação:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \varepsilon_{ij},$$

em que, Y_{ij} é a observação referente ao i -ésimo genótipo na j -ésima colheita; μ é a média geral; g_i é o efeito aleatório do i -ésimo genótipo confundido com os efeitos permanentes do ambiente ($i = 1, 2, 3, \dots, p$); a_j é o efeito fixo da j -ésima colheita ($j = 1, 2, \dots, 4$) e ε_{ij} é o erro experimental associado à observação Y_{ij} .

O coeficiente de repetibilidade (r) por esta metodologia foi assim estimado:

$$r = \frac{C\hat{O}V(Y_{ij}, Y_{ij'})}{\sqrt{\hat{V}(Y_{ij})\hat{V}(Y_{ij'})}} = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{\hat{\sigma}_f^2} = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{\hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_e^2},$$

$$\hat{\sigma}_g^2 = \frac{(QMG - QMR)}{\eta},$$

onde $\hat{\sigma}_g^2$ é a variância atribuída aos efeitos confundidos de genótipo e ambiente permanente;

$$\hat{\sigma}_e^2 = QMR,$$

e $\hat{\sigma}_e^2$ é a variância residual; sendo QMG e QMR , os quadrados médios associados ao efeito de genótipo e da variação aleatória, respectivamente, e η o número de colheitas avaliadas.

b) Método dos componentes principais

Como o proposto por Abeywardena (1972), estimou-se o coeficiente de repetibilidade tanto pela matriz de correlações (R) quanto pela matriz de variâncias e covariâncias fenotípicas (Γ):

$$R = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & \rho & \dots & \rho \end{matrix} \\ \begin{matrix} \rho \\ \rho \\ \rho \\ \rho \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & \rho & \dots & \rho \\ \rho & 1 & \dots & \rho \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho & \rho & \dots & 1 \end{bmatrix} \\ \eta & \end{matrix}$$
$$\Gamma = \sigma_Y^2 \begin{bmatrix} 1 & \rho & \dots & \rho \\ \rho & 1 & \dots & \rho \\ \rho & \dots & \dots & \dots \\ \rho & \rho & \dots & 1 \end{bmatrix}.$$

Em ambos os casos, tais matrizes foram estimadas entre os genótipos para cada par de colheitas. Posteriormente, nelas determinaram-se os autovalores ($\hat{\lambda}$) e seus

respectivos autovetores ($\hat{\alpha}$) normalizados. Assim, o autovalor ($\hat{\lambda}_1$) associado ao autovetor cujos elementos apresentaram o mesmo sinal e magnitude semelhante é o que expressa a tendência dos genótipos em manter suas posições relativas nas diferentes colheitas.

- Método dos componentes principais baseado na matriz de correlações (CP_{cor})

O estimador do coeficiente de repetibilidade foi obtido com ajuste proposto por Rutledge (1974) pela expressão:

$$r = \frac{\hat{\lambda}_1 - 1}{\eta - 1} ,$$

em que $\hat{\lambda}_1$ é o autovalor de $\hat{R}$ associado ao autovetor, cujos elementos têm sinal e magnitudes semelhantes; e η é o número de colheitas.

- Método dos componentes principais baseado na matriz de covariâncias (CP_{cov})

A estimativa do coeficiente de repetibilidade foi obtida através da seguinte expressão:

$$r = \frac{\hat{\lambda}_1 - \hat{\sigma}_Y^2}{\hat{\sigma}_Y^2(\eta - 1)} ,$$

em que $\hat{\lambda}_1$ é o autovalor de ($\hat{\Gamma} = \hat{\sigma}_Y^2$) associado ao autovetor, cujos elementos têm sinal e magnitudes semelhantes; e η é o número de colheitas.

c) Método da análise estrutural baseada na matriz de correlações (AE_{cor})

Por este método, considera-se R a matriz paramétrica de correlações entre os genótipos em cada par de colheitas e $\hat{R}$ seu estimador. Desta forma, utilizou-se o seguinte estimador do coeficiente de repetibilidade:

$$r = \frac{\alpha' \hat{R} \alpha - 1}{\eta - 1} ,$$

em que $\alpha' = [1/\sqrt{\eta} \cdots 1/\sqrt{\eta}]$ é o autovetor com elementos paramétricos associados ao maior autovalor de R (Mansour et al., 1981).

O número mínimo de avaliações (η_0) requeridas para se predizer o real valor genotípico, baseado no coeficiente de determinação (R^2) pré-estabelecido de 0,80; 0,90 e 0,95 foi estimado segundo Cruz et al. (2004):

$$\eta_0 = R^2(1 - r)/(1 - R^2)r; \text{ e } R^2 = \eta r/[1 + r(\eta - 1)] ,$$

em que r é o coeficiente de repetibilidade, R^2 o coeficiente de determinação e η o número de colheitas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as características avaliadas em todos os ensaios, detectou-se a existência de variabilidade genética pelo Teste F a 1% de probabilidade (Tabela 3). Isto mostra a possibilidade de identificação e seleção de genótipos promissores de cafeeiros conilon.

Os experimentos mostraram adequada precisão, apresentando valores de coeficiente de variação (CV) dentro da faixa considerada aceitável para experimentação em culturas perenes (Fonseca, 1999; Bonomo et al., 2004; Ferrão et al., 2008). A característica GMO apresentou CV de 16,93% a 22,09%. Para GCHA e PM o CV variou de 3,66% a 8,13% e de 2,57 a 5,63%, respectivamente, evidenciando melhor precisão experimental na avaliação destas características (Tabela 3). Como o CV mede a variação entre as repetições de um mesmo tratamento ou genótipo (Dias e Barros, 2009), quanto menor for sua magnitude menor será o efeito permanente do ambiente incidente sobre o caráter mensurado. Assim, mais confiável é o valor fenotípico em representar o genotípico.

Segundo Resende (2001), o coeficiente repetibilidade (r) para espécies perenes pode ser classificado como: alto, $r > 0,60$; médio, $0,30 < r < 0,60$; e baixo, $r < 0,30$. Desta forma, as estimativas obtidas nos três ensaios pelos diferentes métodos mostraram de média a alta magnitude (Tabela 3). A repetibilidade alta indica que os efeitos temporários de ambiente são reduzidos, portanto, menor número de medições é suficiente para predizer o valor real dos indivíduos.

A variação da repetibilidade observada entre os ensaios, embora pequena, provavelmente deveu-se aos diferentes genótipos analisados, ao controle ambiental e a sazonalidade (Tabela 3). Entretanto, sabe-se que a avaliação de vários experimentos

permite a obtenção de um valor médio de repetibilidade mais preciso (Ferreira et al., 2005), conforme os obtidos neste estudo (Tabela 3).

Os métodos da ANOVA, componentes principais e análise estrutural proporcionaram estimativas da repetibilidade semelhantes para todas as características estudadas (Tabela 3). Na prática, a consistência destas estimativas reforça a regularidade na expressão das características avaliadas. De igual modo, Dias e Kageyama (1998) estudando diversas características do cacauzeiro, Shimoya et al. (2002) trabalhando com capim-elefante e Ferreira et al (2005) com cana-de-açúcar encontraram estimativas de repetibilidade semelhantes ao compararem as metodologias citadas anteriormente.

Entretanto, Ferrão (2004) e Fonseca et al. (2004) ao estudarem a repetibilidade da produção de grãos em cafeeiros conilon, e Mistro et al. (2008) ao analisarem o mesmo caráter em cafeeiros arábica; concluíram ser a metodologia dos componentes principais baseada na matriz de covariâncias a mais adequada para o estudo da repetibilidade.

Em culturas perenes, divergências entre métodos são comuns no que se refere a estimativa do coeficiente de repetibilidade. Além dos aspectos estatísticos como a independência e a igualdade das variâncias residuais do modelo linear (Mansour et al., 1981), possivelmente, esta variação também se relaciona com a influência ambiental sobre a expressão do caráter, principalmente quando o mesmo sofre efeito bienal comportando-se ciclicamente. Considerando este aspecto, o método dos componentes principais, por minimizar o efeito da bienalidade, tem sido mais adequado em relação aos demais (Mistro et al., 2008).

Segundo Ferrão et al. (2007), o tamanho dos grãos de cafeeiros conilon é influenciado pelo ambiente, o que sugere ser esta característica controlada por vários genes. Ainda assim, a PM apresentou alta repetibilidade média concordante com os diferentes métodos em épocas, locais e genótipos distintos (Tabela 3). Provavelmente tal fato sustenta-se nas bases fisiológicas e genéticas da sobrevivência da espécie. Segundo Rena e Maestri (1985) os frutos do café em crescimento são os drenos principais de carboidratos na planta, importando amido tanto do lenho quanto das folhas do cafeeiro. Uma vez iniciada a fase reprodutiva e mesmo sob certas condições de estresse o desenvolvimento dos frutos e de suas sementes é priorizado. Entretanto, sob déficit hídrico severo na fase de enchimento o tamanho da semente pode reduzir-se. Alternativamente, o cafeeiro conilon apresenta quatro floradas principais ao longo do

ano e estas, provavelmente são mecanismos de compensação aos efeitos da seca. Além disso, existe grande variabilidade genética no germoplasma de conilon para tolerância ao referido estresse, como exemplo cita-se o Robustão Capixaba ‘Emcapa 8141’ variedade clonal que em condições de seca mantém a produtividade média ao redor de 53 sacas beneficiadas por hectare (Ferrão et al. 2007).

Tabela 3. Médias dos ensaios, coeficientes de variação experimental (CV), coeficientes de repetibilidade (r) e de determinação (R²) obtidos pelos métodos da análise de variância (ANOVA); componentes principais baseado nas matrizes de correlações (CP_{cor}) e covariâncias (CP_{cov}); e análise estrutural baseada na matriz de correlações (AE_{cor}); para características do grão de cafeeiros conilon

Característica	Ensaio	Média ^a	CV(%)	ANOVA		CP _{cor}		CP _{cov}		AE _{cor}		($\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$) ^e
				r	R ²	r	R ²	r	R ²	r	R ²	
GCHA ^b	I	83,81	3,66	0,68	89,30	0,70	90,34	0,72	91,08	0,70	90,23	-
	II	80,98	4,06	0,54	82,33	0,57	84,27	0,56	83,47	0,55	83,01	-
	III	72,50	8,13	0,48	78,80	0,51	80,73	0,49	79,47	0,50	80,30	-
	Média	-	-	0,57	83,48	0,59	85,11	0,59	84,67	0,58	84,51	0,58±0,005
	Desvio	-	-	0,10	5,34	0,10	4,86	0,12	5,90	0,10	5,13	-
GMO ^c	I	16,34	22,09	0,61	86,08	0,66	88,50	0,69	89,92	0,66	88,39	-
	II	19,02	16,93	0,56	83,34	0,58	84,91	0,57	84,36	0,57	83,87	-
	III	27,50	21,44	0,49	78,81	0,51	80,73	0,50	79,49	0,51	80,32	-
	Média	-	-	0,55	82,74	0,58	84,71	0,59	84,59	0,58	84,19	0,58±0,009
	Desvio	-	-	0,06	3,67	0,08	3,89	0,10	5,22	0,08	4,04	-
PM ^d	I	13,91	2,57	0,79	93,87	0,80	94,03	0,80	94,22	0,80	94,02	-
	II	13,39	3,24	0,71	90,66	0,71	90,78	0,74	91,87	0,71	90,65	-
	III	12,06	5,63	0,62	86,54	0,63	87,19	0,63	87,02	0,63	87,10	-
	Média	-	-	0,71	90,36	0,71	90,67	0,72	91,04	0,71	90,59	0,71±0,003
	Desvio	-	-	0,09	3,67	0,09	3,42	0,09	3,67	0,09	3,46	-

^a Todas as médias diferem estatisticamente entre si pelo Teste *F* ($\alpha = 0,01$)

^b Percentual de grãos chatos - GCHA

^c Percentual de grãos moca - GMO

^d Peneira média – PM

^eMédia e erro-padrão da média do coeficiente de repetibilidade médio considerando os quatro métodos utilizados - ($\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$)

Os coeficientes de determinação (R^2), que expressam a acurácia na predição do valor real dos genótipos, foram em média superiores a 80% para todas as características estudadas considerando-se quatro colheitas. Assim, 80% da variação dos valores genotípicos pode ser explicada pela variação dos dados fenotípicos de quatro colheitas sucessivas. Estes valores são altos e adequados para a prática da seleção de acordo com Resende (2002).

Para todas as características e metodologias utilizadas, as estimativas médias do número de medições (colheitas) necessárias para a predição do valor real dos genótipos com 80%, 90% e 95% de acurácia foram próximas (Tabela 4). Considerando-se a característica GCHA e estabelecendo-se um R^2 de 0,80, pode-se estimar que são necessárias três medições para a predição do comportamento dos genótipos de conilon. Entretanto, para R^2 de 0,90 seriam necessárias sete medições, e para R^2 de 0,95, 14. Em relação à GMO, para R^2 de 0,80, 0,90 e 0,95 seriam necessárias três, sete e 14 medições, respectivamente. Quanto à PM, duas, quatro e oito medições seriam suficientes para a seleção considerando, respectivamente, R^2 de 0,80, 0,90 e 0,95.

Para a característica GMO, apenas três medidas seriam necessárias para que o real valor dos genótipos fosse alcançado com 80% de determinação (Tabela 4). De certo modo, estes resultados eram esperados visto que para a mesma característica e considerando cinco anos, dois locais e 40 genótipos de conilon, Ferrão et al. (2008) encontraram coeficiente de determinação genotípica H^2 de 0,80. Segundo Bragança et al. (2001), as variedades de conilon recomendadas para o plantio no Estado do Espírito Santo apresentam de 20 a 32% de grãos moca o que confirma os resultados encontrado neste estudo (Tabela 3).

A repetibilidade e número de colheitas visando a seleção genotípica para GCHA, seguiu o mesmo padrão encontrado para GMO (Tabelas 3,4), ora, durante a polinização das flores do cafeeiro se os dois óvulos existentes forem fecundados, o resultado será a formação de duas sementes chatas. Deste modo e em um mesmo fruto, ambas as características são mutuamente exclusivas.

A prática da seleção via característica PM, pode ser realizada com determinação de 80% em apenas duas colheitas (Tabela 4). Isto se deve a alta repetibilidade associada a este caráter e aos aspectos discutidos anteriormente (Tabela 3).

Baseando-se nas simulações do número de colheitas (η) necessário para obtenção de diferentes coeficientes de determinação, verifica-se que o aumento de η pouco

contribui para o aumento da precisão da predição do valor genotípico real (Tabela 4), sendo necessário expressivo aumento no número de colheitas para obtenção de pequeno ganho em acurácia.

A obtenção de novas cultivares de café por métodos de melhoramento baseados na reprodução sexuada pode levar de 20 a 24 anos. O que reafirma a importância de estudos envolvendo a seleção precoce. Para o caráter de produção de grão, Sera (1987) e Mistro et al. (2008) observaram que três colheitas seriam suficientes para se ter informações sobre os melhores materiais de *C. arabica*. Para o mesmo caráter, mas em café conilon, Ferrão (2004) encontrou que seriam necessárias quatro colheitas em Sooretama e cinco em Marilândia.

Ao se estabelecer o número de medidas, é de fundamental importância que se considerem o tempo necessário e o custo despendido para que se alcance um determinado nível de confiabilidade (Fonseca et al. 2004). Assim, em programas de melhoramento de café conilon, duas medições para PM e três para GCHA e GMO, possibilitariam a discriminação e seleção de genótipos promissores com 80% de acurácia. Tal procedimento tornar-se desejável à medida que tempo, mão de obra e recursos financeiros poderiam ser poupados com avaliações adicionais de pós-colheita. Usualmente, no Incaper, a seleção tem sido praticada com no mínimo quatro colheitas, levando de seis a sete anos para se completar um ciclo de trabalho (Ferrão et al., 2007).

Tabela 4. Número necessário de medições para a seleção genotípica nas características do grão de cafeeiros Conilon, considerando diferentes coeficientes de determinação a partir da repetibilidade estimada pelos métodos da análise de variância (Anova); componentes principais baseado nas matrizes de correlações (CP_{cor}) e covariâncias (CP_{cov}); e análise estrutural baseada na matriz de correlações (AE_{cor})

Característica	Ensaio	Anova			CP _{cor}			CP _{cov}			AE _{cor}		
		R ² =0,80	R ² =0,90	R ² =0,95	R ² =0,80	R ² =0,90	R ² =0,95	R ² =0,80	R ² =0,90	R ² =0,95	R ² =0,80	R ² =0,90	R ² =0,95
GCHA ^a	I	1,92	4,32	9,11	1,71	3,85	8,13	1,57	3,53	7,45	1,73	3,90	8,23
	II	3,43	7,73	16,31	2,99	6,72	14,18	3,17	7,13	15,06	3,28	7,37	15,56
	III	4,31	9,69	20,45	3,82	8,59	18,14	4,13	9,30	19,64	3,92	8,83	18,64
	Média	3,22	7,25	15,29	2,84	6,39	13,48	2,96	6,65	14,05	2,98	6,70	14,14
	Desvio	1,21	2,72	5,74	1,06	2,39	5,04	1,29	2,91	6,16	1,13	2,53	5,35
GMO ^b	I	2,59	5,82	12,29	1,79	4,04	8,52	4,28	11,88	25,08	2,08	4,68	9,88
	II	3,20	7,20	15,20	2,84	6,40	13,51	2,97	6,67	14,09	3,08	6,92	14,61
	III	4,31	9,69	20,45	3,82	8,59	18,14	3,13	9,30	19,64	3,92	8,83	18,64
	Média	3,37	7,57	15,98	2,82	6,34	13,39	3,46	9,28	19,60	3,03	6,81	14,38
	Desvio	0,87	1,96	4,14	1,02	2,28	4,81	0,71	2,61	5,50	0,92	2,08	4,38
PM ^c	I	1,05	2,35	4,96	1,02	2,28	4,82	0,98	2,21	4,66	1,02	2,29	4,84
	II	1,65	3,71	7,83	1,63	3,66	7,72	1,42	3,19	6,73	1,65	3,71	7,84
	III	2,49	5,60	11,82	2,35	5,29	11,17	2,39	5,37	11,34	2,37	5,33	11,26
	Média	1,73	3,89	8,20	1,67	3,74	7,90	1,60	3,59	7,58	1,68	3,78	7,98
	Desvio	0,72	1,63	3,45	0,67	1,51	3,18	0,72	1,62	3,42	0,68	1,52	3,21

^a Percentual de grãos chatos - GCHA

^b Percentual de grãos moca - GMO

^c Peneira média - PM

CONCLUSÕES

1. As estimativas de repetibilidade pelos métodos da análise de variância, componentes principais e análise estrutural proporcionaram estimativas da repetibilidade semelhantes para percentual de grãos chatos ($0,58 \pm 0,005$), percentual de grãos moca ($0,58 \pm 0,009$) e peneira média ($0,71 \pm 0,003$).
2. A seleção acurada de cafeeiros conilon pode ser realizada após duas colheitas sucessivas para a característica peneira média e três para o percentual de grãos chatos e moca.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEYWARDENA, V. An application of principal component analysis in genetics. **Journal Genetics**, v.61, n.1, p.27-51, 1972.

BONOMO, P.; CRUZ, C. D.; PEREIRA, A. A.; VIANA, J. M. S.; OLIVEIRA, V. R.; CARNEIRO, P. C. S. Seleção antecipada de progênies de café descendentes de híbrido de Timor x catuaí amarelo e catuaí vermelho. **Acta Scientiarum**, v. 26, p. 91-96, 2004.

BRAGANCA, S. M.; CARVALHO, C. H. S.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, R. G. Variedades clonais de café conilon para o Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 765-770, 2001.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: café**, safra 2011. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_09_13_12_12_02_boletim_cafe_-_setembro_-_2011..pdf> Acesso em: 02 dez. 2011.

CORNACCHIA, G., CRUZ, C. D., PIRES, I. E. Estimativas do coeficiente de repetibilidade para características fenotípicas de procedências de *Pinus tecunumanii* (Schw.) Eguluz & Perry e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barret & Golfari. **Revista Árvore**, v.19, n.3, p.333-345, 1995.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa, 2004. v.1, 480 p.

DIAS, L. A. S.; BARROS, W. S. **Biometria experimental**. Vicosá, MG: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2009.408 p.

DIAS, L. A. S., KAGEYAMA, P. Y. Repeatability and minimum harvest period of cacao (*Theobroma cacao* L.) in Southern Bahia. **Euphytica**, v.102, n.1, p.29-35, 1998.

DOVALE, J. C.; SILVA, P. S. L. E. ; FIALHO, G. S.; MARIGUELE, K. H. ; FRITSCHÉ-NETO, R. Repeatability and number of growing seasons for the selection

of custard apple progenies. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 11, p. 59-63, 2011.

FALCONER, D. R. **Introduction to quantitative genetics**. 3. ed. London: Longman, 1989. 438 p.

FERRÃO, M. A. G.; FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. S.; RIVA-SOUZA, E. M. Melhoramento de café conilon no Espírito Santo. In: Laércio Zambolim. (Org.). **Tecnologias para produção do café conilon**. Viçosa, MG: UFV, 2010, p. 01-360

FERRÃO, R. G.; CRUZ, C. D.; FERREIRA, A.; CECOM, P. R.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; SILVA, M. F. Parâmetros genéticos em café conilon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 61-69, 2008.

FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; PACOVA, B. E. V. Melhoramento genético de *Coffea canephora*. In: FERRÃO, R. G. et al. (Eds.). **Café Conilon**. Vitória, ES: INCAPER, 2007, p. 116-163.

FERRÃO, R. G. **Biometria aplicada ao melhoramento genético do café Conilon**. Viçosa, MG: DBG/UFV, 2004. 256f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, 2004.

FERREIRA, A.; BARBOSA, M. H. P.; CRUZ, C. D.; HOFFMANN, H. P.; VIEIRA, M. A. S.; BASSINELLO, A. I.; SILVA, M. F. Repetibilidade e número de colheitas para seleção de clones de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.8, p.761-767, 2005.

FONSECA, A. F. A. **Análises biométricas em café conilon** (*Coffea canephora* Pierre). Viçosa, MG: DFT/UFV, 1999. 121 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.

FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. S. Qualidade do café conilon: operações de colheita e pós-colheita. In: FERRÃO, R. G. et al. (Eds.). **Café Conilon**. Vitória, ES: INCAPER, 2007, p. 501-515.

FONSECA, A. F. A.; SEDIYAMA, T.; CRUZ, C. D.; SAKIYAMA, N. S.; FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; BRAGANCA, S. M. Repeatability and number of harveste required for selectuin in robusta *Coffea*. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 4, n. 3, p. 325-329, 2004

INCAPER. **Meteorologia e Recursos Hídricos**: Série Histórica. Disponível em: <<http://hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/?pagina=sh>> . Acesso em 27 dez. 2011.

MANSOUR, H.; NORDHEIM, E. V.; RULEDGE, J. J. Estimators of repeatability. **Theoretical and Applied Genetics**, v.60, p.151-156, 1981.

MISTRO, J. C.; FAZUOLI, L. C.; Filho, O. G.; SILVAROLLA, M. B.; TOMA-BRAGHINI, M. Determination of the number of years in Arabic coffee progenies selection through repeatability. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 8, p. 79-84, 2008.

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, v.11, p.26-40, 1985.

RESENDE, M. D. V. Melhoramento de espécies perenes. In: NASS, L. L.; VELOIS, A. C. A. C.; MELO, I. S. de; VALADARES-INGLIS, M. C. (Eds.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**. Rondonópolis, MT: Fundação MT, 2001. 1183 p.

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

RUTLEDGE, J. J. A scaling which remove bias of Abeywardena's estimator of repeatability. **Journal Genetics**, v.61, p.247-254, 1974.

SERA, T. **Possibilidade de emprego de seleção nas colheitas iniciais de café (*Coffea arabica* L. cv. Acaiá)**. Piracicaba, SP: 1987. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) -Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1987.

SHIMOYA, A.; PEREIRA, A. V.; FERREIRA, R. P.; CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. Repetibilidade de características forrageiras do capim-elefante. **Scientia Agricola**, v.59, p.227-234, 2002.

5. CONCLUSÕES GERAIS

- ✓ Diferentes biometrias têm sido aplicadas nos vários segmentos do melhoramento do cafeeiro e a opção por cada uma delas tem sido função das peculiaridades da cultura, das preferências do melhorista, da disponibilidade de recursos técnico-financeiros e da eficácia de cada método biométrico.
- ✓ O uso do índice de rendimento FcBe (relação entre frutos colhidos e grãos beneficiados) igual a 4,0, na estimação da produção em cafeeiros conilon, mostrou elevada precisão na média dos ensaios analisados.
- ✓ Novos estudos devem ser conduzidos visando elucidar os efeitos das variáveis climáticas sobre o rendimento do cafeeiro conilon, especialmente em anos atípicos para a cultura.
- ✓ A utilização de um índice de rendimento torna-se interessante em casos onde o número de genótipos a ser avaliado é muito grande e, um *screening* dos promissores desejável.
- ✓ As estimativas de repetibilidade pelos métodos da análise de variância, componentes principais e análise estrutural proporcionaram estimativas da repetibilidade semelhantes para percentual de grãos chatos ($0,58 \pm 0,005$), percentual de grãos moca ($0,58 \pm 0,009$) e peneira média ($0,71 \pm 0,003$).
- ✓ A seleção acurada de cafeeiros conilon pode ser realizada após duas colheitas sucessivas para a característica peneira média e três para o percentual de grãos chatos e moca.