



GUSTAVO ALVARES VELASQUEZ

**INFLUÊNCIA DA INTERAÇÃO GENÓTIPOS POR
AMBIENTES NO MELHORAMENTO DO CAFEIEIRO**

**LAVRAS – MG
2019**

GUSTAVO ALVARES VELASQUEZ

**INFLUÊNCIA DA INTERAÇÃO GENÓTIPOS POR AMBIENTES NO
MELHORAMENTO DO CAFEIEIRO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Doutor.

Profa. Dra. Flávia Maria Avelar Gonçalves
Orientadora

Dr. César Elias Botelho
Coorientador

**LAVRAS- MG
2019**

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

Velasquez, Gustavo Alvares.

Influência da interação genótipos por ambientes no melhoramento do cafeeiro / Gustavo Alvares Velasquez. – 2018.

84 p. : il.

Orientadora: Flávia Maria Avelar Gonçalves.

Coorientador: César Elias Botelho.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. *Coffea arabica*. 2. Bienalidade. 3. Modelos mistos. I. Gonçalves, Flávia Maria Avelar. II. Botelho, César Elias. III. Título.

GUSTAVO ALVARES VELASQUEZ

**INFLUÊNCIA DA INTERAÇÃO GENÓTIPOS POR AMBIENTES NO
MELHORAMENTO DO CAFEIEIRO**

**INFLUENCE OF THE GENOTYPE X ENVIRONMENT INTERACTION IN COFFEE
BREEDING**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 13 de dezembro de 2018

| | |
|--------------------------------------|---------|
| Dr. Jose Airton Rodrigues Nunes | UFLA |
| Dr. Samuel Pereira de Carvalho | UFLA |
| Dr. Gladyston Rodrigues Carvalho | EPAMIG |
| Dr. Antônio Carlos Baião de Oliveira | EMBRAPA |

Profa. Dra. Flávia Maria Avelar Gonçalves
Orientadora

Dr. César Elias Botelho
Coorientador

**LAVRAS- MG
2019**

A Deus, pela vida, saúde e me dar a oportunidade de conclusão de mais uma etapa em minha vida.

OFEREÇO.

A meu pai “*Jose Manuel Alvarez Martinez*” que foi um guerreiro, que me deu força para concluir este projeto, com muito amor terei sua presença em meu coração para sempre.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar um dia a mais de vida, força, sabedoria, paciência, humildade no desenvolvimento e culminação desta nova etapa de minha vida.

À minha mãe, Santos Barbara Velásquez que sempre se lembra de mim em suas orações. A meus irmãos, Elida, Rosita, José e Otilio que me deram força. Também agradeço à Silvia Margarita Reyes Corea, pela motivação e incentivo nesta longa trajetória, por apoiar-me nos momentos mais difíceis, pela inspiração e força, ajuda em todos os momentos e no desenvolvimento da tese, além da preocupação para com meu pai. Agradeço esse carinho e amor de minha Margarita.

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pela oportunidade de aprender novos conhecimentos.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais pela disponibilização dos dados utilizados no trabalho.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001- pelo apoio na realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pelo apoio na realização deste trabalho.

Ao Programa de Organização dos Estados Americanos (OEA) pela oportunidade de realizar estudos na Universidade Federal de Lavras.

À Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) por me dar a oportunidade do treinamento no exterior e aprender novos conhecimentos para contribuir com meu país.

À Professora Flávia Maria Avelar Gonçalves (orientadora), pela orientação e amizade.

Ao pesquisador Cesar Elias Botelho (Coorientador) pela amizade e a disposição em todos os momentos em que precisei.

Ao pesquisador Gladyston Rodrigues Carvalho pela amizade e a disponibilização dos dados “Mis datos”.

Aos professores da Pós- Graduação do programa de Genética e Melhoramento de Plantas da Universidade Federal de Lavras por todo o conhecimento e experiência transmitida.

Aos colegas pela ajuda no desenvolvimento de minha tese: Juliana, Regis, Lucas e Heloisa, o meu muito obrigado.

Ao meu amigo João Arthur Teixeira e à sua família, ao Bruno e à sua família.

À equipe de Melhoramento de Plantas Perene, Gustavo, Tocha, Antônio, Thiago, Indalecio, Vitor, Guilherme, Filipe, Tatiana, Ana Esther, Marcela.

Aos colegas e amigos do GEN que me acolheram, onde aprendi novos conhecimentos e sempre estiveram à disposição para me ajudar.

Às secretárias Lilian, Zélia e Rafaela pelo auxílio e amizade.

À dona Irondina e Patrícia pelo carinho e preocupação.

Muito obrigado, Brasil, por receber-me e me dar esta oportunidade de aprender sua língua, cultura e o prazer de provar sua culinária. Obrigado aos brasileiros pela hospitalidade e por ser um povo tão acolhedor.

RESUMO

O cafeeiro é uma planta perene de ciclo produtivo longo, com acentuada bienalidade. Portanto, são necessários vários anos consecutivos de avaliação da produção, para se estimar o potencial produtivo dos genótipos, o que demanda rigor e precisão nos métodos estatísticos de seleção. A abordagem de modelos mistos permite a seleção de genótipos com um número menor de colheitas, por meio da estimação de parâmetros genéticos e predição de valores genéticos mais acurados. O presente trabalho teve como objetivos avaliar a influência da interação genótipos por ambientes na seleção de genótipos, em diferentes grupos de cultivares de cafeeiro em ambientes-teste e verificar se é possível reduzir o número de colheitas para a seleção de progênies de *Coffea arabica*, quando se utiliza a abordagem de modelos mistos. Foram avaliados três grupos de experimentos de cafeeiro, conduzidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG): 1º) 11 genótipos de Icatu e quatro testemunhas; 2º) 15 genótipos de Catuaí e cinco testemunhas; 3º) 34 genótipos de Mundo Novo e uma testemunha. Os experimentos foram implantados nas fazendas particulares Ouro Verde em Campos Altos-MG e Resplendor em Capelinha-MG. O delineamento experimental foi em blocos completos casualizados, com quatro repetições e seis plantas por parcela. Foram analisados dados de seis colheitas consecutivas, 2001/2002 a 2006/2007. Foram realizadas análises individuais por colheita, no esquema de parcelas subdivididas no tempo de colheitas, em cada local e conjunta de locais de produtividade (sc/ha) pela abordagem de modelos mistos, por meio do software R, utilizando-se do pacote Asreml. Estimou-se a correlação classificatória de *Spearman* entre os valores genéticos preditos (BLUP), considerando as colheitas combinadas e o número total de colheitas. Além disso, estimaram-se o ganho genético e o índice de coincidência com intensidades de seleção de 10, 20 e 30%, para todas as análises. A presença de interação genótipos x ambientes evidencia baixa ou não coincidência dos genótipos nos diferentes ambientes, dificultando a recomendação e lançamento de novas cultivares para as regiões cafeeiras em Minas Gerais. Não é possível realizar a seleção antecipada, antes da quarta colheita, para os genótipos dos grupos de Icatu, de Catuaí e de Mundo Novo.

Palavras-chave: *Coffea arabica*. Bienalidade. Modelos mistos. Seleção antecipada.

ABSTRACT

Coffee is a perennial plant of a long production cycle and pronounced seasonality. Therefore, several consecutive years of production assessment are necessary to estimate the productive potential of the genotypes, which demands rigor and precision in the statistical selection methods. The mixed model approach allows the selection of genotypes with a lower number of harvests by estimating the genetic parameters and predicting more accurate genetic values. The objective of the present work was to evaluate the influence of the genotype x environment interaction on genotype selection in different groups of coffee cultivars in test environments, and the possibility of reducing the number of harvests for selecting *Coffea arabica* progenies when using the mixed models approach. We evaluated three groups of coffee experiments, conducted by the Agricultural Research Company of Minas Gerais (EPAMIG), in which were evaluated: 1) 11 Icatu genotypes and 4 witnesses; 2) 15 Catuaí genotypes and 5 witnesses; 3) 34 genotypes of Mundo Novo genotypes and one witness. The experiments were implemented in the private farms of Ouro Verde in Campos Altos-MG and Resplendor in Capelinha-MG, Brazil. We used a completely randomized blocks experimental design, with four replicates and six plants per plot. We analyzed the data from six consecutive harvests encompassing the period from 2001/2002 to 2006/2007. Individual analyzes per harvest were conducted in the scheme of plots subdivided into harvest periods at each site and jointly of productivity sites (sc/ha) using the mixed models approach and the R software using the Asreml package. We estimated the Spearman's classificatory correlation between the predicted genetic values (BLUP) considering the combined harvests and the total number of harvests. Furthermore, we estimated the genetic gain and the coincidence index with the selection intensities of 10, 20, and 30% for all analyzes. The presence of genotype x environment interaction demonstrates low or no coincidence of genotypes in different environments, making it difficult to recommend and release new cultivars for the coffee-producing regions in Minas Gerais. It is impossible to conduct an early selection before the fourth harvest for the genotypes of the Icatu, Catuaí, and Mundo Novo groups.

Keywords: *Coffea arabica*. Biennial. Mixed models. Early selection.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Precipitação mensal de 2001 até 2007 em Campos Altos-MG e Capelinha-MG..... | 33 |
| Figura 2 - Box-plot da média fenotípica + BLUP das colheitas anuais dos experimentos de genótipos de Icatu. | 42 |
| Figura 3 - Box-plot de média fenotípica + BLUP das colheitas anuais dos experimentos de genótipos de Catuaí..... | 50 |
| Figura 4 - Box-plot de média fenotípica + BLUP das colheitas anuais dos experimentos de genótipos de Mundo Novo..... | 58 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 - Ganhos realizados na seleção de genótipos, na média de colheitas combinadas de cada local, comparados com a média das seis colheitas em cada local, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%..... | 43 |
| Gráfico 2 - Ganhos realizados na seleção de genótipos, na média de colheitas combinadas em cada local, comparados com a média geral de locais, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%..... | 45 |
| Gráfico 3 - Ganhos realizados na seleção de genótipos, na média de colheitas combinadas dos locais, comparados com a média geral de locais, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%..... | 46 |
| Gráfico 4 - Ganhos realizados na seleção de genótipos, na média de colheitas combinadas de cada local, comparados com a média das seis colheitas em cada local, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%..... | 51 |
| Gráfico 5 - Ganhos realizados na seleção de genótipos, na média de colheitas combinadas em cada local, comparados com a média geral de locais, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%..... | 53 |
| Gráfico 6 - Ganhos realizados na seleção de genótipos, na média de colheitas combinadas dos locais, comparados com a média geral de locais, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%..... | 54 |
| Gráfico 7 - Ganhos realizados na seleção de genótipos, na média de colheitas combinadas de cada local, comparados com a média das seis colheitas em cada local, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%..... | 59 |
| Gráfico 8 - Ganhos realizados na seleção de genótipos, na média de colheitas combinadas em cada local, em comparação com a média geral de locais, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%..... | 61 |
| Gráfico 9 - Ganhos realizados na seleção de genótipos, na média de colheitas combinadas dos locais, comparados com a média geral de locais, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%..... | 63 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Caracterização e variáveis climáticas dos locais de instalação dos experimentos, em Campos Altos e Capelinha, Minas Gerais..... | 33 |
| Tabela 2 - Relação dos genótipos avaliados, nos experimentos de café em Campos Altos e Capelinha, Minas Gerais. | 34 |
| Tabela 3 - Média de produtividade de grãos (sc/ha), coeficiente de variação experimental (C _{Ve}), variância genética (σg^2), variância do erro (σe^2), herdabilidade (h^2) e acurácia seletiva (rgg) das colheitas anuais do experimento de genótipos de Icatu em Campos Altos-MG e Capelinha-MG. | 41 |
| Tabela 4 - Componentes de variância da análise em parcelas subdivididas no tempo das colheitas por local, para a produtividade grãos (sc/ha). | 43 |
| Tabela 5 - Índice de coincidência da seleção de genótipos, na média de colheitas combinadas de cada local, comparado com a média de seis colheitas por local, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%. | 44 |
| Tabela 6 - Componentes de variância da análise conjunta de colheitas e locais. | 44 |
| Tabela 7 - Índice de coincidência da seleção de genótipos, na média de colheitas combinadas em cada local, comparado com a média geral de locais, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%. | 46 |
| Tabela 8 - Seleção na média de colheitas combinadas de locais com ganho e coincidência na média geral de locais..... | 47 |
| Tabela 9 - Correlações de <i>Spearman</i> entre os valores genéticos preditos (BLUP), obtidos das médias BLUP dos experimentos de genótipos Icatu, em Campos Altos-MG (acima da diagonal) e Capelinha-MG (abaixo da diagonal). | 47 |
| Tabela 10 - Correlações de <i>Spearman</i> entre os valores genéticos preditos (BLUP) obtidos pela média BLUP da análise conjunta de locais. | 48 |
| Tabela 11 - Média de produtividade, em sacas por hectare (sc/ha), coeficiente de variação experimental (C _{Ve}), variância genética (σg^2), variância do erro (σe^2), herdabilidade (h^2) e acurácia seletiva (rgg) das colheitas anuais dos experimentos em Campos Altos, MG e Capelinha, MG. | 49 |
| Tabela 12 - Componentes de variância da análise subdividida, no tempo das colheitas por local, em Campos Altos e Capelinha..... | 51 |

| | |
|---|----|
| Tabela 13 - Índice de coincidência da seleção, na média de colheitas combinadas de cada local, comparado com a média de seis colheitas por local, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%..... | 52 |
| Tabela 14 - Componentes de variância da análise conjunta de colheitas e locais. | 52 |
| Tabela 15 - Índice de coincidência da seleção de genótipos, na média de colheitas combinadas em cada local, comparado com a média geral de locais, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%..... | 53 |
| Tabela 16 - Seleção na média de colheitas combinadas de locais com ganho e coincidência na média geral de locais..... | 54 |
| Tabela 17 - Correlações de <i>Spearman</i> entre os valores genéticos preditos (BLUP), obtidos das médias BLUP dos experimentos de genótipos de Catuaí, em Campos Altos, MG (acima da diagonal) e Capelinha, MG (abaixo da diagonal). | 55 |
| Tabela 18 - Correlações de <i>Spearman</i> entre os valores genéticos preditos (BLUP), obtidos pelas médias BLUP na conjunta de locais dos experimentos de genótipos de Catuaí..... | 55 |
| Tabela 19 - Médias de produtividade em sacas por hectare (sc/ha), coeficiente de variação experimental (CVe), variância genética (σg^2), variância do erro (σe^2), herdabilidade (h^2) e acurácia seletiva (r_{gg}) das colheitas anuais do experimento de Mundo Novo, em Campos Altos, MG e Capelinha, MG..... | 57 |
| Tabela 20 - Componentes de variância da análise subdivididas no tempo das colheitas por local, em Campos Altos e Capelinha..... | 59 |
| Tabela 21 - Índice de coincidência da seleção de genótipos, na média de colheitas combinadas de cada local, comparado com a média de seis colheitas por local, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%. | 60 |
| Tabela 22 - Componentes de variância da análise conjunta de locais em Campos Altos e Capelinha. | 60 |
| Tabela 23 - Índice de coincidência da seleção de genótipos, na média de colheitas combinadas em cada local, comparado com a média geral de locais, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%..... | 62 |
| Tabela 24 - Seleção na média de colheitas combinadas de locais com ganho e coincidência na média geral de locais..... | 63 |

| | |
|--|----|
| Tabela 25 - Correlações de <i>Spearman</i> entre os valores genéticos preditos (BLUP), obtidos pelas médias BLUP dos experimentos de genótipos Mundo Novo, em Campos Altos-MG (acima da diagonal) e Capelinha-MG (abaixo da diagonal). | 64 |
| Tabela 26 - Correlações de <i>Spearman</i> entre os valores genéticos preditos (BLUP), obtidos pelas médias BLUP da análise conjunta de locais. | 64 |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 15 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 16 |
| 2.1 | A cultura do cafeeiro | 16 |
| 2.2 | Melhoramento genético do cafeeiro | 17 |
| 2.3 | Seleção antecipada | 19 |
| 2.4 | Origem e principais características de cultivares em estudo..... | 21 |
| 2.4.1 | Cultivar do grupo Mundo Novo | 22 |
| 2.4.2 | Cultivar do grupo Catuaí..... | 24 |
| 2.4.3 | Cultivar do grupo Icatu..... | 25 |
| 2.5 | A estatísticas no melhoramento genético do cafeeiro | 27 |
| 2.5.1 | Abordagens de modelos mistos | 27 |
| 2.5.2 | Repetibilidade | 29 |
| 2.6 | Parâmetros genéticos..... | 30 |
| 2.7 | Interação genótipos por ambientes (GxA)..... | 31 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS | 33 |
| 3.1 | Material e locais | 33 |
| 3.2 | Delineamento experimental e condução dos experimentos..... | 35 |
| 3.3 | Características avaliadas..... | 35 |
| 3.4 | Análises estatísticas..... | 35 |
| 3.5 | Índice de coincidência e ganho de seleção | 37 |
| 3.6 | Estimação de parâmetros..... | 38 |
| 3.7 | Correlações de <i>Spearman</i> entre a produção total e colheitas acumuladas | 39 |
| 4 | RESULTADOS | 40 |
| 4.1 | Avaliação de genótipos de Icatu | 40 |
| 4.1.1 | Análises individuais | 40 |
| 4.1.2 | Análise no esquema de parcelas subdivididas no tempo por local | 42 |
| 4.1.3 | Análise conjunta de locais | 44 |
| 4.2 | Avaliação de genótipos de Catuaí..... | 48 |
| 4.2.1 | Análises Individuais..... | 48 |
| 4.2.2 | Análise no esquema de parcelas subdivididas no tempo por local | 50 |
| 4.2.3 | Análise conjunta de locais | 52 |
| 4.3 | Avaliação de genótipos de Mundo Novo..... | 55 |
| 4.3.1 | Análises Individuais..... | 56 |
| 4.3.2 | Análise no esquema de parcelas subdivididas no tempo por local | 58 |
| 4.3.3 | Análise conjunta de locais | 60 |
| 5 | DISCUSSÃO | 65 |
| 6 | CONCLUSÕES..... | 72 |
| | REFERÊNCIAS..... | 73 |
| | ANEXO A – Tabelas..... | 81 |

1 INTRODUÇÃO

Os programas de melhoramento de cafeeiro visam à obtenção de genótipos com alto potencial produtivo, menor custo de produção e melhor qualidade do produto, para atender as necessidades dos produtores e as exigências do mercado. Porém, a estreita base genética existente em *Coffea arabica* é um dos desafios encontrados pelos melhoristas, fazendo com que eles busquem alternativas para se conseguir um ganho genético mais efetivo em produtividade de grãos.

Outros problemas enfrentados pelos melhoristas, para se obter ganhos genéticos em produtividade, são os aspectos biológicos peculiares da cultura, tais como ciclo produtivo longo e acentuada oscilação anual de produção, ou seja, anos de safra alta e anos de safra baixa, o que caracteriza a bienalidade da cultura. Em virtude de presença da interação genótipos por ambientes, a recomendação de novas cultivares, para as regiões produtoras, é dificultada. Assim, a avaliação dos genótipos por vários anos e vários ambientes são de suma importância. Outro complicador é a perda de plantas nos experimentos, durante sua vida útil, fato que tende a gerar dados desbalanceados para uso na estimação de parâmetros genéticos e na predição dos valores genéticos aditivos e genotípicos (RESENDE et al., 2001).

Deste modo, tem-se a necessidade do uso de métodos mais acurados de estimação de parâmetros genéticos e de predição de valores genéticos. Os trabalhos realizados até o presente momento, utilizando abordagem de análise de medidas repetidas, preconizam que quatro colheitas são suficientes, para realizar a seleção de cultivares superiores, sendo esse tempo considerado bastante longo. Assim, alternativas para reduzir esse tempo devem ser buscadas pelos melhoristas.

Desde modo, a abordagem de modelos mistos poderia ser uma das soluções, permitindo a seleção de genótipos com um número menor de colheitas, por meio da estimação de parâmetros genéticos e predição de valores genéticos mais acurados. Portanto, o presente trabalho teve os objetivos de avaliar a influência da interação genótipos por ambientes na seleção de genótipos em diferentes grupos de cultivares de cafeeiro em ambientes-teste e verificar se é possível reduzir o número de colheitas para a seleção de progênies de *Coffea arabica* quando se utiliza a abordagem de modelos mistos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura do cafeeiro

O café é uma planta perene de porte arbustivo, pertencente à família *Rubiaceae*, produz frutos do tipo baga e tem como produto econômico suas sementes. O cafeeiro demora de dois a três anos para se desenvolver, desde a germinação até a primeira colheita passando pelo crescimento, floração e maturação (WINTGENS, 2004). As sementes, após processadas, são consumidas na forma de infusão, sendo uma bebida de sabor agradável e estimulante que possui aroma e sabor característicos (FAHL et al., 1995).

O gênero *Coffea* possui cerca de 124 espécies (DAVIS et al., 2006, 2011), porém apenas 90 se encontram descritas. Destas, cerca de 25 são exploradas comercialmente, sendo apenas duas com grande importância no mercado mundial: *Coffea arabica* e *Coffea canephora* (REIS; CUNHA, 2010). Estas dominam economicamente o comércio sendo responsáveis por cerca de 99% da produção mundial (DAMATTA; RODRIGUEZ, 2007).

As espécies *C. arabica* e *C. canephora*, em 2017/2018, responderam por 61,81% e 38,19% da produção mundial, respectivamente (INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION - ICO, 2018). A produção de *C. arabica*, no Brasil, corresponde a 76,70% do total e *C. canephora* apenas 23,30% (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2018). A espécie *C. canephora* em comparação com *C. arabica* é, geralmente, mais vigorosa, produtiva e rústica, porém a qualidade da bebida é consideravelmente inferior (COSTE, 1992; DAMATTA; RAMALHO, 2006).

A espécie *C. arabica* L. é nativa das florestas tropicais da Etiópia e ocorre entre 1600 a 2800m de altitude (BERTHAUD; CHARRIER, 1988). Nesta região, a temperatura mostra pouca variação com média anual em torno de 20°C e precipitação bem distribuída, variando de 1600 a 2000 mm ao ano, com estação seca variando de três a quatro meses, coincidindo com o período mais fresco do ano (DAMATTA; RAMALHO, 2006). Já a espécie *C. canephora* tem ampla distribuição geográfica, ocorrendo em regiões de pequena altitude no Oeste e Centro do continente africano (RESENDE et al., 2001).

Como foi mostrado, a espécie *C. arabica* é a mais utilizada mundialmente e no Brasil. Ela possui um grande número de variedades e alguns mutantes, sendo alguns amplamente empregados nos programas de melhoramento genético. É uma espécie autógama alotetraploide com $2n = 4x = 44$ cromossomos (LASHERMES et al., 1999), com taxa de fecundação cruzada na ordem de 10% (CARVALHO et al., 1991). É também a espécie mais

adaptada às regiões de clima ameno, apresentando uma distribuição geográfica natural restrita aos países: Etiópia (região Sudeste da África), Sudão (região Sudeste da África) e Quênia (região Norte da África).

O cafeeiro *C. arabica* apresenta bienalidade na produção, ou seja, alternância anual de altas e baixas produtividades. Essa característica é comumente atribuída à diminuição das reservas das plantas, em anos de safra com altas produtividades, o que faz com que a produção no ano seguinte seja baixa (PEREIRA et al., 2011).

2.2 Melhoramento genético do cafeeiro

Pela importância da cultura do cafeeiro no Brasil, os programas de melhoramento do cafeeiro desenvolvidos no país apresentam grande importância, contribuindo para o aumento da produção, produtividade e desenvolvimento socioeconômico das regiões de cultivo. Tais programas têm sido desenvolvidos com sucesso para *C. arabica* e *C. canephora* (RESENDE et al., 2001).

O melhoramento genético de café no Brasil iniciou-se desde sua introdução em 1727, mas poucas populações foram trabalhadas, apresentando baixa variabilidade genética até meados do século XX. No início, os plantios se limitavam ao cultivo de Typica, variedade que apresentava pouca produtividade. Com o objetivo de ampliar as opções de cultivares mais produtivas, o governo brasileiro providenciou a introdução de novos materiais genéticos (REIS; CUNHA, 2010). Em 1859, foi introduzida a cultivar Bourbon Vermelho e, quarenta anos mais tarde, introduziu-se a cultivar Sumatra. A maioria das variedades que surgiram posteriormente foi produto de mutações ou cruzamentos dos tipos originais (MÔNACO, 1980).

A segunda fase do melhoramento genético do cafeeiro no Brasil teve início, no começo da década de 1930, iniciando um complexo programa de investigação sobre o cafeeiro (CARVALHO, 1985). A partir dessa época, começou-se a utilizar metodologia científica, nos programas de melhoramento, o que levou a ganhos mais expressivos com a seleção para a produtividade, chegando a um acréscimo de 395% da cultivar Mundo Novo em relação à variedade Typica (CARVALHO, 1981; REIS; CUNHA, 2010).

O plano de trabalho constituía-se basicamente das atividades: seleção de matrizes de cultivares comerciais de cafeeiros e isolamento de progênies; geração de novos genótipos por meio da hibridação intra e interespecífica; introdução e estudo de novas cultivares comerciais;

e pesquisa sobre novos genótipos que ocorrem em plantações como consequência de hibridações e/ou mutações (CARVALHO; FAZUOLI, 1993).

Atualmente, além do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), destacam-se os trabalhos de melhoramento, realizados por várias instituições de pesquisa, como Instituto Agronômico de Paraná (IAPAR), a Fundação Procafé/MAPA, o Instituto Capixaba de Pesquisa e Extensão Rural (INCAPER), a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Embrapa café) e a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), que juntamente com a Universidade Federal de Lavras (UFLA) e a Universidade Federal de Viçosa (UFV) já desenvolveram cultivares com ótimo potencial produtivo e resistentes à ferrugem (PEREIRA et al., 2002; REIS; CUNHA, 2010).

Os trabalhos realizados proporcionaram grandes avanços no melhoramento genético do cafeeiro no Brasil e disponibilizaram ao agricultor cultivares com elevado potencial produtivo, vigor, rusticidade, uniformidade de maturação e resistência à ferrugem, além de outras características de interesse agronômico e comercial (AGWANDA et al., 2003).

Os bancos de germoplasma, implementados no Brasil, para a manutenção e conservação de genótipos, são importantes fontes de busca de genes desejáveis a serem introduzidos em programas de melhoramento genético. Assim, a caracterização dos acessos existentes, em bancos de germoplasma, facilita a identificação desses genes de interesse, de modo a fornecer parâmetros para a escolha de genitores favoráveis à obtenção de populações segregantes em programas de melhoramento genético (COSTA et al., 2006; LOPES et al., 2013).

Os componentes genéticos possibilitam conhecer a natureza da ação dos genes envolvidos no controle dos caracteres e também avaliar a eficiência da estratégia de melhoramento adotada. Dentre os parâmetros de maior importância, destacam-se as variâncias, as correlações e os coeficientes de variação, que facilitam a seleção das melhores progênies a partir das características mais promissoras (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004; PEREIRA et al., 2013).

Em virtude de algumas peculiaridades agronômicas do cafeeiro, as análises por meio de métodos convencionais não são ideais, em decorrência do longo tempo exigido para a obtenção de uma nova cultivar, com características agronômicas geneticamente estáveis, para sua pronta liberação comercial. Por isso, é necessário o uso de métodos especiais, para estimar os parâmetros genéticos e prever os valores genéticos, mediante o uso de outras técnicas

(BONOMO et al., 2004a; OLIVEIRA et al., 2011; PEREIRA et al., 2013; PETEK; SERA; FONSECA, 2008).

O procedimento analítico padrão, recomendado para os estudos em genética quantitativa e, também, para a prática da seleção em plantas perenes, é a metodologia de modelos mistos (ANDRADE et al., 2015; HENDERSON, 1950). Essa abordagem permite a predição acurada e não viesada dos valores genéticos, mesmo sob desbalanceamento e, ainda, facilita o uso simultâneo das informações do indivíduo, da família e de medidas repetidas no tempo, propiciando estimativas mais precisas dos componentes da variação genética e dos valores genéticos individuais (PEREIRA et al., 2013).

A pesquisa agrícola tem colocado inúmeras tecnologias à disposição dos produtores com a finalidade de aumentar a produtividade e a renda do cafeicultor. No caso do melhoramento genético, diversas cultivares resistentes à ferrugem-alaranjada (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.), principal doença da cultura, já foram liberadas para uso comercial. A resistência da planta minimiza o uso de produtos fitossanitários, no manejo do cafeeiro, especialmente fungicidas, que, na maioria das vezes, são de alta toxicidade ao homem, animais domésticos e silvestres (CARVALHO et al., 2012).

É por isso que os programas de melhoramento de plantas provêm soluções genéticas, para o aumento de produtividade em diferentes culturas, utilizando fatores edafoclimáticos, alterando a relação com pragas, mudanças na economia, demandas de consumo ou políticas governamentais. Portanto, é uma atividade na qual o melhorista deve tomar decisões e realizar julgamentos com critérios pessoais, enquanto a ciência desenvolver conhecimento e aplicação de princípios genéticos, bioquímicos, fitopatológicos, de solos, fisiologia, ecologia, estatística e muitos outros. Assim, por ser um processo multidisciplinar, é recomendável o trabalho em equipe, sob a coordenação de um melhorista, que possui uma visão ampla de todo o processo (SQUILASSI, 2003).

2.3 Seleção antecipada

O cafeeiro é uma planta perene que inicia sua fase de produção no segundo e terceiro ano após o plantio. A produção de grãos tem tendência a crescer, com menor oscilação bienal, até o quinto ano e, depois disto, essa oscilação na produção é mais acentuada (FAZUOLI, 1977). Desta forma, são necessários vários anos consecutivos de avaliação da produção, para se estimar o potencial produtivo total dos genótipos de cafeeiros. Assim, em razão do longo tempo gasto e das grandes áreas experimentais demandadas, os programas de melhoramento

de cafeeiros são demasiadamente onerosos. Mediante isso, seria vantajoso, então, praticar a seleção de genótipos superiores com base na produção dos primeiros anos (BONOMO et al., 2004a).

A expressão seleção antecipada tem sido utilizada para designar a seleção baseada nos primeiros anos de produção das plantas e nos aspectos vegetativos. Difere, nesse aspecto, de seleção precoce, sendo esta expressão utilizada para designar a seleção praticada nas primeiras gerações após a hibridação (SERA, 1987). Vários estudos têm sido realizados na tentativa de estabelecer métodos seguros, para a realização de seleção antecipada, com base em caracteres vegetativos avaliados, nos primeiros três anos, além das primeiras colheitas.

Em trabalho realizado com progênies de cafeeiro do grupo Icatu, Fazuoli et al. (2000) verificaram que é possível efetuar a seleção das melhores progênies nos dois, três ou quatro primeiros anos de colheitas consecutivas. Este tempo, utilizado na seleção antecipada, parece estar relacionado com o início do ciclo bienal de produção. E, segundo o autor, a escolha das melhores progênies de cafeeiros deve ser efetuada em anos de alta produção. Em muitos casos, a eficiência da seleção, nesses anos de alta produção, foi maior do que uma seleção antecipada, utilizando dados dos três primeiros anos de colheitas consecutivas.

Estudando a possibilidade da utilização de seleção antecipada no cafeeiro, Mendes (1994) concluiu que é possível realizar a seleção antecipada das melhores progênies, com razoável eficiência, com base nos dados de produção acumulada até a quarta colheita, para progênies das cultivares Catuaí, Mundo Novo e Icatu e, mesmo na terceira colheita, caso o ciclo bienal tenha início neste estágio.

Bonomo et al. (2004b) verificaram, mediante as estimativas de correlação, que poderia selecionar, a partir da segunda colheita ou primeira grande colheita com precisão estável, que é compensada com a seleção de um maior número de progênies. Em outro trabalho, realizado por Oliveira et al. (2011), foi observado que quatro colheitas seriam suficientes para compilar dados confiáveis sobre o desempenho de progênies de café. Mendes e Guimarães (1998) afirmam que a seleção é segura a partir da quarta colheita em diante.

Portanto, estudos indicam a necessidade de avaliação da produção, pelo menos em quatro safras consecutivas, ou dois biênios, para ter sucesso na seleção de uma progênie, visto que se trata de uma cultura perene e a estabilidade de produção é alcançada na quarta colheita (CARVALHO; FAZUOLI; COSTA, 1989; FAZUOLI; CARVALHO; MÔNACO, 1977; MARTINS, 1989).

Segundo Bonomo et al. (2004b), com a finalidade de identificar o número mínimo de colheitas, que possibilitaria ao pesquisador realizar seleção com eficiência, tem sido estimada

a correlação entre produtividade média do genótipo por colheita, ou combinação de colheitas, com a produção acumulada ao longo das colheitas. Os autores constataram que a correlação entre produção da primeira colheita e a produção acumulada das quatro primeiras colheitas foi de -0,03, indicando não existir relação entre as progênies mais produtivas na primeira colheita, com aquelas mais produtivas, considerando o total de quatro colheitas. Porém, as correlações entre as produções da 2^a, 3^a e 4^a colheitas e a produção acumulada das quatro colheitas foram altas e positivas, ou seja, já a partir da segunda colheita, houve alta correlação com a produção acumulada.

Além disso, Bonomo et al. (2004b) recomendam que, para compensar a perda de eficiência, pode-se selecionar um maior número de progênies, por exemplo, quatro progênies em vez de três, para ter a mesma eficiência da 2^a, 3^a e 4^a colheitas, ganhando-se dois anos por geração de seleção.

No entanto, Fazuoli et al. (2000) compararam coeficientes de correlação fenotípica (r) entre a produção total ao final dos experimentos das progênies em seleção com as produções anuais e acumuladas dessas mesmas progênies em cada experimento. Constataram que a eficiência da seleção de progênies com a utilização dos dois primeiros anos colheitas consecutivas variou de 55,6% a 77,8%; nos três primeiros anos, a variação foi de 77,8% a 87,7% e, nos quatro primeiros anos, de 77,8 a 100%, com intensidade de seleção de 25%. E, dentro das melhores progênies, requereu dois, três ou quatro primeiros anos de colheitas consecutivas com intensidade de seleção de 50% ou mais branda. Em consequência, as avaliações de progênies ou seleção individual e as seleções para produtividade podem ser praticadas, nos primeiros anos de colheita, desde que a pressão de seleção não seja muito alta (BONOMO et al., 2004b; FAZUOLI et al., 2000).

2.4 Origem e principais características de cultivares em estudo

No século XX, o Brasil começou a utilizar a metodologia científica, nos programas do melhoramento do cafeeiro e foi nessa fase que os ganhos com a seleção começaram a ser mais expressivos. Várias cultivares foram desenvolvidas, apresentando alta produtividade, alto vigor vegetativo, uniformidade de maturação dos frutos, resistência a patógenos e boa qualidade da bebida e tiveram ampla aceitação dos agricultores. Dentre estas cultivares se destacam Mundo Novo, Catuaí e Icatu.

2.4.1 Cultivar do grupo Mundo Novo

O cafeeiro “Mundo Novo” é um exemplo do sucesso que se pode obter pelo emprego do processo de seleção e estudo das progênes de plantas matrizes excepcionais, sem prévio conhecimento de sua produção. Os lavradores do Estado de São Paulo, em 1943, já estavam interessados nesse novo cafeeiro, sendo frequentes os pedidos de informações e de sementes, a fim de experimentá-las em suas propriedades. Por esse motivo, o pesquisador Alcides Carvalho, Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), resolveu apresentar um estudo, em 1952, sobre Mundo Novo com dados preliminares obtidos. Esses dados estavam relacionados com o estudo dos caracteres vegetativos, produção e tipo de sementes de progênes de um grupo de cafeeiros “Mundo Novo”, plantadas, em algumas localidades de São Paulo, com clima e solos diferentes (CARVALHO, 1952).

Sendo responsáveis pela experimentação com café naquela época, o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) tinha como objetivo investigar qualquer notícia que fosse divulgada sobre café. Em 1943, o IAC foi informado da existência de uma plantação de café conhecida por “Sumatra”, na Fazenda Aparecida, do Sr. Luís Crivelaro, no Município de Mundo Novo, hoje Urupês, região Araraquarense do Estado de São Paulo. Em julho daquele ano, alguns pesquisadores foram visitar a propriedade e constataram que os cafeeiros, em número de 14.000 e com 12 anos, eram, excepcionalmente desenvolvidos e produtivos. Realizaram 18 seleções individuais e colheram frutos maduros de cada uma das plantas. As informações prestadas pelo proprietário da fazenda, relativas à procedência das sementes que deram origem à essa plantação, foram que as primeiras sementes tinham vindo de Jaú e haviam sido plantadas no sítio Brumado (Urupês) por volta de 1928 (CARVALHO, 1952).

Em agosto de 1945, os engenheiros agrônomos Alcides de Carvalho, Hélio de Moraes e João Aloisi Sobrinho visitaram o sítio Campos, de propriedade do Sr. Filomeno Bruno de Melo, em Mineiros do Tietê, localidade próxima a Jaú-SP. Ali foi encontrada uma plantação de café “Sumatra”, semelhante à de Urupês. Tratava-se de uma pequena plantação de 3.000 cafeeiros, formada com 3 a 4 plantas por cova e plantada em 1928. O cafezal se encontrava com magnífico aspecto vegetativo, embora a produção fosse pequena naquele ano. Então selecionaram cinco cafeeiros, dos quais foram colhidos frutos e material para enxertia. Notou-se que essas plantas apresentavam bom aspecto vegetativo, porém eram menos uniformes do que as do sítio do Sr. Filomeno Bruno (CARVALHO, 1952).

Em maio de 1948, os engenheiros agrônomos Carlos Amoldo Krug, José Estevam Teixeira Mendes, Alcides Carvalho e Hélio de Moraes tiveram a oportunidade de, novamente,

visitar a propriedade do Sr. Filomeno Bruno de Melo, em que marcaram mais cinco cafeeiros. Por essa ocasião, eles, ainda, visitaram o sítio Ribeirão São João, do Sr. Gregório Santilli, com 3.000 pés de "Sumatra", com cerca de 20 anos. Esse cafezal também foi formado com sementes do sítio do Sr. Luís Lupi. Nessa propriedade, foram marcados mais cinco cafeeiros, tendo-se, também, colhido frutos maduros e ramos para enxertia (CARVALHO, 1952).

Quanto às características de Mundo Novo, notou-se que se tratava de uma população heterogênea. As plantas eram variáveis, quanto ao seu porte, tipo de ramificação, forma das folhas adultas, coloração das folhas novas e, principalmente, com relação à sua produtividade. Além disso, era notável o seu vigor vegetativo, observando-se também muitas plantas com excepcional produtividade. Alguns cafeeiros assemelhavam-se muito à variedade Bourbon, outros, à variedade Typica, *Coffea arabica* L. variedade Typica Cramer (café Nacional) (KRUG; MENDES; CARVALHO, 1939). A fim de não confundir esse café com o "Sumatra", que é uma linhagem do "Nacional", a "Comissão de Café" do Instituto Agrônômico resolveu denominá-lo café "Mundo Novo", nome do município onde foi encontrado pela primeira vez (CARVALHO, 1952).

Em 1949 e 1951, foi instalada uma série de ensaios no Estado de São Paulo, com as melhores progênies de Mundo Novo, que foram estudadas em cinco estações experimentais do Instituto Agrônômico, localizadas em Campinas, Ribeirão Preto, Pindorama, Mococa e Jaú. Em 1949, foram selecionadas as progênies que apresentavam maior produtividade, para derivações de novas progênies a serem estudadas em grandes ensaios regionais, que se localizavam em cada uma das cinco estações experimentais mencionadas (CARVALHO et al., 1961).

Os resultados desses ensaios regionais vieram confirmar alguns dados anteriormente obtidos sobre o comportamento de variedades comerciais de café em São Paulo e esclarecer alguns outros pontos de interesse para a cafeicultura paulista. Esses resultados de produção de café beneficiado confirmaram a superioridade de produção de progênies de "Mundo Novo" que foi comparada a outros ensaios realizados em Campinas, nos quais sua média de produção foi maior que a de outras progênies de "Bourbon Amarelo", "Bourbon Vermelho", "Maragogipe Vermelho", "Typica", "Sumatra" e várias combinações híbridas (CARVALHO et al., 1961).

As duas progênies do Mundo Novo de maior produção, MP 376-4 e CP 379-19, deram, respectivamente 191 e 172%, a mais do que a média da testemunha "Typica". Além de mais produtivas, as progênies de Mundo Novo apresentavam maior vigor vegetativo, maior

altura e diâmetro da copa, sementes maiores, mais pesadas e elevada quantidade de sementes normais do tipo chato (CARVALHO et al., 1961).

Os estudos genéticos efetuados sobre o cafeeiro “Mundo Novo” mostraram ser resultantes de recombinações de um cruzamento natural entre a cultivar Bourbon e a cultivar Sumatra, introduzida da ilha Sumatra (CARVALHO, 1952).

2.4.2 Cultivar do grupo Catuaí

No cultivo do cafeeiro (*Coffea arabica* L.), a operação de colheita é uma das mais onerosas dentre os custos envolvidos e aumenta dia a dia, à medida que melhora o nível de vida da população rural. Desta forma, as características da planta ou do fruto que visam facilitar a colheita manual ou a colheita mecânica devem merecer atenção especial nos programas de melhoramento genético do cafeeiro. O porte da planta também tinha uma importância significativa, pois facilitava a colheita (CARVALHO; MÔNACO, 1972).

Em 1949, dentre as cultivares de porte baixo existente, a “Caturra” foi selecionada por apresentar maiores possibilidades de adaptação e alta capacidade produtiva. As análises genéticas revelaram que as suas principais características eram controladas pelo par de alelos dominantes caturra (Ct). A ação desse gene se manifesta pela redução do comprimento dos internódios, tornando-os menores, dando à planta uma forma mais compacta e menor altura. Dessa forma, foi oportuno transferir o gene caturra para a cultivar Mundo Novo, selecionado pelo vigor e pela elevada produtividade (CARVALHO; MÔNACO, 1972).

Tendo em vista a transferência de genes responsáveis pelo porte reduzido para o Mundo Novo, dentre as hibridações realizadas em 1949, fez-se o cruzamento entre a planta 476-11 do Caturra Amarelo e o cafeeiro Mundo Novo CP 374-19, o qual recebeu o número H 2077. Esses cafeeiros foram especialmente escolhidos pelo vigor e elevada produtividade. Posteriormente, verificou-se que o cafeeiro Mundo Novo CP 374-19 era heterozigoto para os genes responsáveis pela alta incidência de frutos sem sementes que afetava o rendimento. No entanto o defeito foi eliminado por seleção, em gerações subsequentes ao cruzamento (CARVALHO; MÔNACO, 1972).

De um único cruzamento foram obtidos três cafeeiros F₁ os quais foram plantados no campo, em 1952, em um ensaio de produtividade da Seção de Genética do IAC, em Campinas. Os dados obtidos para os três cafeeiros foram avaliados para produtividade no período de 1954 a 1969. Notou-se que o cafeeiro 1 (H 2077-1) apresentou maior produtividade, e a planta 3 (H 2077-3) menor produção. Ambas apresentaram alta quantidade

de frutos chochos, isto é, frutos maduros com uma ou com duas lojas sem sementes, enquanto a planta 2 (H 2077-2) não mostrou esse defeito. A progênie 2 desse cafeeiro foi estudada com mais detalhes (CARVALHO; MÔNACO, 1972).

A progênie 2 possuía características bastante favoráveis, pois apresentava boa peneira média e elevada porcentagem de grãos normais do tipo chato. Após a seleção da geração F₂, foi estudada a progênie H 2077-2, constituída de 15 plantas que foram plantadas em 1956, em um ensaio de produtividade (EP 30), e uma segunda progênie de 20 plantas foi plantada no ensaio EP 31, em Campinas. De modo geral, notaram-se bom desenvolvimento e boa produtividade, porém sobressaíram-se pelo vigor os cafeeiros 5, 10 e 12 do ensaio EP 30 e os cafeeiros 25, 30 e 34 do ensaio EP 31 (CARVALHO; MÔNACO, 1972).

As análises genéticas efetuadas indicaram que os cafeeiros H 2077-2-10 e H 2077-2-12 do EP 30 eram heterozigotos para o par de alelos Caturra (Ctct), enquanto a planta H 2077-2-5 era homozigota (CtCt). Verificou-se, igualmente, que as plantas H 2077-2-5 e H 2077-2-10 eram heterozigotas para os alelos (Xcxc) cor de fruto, enquanto a planta H 2077-2-12 possuía frutos amarelos (xcxc). As três plantas não apresentaram o defeito de alta incidência de frutos chochos. As plantas 12 e 10 eram as que tinham maior e menor peso de frutos e de sementes, respectivamente (CARVALHO; MÔNACO, 1972).

Nas gerações F₃, encontraram-se plantas das progênies H 2077-2-5 e H 2077-2-12 com produção semelhante à das melhores plantas do Mundo Novo, enquanto, na progênie H 2077-2-10, as plantas possuíam características diferentes. Assim, verificou-se que as plantas de frutos vermelhos da progênie H 2077-2-5 eram produtivas e homozigotas para os alelos Caturra (CtCt) e as de frutos amarelos das progênies H 2077-2-5 e H 2077-2-12 eram homozigotas para esses alelos, assim, obtiveram-se as cultivares Catuaí Vermelho e Catuaí Amarelo (CARVALHO; MÔNACO, 1972).

2.4.3 Cultivar do grupo Icatu

O melhoramento genético do cafeeiro é dinâmico por natureza. Além disso, há a interferência humana em seu processo natural à procura de se obter novas cultivares mais produtivas, resistentes ou tolerantes a doenças e pragas e adaptáveis a diferentes condições de ambientes (CORRÊA; MENDES; BARTHOLO, 2006; PEREIRA; NETTO, 1981). Sendo assim, no início da década de 1950, houve numerosas tentativas para associar as características de vigor, produtividade e resistência do robusta (*Coffea canephora*) à qualidade de bebida do arábica (*Coffea arabica*), procurando-se estudar tanto os híbridos

naturais e quanto os artificiais entre representantes dessas espécies (FAZUOLI; CARVALHO; MÔNACO, 1977).

Uma dessas tentativas foi estudada no IAC, em 1950, pela realização de hibridações entre plantas selecionadas de arábica e robusta, caracterizando-se pelo número duplicado de seus cromossomos. Desses antigos cruzamentos, desenvolveram-se várias seleções e vários retrocruzamentos, com plantas selecionadas de arábica, seguidos de estudos e seleções em gerações S_1 e S_2 . Ao conjunto de plantas selecionadas nessas populações deu-se a denominação de Icatu. Também, naquela época, elas tiveram particular atenção ao plano geral do melhoramento genético, por apresentarem graus de resistência às raças de *Hemileia vastatrix*, além de boa produtividade e excelente vigor vegetativo, algumas com fonte de resistência ao *Colletotrichum coffeanum* e outras ao nematoide *Meloidogyne exigua* (FAZUOLI; CARVALHO; MÔNACO, 1977).

Em 1950, foi realizada uma hibridação interespecífica entre um cafeeiro tetraploide de *C. canephora* e uma planta da cultivar Bourbon Vermelho de *C. arabica* (MÔNACO; CARVALHO, 1975). A partir de 1956, foram feitos retrocruzamentos do híbrido com a cultivar Mundo Novo. A descendência dessas hibridações recebeu o nome de Icatu (MÔNACO; CARVALHO; FAZUOLI, 1974). A cultivar Icatu mostrou-se como uma boa opção por apresentar rusticidade, alto vigor vegetativo, elevada capacidade produtiva e variabilidade para resistência à ferrugem, tanto vertical como horizontal (ALVARENGA, 1991; FAZUOLI et al., 1983).

A cultivar Icatu assemelha-se muito à cultivar Mundo Novo e isso se justifica pela sua origem, sendo, aproximadamente, 95% de seus alelos oriundos de ‘Bourbon Vermelho’, um dos genitores do ‘Mundo Novo’ e da própria cultivar Mundo Novo, adquiridos por meio de três retrocruzamentos. Dessa forma, pode-se dizer que a cultivar Icatu é um melhoramento da cultivar Mundo Novo, em que a resistência à ferrugem foi introduzida (MENDES; GUIMARÃES; SOUZA, 2002).

Após a constatação da ferrugem, no Brasil, em 1970, foram realizados trabalhos de seleção em todas as progênes de Icatu quanto à resistência e foi verificada a ocorrência de vários graus de resistência, desde a aparente imunidade até a completa suscetibilidade, chegando-se à conclusão de que esse material, além de possuir resistência vertical, possui também resistência de natureza não específica ou horizontal (COSTA; RIBEIRO, 1975; ESKES; COSTA, 1983).

O cafeeiro Icatu vem sendo muito utilizado, nos programas de melhoramento genético, visando à resistência à ferrugem-alaranjada, cujo agente causal é o fungo *Hemileia vastatrix*

Berk. et Br., principal doença da cultura do cafeeiro (CARVALHO et al., 2012; CORRÊA; MENDES; BARTHOLO, 2006).

2.5 A estatísticas no melhoramento genético do cafeeiro

Com as facilidades computacionais, tornou-se possível a análise dos dados visando à seleção de plantas, progênies e/ou linhagens, em fase de recomendação, usando inúmeros procedimentos. O mais empregado, no melhoramento vegetal, sem dúvida, é o método dos quadrados mínimos. A análise de variância foi e continua sendo um dos principais procedimentos adotado pelos melhoristas (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2012).

O sucesso do melhoramento genético depende, sobretudo, da adoção de acurados procedimentos de seleção. A estruturação desses procedimentos baseia-se na estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos visando à avaliação genética dos candidatos à seleção (RESENDE, 2002). Diante disso, torna-se importante fazer uma discussão sobre os modelos estatísticos, principalmente, sobre a decisão de tratar uma fonte de variação ou efeito do modelo como sendo fixo ou aleatório e suas implicações na análise dos dados e inferência a partir dos resultados (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2012).

2.5.1 Abordagens de modelos mistos

Na área de melhoramento genético de culturas perenes, a presença de múltiplas fontes de informações demanda uma avaliação genética acurada, a partir do emprego dos modelos lineares mistos para a análise dos dados. Nesse caso, os efeitos não genéticos são tratados como efeitos fixos, e os efeitos genéticos como efeitos aleatórios, possibilitando uma estimação de componentes de variância com propriedades estatísticas e uma acurada predição de valores genéticos (RESENDE, 1997b).

Um modelo estatístico se diz aleatório, quando todos os seus efeitos são aleatórios, excetuando a constante (média geral), que é fixa. Um modelo estatístico se diz fixo, quando todos os seus efeitos são fixos, excetuando o erro experimental, que é aleatório. Assim, um modelo estatístico é dito misto, quando alguns de seus efeitos são aleatórios e outros são fixos, excetuando entre esses efeitos a média e o erro experimental (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

A predição de valores genéticos e estimação de componentes de variância são atividades fundamentais na área de melhoramento de plantas. Dentre os principais

procedimentos, para a estimação de parâmetros genéticos em teste de progênies e cultivares, destaca-se a análise de variância (ANOVA) para a decomposição dos quadrados médios. Na ANOVA, os componentes de variância são obtidos pela decomposição dos quadrados médios com base nas suas esperanças matemáticas (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2003). Esse método foi desenvolvido, no começo do século XX, por Fisher (1918) e é tradicionalmente utilizado na estimação dos componentes de variância. Entretanto ele requer algumas condições, para que as estimativas geradas sejam confiáveis, tais como: balanceamento dos dados e ausência de efeitos fixos e aleatórios juntos no mesmo modelo. Se todos estes pontos forem contemplados, a ANOVA produzirá resultados não tendenciosos (DUARTE, 2000; DUARTE; VENCOVSKY, 2001).

O método dos quadrados mínimos é uma importante ferramenta de que os geneticistas e melhoristas dispõem, sobretudo, para estimativa de parâmetros genéticos. Porém, Resende (2002, 2007a) enumeram uma série de motivos pelos quais não deve ser utilizado, para as análises de dados, no melhoramento de espécies perenes, como: presença simultânea de efeitos fixos e aleatórios no mesmo modelo; desbalanceamento provocado por morte de plantas; medições repetidas em um mesmo indivíduo durante vários anos ou épocas e possibilidade de obter estimativas negativas de variâncias.

O procedimento adequado, para a predição dos valores genéticos utilizados na avaliação genética de plantas perenes, segundo Resende (2002), tem sido o BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*), considerando, na predição de valores genéticos dos efeitos aleatórios do modelo estatístico, ajustando-se os dados aos efeitos fixos e ao número desigual de informações na parcela, por meio da metodologia de modelos mistos (HENDERSON; QUAAS, 1976). Henderson et al. (1959) foram os primeiros a demonstrar que as equações de modelos mistos produziam como soluções BLUE (*Best Linear Unbiased Estimator*) para os efeitos fixos das predições BLUP dos efeitos aleatórios.

Avaliação de genótipos, em vários locais e em várias colheitas ou safras, em plantas perenes, gera dados com simultânea dependência por meio dos locais e do tempo. Estruturas de covariância, para modelar esses efeitos, não são facilmente encontradas, porque, em geral, nesse caso, as correlações entre medidas repetidas dentro de locais são de alta magnitude, fato que dificulta a modelagem do fator tratamento. A modelagem mais simples, para cada fator, é via estrutura de covariância de simetria composta (SC), a qual assume homogeneidade de variâncias e covariâncias entre colheitas. Essa abordagem é desejável, porque depende do menor número possível de estimativas de parâmetros. No entanto, pode ser ineficiente no caso de grande heterogeneidade de variâncias e covariância entre colheitas (RESENDE, 2007b).

2.5.2 Repetibilidade

A análise de experimentos de medidas repetidas, nas mesmas parcelas ou indivíduos, apresenta peculiaridades pelo fato de as várias colheitas serem correlacionadas entre si e pela possibilidade de haver heterogeneidade de variâncias e covariâncias entre as várias colheitas ou safras (RESENDE, 2007b). A eficiência dos programas de melhoramentos de plantas perenes depende, principalmente, da repetibilidade espacial e temporal dos caracteres sobre a seleção (CUENYA; MARIOTTI, 1993; FERREIRA et al., 2005). Portanto, em todas as fases de programas de melhoramento, a avaliação segura da superioridade genotípica é fundamental e, conseqüentemente, a repetibilidade dos caracteres, ao longo dos anos, torna a informação indispensável para o melhorista (FALCONER; MACKAY, 1996).

Uma ação de grande relevância, no processo de melhoramento do cafeeiro, segundo Resende (2002), é a predição dos valores genotípicos dos candidatos à seleção. Além disso, o procedimento de predição de valores genéticos depende do conhecimento do controle genético dos caracteres sob a seleção, especialmente, dos parâmetros herdabilidade e repetibilidade individuais.

O coeficiente de repetibilidade da característica possibilita estabelecer o número de observações fenotípicas que devem ser realizadas em cada indivíduo para que a discriminação, ou seleção fenotípica entre genótipos seja eficiente, ou seja, leve menos tempo e tenha menor custo de mão de obra (CRUZ; REGAZZI, 2001; FERREIRA et al., 1999, 2005). Assim, a repetibilidade fornece o valor máximo que a herdabilidade, no sentido amplo, pode atingir, expressando a proporção da variância fenotípica que é atribuída às diferenças genéticas confundidas com os efeitos permanentes que atuam na cultivar. Portanto esses parâmetros constituem instrumentos úteis para orientar os trabalhos de melhoramento (BOTREL et al., 2000; FERREIRA et al., 2005).

Em função das peculiaridades agronômicas do cafeeiro e suas conseqüências, em particular, tem-se a necessidade do uso de métodos especiais de estimação de parâmetros genéticos e de predição de valores genéticos. Assim, os métodos tradicionais de estimação, com base em análise da variância, não são os mais recomendados para a análise de dados no melhoramento do cafeeiro. Porém o procedimento analítico padrão, recomendado para o estudo de genética quantitativa e na seleção de plantas perenes, é o REML/BLUP, ou seja, a estimação de componentes da variância por máxima verossimilhança restrita (REML) e a predição de valores genéticos pela melhor predição linear não viciada (BLUP) (RESENDE, 2002).

2.6 Parâmetros genéticos

Avaliação de parâmetros genéticos, para caracteres agronômicos, tem sido feita por diversos pesquisadores em diferentes espécies agrícolas. Isso tem permitido mudanças importantes no aspecto econômico e, também, no desenvolvimento das cultivares, satisfazendo as necessidades do agricultor e do consumidor final. Por conseguinte, os programas de melhoramento genético do cafeeiro, com amplo potencial do consumo em nível mundial, devem considerar as preferências e gostos do consumidor, assim como a qualidade da bebida, produtividade, resistência a pragas e doenças.

Neste sentido, a estimação de variabilidade genética no cafeeiro é muito importante, pois permite conhecer a natureza da ação dos genes envolvidos no controle dos caracteres quantitativos e avaliar a eficiência da estratégia de melhoramento adotada. Segundo Cruz, Regazzi e Carneiro (2003), entre os parâmetros de maior importância, destacam-se as variâncias e a herdabilidade (h^2).

Os componentes de variância têm sido de grande interesse no melhoramento genético, pois permite, por intermédio dos delineamentos experimentais, estimar a variância genotípica a partir dos dados fenotípicos observados. Com base na variância genotípica, podem-se obter informações de grande utilidade para a predição de ganhos e para alterações na estrutura e na potencialidade das populações em relação às diferentes características (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

O emprego da variância, no estudo dos caracteres quantitativos, tem algumas vantagens. Entre elas, a possibilidade de estimar a herdabilidade e o ganho genético com a seleção. Tem a vantagem de obter estimativas sem o cancelamento de desvios genéticos de sinais opostos, como ocorre com os componentes de médias, pois esses são elevados ao quadrado. O emprego de variância, no entanto, exige cuidados específicos, pois ela normalmente é associada a erros acentuados, pois os desvios são elevados ao quadrado (BERNARDO, 2010; RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2012; WRICKE; WEBER, 1986).

A herdabilidade (h^2) é outro parâmetro genético útil para o trabalho dos melhoristas. Ela é uma medida da importância relativa da hereditariedade de qualquer caráter (NYQUIST, 1991). A herdabilidade pode ser conceituada como proporção da variância genética presente na variância fenotípica total. Portanto ela estima confiabilidade do valor fenotípico como indicador do valor reprodutivo. Por essa razão, a (h^2) participa quase sempre das expressões relacionadas com a predição do ganho dos diferentes métodos de melhoramento e, como

consequência, das decisões que os melhoristas tomam na condução dos seus programas de seleção (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2012).

2.7 Interação genótipos por ambientes (GxA)

Um dos objetivos dos programas de melhoramento genético é a obtenção de cultivares que possam ser recomendadas aos produtores. No entanto, deve-se considerar não apenas as características genéticas, mas também as características ambientais e a interação entre ambas, visto que tudo isso contribui para a expressão fenotípica de um determinado caráter, uma vez que o fenótipo é influenciado pelo genótipo, que é a constituição genética de um indivíduo e pelo ambiente (RAMALHO et al., 2012).

A avaliação de genótipos promissores, em vários ambientes, é uma das últimas etapas de um programa de melhoramento genético de plantas, convertendo-se em grande desafio para os melhoristas, já que é possível que o melhor genótipo em um ambiente não o seja em outro, o que é um agravante aos programas de melhoramento (PELÚZIO et al., 2008).

É importante considerar que as variações que contribuem para as interações com os genótipos podem ser agrupadas nas categorias previsíveis e imprevisíveis. Dentro das categorias previsíveis, incluem-se todos os fatores permanentes do ambiente, como as características gerais de clima, tipo de solo, latitude, altitude, comprimento do dia, grau de insolação, além daquelas controladas pelo homem, como as práticas agronômicas, métodos de preparo do solo, data de plantio, densidade de plantio e tecnologia aplicada. Nas categorias imprevisíveis, podem-se citar as variações erráticas do clima, como a distribuição de chuvas, geadas, oscilações de temperatura, o ataque de pragas e doenças, entre outras (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

Segundo Vasconcelos et al. (2010), as interações genótipos por ambientes significativas, associadas a características ambientais previsíveis, representam uma grande oportunidade de exploração. Uma das formas mais utilizadas, para determinar o efeito dessa interação, é a implantação de experimentos, em locais contrastantes, com genótipos promissores, ou seja, sendo avaliados, para a identificação de genótipos com ampla adaptabilidade e estabilidade (BARROS et al., 2012; BOTELHO et al., 2010; CARGNIN et al., 2006; FERREIRA et al., 2013; MENDES et al., 2012; YAN et al., 2000).

Segundo Cruz e Regazzi (1997), a existência da interação genótipos por ambientes está associada a dois componentes: ela pode ser simples, quando é proporcionada pela diferença de variabilidade entre genótipos nos ambientes e complexa, quando denota a falta

de correlação entre medidas de um mesmo genótipo em ambientes distintos e indica haver inconsistência na superioridade de genótipos com a variação ambiental. Na existência da interação do tipo complexa, a recomendação não pode ser a mesma, para todos os ambientes, o que dificulta a recomendação e o lançamento de novas cultivares (PINTO et al., 2012).

Na parte final dos programas de melhoramento de plantas, o processo de seleção e recomendação de genótipos é, frequentemente realizado, avaliando-se o desempenho dos genótipos em diferentes locais, anos e épocas de semeadura. Nessas condições, o desempenho relativo dos genótipos quase sempre varia de um ambiente para outro em virtude da ocorrência da interação genótipos x ambientes (CRUZ; REGAZZI, 1997; PELÚZIO et al., 2005, 2006, 2008).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Material e locais

Para a realização deste trabalho, foram utilizados experimentos de cafeeiro (*Coffea arabica*), conduzidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), em dois municípios do estado de Minas Gerais, Campos Altos e Capelinha, nas fazendas particulares de Ouro Verde e Resplendor, respectivamente. Dados climatológicos dos locais estão apresentados na Tabela 1 e precipitação mensal na Figura 1.

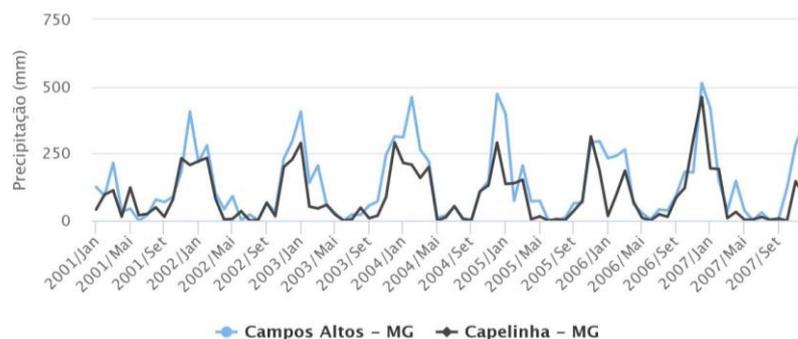
No experimento de Icatu, foram avaliados 11 genótipos e quatro genótipos como testemunhas. No grupo Catuaí, foram avaliados 15 genótipos e cinco testemunhas e, no de Mundo Novo, foram avaliados 34 genótipos e uma testemunha (TABELA 2). Em todos os experimentos, os genótipos utilizados são procedentes do programa de melhoramento do cafeeiro do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC).

Tabela 1 - Caracterização e variáveis climáticas dos locais de instalação dos experimentos, em Campos Altos e Capelinha, Minas Gerais.

| Características | Campos Altos | Capelinha |
|--------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| Tipo do solo | Latossolo Vermelho-Amarelo | Latossolo Vermelho-Amarelo húmico |
| Textura | Argilosa | Argilosa |
| Relevo | Plano | Ondulado |
| Altitude | 1230 m | 820 m |
| Latitude | 19° 41' 46" S | 21°40'S |
| Longitude | 46° 10' 17" O | 45°55'00"W |
| Temperatura média anual | 17,6 °C | 21,3 °C |
| Precipitação média anual | 1.830 mm | 1.450 mm |

Fonte: Do autor (2018).

Figura 1 - Precipitação mensal de 2001 até 2007 em Campos Altos-MG e Capelinha-MG.



Fonte: Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (AGRITEMPO, 2018).

Tabela 2 - Relação dos genótipos avaliados, nos experimentos de café em Campos Altos e Capelinha, Minas Gerais.

| Experimentos | | | |
|---------------------|--------------------------------|---|---------------------------------|
| | Icatu | Catuaí | Mundo Novo |
| 1 | IAC 2942 | Catuaí Vermelho IAC-15 | MN IAC 382-14 |
| 2 | IAC 2944 | Catuaí Amarelo IAC-17 | LH 2897 |
| 3 | IAC 3282 | Catuaí Amarelo IAC-30 | LCP 447 |
| 4 | IAC 4040-179 | Catuaí Vermelho IAC-44 | CP 387-14-11 |
| 5 | IAC 4040-181 | Catuaí Amarelo IAC-47 | MN IAC 502-1 |
| 6 | IAC 4040-315 | Catuaí Vermelho IAC-51 | LCP 403-1 |
| 7 | IAC 4042-114 | Catuaí Amarelo IAC-62 | LH 2931 |
| 8 | IAC 4042-222 | Catuaí Vermelho IAC-72 | MN IAC 515-20 |
| 9 | IAC 4045 | Catuaí Vermelho IAC-79 | MN IAC 501-5 |
| 10 | IAC 4228 | Catuaí Vermelho IAC-81 | LCP 475 |
| 11 | IAC 4782 | Catuaí Amarelo IAC-86 | 1169 C 231 |
| 12 | IAC 376-4-8 (T ¹) | Catuaí Vermelho IAC-91 | MN IAC 376-4 |
| 13 | IAC 376-4-30 (T ¹) | Catuaí Vermelho IAC-99 | CP 500-11 |
| 14 | IAC 379-19 (T ¹) | Catuaí Vermelho IAC-100 | CP 464-15 |
| 15 | IAC 388-17(T ¹) | Catuaí Vermelho IAC-144 | MN IAC 379-19 (T ¹) |
| 16 | | IAPAR-59 (T ¹) | LCP 408 |
| 17 | | Rubi MG 1192 (T ¹) | CP 471-11 |
| 18 | | H 1190-11-70-4 (T ¹) | 421-207 |
| 19 | | MN IAC-502-9 (T ¹) | 422 C 19 |
| 20 | | Acaiá Cerrado MG 1474 (T ¹) | 423-104 |
| 21 | | | 425-44 |
| 22 | | | 426-188 |
| 23 | | | 427-494 |
| 24 | | | 428-474 |
| 25 | | | 429-315 |
| 26 | | | 430-276 |
| 27 | | | 432-293 |
| 28 | | | 436-539 |
| 29 | | | 437-416 |
| 30 | | | 442-213 |
| 31 | | | 452-163 |
| 32 | | | 453-283 |
| 33 | | | 458-309 |
| 34 | | | 464-174 |
| 35 | | | 464-5-10-4 |

Fonte: Do autor (2018).

¹T: Testemunha.

3.2 Delineamento experimental e condução dos experimentos

Os experimentos, nos dois locais, foram instalados, em novembro/dezembro de 1999, no delineamento de blocos completos casualizados, com quatro repetições, seis plantas por parcela e no espaçamento 3,5 x 0,8m.

A implantação e a condução foram de acordo com as recomendações técnicas, para a cultura do cafeeiro, tendo a fertilização sido realizada, conforme a 5ª Aproximação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999). O manejo fitossanitário foi feito preventiva ou curativamente, por meio de produtos químicos, acompanhando a sazonalidade da ocorrência de pragas e doenças.

3.3 Características avaliadas

Foi avaliada a produção de grãos, em litros de “café da roça” por parcela, anualmente, sendo a colheita realizada entre os meses de maio e julho de cada ano. Posteriormente, foi realizada a conversão para sacas de 60 kg de café beneficiado.ha⁻¹. Esta conversão foi realizada por aproximação de valores e, para isso, considerou-se um rendimento médio de 450 litros de “café da roça” para cada saca de 60 kg de café beneficiado. Em todos os locais, foi avaliado um total de seis colheitas, safras 2001/2002 a 2006/2007.

3.4 Análises estatísticas

Inicialmente foram realizadas as análises individuais para cada colheita em cada local. A partir das análises individuais por colheita, foram obtidas as estimativas de variância genética (σ_g^2), variância do erro (σ_e^2), herdabilidade (h^2) e acurácia ($\hat{r}_{\hat{g}g}$). Além disso, foram feitas as predições BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*) dos valores genéticos dos genótipos e construção dos gráficos Box Plot das predições por ano de colheita de cada grupo de experimento. Utilizou-se o seguinte modelo estatístico:

$$y_{ij} = m + b_j + p_i + e_{ij} \quad (1)$$

Em que:

y_{ij} : observação da ij-ésima parcela no bloco j que recebeu o genótipo i;

m : constante associada a todas as observações;

b_j : efeito fixo do o j-ésimo bloco;

p_i : efeito aleatório do i-ésimo genótipo; sendo $p_i \sim N(0, \sigma_p^2)$;

e_{ij} : efeito aleatório do erro experimental associado à observação da ij-ésima parcela, sendo $e_{ij} \sim N(0, \sigma_e^2)$;

Posteriormente, foi realizada a análise conjunta de todas as colheitas, para cada local, no esquema de parcelas subdivididas no tempo para cada combinação. As combinações dos dados foram realizadas, analisando-se as seis colheitas anuais, combinadas de três, quatro, cinco, biênios, anos de safra alta (colheitas 2, 4 e 6) e anos de safras baixas (colheitas 1, 3 e 5). Utilizou-se o modelo estatístico:

$$y_{ijq} = m + b_j + p_i + c_q + bp_{ij} + bc_{jq} + pc_{iq} + e_{ijq} \quad (2)$$

Em que:

y_{ijq} : observação da ijq-ésima parcela no bloco j na colheita q que recebe o genótipo i;

m : constante associada a todas as observações;

b_j : efeito fixo do j-ésimo bloco;

p_i : efeito aleatório da i-ésimo genótipo, sendo $p_i \sim N(0, \sigma_p^2)$;

c_q : efeito fixo da q-ésima colheita;

bp_{ij} : efeito aleatório da ij-ésima interação genótipos com blocos, sendo $pb_{ij} \sim N(0, \sigma_{pb}^2)$;

bc_{jq} : efeito fixo da jq-ésima interação blocos com colheitas; l

pc_{iq} : efeito aleatório da iq-ésima interação genótipos com colheitas, sendo $pc_{ij} \sim N(0, \sigma_{pc}^2)$;

e_{ijq} : efeito aleatório do erro experimental associado à observação da ijq-ésima parcela, sendo $e_{ijq} \sim N(0, \sigma_e^2)$.

Posteriormente, foi realizada a análise conjunta de locais, no esquema de parcelas subdivididas no tempo para as combinações, seguindo o modelo estatístico;

$$y_{ijqn} = m + b_j + p_i + c_q + l_n + bp_{ij} + bc_{jq} + b_{j(n)} + pc_{iq} + cl_{qn} + plc_{inq} + e_{ijqn} \quad (3)$$

Em que:

y_{ijqn} : observação da $ijqn$ -ésima parcela no bloco j na colheita q no local n que recebe o genótipo i ;

m : constante associada a todas as observações;

b_j : efeito fixo do j -ésimo bloco;

p_i : efeito aleatório da i -ésimo genótipo, sendo $p_i \sim N(0, \sigma_p^2)$;

c_q : efeito fixo da q -ésima colheita;

l_n : efeito fixo da n -ésimo local;

bp_{ij} : efeito aleatório da ij -ésima interação genótipos com blocos, sendo $pb_{ij} \sim N(0, \sigma_{pb}^2)$;

bc_{jq} : efeito fixo da jq -ésima interação blocos com colheitas;

$b_{j(n)}$: efeito fixo do j -ésimo bloco dentro do n -ésimo local;

pc_{iq} : efeito aleatório da iq -ésima interação genótipos com colheitas, sendo $pc_{ij} \sim N(0, \sigma_{pc}^2)$;

cl_{nq} : efeito fixo da nq -ésima interação local com colheitas, sendo $cl_{nq} \sim N(0, \sigma_{nq}^2)$;

plc_{inq} : efeito aleatório da inq -ésima interação tripla genótipos por colheita e local, sendo $plc_{inq} \sim N(0, \sigma_{inq}^2)$;

e_{ijqn} : efeito aleatório do erro experimental associado à observação da $ijqn$ -ésima parcela, sendo $e_{ijq} \sim N(0, \sigma_e^2)$.

Todas as análises foram realizadas utilizando o pacote Asreml em ambiente R (BUTLER et al., 2007; R CORE TEAM, 2017).

3.5 Índice de coincidência e ganho de seleção

A partir das médias BLUP, foram obtidos os ranqueamentos dos genótipos para estimar o índice de coincidência das diferentes combinações de colheitas, tanto para média de local e média geral dos locais, utilizando 10%, 20% e 30% de intensidade de seleção. Foi estimada a coincidência das progênes selecionadas, utilizando a expressão de Hamblin e Zimmerman (1986):

$$IC\% = \frac{A-C}{B-C} \times 100$$

Em que:

A: o número de genótipos coincidentes entre os melhores selecionados na comparação dois a dois;

B: número de genótipos selecionados.

C: quantifica o número de genótipos coincidentes em razão do acaso.

Posteriormente, estimou-se o ganho com a seleção (GS), utilizando as mesmas combinações do IC com as intensidades de seleção: 10%, 20% e 30%. Utilizou-se a expressão:

$$GS(\%) = \frac{m_s - m_o}{m_o} \times 100$$

Em que:

m_s : média selecionada dos melhores genótipos na geração;

m_o : média original dos genótipos na geração.

3.6 Estimação de parâmetros

Foram estimados dois parâmetros: a herdabilidade com base na média dos genótipos (h^2), conforme Ramalho et al. (2012); a acurácia na média dos genótipos (r_{gg}), como foi demonstrado por Resende (2007a).

Herdabilidade na média dos genótipos por colheita

$$h^2 = \frac{\sigma_p^2}{\sigma_p^2 + \frac{\sigma_e^2}{j}}$$

Herdabilidade na média dos genótipos no conjunto de colheitas

$$h^2 = \frac{\sigma_p^2}{\sigma_p^2 + \frac{\sigma_{pc}^2}{q} + \frac{\sigma_{pb}^2}{j} + \frac{\sigma_e^2}{qj}}$$

Em que:

σ_p^2 : variância de genótipos;

σ_{pc}^2 : variância da interação genótipo com colheita;

σ_{pb}^2 : variância da interação genótipo com repetição;

σ_e^2 : variância do erro;

j : número de repetições;

q : número de colheitas.

Acurácia na média dos genótipos:

$$\hat{r}_{\hat{g}g} = \sqrt{h^2}$$

A acurácia refere-se às correlações entre os valores genéticos preditos e os valores genéticos verdadeiros dos indivíduos. Quanto maior é acurácia na avaliação, maior é a confiança na avaliação e no valor genético predito destes indivíduos e maior será o ganho com a seleção.

3.7 Correlações de Spearman entre a produção total e colheitas acumuladas

Com objetivo de se conhecer o grau de associação entre a produção total e as diferentes colheitas combinadas, visando à seleção antecipada, estimaram-se as correlações de Spearman. As correlações foram estimadas com base nos valores genéticos preditos (BLUP). Esse coeficiente varia entre -1 e 1, em que, quanto mais próximo de um for o valor do coeficiente, maior será o grau de associação entre as diferentes colheitas.

4 RESULTADOS

4.1 Avaliação de genótipos de Icatu

Os resultados dos genótipos de Icatu, foram realizadas análises individuais por colheita, no esquema de parcelas subdivididas no tempo de colheitas, em cada local e conjunta de locais de produtividade (sc/ha) nos diferentes parâmetros genéticos: coeficiente de variação experimental (CVe), variância genética (σ_g^2), variância do erro (σ_e^2), herdabilidade (h^2), acurácia seletiva (\hat{r}_{gg}), ganho de seleção (GS%), índice de coincidência (IC%) e correlação de *Spearman*.

4.1.1 Análises individuais

As médias dos genótipos nas colheitas nos diferentes locais estão apresentadas na Tabela 1A. As médias gerais das colheitas individuais apresentaram uma nítida alternância de produtividade, ou seja, anos de baixa seguidos de anos de alta, reforçando a existência de bienalidade da cultura do cafeeiro (TABELA 3). No entanto é possível observar que a bienalidade foi mais acentuada no experimento em Campos Altos.

Observou-se uma tendência do coeficiente de variação experimental (CVe) ser mais elevado nas colheitas de baixa produtividade. As estimativas de variância genética (σ_g^2) foram significativas apenas na segunda e terceira colheitas em Campos Altos e para primeira e terceira colheitas em Capelinha. A herdabilidade (h^2) variou entre 20,49% (colheita 4) e 86,42% (colheita 3), para Campos Altos e de 31,84% (colheita 4) a 81,58% (colheita 5) em Capelinha. As estimativas da acurácia seletiva para as colheitas foram de moderada a alta, para os dois experimentos, exceto para a quarta colheita, em Campos Altos, que foi de baixa magnitude (0,45) (TABELA 3).

Tabela 3 - Média de produtividade de grãos (sc/ha), coeficiente de variação experimental (CVe), variância genética (σ_g^2), variância do erro (σ_e^2), herdabilidade (h^2) e acurácia seletiva ($\hat{r}_{\hat{g}g}$) das colheitas anuais do experimento de genótipos de Icatu em Campos Altos-MG e Capelinha-MG.

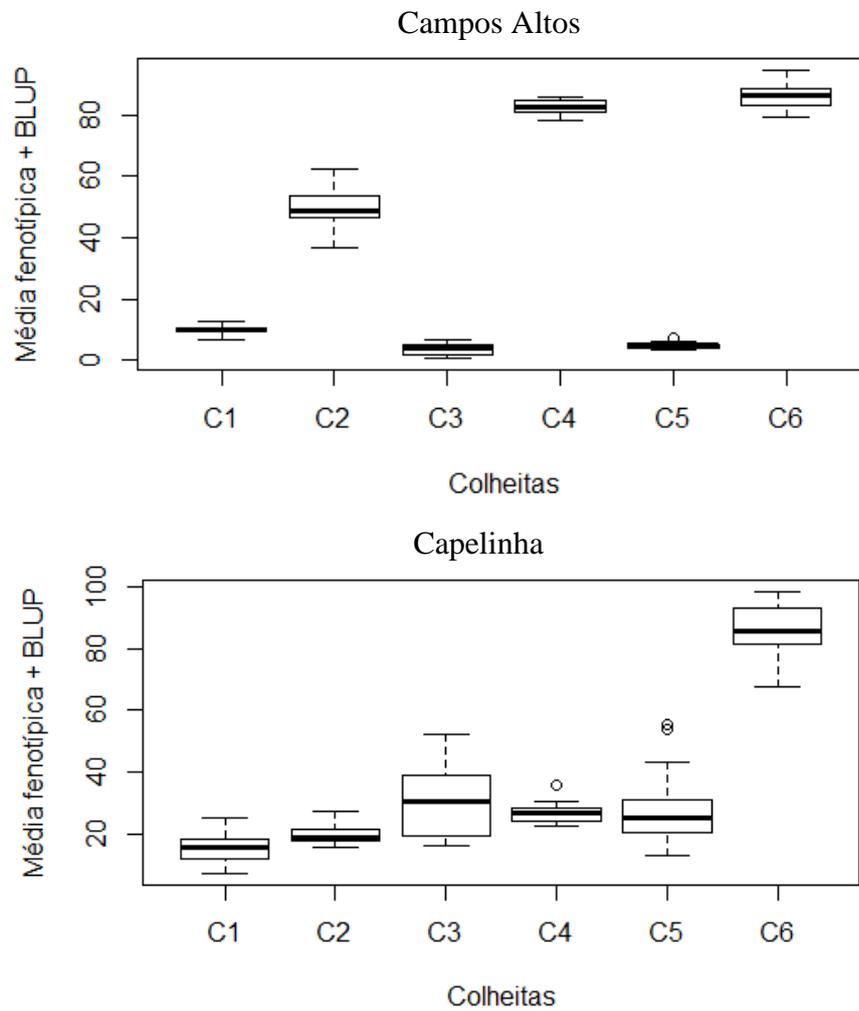
| Parâmetros | Colheitas | | | | | | |
|----------------------|----------------------|--------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| | Campos Altos | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| Média (Sc/ha) | 9,98 | 49,44 | 3,68 | 82,56 | 4,93 | 86,38 | |
| CVe (%) | 46,49 | 24,57 | 43,60 | 24,93 | 65,92 | 36,15 | |
| σ_g^2 | 5,35 ^{ns} | 64,91* | 4,09* | 27,29 ^{ns} | 2,40 ^{ns} | 41,17 ^{ns} | |
| σ_e^2 | 21,54 | 147,54 | 2,57 | 423,53 | 10,54 | 242,26 | |
| h^2 (%) | 49,83 | 63,76 | 86,42 | 20,49 | 47,63 | 58,85 | |
| $\hat{r}_{\hat{g}g}$ | 0,71 | 0,80 | 0,93 | 0,45 | 0,69 | 0,77 | |
| Parâmetros | Capelinha | | | | | | |
| | Média (sc/ha) | 15,59 | 19,86 | 30,87 | 26,56 | 28,73 | 86,4 |
| | CVe (%) | 42,31 | 43,87 | 46,76 | 69,80 | 53,52 | 38,62 |
| | σ_g^2 | 29,22* | 21,08 ^{ns} | 202,43* | 40,15 ^{ns} | 199,71* | 195,95 ^{ns} |
| | σ_e^2 | 43,51 | 75,93 | 208,31 | 343,77 | 180,35 | 1113,10 |
| | h^2 (%) | 72,87 | 52,62 | 79,54 | 31,84 | 81,58 | 41,32 |
| | $\hat{r}_{\hat{g}g}$ | 0,85 | 0,73 | 0,89 | 0,56 | 0,90 | 0,64 |

Fonte: Do autor (2018).

^{ns}: não significativo; *, : significativo 5% pelo teste de razão de máxima verossimilhança (LRT).

Observa-se pelo gráfico box-plot que as maiores variâncias dos valores genéticos preditos (BLUP) foram obtidas, nas colheitas de maior produtividade (colheitas 2, 4 e 6), em Campos Altos. Já para o experimento de Capelinha, as maiores variâncias dos BLUPs foram obtidas nas colheitas três, cinco e seis, porém a variação dos BLUP's médios entre as colheitas indica uma menor bienalidade, reforçando o que se verificou com as médias (FIGURA 2).

Figura 2 - Box-plot da média fenotípica + BLUP das colheitas anuais dos experimentos de genótipos de Icatu.



Fonte: Do autor (2018).

4.1.2 Análise no esquema de parcelas subdivididas no tempo por local

Pela análise de parcelas subdivididas no tempo das colheitas, observou-se variância de genótipos não significativa em Campos Altos e significativa para Capelinha ao nível de 5%. Já a interação genótipos x colheitas foi significativa em ambos os locais. A herdabilidade foi de 13,17% em Campos Altos e 59,36% em Capelinha (TABELA 4).

Tabela 4 - Componentes de variância da análise em parcelas subdivididas no tempo das colheitas por local, para a produtividade grãos (sc/ha).

| Componentes de variância | Campos Altos | Capelinha |
|--------------------------|--------------------|---------------------|
| Genótipos | 2,10 ^{ns} | 43,20* |
| Genótipos x Blocos | 20,68* | 19,24 ^{ns} |
| Genótipos x Colheitas | 22,09* | 71,55* |
| Resíduo | 120,65 | 308,26 |
| h ² (%) | 13,17 | 59,36 |

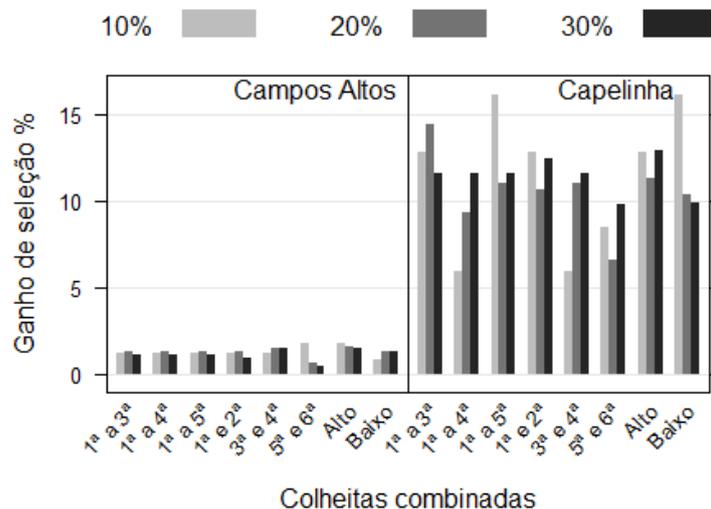
Fonte: Do autor (2018).

^{ns}: não significativo; *: significativo a 5% pelo teste de razão de máxima verossimilhança (LRT).

O ganho realizado na seleção de genótipos, na média de colheitas combinadas, comparado com a seleção de genótipos, na média das seis colheitas em Campos Altos, para a intensidade de seleção de 10, 20 e 30%, variou de 0,45 (30%, 5^a e 6^a) a 1,75 (10%, 5^a e 6^a e para anos de alta) (GRÁFICO 1). As estimativas dos índices de coincidência (IC) foram, na maioria dos casos, de baixa magnitude. Na combinação dos anos de safra alta produção, para todas as intensidades de seleção, o IC foi de 100% (TABELA 5).

Em Capelinha, notam-se maiores estimativas de ganho realizado em comparação a Campos Altos, variando de 5,88 (10%, 1^a a 4^a) a 16,05 (10%, para anos de safra baixa) (GRÁFICO 1). O índice de coincidência foi de 100% nas seguintes situações intensidade de seleção de 10%, para as colheitas de 1^a a 5^a e, para os anos de safra baixa, na intensidade de 20% para a 1^a a 3^a e na de 30% para os anos de safra alta. Resultado coerente com o alto ganho observado nessas colheitas combinadas. Os demais índices de coincidência variaram de 0 a 50%, o que mostra uma mudança no ordenamento dos genótipos (TABELA 5).

Gráfico 1 - Ganhos realizados na seleção de genótipos, na média de colheitas combinadas de cada local, comparados com a média das seis colheitas em cada local, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%.



Fonte: Do autor (2018).

Tabela 5 - Índice de coincidência da seleção de genótipos, na média de colheitas combinadas de cada local, comparado com a média de seis colheitas por local, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%.

| Colheitas combinadas | Campos Altos | | | Capelinha | | |
|----------------------|--------------|-----|-----|-----------|-----|-----|
| | 10% | 20% | 30% | 10% | 20% | 30% |
| 1ª a 3ª | 0 | 50 | 50 | 0 | 100 | 50 |
| 1ª a 4ª | 0 | 50 | 50 | 0 | 50 | 50 |
| 1ª a 5ª | 0 | 50 | 50 | 100 | 50 | 50 |
| Biênio 1ª e 2ª | 0 | 50 | 50 | 0 | 50 | 50 |
| Biênio 3ª e 4ª | 0 | 0 | 100 | 0 | 50 | 50 |
| Biênio 5ª e 6ª | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Alta | 100 | 100 | 100 | 0 | 50 | 100 |
| Baixa | 0 | 50 | 50 | 100 | 50 | 0 |

Fonte: Do autor (2018).

Quando se realizou a seleção de genótipos, na média das seis colheitas, em Capelinha e se verificou o ganho realizado em Campos Altos, observaram-se estimativas de pequena magnitude; com intensidade de seleção de 10%, o ganho foi de 1,17%, com 20% de 0,55% e com 30% de 0,64%. O índice de coincidência, em todas as intensidades, foi zero, mostrando que os genótipos se comportam diferente nos ambientes e que a seleção não deve ser realizada. Já quando se realizou a seleção de genótipos, na média das seis colheitas em Campos Altos e se verificou o ganho realizado em Capelinha, os valores dos ganhos foram mais expressivos. Com a intensidade de 10%, o ganho foi de 16,05%, com 20% de 1,15% e com 30% de 3,59%. Apenas para a intensidade de 20% observou-se uma coincidência de 50% entre os genótipos selecionados e, para as outras intensidades, ela foi de zero.

4.1.3 Análise conjunta de locais

Pela análise conjunta de locais, observou-se variância não significativa para genótipos, para o efeito de interação genótipos x ambientes e para genótipos x colheitas. No entanto, a interação genótipos x ambientes x colheitas foi significativa (TABELA 6).

Tabela 6 - Componentes de variância da análise conjunta de colheitas e locais.

| Componentes de variância | |
|-----------------------------------|-----------------------|
| Genótipos | 7,5564 ^{ns} |
| Genótipos x Ambientes | 15,0963 ^{ns} |
| Genótipos x Colheitas | 0,0001 ^{ns} |
| Genótipos x Ambientes x Colheitas | 46,8246* |
| Resíduo | 214,4546 |

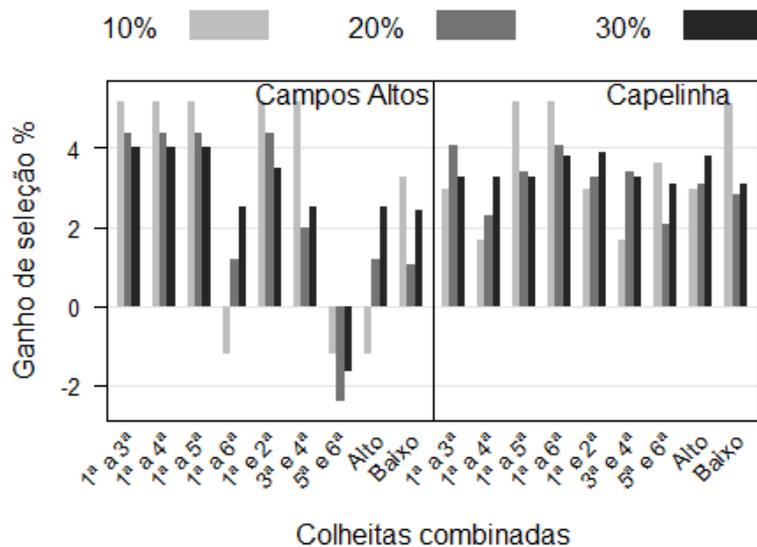
Fonte: Do autor (2018).

^{ns}: não significativo; *: significativo a 5% pelo teste de razão de máxima verossimilhança (LRT).

As estimativas dos ganhos realizados com a seleção, na média de colheitas combinadas em Campos Altos e resposta, na média geral dos locais, estão apresentados no Gráfico 2 e os índices de coincidência na Tabela 7. Com intensidade de seleção de 10%, foram de 5,15% para as combinações 1ª a 3ª; 1ª a 4ª, 1ª a 5ª, 1ª e 2ª, 3ª e 4ª; de 3,26% para os anos de safra baixa e de -1,19% para as combinações 1ª a 6ª, 5ª a 6ª e anos de safra alta. Foi encontrado índice de coincidência de 100% apenas nas situações em que o ganho foi 5,15% e, para as situações de ganho negativo, o IC foi zero. Para a intensidade de seleção de 20%, os maiores ganhos foram nas combinações de 1ª a 3ª; 1ª a 4ª, 1ª a 5ª, 1ª e 2ª (4,38) e IC de 100%. No caso da intensidade de 30%, os maiores valores do ganho realizado (4,0%) também obtiveram IC de 100%. Observou-se que, para todas as intensidades de seleção utilizadas, o ganho realizado foi negativo na 5ª e 6ª colheitas combinadas, indicando que esta situação não é ideal para se realizar a seleção (GRÁFICO 2).

A seleção realizada, na média de colheitas combinadas em Capelinha e resposta, na média geral dos locais, os ganhos foram maiores que 1,65% com intensidade de 10%, superior a 2,0% para 20% e acima de 3,0% para 30% (GRÁFICO 2). Porém os IC foram baixos, na maioria dos casos, mostrando existir pouca eficiência na seleção nesta situação (TABELA 7).

Gráfico 2 - Ganhos realizados na seleção de genótipos, na média de colheitas combinadas em cada local, comparados com a média geral de locais, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%.



Fonte: Do autor (2018).

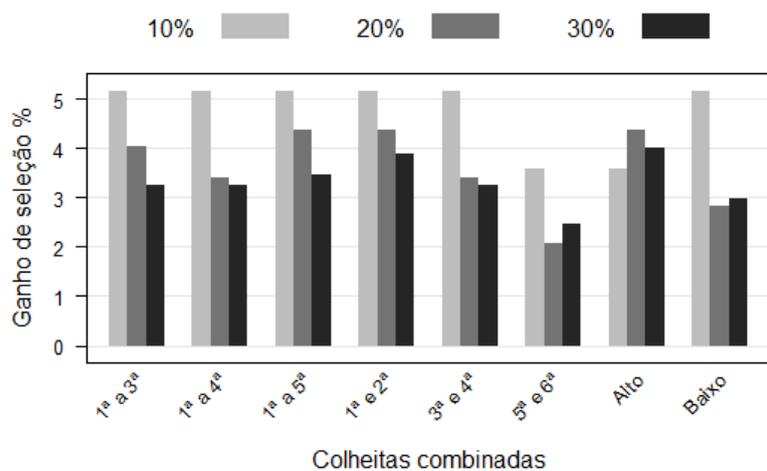
Tabela 7 - Índice de coincidência da seleção de genótipos, na média de colheitas combinadas em cada local, comparado com a média geral de locais, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%.

| Colheitas combinadas | Campos Altos | | | Capelinha | | |
|----------------------|--------------|-----|-----|-----------|-----|-----|
| | 10% | 20% | 30% | 10% | 20% | 30% |
| 1ª a 3ª | 100 | 100 | 100 | 0 | 50 | 0 |
| 1ª a 4ª | 100 | 100 | 100 | 0 | 0 | 0 |
| 1ª a 5ª | 100 | 100 | 100 | 100 | 50 | 0 |
| 1ª a 6ª | 0 | 50 | 50 | 100 | 50 | 50 |
| Biênio 1ª e 2ª | 100 | 100 | 50 | 0 | 50 | 50 |
| Biênio 3ª e 4ª | 100 | 50 | 50 | 0 | 50 | 0 |
| Biênio 5ª e 6ª | 0 | 0 | 0 | 0 | 50 | 50 |
| Alta | 0 | 50 | 50 | 0 | 0 | 50 |
| Baixa | 0 | 0 | 50 | 100 | 50 | 50 |

Fonte: Do autor (2018).

Pela seleção realizada, na média de colheitas combinadas, para os dois locais com resposta, na média geral de locais, apresentaram-se estimativas de ganhos de 5,15 e IC de 100%, na maioria das colheitas combinadas, quando se utilizou intensidade de seleção de 10%. Para a intensidade de 20%, o IC de 100% ocorreu para situações de ganho de 4,38% (1ª a 5ª, 1ª e 2ª e para os anos de safra alta). Com intensidade de 30%, observou-se ganho de 4,0% e IC de 100% apenas nas combinações de 1ª a 3ª, 1ª a 4ª e 1ª a 5ª (GRÁFICO 3 e TABELA 8).

Gráfico 3 - Ganhos realizados na seleção de genótipos, na média de colheitas combinadas dos locais, comparados com a média geral de locais, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%.



Fonte: Do autor (2018).

Tabela 8 - Seleção na média de colheitas combinadas de locais com ganho e coincidência na média geral de locais.

| Colheitas combinadas | 10% | 20% | 30% |
|--|------------|------------|------------|
| 1 ^a a 3 ^a | 100 | 50 | 0 |
| 1 ^a a 4 ^a | 100 | 50 | 0 |
| 1 ^a a 5 ^a | 100 | 100 | 50 |
| Biênio 1 ^a e 2 ^a | 100 | 100 | 50 |
| Biênio 3 ^a e 4 ^a | 100 | 50 | 0 |
| Biênio 5 ^a e 6 ^a | 0 | 50 | 50 |
| Alta | 0 | 100 | 100 |
| Baixa | 0 | 50 | 50 |

Fonte: Do autor (2018).

As correlações de *Spearman* entre os valores genéticos preditos (BLUP), considerando as colheitas combinadas, na análise subdividida no tempo e o total de seis colheitas por local, no experimento em Campos Altos, foram significativas com valores iguais ou superiores a 0,84 entre duas a seis colheitas combinadas com o total de seis colheitas. Para Capelinha, as correlações de *Spearman* também foram significativas e com valores de magnitude iguais ou superiores a 0,75, indicando uma alteração no ordenamento dos BLUP das progênies ao longo das colheitas avaliadas (TABELA 9).

Tabela 9 - Correlações de *Spearman* entre os valores genéticos preditos (BLUP), obtidos das médias BLUP dos experimentos de genótipos Icatu, em Campos Altos-MG (acima da diagonal) e Capelinha-MG (abaixo da diagonal).

| Colheitas combinadas | 1^a a 2^a | 1^a a 3^a | 1^a a 4^a | 1^a a 5^a | 1^a a 6^a |
|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1^a a 2^a | 1 | 0,99* | 0,87* | 0,87* | 0,84* |
| 1^a a 3^a | 0,71* | 1 | 0,89* | 0,89* | 0,85* |
| 1^a a 4^a | 0,66* | 0,96* | 1 | 0,99* | 0,90* |
| 1^a a 5^a | 0,75* | 0,93* | 0,93* | 1 | 0,90* |
| 1^a a 6^a | 0,89* | 0,83* | 0,75* | 0,85* | 1 |

Fonte: Do autor (2018).

* Significativo a 5% pelo teste de Bootstrap baseado em 5000 iterações.

As correlações de *Spearman* entre os valores genéticos preditos (BLUP), considerando as diferentes colheitas combinadas e o total de seis colheitas pela análise conjunta de locais, foram todas significativas e com valores iguais ou superiores a 0,85 (TABELA 10).

Tabela 10 - Correlações de *Spearman* entre os valores genéticos preditos (BLUP) obtidos pela média BLUP da análise conjunta de locais.

| Colheitas combinadas | 1 ^a a 2 ^a | 1 ^a a 3 ^a | 1 ^a a 4 ^a | 1 ^a a 5 ^a | 1 ^a a 6 ^a |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1 ^a a 2 ^a | 1 | 0,85* | 0,85* | 0,93* | 0,93* |
| 1 ^a a 3 ^a | | 1 | 0,92* | 0,85* | 0,85* |
| 1 ^a a 4 ^a | | | 1 | 0,91* | 0,88* |
| 1 ^a a 5 ^a | | | | 1 | 0,97* |
| 1 ^a a 6 ^a | | | | | 1 |

Fonte: Do autor (2018).

* Significativo a 5% pelo teste de Bootstrap baseado em 5000 iterações.

4.2 Avaliação de genótipos de Catuaí

Os resultados dos genótipos de Catuaí, foram realizadas análises individuais por colheita, no esquema de parcelas subdivididas no tempo de colheitas, em cada local e conjunta de locais de produtividade (sc/ha) nos diferentes parâmetros genéticos: coeficiente de variação experimental (CVe), variância genética (σ_g^2), variância do erro (σ_e^2), herdabilidade (h^2), acurácia seletiva ($\hat{r}_{\hat{g}g}$), ganho de seleção (GS%), índice de coincidência (IC%) e correlação de *Spearman*.

4.2.1 Análises individuais

As médias dos genótipos, nas colheitas nos diferentes locais, estão apresentadas na Tabela 2A.

Ao observar os resultados individuais, notou-se uma variação na produtividade média, em ambos os locais, com um ano de produção alta, seguido de um ano de baixa produção, sendo maior no experimento realizado em Campos Altos, evidenciando assim o efeito da bienalidade, comumente conhecido na cultura do café (TABELA 11).

O coeficiente de variação experimental (CVe) foi, em média, superior nos anos de baixa produção nos dois locais. Ao observar a variância genética, nota-se uma ampla variação entre os genótipos, com significância pelo teste de razão de máxima verossimilhança (LRT), para a segunda e sexta colheitas em Campos Altos e, para as colheitas 1, 3 e 4, em Capelinha. A herdabilidade (h^2) apresentou valores entre 22,05% (colheita 4) e 63,44% (colheita 6), em Campos Altos e valores de 28,46% (colheita 5) a 75,45% (colheita 2) em Capelinha. A acurácia seletiva, em ambos os locais, foi de moderada à alta magnitude, com exceção das colheitas 1, 3 e 4 que foram com baixa magnitude em Campos Altos (TABELA 11).

Tabela 11 - Média de produtividade, em sacas por hectare (sc/ha), coeficiente de variação experimental (CVe), variância genética (σ_g^2), variância do erro (σ_e^2), herdabilidade (h^2) e acurácia seletiva (\hat{r}_{gg}) das colheitas anuais dos experimentos em Campos Altos, MG e Capelinha, MG.

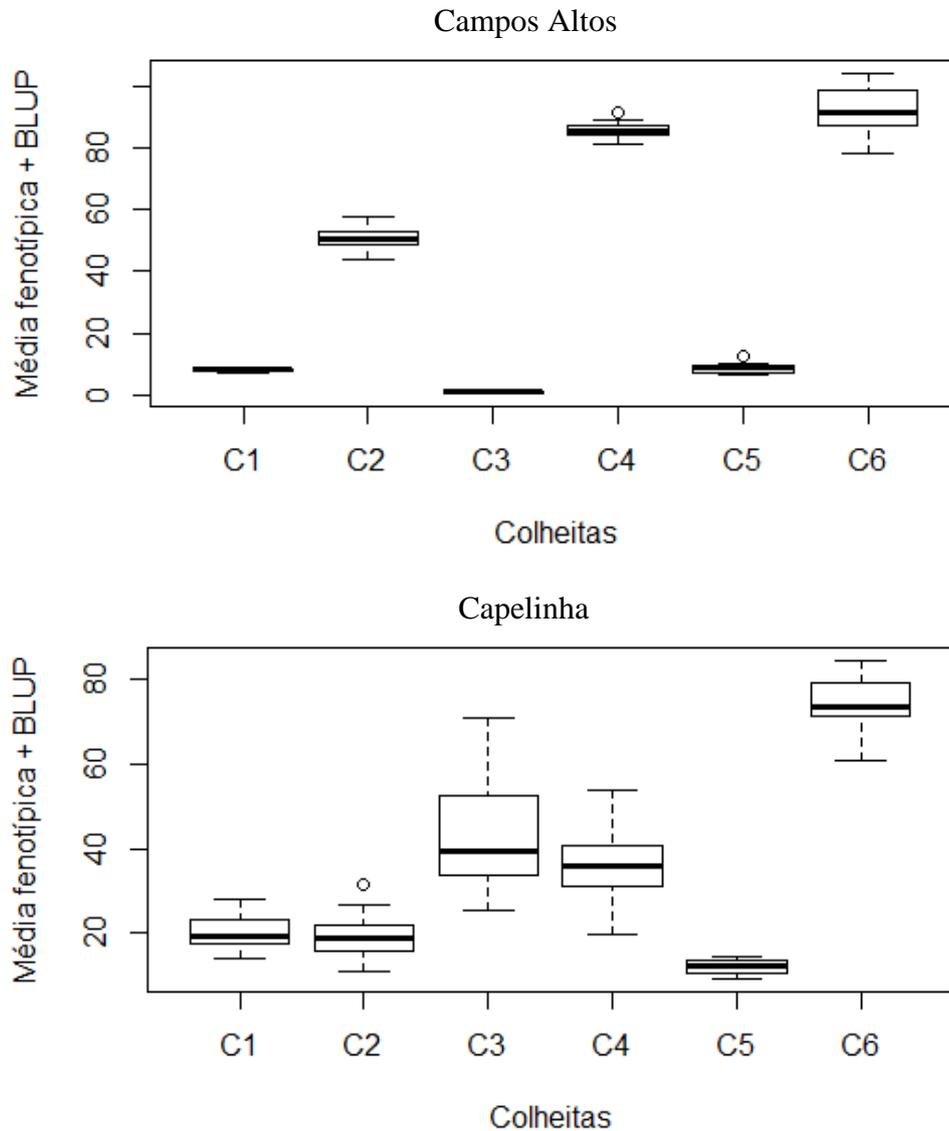
| Colheitas | | | | | | |
|----------------------------------|---------------------|----------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| Parâmetros | Campos Altos | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Média (sc/ha) | 8,28 | 50,66 | 1,08 | 85,69 | 8,55 | 91,68 |
| CVe (%) | 43,63 | 16,25 | 142,58 | 22,25 | 51,11 | 14,91 |
| σ_g^2 | 0,96 ^{ns} | 19,36* | 0,22 ^{ns} | 25,72 ^{ns} | 4,66 ^{ns} | 81,03** |
| σ_e^2 | 13,05 | 67,75 | 2,38 | 363,59 | 19,07 | 186,76 |
| h^2 (%) | 22,68 | 53,34 | 27,24 | 22,05 | 49,41 | 63,44 |
| \hat{r}_{gg} | 0,48 | 0,73 | 0,52 | 0,47 | 0,70 | 0,80 |
| Capelinha | | | | | | |
| Média (sc/ha) | 20,43 | 19,04 | 43,13 | 35,56 | 12,10 | 74,60 |
| CVe (%) | 34,09 | 34,68 | 51,32 | 54,84 | 82,18 | 29,78 |
| σ_g^2 | 24,59** | 33,50* | 223,53** | 106,83* | 9,84 ^{ns} | 88,06 ^{ns} |
| σ_e^2 | 48,49 | 43,61 | 490,08 | 380,14 | 98,90 | 493,58 |
| h^2 (%) | 66,98 | 75,45 | 64,59 | 52,92 | 28,46 | 41,64 |
| \hat{r}_{gg} | 0,82 | 0,87 | 0,80 | 0,73 | 0,53 | 0,65 |

Fonte: Do autor (2018).

^{ns}: não significativo; *, **: significativo 1% e 5% pelo teste de razão de máxima verossimilhança (LRT).

Nota-se pelo gráfico box-plot que as maiores variâncias dos valores genéticos preditos (BLUP) foram obtidas, nas colheitas de produção elevada (colheitas 2, 4 e 6), em Campos Altos. Em Capelinha, observa-se que as maiores variâncias dos BLUP foram obtidas, nas colheitas 3, 4 e 6, que apresentaram alta produção (FIGURA 3).

Figura 3 - Box-plot de média fenotípica + BLUP das colheitas anuais dos experimentos de genótipos de Catuaí.



Fonte: Do autor (2018).

4.2.2 Análise no esquema de parcelas subdivididas no tempo por local

Pela análise subdividida no tempo das colheitas, observou-se variância não significativa dos genótipos em Campos Altos e significativa para Capelinha. No entanto, para o efeito da interação genótipos x colheitas, foram significativos em ambos os locais. A herdabilidade foi de 49,52% em Campos Altos e 68,62% em Capelinha (TABELA 12).

Tabela 12 - Componentes de variância da análise subdividida, no tempo das colheitas por local, em Campos Altos e Capelinha.

| Componentes de variância | Campos Altos | Capelinha |
|--------------------------|--------------------|--------------------|
| Genótipos | 7,27 ^{ns} | 41,59* |
| Genótipos x Blocos | 2,06 ^{ns} | 7,89 ^{ns} |
| Genótipos x Colheitas | 14,72* | 39,47* |
| Resíduo | 106,71 | 251,24 |
| h ² (%) | 49,52 | 68,62 |

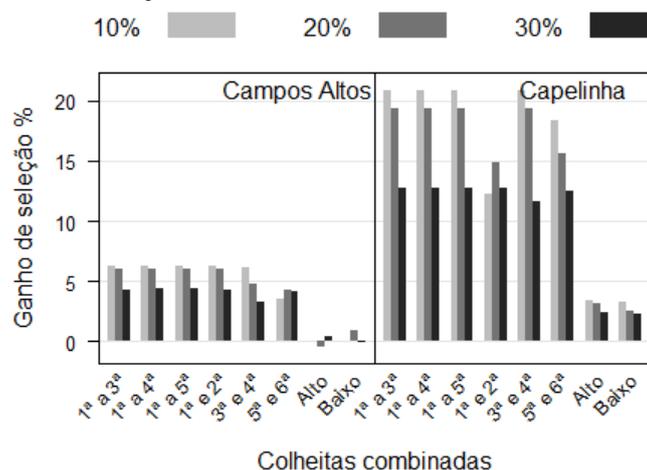
Fonte: Do autor (2018).

^{ns}: não significativo; *: significativo a 5% pelo teste de razão de máxima verossimilhança (LRT).

As estimativas dos ganhos realizados e dos índices de coincidências referentes à seleção, na média de colheitas combinadas dos genótipos de Catuaí e resposta, na média das seis colheitas, em Campos Altos, estão apresentadas no Gráfico 4 e na Tabela 13. As colheitas combinadas 1^a a 3^a, 1^a a 4^a, 1^a a 5^a e 1^a e 2^a apresentaram ganhos superiores a 6% para a intensidade de seleção de 10% e 20% e IC de 100% nas duas situações. No entanto, com uma intensidade de seleção de 30%, os ganhos foram um pouco menores e IC de 100% apenas para 1^a a 4^a e 1^a a 5^a. Nos anos de alta com 20% de intensidade de seleção e nos anos de baixa com 30%, os ganhos foram negativos.

No experimento de Capelinha, a seleção realizada, na média de colheitas combinadas, para se ter resposta na média das colheitas, apresentou ganhos maiores e mais expressivos que em Campos Altos, nas diferentes intensidades de seleção. Os ganhos foram superiores a 12%, para todas as intensidades de seleção, com exceção para os anos de baixa e alta que foram menores que 4% (GRÁFICO 4). O índice de coincidência foi baixo, para a intensidade de 30%, para os anos de safra baixa (TABELA 13).

Gráfico 4 - Ganhos realizados na seleção de genótipos, na média de colheitas combinadas de cada local, comparados com a média das seis colheitas em cada local, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%.



Fonte: Do autor (2018).

Tabela 13 - Índice de coincidência da seleção, na média de colheitas combinadas de cada local, comparado com a média de seis colheitas por local, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%.

| Colheitas combinadas | Campos Altos | | | Capelinha | | |
|----------------------|--------------|-----|-----|-----------|-----|-----|
| | 10% | 20% | 30% | 10% | 20% | 30% |
| 1ª a 3ª | 100 | 100 | 67 | 100 | 100 | 67 |
| 1ª a 4ª | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 1ª a 5ª | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 67 |
| Biênio 1ª e 2ª | 100 | 100 | 67 | 50 | 50 | 67 |
| Biênio 3ª e 4ª | 50 | 50 | 67 | 100 | 100 | 100 |
| Biênio 5ª e 6ª | 0 | 50 | 33 | 50 | 50 | 67 |
| Alta | 0 | 0 | 0 | 50 | 50 | 67 |
| Baixa | 0 | 0 | 0 | 50 | 50 | 33 |

Fonte: Do autor (2018).

A seleção realizada, na média das seis colheitas em Capelinha, para se verificar a resposta, na conjunta de colheitas em Campos Altos, proporcionou ganhos abaixo de 1% e IC de zero para todas as intensidades de seleção. Quando se efetuou a seleção, na conjunta de colheitas em Campos Altos, em relação à conjunta de colheitas em Capelinha, os ganhos foram negativos e IC também zero, mostrando que essa estratégia adotada não é adequada.

4.2.3 Análise conjunta de locais

A partir dos resultados da conjunta de locais, pode-se observar que a variância de genótipos e da interação genótipos x colheitas foram não significativos. E a interação genótipos x ambientes e genótipos x ambientes x colheitas foram significativos (TABELA 14).

Tabela 14 - Componentes de variância da análise conjunta de colheitas e locais.

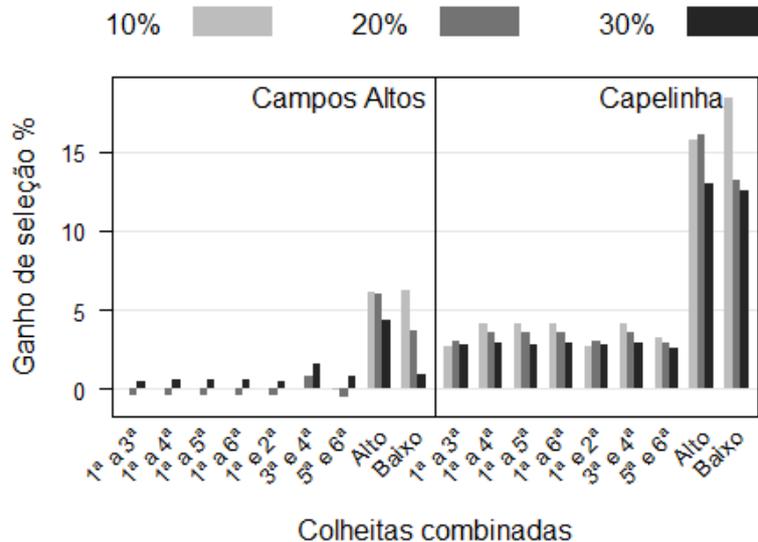
| Componentes de variância | |
|-----------------------------------|----------------------|
| Genótipos | 5,9444 ^{ns} |
| Genótipos x Ambientes | 18,4847* |
| Genótipos x Colheitas | 3,5833 ^{ns} |
| Genótipos x Ambientes x Colheitas | 23,5117* |
| Resíduo | 178,9768 |

Fonte: Do autor (2018).

O ganho realizado e o índice de coincidência, para a seleção realizada, na média de colheitas combinadas em Campos Altos e resposta, na média geral dos locais, tiveram valores muito baixos e negativos, para as intensidades de seleção de 10 e 20%, com exceção dos anos

de alta e baixa que apresentaram ganhos superiores a 3,5% e IC de 50% e 100%, respectivamente, para a intensidade de 10% e o inverso para a intensidade de 20%. Já para intensidade de seleção de 30%, os ganhos variaram de 0,45% (1ª a 3ª e 1ª e 2ª) a 4,30% (anos de safra alta), o IC só foi expressivo para os anos de alta (67%) (GRÁFICO 5 e TABELA 15). Quando se aplicou o mesmo tipo de seleção, em Capelinha, verificou-se que, para todas as intensidades de seleção, os ganhos foram maiores e o IC mais expressivo que o de Campos Altos. Os ganhos realizados, para os anos de safra alta e baixa, tiveram ganhos maiores que 12% para todas as intensidades de seleção (GRÁFICO 5 e TABELA 15).

Gráfico 5 - Ganhos realizados na seleção de genótipos, na média de colheitas combinadas em cada local, comparados com a média geral de locais, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%.



Fonte: Do autor (2018).

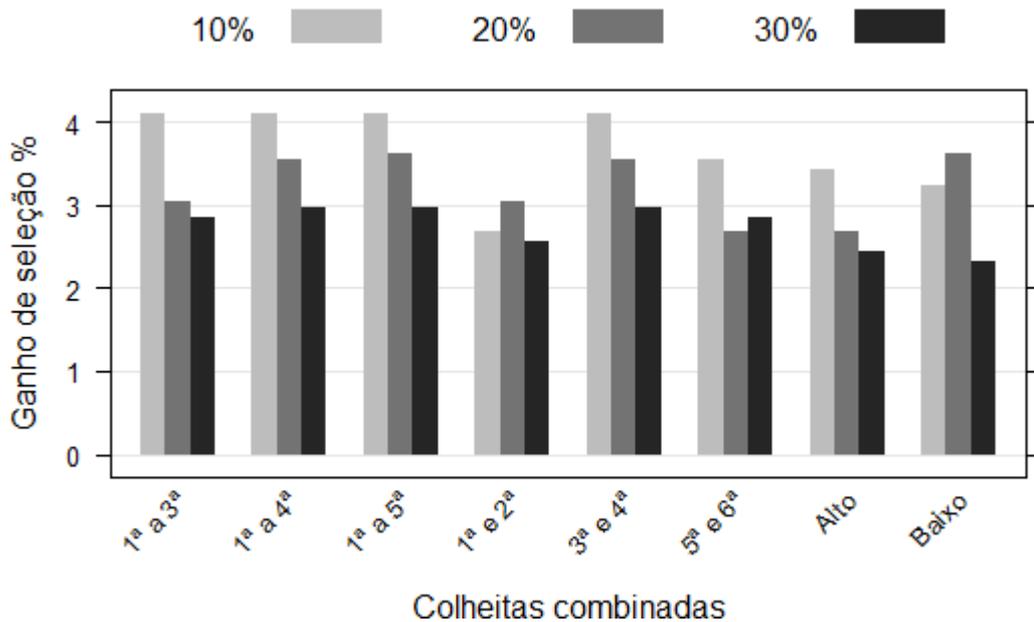
Tabela 15 - Índice de coincidência da seleção de genótipos, na média de colheitas combinadas em cada local, comparado com a média geral de locais, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%.

| Colheitas combinadas | Campos Altos | | | Capelinha | | |
|----------------------|--------------|-----|-----|-----------|-----|-----|
| | 10% | 20% | 30% | 10% | 20% | 30% |
| 1ª a 3ª | 0 | 0 | 33 | 50 | 50 | 67 |
| 1ª a 4ª | 0 | 0 | 0 | 100 | 100 | 100 |
| 1ª a 5ª | 0 | 0 | 0 | 100 | 100 | 67 |
| 1ª a 6ª | 0 | 0 | 0 | 100 | 100 | 100 |
| Biênio 1ª e 2ª | 0 | 0 | 33 | 50 | 50 | 67 |
| Biênio 3ª e 4ª | 0 | 0 | 33 | 100 | 100 | 100 |
| Biênio 5ª e 6ª | 0 | 0 | 33 | 50 | 10 | 67 |
| Alta | 50 | 100 | 67 | 50 | 50 | 67 |
| Baixa | 100 | 50 | 0 | 50 | 50 | 33 |

Fonte: Do autor (2018).

Ao realizar a seleção na média de colheitas combinadas de locais, para a resposta na média geral de locais, verificou-se que o ganho foi superior a 2,3%, para as intensidades de seleção (GRÁFICO 6) e com IC expressivo, para a metade dos casos avaliados, com exceção dos anos de alta em que o valor foi zero e, para a intensidade de seleção de 30% que tiveram 33% de IC, para 1ª e 2ª e para os anos de baixa (TABELA 16).

Gráfico 6 - Ganhos realizados na seleção de genótipos, na média de colheitas combinadas dos locais, comparados com a média geral de locais, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%.



Fonte: Do autor (2018).

Tabela 16 - Seleção na média de colheitas combinadas de locais com ganho e coincidência na média geral de locais.

| Colheitas combinadas | 10% | 20% | 30% |
|----------------------|-----|-----|-----|
| 1ª a 3ª | 100 | 50 | 67 |
| 1ª a 4ª | 100 | 50 | 100 |
| 1ª a 5ª | 100 | 100 | 100 |
| Biênio 1ª e 2ª | 50 | 50 | 33 |
| Biênio 3ª e 4ª | 100 | 50 | 100 |
| Biênio 5ª e 6ª | 50 | 50 | 67 |
| Alta | 50 | 0 | 67 |
| Baixa | 50 | 100 | 33 |

Fonte: Do autor (2018).

No experimento conduzido em Campos Altos, as correlações de *Spearman* entre os valores genéticos preditos (BLUP) foram significativas, para todas as colheitas combinadas, na análise subdividida no tempo, e o total de seis colheitas por local, com valores iguais ou

superiores a 0,80. As correlações, no caso de Capelinha, também, foram significativas, porém de maiores magnitudes, com valores iguais ou superiores a 0,93 (TABELA 17). Na análise conjunta de locais, as correlações, também, foram significativas com valores entre 0,85 e 0,93, com um valor expressivo na correlação entre 1ª a 4 com 1ª e 5ª (TABELA 18).

Tabela 17 - Correlações de *Spearman* entre os valores genéticos preditos (BLUP), obtidos das médias BLUP dos experimentos de genótipos de Catuaí, em Campos Altos, MG (acima da diagonal) e Capelinha, MG (abaixo da diagonal).

| Colheitas combinadas | 1ª a 2ª | 1ª a 3ª | 1ª a 4ª | 1ª a 5ª | 1ª a 6ª |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1ª a 2ª | 1 | 0,99* | 0,74* | 0,67* | 0,80* |
| 1ª a 3ª | 0,92* | 1 | 0,76* | 0,71* | 0,82* |
| 1ª a 4ª | 0,95* | 0,96* | 1 | 0,97* | 0,95* |
| 1ª a 5ª | 0,91* | 0,96* | 0,96* | 1 | 0,91* |
| 1ª a 6ª | 0,93* | 0,93* | 0,97* | 0,97* | 1 |

Fonte: Do autor (2018).

* Significativo a 5% pelo teste de Bootstrap baseado em 5000 iterações.

Tabela 18 - Correlações de *Spearman* entre os valores genéticos preditos (BLUP), obtidos pelas médias BLUP na conjunta de locais dos experimentos de genótipos de Catuaí.

| Colheitas combinadas | 1ª a 2ª | 1ª a 3ª | 1ª a 4ª | 1ª a 5ª | 1ª a 6ª |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1ª a 2ª | 1 | 0,76* | 0,76* | 0,74* | 0,85* |
| 1ª a 3ª | | 1 | 0,93* | 0,93* | 0,86* |
| 1ª a 4ª | | | 1 | 0,98* | 0,93* |
| 1ª a 5ª | | | | 1 | 0,93* |
| 1ª a 6ª | | | | | 1 |

Fonte: Do autor (2018).

* Significativo a 5% pelo teste de Bootstrap baseado em 5000 iterações.

4.3 Avaliação de genótipos de Mundo Novo

Os resultados dos genótipos de Mundo Novo, foram realizadas análises individuais por colheita, no esquema de parcelas subdivididas no tempo de colheitas, em cada local e conjunta de locais de produtividade (sc/ha) nos diferentes parâmetros genéticos: coeficiente de variação experimental (CVe), variância genética (σ_g^2), variância do erro (σ_e^2), herdabilidade (h^2), acurácia seletiva ($\hat{r}_{\hat{g}g}$), ganho de seleção (GS%), índice de coincidência (IC%) e correlação de *Spearman*.

4.3.1 Análises individuais

As médias dos genótipos, nas colheitas nos diferentes locais, estão apresentadas na Tabela 3A.

Pelo resultado das análises de colheitas individuais, observou-se o efeito da bienalidade da cultura, principalmente, em Campos Altos (TABELA 19). O coeficiente de variação experimental (CVe) foi, em média maior nas colheitas de baixa produtividade, em ambos os locais.

Detectaram-se valores significativos de variância genética apenas na quarta colheita, em Campos Altos. Já em Capelinha, as estimativas de variância genética foram superiores e apresentaram significância pelo teste de razão de máxima verossimilhança (LRT), com exceção da quinta colheita. A herdabilidade variou entre 9,25% (colheita 6) e 55,51% (colheita 4), em Campos Altos e apresentou estimativas de 13,3% (colheita 5) a 57,91% (colheita 6), em Capelinha. As estimativas da acurácia seletiva, para as colheitas, foram de baixa à moderada, com exceção da quarta colheita que foi de alta magnitude, em Campos Altos. Já no experimento em Capelinha, observaram-se estimativas de acurácia de alta magnitude, na maioria das colheitas, exceto para quarta e quinta colheitas, com magnitudes moderada (0,76) e baixa (0,36), respectivamente, (TABELA 19).

Tabela 19 - Médias de produtividade em sacas por hectare (sc/ha), coeficiente de variação experimental (CVe), variância genética (σ_g^2), variância do erro (σ_e^2), herdabilidade (h^2) e acurácia seletiva (\hat{r}_{gg}) das colheitas anuais do experimento de Mundo Novo, em Campos Altos, MG e Capelinha, MG.

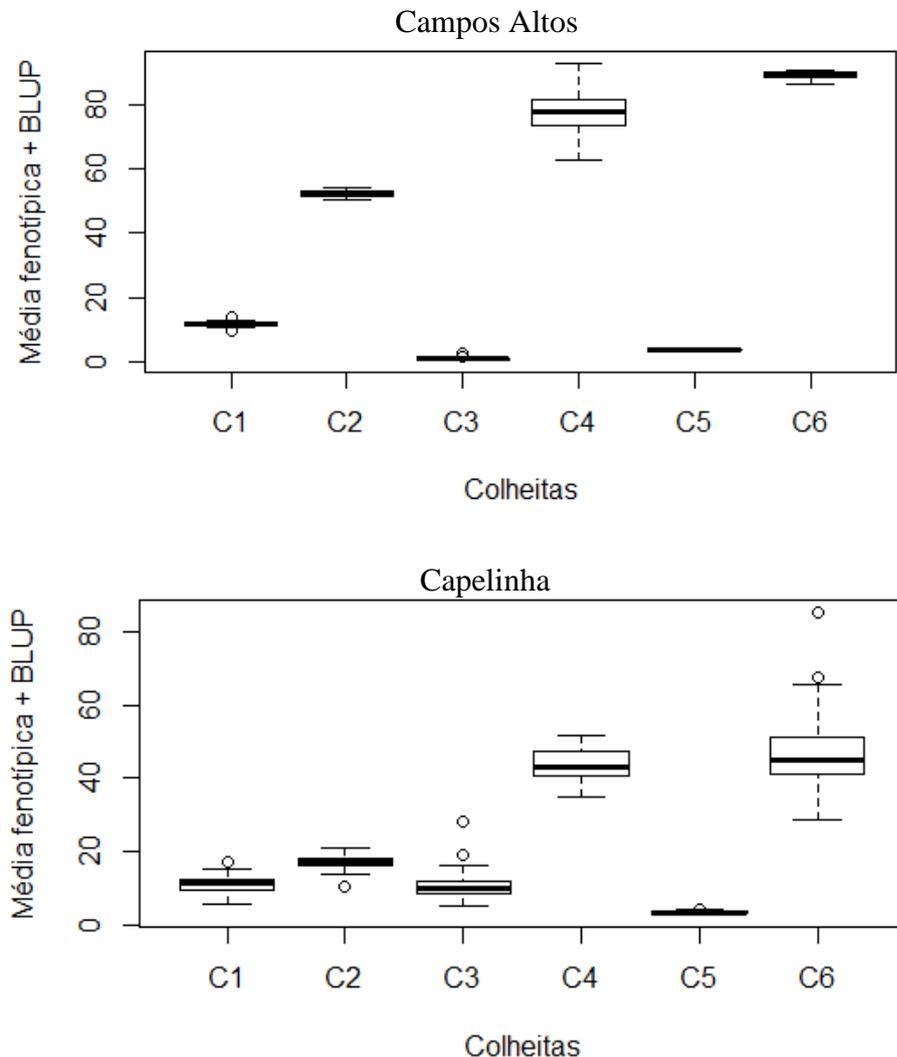
| Colheitas | | | | | | |
|----------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|----------|--------------------|---------------------|
| Parâmetros | Campos Altos | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Média (Sc/ha) | 11,66 | 52,47 | 0,94 | 77,53 | 3,79 | 89,07 |
| CVe (%) | 42,41 | 22,85 | 17,76 | 18,64 | 102,88 | 24,91 |
| σ_g^2 | 2,40 ^{ns} | 6,90 ^{ns} | 0,37 ^{ns} | 65,19** | 0,43 ^{ns} | 12,54 ^{ns} |
| σ_e^2 | 24,46 | 143,79 | 2,81 | 208,94 | 15,23 | 492,29 |
| h^2 (%) | 28,19 | 16,10 | 34,49 | 55,51 | 10,25 | 9,25 |
| \hat{r}_{gg} | 0,53 | 0,40 | 0,59 | 0,75 | 0,32 | 0,30 |
| Capelinha | | | | | | |
| Média (sc/ha) | 11,19 | 16,99 | 11,07 | 43,85 | 3,41 | 47,43 |
| CVe (%) | 49,29 | 36,34 | 91,65 | 31,91 | 148,69 | 51,18 |
| σ_g^2 | 9,06** | 9,02* | 30,38** | 48,95* | 0,99 ^{ns} | 202,68** |
| σ_e^2 | 30,45 | 38,14 | 103,01 | 261,93 | 25,72 | 589,20 |
| h^2 (%) | 54,35 | 48,62 | 54,12 | 42,78 | 13,30 | 57,91 |
| \hat{r}_{gg} | 0,74 | 0,70 | 0,74 | 0,65 | 0,36 | 0,76 |

ns: não significativo; *, **: significativo 1% e 5% pelo teste de razão de máxima verossimilhança (LRT).

Fonte: Do autor (2018).

No experimento em Campos Altos, a maior variância dos valores genéticos preditos (BLUP) foi obtida na colheita 4, que apresentou elevada produtividade. Em Capelinha, observaram-se maiores variâncias dos BLUP nas colheitas 4 e 6 (FIGURA 4).

Figura 4 - Box-plot de média fenotípica + BLUP das colheitas anuais dos experimentos de genótipos de Mundo Novo.



Fonte: Do autor (2018).

4.3.2 Análise no esquema de parcelas subdivididas no tempo por local

Pela análise subdividida no tempo das colheitas, observou-se variância não significativa de progênes em Campos Altos e significativa para Capelinha. No entanto, para o efeito de interação genótipos x colheitas, foram significativos em ambos os locais. A herdabilidade foi de 17,32% em Campos Altos e com 54,71% em Capelinha (TABELA 20).

Na seleção realizada, na média de colheitas combinadas dos genótipos de Mundo Novo, o ganho genético e o índice de coincidência, na média de seis colheitas, em Campos Altos, de maneira geral, foram baixos em todas as intensidades de seleção. Observou-se a maior estimativa de ganho, nas colheitas combinadas dos anos de alta produtividade, com

valor superior a 1,86, para todas as intensidades de seleção e IC de 100% para 10 e 30% e de 67% para 20% (GRÁFICO 7 e TABELA 21).

Tabela 20 - Componentes de variância da análise subdivididas no tempo das colheitas por local, em Campos Altos e Capelinha.

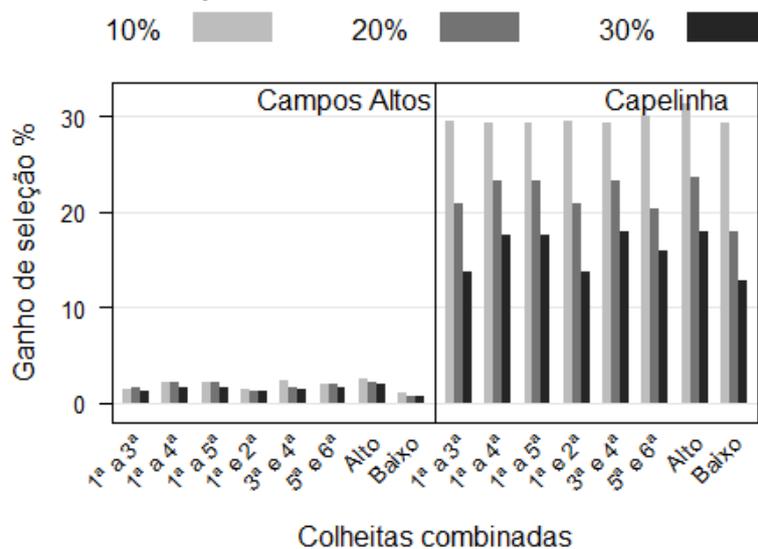
| Componentes de variância | Campos Altos | Capelinha |
|--------------------------|--------------------|-----------|
| Genótipos | 2,34 ^{ns} | 21,92* |
| Genótipos x Blocos | 14,09* | 29,54* |
| Genótipos x Colheitas | 12,30* | 28,26* |
| Resíduo | 133,83 | 145,20 |
| h ² (%) | 17,32 | 54,71 |

Fonte: Do autor (2018).

^{ns}: não significativo; *: significativo a nível de 5% pelo teste de razão de máxima verossimilhança (LRT).

Em Capelinha, as estimativas do ganho e o IC, para a seleção realizada, na média de colheitas combinadas com resposta, na média de seis colheitas, foram mais expressivas que as de Campos Altos. Os ganhos, para todas as intensidades de seleção, foram superiores a 12,8%; com intensidade de 10%, o ganho para os anos de safra alta ultrapassou 30% e IC na maioria dos casos foi de 75%. Com intensidade de 20% e 30%, os maiores valores dos ganhos, também, foram nos anos de alta com IC superior a 83%. (GRÁFICO 7 e TABELA 21).

Gráfico 7 - Ganhos realizados na seleção de genótipos, na média de colheitas combinadas de cada local, comparados com a média das seis colheitas em cada local, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%.



Fonte: Do autor (2018).

Tabela 21 - Índice de coincidência da seleção de genótipos, na média de colheitas combinadas de cada local, comparado com a média de seis colheitas por local, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%.

| Colheitas combinadas | Campos Altos | | | Capelinha | | |
|----------------------|--------------|-----|-----|-----------|-----|-----|
| | 10% | 20% | 30% | 10% | 20% | 30% |
| 1ª a 3ª | 25 | 50 | 50 | 75 | 67 | 50 |
| 1ª a 4ª | 50 | 67 | 63 | 75 | 83 | 88 |
| 1ª a 5ª | 50 | 67 | 63 | 75 | 83 | 88 |
| Biênio 1ª e 2ª | 25 | 33 | 38 | 75 | 67 | 50 |
| Biênio 3ª e 4ª | 50 | 50 | 63 | 75 | 83 | 88 |
| Biênio 5ª e 6ª | 50 | 67 | 63 | 75 | 67 | 75 |
| Alta | 100 | 67 | 100 | 100 | 83 | 50 |
| Baixa | 0 | 17 | 25 | 75 | 67 | 88 |

Fonte: Do autor (2018).

O ganho realizado e o índice de coincidência, para a seleção na média das seis colheitas em Capelinha, com resposta na média das seis colheitas em Campos Altos, foram menores que 1%, para a intensidade de seleção de 20% e 30% com IC de 17% e 25%, respectivamente. Já para intensidade de 10%, o ganho realizado foi de 1,7% com IC de 25%. Apesar de o ganho ter sido melhor que nas outras situações, a coincidência foi muito baixa, indicando que não se deve utilizar a seleção desta forma. A seleção, na média das seis colheitas em Campos Altos, com resposta na média das seis colheitas em Capelinha, os ganhos foram melhores, acima de 6%, porém com IC muito baixo.

4.3.3 Análise conjunta de locais

Pelos resultados da conjunta de locais, observou-se que a variância dos genótipos, da interação entre genótipos x ambientes e genótipos x colheitas não foram significativos, já a interação genótipos x ambientes x colheitas foi significativo (TABELA 22).

Tabela 22 - Componentes de variância da análise conjunta de locais em Campos Altos e Capelinha.

| Componentes de variância | |
|-----------------------------------|----------------------|
| Genótipos | 4,9689 ^{ns} |
| Genótipos x Ambientes | 7,1569 ^{ns} |
| Genótipos x Colheitas | 4,0544 ^{ns} |
| Genótipos x Ambientes x Colheitas | 16,2288* |
| Resíduo | 139,5158 |

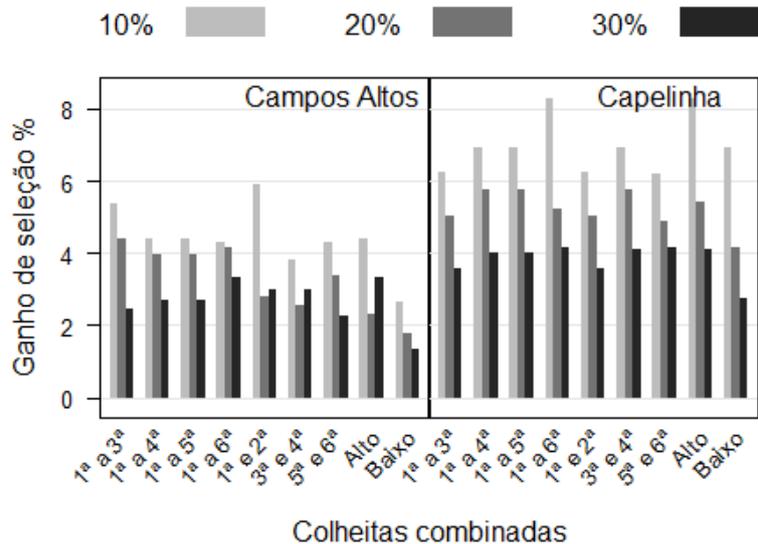
Fonte: Do autor (2018).

^{ns}: não significativo; *: significativo a 5% pelo teste de razão de máxima verossimilhança (LRT).

Observou-se que o ganho e o índice de coincidência da seleção realizada, na média de colheitas combinadas, em Campos Altos e resposta, na média geral dos locais, variaram de 2,65% (anos de safra baixa) a 5,39% (1ª a 3ª e 1ª e 2ª) com IC igual ou inferior a 50%; na intensidade de 20%, os ganhos variaram de 1,76% (anos de safra baixa) a 4,41% (1ª a 3ª) com IC inferior a 70% e, na intensidade de 30%, os ganhos variaram de 1,36% (anos de safra baixa) a 3,34% (1ª a 6ª) e IC muito baixo para anos de alta (GRÁFICO 8 e TABELA 23).

Os resultados do ganho realizado e o índice de coincidência, para a seleção realizada, na média de colheitas combinadas, em Capelinha e resposta, na média geral dos locais, estão apresentados no Gráfico 8 e Tabela 27. Os ganhos variaram de 2,76% (anos de safra baixa com intensidade de seleção de 30%) a 8,27% (1ª a 6ª e anos de safra alta com 10%) e IC de 100% apenas para as situações de maiores ganhos. Com intensidade de seleção de 20% e 30%, as estimativas do ganho foram menores (GRÁFICO 8 e TABELA 23).

Gráfico 8 - Ganhos realizados na seleção de genótipos, na média de colheitas combinadas em cada local, em comparação com a média geral de locais, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%.



Fonte: Do autor (2018).

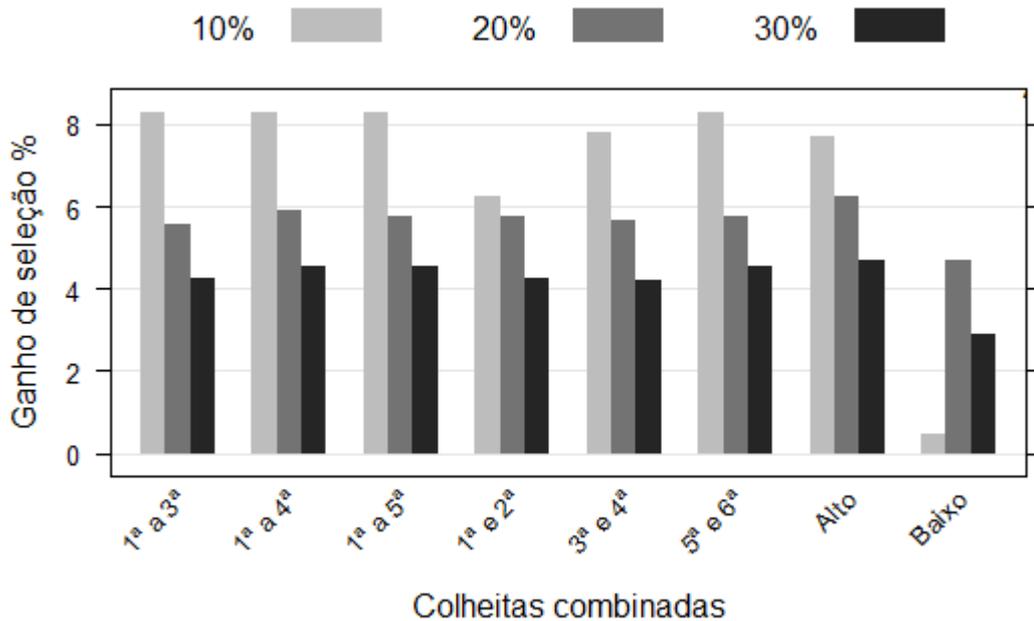
Tabela 23 - Índice de coincidência da seleção de genótipos, na média de colheitas combinadas em cada local, comparado com a média geral de locais, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%.

| Colheitas combinadas | Campos Altos | | | Capelinha | | |
|--|--------------|-----|-----|-----------|-----|-----|
| | 10% | 20% | 30% | 10% | 20% | 30% |
| 1 ^a a 3 ^a | 50 | 67 | 38 | 75 | 67 | 50 |
| 1 ^a a 4 ^a | 50 | 50 | 63 | 75 | 83 | 63 |
| 1 ^a a 5 ^a | 50 | 50 | 63 | 75 | 83 | 63 |
| 1 ^a a 6 ^a | 25 | 33 | 63 | 100 | 67 | 63 |
| Biênio 1 ^a e 2 ^a | 50 | 50 | 50 | 75 | 67 | 50 |
| Biênio 3 ^a e 4 ^a | 25 | 16 | 75 | 75 | 83 | 63 |
| Biênio 5 ^a e 6 ^a | 25 | 33 | 38 | 75 | 50 | 75 |
| Alta | 25 | 17 | 63 | 100 | 67 | 38 |
| Baixa | 25 | 33 | 13 | 75 | 50 | 63 |

Fonte: Do autor (2018).

Pela seleção realizada na média de colheitas combinadas para os dois locais, com ganho genético e índice de coincidência, com base na média geral de locais, observaram-se estimativas mais expressivas, quando se utilizou a intensidade de seleção de 10%, com valor máximo de ganho de 8,27 (1^a a 3^a, 1^a a 4^a, 1^a a 5^a e 5^a e 6^a) e IC de 100%, para estes casos. Porém, quando se utilizaram intensidades de seleção de 20% e 30%, os ganhos apresentaram redução e o maior valor obtido foi nos anos de safra alta (6,25% para 20% e 4,69 para 30%) e IC igual ou superior a 83% nesta situação (GRÁFICO 9 e TABELA 24).

Gráfico 9 - Ganhos realizados na seleção de genótipos, na média de colheitas combinadas dos locais, comparados com a média geral de locais, com intensidade de seleção de 10, 20 e 30%.



Fonte: Do autor (2018).

Tabela 24 - Seleção na média de colheitas combinadas de locais com ganho e coincidência na média geral de locais.

| Colheitas combinadas | 10% | 20% | 30% |
|----------------------|-----|-----|-----|
| 1ª a 3ª | 100 | 67 | 63 |
| 1ª a 4ª | 100 | 83 | 88 |
| 1ª a 5ª | 100 | 83 | 88 |
| Biênio 1ª e 2ª | 50 | 67 | 63 |
| Biênio 3ª e 4ª | 75 | 83 | 88 |
| Biênio 5ª e 6ª | 100 | 67 | 88 |
| Alta | 75 | 83 | 100 |
| Baixa | 50 | 67 | 38 |

Fonte: Do autor (2018).

No experimento conduzido em Campos Altos, as correlações de *Spearman* entre os valores genéticos preditos (BLUP) foram significativas, considerando as colheitas combinadas na análise subdividida no tempo e o total de seis colheitas por local, com valores entre 0,64 (1ª a 2ª com 1ª a 4ª) e 0,95 (1ª a 4ª com 1ª a 5ª) com amplitude de variação de 0,31. Notou-se um aumento, na magnitude da correlação, ao se avaliar colheitas mais avançadas. Em Capelinha, as correlações também foram significativas e apresentaram amplitude de variação menor (0,19) (TABELA 25).

Tabela 25 - Correlações de *Spearman* entre os valores genéticos preditos (BLUP), obtidos pelas médias BLUP dos experimentos de genótipos Mundo Novo, em Campos Altos-MG (acima da diagonal) e Capelinha-MG (abaixo da diagonal).

| Colheitas combinadas | 1^a a 2^a | 1^a a 3^a | 1^a a 4^a | 1^a a 5^a | 1^a a 6^a |
|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1^a a 2^a | 1 | 0,99* | 0,64* | 0,71* | 0,64* |
| 1^a a 3^a | 0,91* | 1 | 0,67* | 0,73* | 0,66* |
| 1^a a 4^a | 0,87* | 0,85* | 1 | 0,95* | 0,87* |
| 1^a a 5^a | 0,88* | 0,88* | 0,99* | 1 | 0,89* |
| 1^a a 6^a | 0,80* | 0,84* | 0,92* | 0,95* | 1 |

Fonte: Do autor (2018).

* Significativo a 5% pelo teste de Bootstrap baseado em 5000 iterações.

As correlações de *Spearman* entre os valores genéticos preditos (BLUP), considerando as diferentes colheitas combinadas e o total de seis colheitas pela análise conjunta de locais, foram significativas e de magnitude entre 0,71 a 0,96, com exceção da correlação entre 1^a a 2^a com as seis colheitas que apresentaram valor baixo e não significância (TABELA 26).

Tabela 26 - Correlações de *Spearman* entre os valores genéticos preditos (BLUP), obtidos pelas médias BLUP da análise conjunta de locais.

| Colheitas combinadas | 1^a a 2^a | 1^a a 3^a | 1^a a 4^a | 1^a a 5^a | 1^a a 6^a |
|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1^a a 2^a | 1 | 0,45* | 0,36* | 0,38* | 0,29 |
| 1^a a 3^a | | 1 | 0,75* | 0,78* | 0,71* |
| 1^a a 4^a | | | 1 | 0,98* | 0,95* |
| 1^a a 5^a | | | | 1 | 0,96* |
| 1^a a 6^a | | | | | 1 |

Fonte: Do autor (2018).

* Significativo a 5% pelo teste de Bootstrap baseado em 5000 iterações.

5 DISCUSSÃO

Nos experimentos com os cafeeiros Icatu, Catuaí e Mundo Novo em Campos Altos, observou-se coeficiente de variação experimental (CV_e) muito alto nos anos de produtividade média baixa (TABELAS 3, 11 e 19). Altos coeficientes de variação têm sido verificados em experimentos de avaliação de progênies de café por colheitas individuais (BONOMO et al., 2004a; FONSECA, 1999; MENDES, 1994; SERA, 1980). Esse comportamento para o CV_e pode ser explicado, em parte, pelos efeitos da bienalidade da produção, ou seja, anos alternados de alta e baixa produção, característica presente no cafeeiro (CARVALHO, 1989; MENDES, 1994; SERA, 1980). Os CV_e mais elevados podem estar associados a causas como longo ciclo da cultura, tamanho grande dos experimentos, respostas diferenciadas dos genótipos aos estresses de altas temperaturas e seca e respostas diferenciadas dos genótipos à incidência de pragas e doenças, a ventos e podas (FERRÃO et al., 2008).

Quanto aos experimentos em Capelinha, os resultados de CV_e foram mais homogêneos com exceção da quinta e sexta colheita. Nesse local, a produtividade média foi relativamente estável, para todos os grupos de cafeeiros (TABELAS 3, 11 e 19), demonstrando que a bienalidade foi menos acentuada do que a observada para Campos Altos. O cafeeiro é afetado, nos seus diversos estádios fenológicos, pelas condições meteorológicas; a disponibilidade hídrica é o principal fator que afeta sua produtividade (PICINI et al., 1999). Os resultados de Capelinha mostraram que o fator hídrico foi determinante no efeito da bienalidade, sendo bem acentuado nos que ocorreram a quinta e sexta colheita, e a precipitação foi semelhante à de Campos Altos (FIGURA 1).

As estimativas de parâmetros genéticos de uma população são de grande importância nos programas de melhoramento. Porém, para um caráter, a estimativa desse parâmetro pode ser variável, em função da variabilidade genética existente na população e das condições do ambiente (BONOMO et al., 2004a). Nos experimentos em Campos Altos, observou-se maior variância genética nas colheitas de elevada produtividade e menor nas colheitas de baixa produtividade, demonstrando que a bienalidade da produção interfere na estimativa da variância (TABELAS 3, 11 e 19).

Para os três grupos de genótipos estudados (Icatu, Catuaí e Mundo Novo), a variância genética teve um comportamento diferente entre os ambientes (TABELAS 3, 11 e 19). Em Capelinha, as menores variâncias foram na primeira, segunda e quinta colheitas, e altas variâncias na terceira e sexta colheitas. Estes resultados mostram um comportamento atípico da variância genética, ao longo das colheitas, revelando que este parâmetro está inflacionado

pela interação entre genótipo e ambiente. Isto também foi observado por Coimbra et al. (1999).

O desempenho dos genótipos, quanto à produtividade, foi diferente entre os ambientes. As médias de Capelinha foram menos expressivas. Uma das causas do ocorrido pode ser pelas condições climáticas da região. Ao apresentar uma altitude inferior à de Campos Altos, é muito provável que a presença de altas temperaturas tenha contribuído para isso, pois, segundo Thomaziello et al. (2000), temperaturas elevadas podem prejudicar o desenvolvimento do café arábica. Deste modo, pode-se afirmar que, na ocorrência de anos climáticos atípicos, como nos anos 2006/2007, a seleção fica prejudicada e comprometida, como foi constatado por Mistro (2013). Portanto é preferível não incluir este período e considerar unicamente as primeiras colheitas que tiveram um comportamento mais homogêneo e analisar os dados, após a recuperação das plantas, mesmo que isso possa comprometer o tempo, para desenvolver e disponibilizar ao cafeicultor uma nova cultivar. Nesse sentido, seria viável selecionar os genótipos nas colheitas em que a interferência da precipitação for menor.

Com relação à análise subdividida no tempo das colheitas, observou-se que o componente de variância genética em Campos Altos não foi significativo pelo teste de razão de máxima verossimilhança (LRT). No entanto, em Capelinha, a variância foi significativa, nos três grupos de genótipos (TABELAS 4, 12 e 20). Segundo Bonomo et al. (2004a), essa diferença no comportamento entre locais é, provavelmente, em função das diferentes expressões, ao longo do crescimento e desenvolvimento, além das condições do ambiente apresentadas nos anos de colheita.

A interação genótipos x colheitas foi significativa pelo teste de razão de máxima verossimilhança (LRT), nos três grupos de cafeeiros, tanto para Campos Altos quanto para Capelinha. Desse modo, pode-se afirmar que os genótipos não apresentam o mesmo comportamento ao longo das colheitas. Estes resultados ratificam a importância de avaliar as magnitudes das interações de genótipos por colheitas, como foi constatado por Vencovsky e Barriga (1992).

Outro parâmetro de grande importância para os melhoristas é a herdabilidade. Um dos requisitos, para o sucesso na seleção, é que a herdabilidade seja alta, ou seja, maior parte da variação deve estar em função da ação dos genes e não do ambiente (BOTELHO et al., 2010). No caso específico da cultura do cafeeiro, alguns valores de herdabilidade, para produção de grãos encontrados na literatura, variam de 37 a 57%, conforme Srinivasa, Vishershwra e Suavamanya (1979), de 61 a 93 % (FAZUOLI et al., 2000) e de 71 a 80% (BONOMO et al.,

2004a). No presente estudo, em Campos Altos, os dados da herdabilidade de Icatu variaram de 20,49 a 86,42%, observando-se uma alta herdabilidade em colheitas de baixa produtividade e baixa herdabilidade na quarta colheita de elevada produtividade (TABELA 3). Em Capelinha, a variação foi de 31,84 a 81,58% (TABELA 3). Estes resultados mostram algumas estimativas de herdabilidade alta, tanto em Campos Altos e Capelinha, nos genótipos de Icatu, semelhantes às encontradas por Fazuoli et al. (2000).

Em Campos Altos, para o grupo de cafeeiro de Catuaí, as estimativas da herdabilidade foram de 22,05 % a 63,44% sendo mais alta no segundo, quinto e sexto anos de colheitas (TABELA 11). No entanto, em Capelinha, as estimativas foram de 28,46% a 75,45%, ligeiramente superiores, em comparação a Campos Altos, sendo maiores nos primeiros anos de colheita (TABELA 11). Dessa forma, tem-se uma situação favorável para realizar a seleção antecipada na segunda e terceira colheita. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Bonomo et al. (2004b) e Fazuoli et al. (2000), os quais indicaram a possibilidade de seleção na segunda, terceira ou quarta colheitas consecutivas.

As estimativas de herdabilidade, para o grupo Mundo Novo, variaram de 9,25 a 55,51%, no experimento em Campos Altos (TABELA 19). Em Capelinha, oscilaram entre 13,30a 57,91%; para esse local, as estimativas foram maiores na maioria das colheitas (TABELA 19). Pelos resultados obtidos em Campos Altos, pode-se realizar a seleção, a partir da quarta colheita, porém, nos resultados de Capelinha, tem-se uma situação favorável, para realizar a seleção, a partir da terceira colheita. Acompanhando a herdabilidade, as estimativas das acurácias foram baixas na maioria das colheitas. Esse resultado era esperado, pois, segundo Resende (1997a), a estimativa da acurácia está intimamente ligada à herdabilidade do caráter. Resende (2002) propôs uma classificação deste parâmetro de: alto para acurácia maior que 0,70; médio para acurácia com valores entre 0,40 e 0,70 e baixo para valores entre 0,10 e 0,40. A acurácia é, na verdade, uma correlação entre os valores genéticos verdadeiros e preditos e quanto maior o seu valor mais plena é a confiança na avaliação de indivíduos. Resende (2007a) sugere que, nas diferentes fases dos programas de melhoramento genético, a acurácia seja, no mínimo, igual a 0,70.

De forma geral, em todos os experimentos, as estimativas das herdabilidades foram relativamente maiores na segunda, terceira e quarta colheitas. Baseando-se nestes resultados, conclui-se que a seleção antecipada pode ser realizada na terceira colheita, fato se deve ao sucesso na seleção, em virtude da herdabilidade e não da produtividade (BONOMO et al., 2004b).

Quando se estimou o ganho com a seleção e o índice de coincidência, para as progênies de Icatu e Mundo Novo, considerando as combinações de colheitas e a média de seis colheitas em Campos Altos, eles apresentaram baixos ganhos, nas diferentes intensidades de seleção (10, 20 e 30%) e baixa coincidência entre genótipos. Esses resultados indicam uma alteração, no ordenamento dos genótipos, exceto para a seleção na combinação de safras de altas produtividades (colheitas 2, 4 e 6). Embora não apresentem ganhos genéticos expressivos, mostraram uma coincidência entre os melhores genótipos de 100% nas três intensidades de seleção utilizadas (GRÁFICOS 1 e 7 e TABELAS 5 e 21). Estes resultados corroboram que, em termos de ganho genético e de índice de coincidência, é possível fazer a seleção, considerando anos de alta produtividade como foi constatado por Andrade et al. (2015). Diferentemente, para o grupo de Catuaí, os ganhos foram maiores e com alta coincidência nas diferentes intensidades de seleção (GRÁFICO 4 e TABELA 13).

Para Capelinha, com os grupos de Icatu, Catuaí e Mundo Novo, o ganho de seleção foi bem mais expressivo nas combinações de colheitas nas diferentes intensidades de seleção. Apesar disso, os índices de coincidência foram semelhantes aos de Campos Altos, de maneira geral (GRÁFICOS 1, 4 e 7 e TABELAS 5, 13 e 21). Nos grupos de Catuaí e Mundo Novo, o maior ganho foi obtido com intensidade de seleção de 10%, nas diferentes colheitas combinadas e, quando foi aumentada a intensidade de seleção, o ganho foi reduzido. Nesses grupos, seria mais efetivo praticar uma intensidade de seleção de 10%, pois, nessa intensidade, os ganhos genéticos foram maiores.

No grupo de Icatu, houve comportamentos distintos nas diferentes intensidades de seleção. Por conseguinte, é mais complicado determinar uma intensidade de seleção exata pelo fato de que o ganho não manteve o mesmo padrão, apresentando como resultado uma interação complexa, pois denota a falta de correlação entre as medidas de um mesmo genótipo, em ambientes distintos e indica haver inconsistência na superioridade de genótipos com a variação ambiental, segundo a explicação de Cruz e Regazzi (1997). Porém, em Capelinha, podem-se selecionar genótipos de Icatu promissores com um ganho genético mais expressivo e alta coincidência. Quando a parte complexa da interação é mais expressiva, torna a decisão mais difícil, no trabalho de seleção de genótipos superiores, uma vez que existem genótipos que são bem adaptados em ambientes específicos (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004; SILVA et al., 2010).

A significância do componente da interação entre genótipos x ambientes x colheitas (TABELAS 6, 14 e 22) indica que o desempenho dos genótipos, ao longo das colheitas nos diferentes locais, não é consistente. Esses resultados mostram uma interação, que pode ser de

tipo simples ou complexa, dificultando a recomendação uniforme para todos os locais de novas cultivares (PELÚZIO et al., 2008; PINTO et al., 2012).

A partir das estimativas de ganho de seleção e o índice de coincidência, considerando a média das seis colheitas em Capelinha, com resposta na média das seis colheitas em Campos Altos, nota-se que os ganhos foram baixos e com zero de coincidência para os três grupos nas diferentes intensidades seleção. Baseando-se nestes resultados, a seleção fica comprometida ao selecionar em Capelinha e ter ganho genético e coincidência em Campos Altos. No entanto, a seleção, na média de seis colheitas em Campos Altos, com resposta, na média de seis colheitas em Capelinha, indica melhores ganhos nos genótipos de Icatu e Mundo Novo. Entretanto, nos genótipos de Catuaí, o ganho foi negativo e o índice de coincidência de zero. Estes resultados indicam que é mais efetiva a seleção em Campos Altos com resposta de ganho em Capelinha, nos genótipos de Icatu e Mundo Novo, evidenciando a influência da interação genótipos x ambientes, quando a seleção em um ambiente e resposta de ganho genético em outro ambiente, ou seja, de forma indireta.

As estimativas de seleção, nas colheitas combinadas de Campos Altos, nos genótipos de Icatu e Mundo Novo, com ganho genético e índice de coincidência na análise conjunta de locais, mostrou que os ganhos foram mais expressivos nas colheitas combinadas de três, quatro, cinco e nos biênios 1 e 2 e 3 e 4, com alta coincidência entre os genótipos para as progênes de Icatu (GRÁFICOS 2 e 8 e TABELAS 7 e 23). Estes resultados, para esse local, mostram que a seleção antecipada é viável, nas primeiras colheitas, como foi verificado por Bonomo et al. (2004b). Já nas progênes de Mundo Novo, os ganhos tiveram um pequeno acréscimo, nas diferentes colheitas combinadas e com baixa coincidência, tornando-se a seleção antecipada mais difícil.

No entanto, os genótipos de Catuaí, na maioria das colheitas combinadas, mostraram baixo ganho genético e, por conseguinte, baixa coincidência (GRÁFICO 5 e TABELA 15). Os resultados em Campos Altos mostram que os ganhos genéticos dos genótipos tiveram um pequeno acréscimo, nos grupos de Icatu e Mundo Novo (GRÁFICOS 2 e 8 e TABELAS 7 e 23), porém, no grupo de Catuaí, o ganho genético e o índice de coincidência foram zero, com exceção das colheitas combinadas de safra alta e baixa. Os resultados dos genótipos de Catuaí corroboram que é possível fazer a seleção antecipada, considerando anos de alta produtividade, como foi verificado por Andrade et al. (2015).

Já na seleção em Capelinha, o ganho genético e o índice de coincidência, na análise conjunta de locais, foram menos expressivos nas diferentes colheitas combinadas, nos genótipos de Icatu (GRÁFICO 2 e TABELA 7). No entanto, para os grupos de Catuaí e

Mundo Novo, houve um pequeno acréscimo nas diferentes colheitas combinadas, porém baixa coincidência (GRÁFICOS 5 e 8 e TABELA 15 e 23). Os resultados indicam que o grupo de Icatu e Mundo Novo mostraram maior ganho genético do que o grupo de Catuaí. Também, observou-se que, na maioria das colheitas combinadas, a intensidade de seleção de 10% mostrou um maior ganho genético e decresceu nas intensidades de seleção de 20 e 30%.

A seleção, na média de colheitas combinadas para os dois locais, com ganho genético e o índice de coincidência, na análise conjunta de locais, para os três grupos, apresentou maiores estimativas, quando se utilizou a intensidade de seleção de 10%, dentre eles, a combinação de cinco colheitas (GRÁFICOS 3, 6 e 9 e TABELAS 8, 16 e 24). Os resultados da análise conjunta de local mostram uma redução no ganho genético, quando a intensidade foi de 20% e 30% nas diferentes colheitas combinadas. Também o índice de coincidência foi melhor, quando se aplicou uma intensidade de seleção de 10%. Pelos resultados, pode-se inferir que seria mais efetiva uma seleção de 10% nos três grupos de cafeeiros. Mas é importante considerar que a alta pressão de seleção, nas primeiras avaliações, pode ter uma significativa redução na variabilidade genética, por ocorrência da deriva genética, ou seja, perda de alelos favoráveis ou fixação de alelos desfavoráveis (KAGEYAMA; GANDARA; SOUZA, 1998).

De forma geral, os resultados indicam que o ganho genético foi menos expressivo, na análise conjunta de locais, em comparação à análise por local.

Em relação às correlações de *Spearman* entre os valores genéticos preditos (BLUP), foram significativas entre as diferentes colheitas combinadas, na análise no esquema parcelas subdivididas no tempo por local, nos genótipos de Icatu, Catuaí e Mundo Novo em Campos Altos. As correlações foram maiores, a partir da quarta e quinta colheitas combinadas, nos três grupos de cafeeiros (TABELAS 9, 17 e 25), corroborando que a seleção pode ser realizada, a partir da quarta colheita, como foi constatado por Bonomo et al. (2004b) e Fazuoli et al. (2000). Porém, em Capelinha, o comportamento foi diferente com maior magnitude, nas primeiras colheitas combinadas, em comparação à de Campos Altos (TABELAS 9, 17 e 25). No grupo de Catuaí, as correlações foram de alta magnitude, em todas as colheitas combinadas e com alta coincidência, nas colheitas iniciais, ou seja, sendo viável a seleção antecipada. No entanto, nos genótipos de Icatu e Mundo Novo, as correlações foram de menor magnitude, em comparação ao grupo de Catuaí, porém mostraram correlações aceitáveis nas primeiras colheitas combinadas.

Na análise conjunta de locais, as correlações de *Spearman* entre os valores genéticos preditos (BLUP) dos experimentos de Icatu, Catuaí e Mundo Novo, em Campos Altos e

Capelinha, apresentaram o mesmo comportamento da análise subdividida no tempo por local, com alta magnitude, a partir da quarta e quinta colheitas combinadas (TABELAS 10, 18 e 26). Estes resultados ratificam que a seleção, em colheitas iniciais, é viável, como foi primeiramente demonstrado por Carvalho et al. (2006), Fazuoli et al. (2005), Oliveira et al. (2011) e Sera (1987). Atualmente, há um consenso geral dos melhoristas de café de que a seleção pode ser realizada com segurança na quarta colheita. Portanto essa informação sustenta os resultados apresentados, para as progênies de Icatu, Catuaí e Mundo Novo, pois as correlações entre os valores genéticos preditos (BLUP) das colheitas combinadas dos primeiros anos, com destaque para quarta e quinta colheitas combinadas foram altas em relação ao total de seis colheitas.

6 CONCLUSÕES

A presença de interação genótipos x ambientes evidencia baixa ou não coincidência dos genótipos, nos diferentes ambientes, dificultando a recomendação e lançamento de novas cultivares para as regiões cafeeiras em Minas Gerais.

Não é possível realizar a seleção antecipada, antes da quarta colheita, para os genótipos dos grupos de Icatu, de Catuaí e de Mundo Novo.

REFERÊNCIAS

- AGWANDA, C. O. et al. Selection for bean and liquor qualities within related hybrids of Arabica coffee in multilocal field trials. **Euphytica**, Wageningen, v. 131, p. 1-14, 2003.
- ALVARENGA, A. de P. **Produção e outras características de progênies de café Icatu (*Coffea spp*)**. 1991. 75 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1991.
- ANDRADE, V. T. et al. Statistical modeling implications for coffee progenies selection. **Euphytica**, Wageningen, v. 207, p. 177-189, 2015.
- BARROS, H. B. et al. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja por meio de métodos uni e multivariado. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Gurupi, v. 3, p. 49-58, 2012.
- BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. Woodbory: Stemma, 2010.
- BERTHAUD, J.; CHARRIER, A. Genetic resources of Coffea. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. (Ed.). **Coffee: agronomy**. London: Elsevier Applied Science, 1988. v. 4, p. 1-42.
- BONOMO, P. et al. Avaliação de progênies obtidas de cruzamentos de descendentes do ‘Híbrido de Timor’ com as cultivares Catuaí Vermelho e Catuaí amarelo. **Bragantia**, Campinas, v. 63, p. 207-219, 2004a.
- BONOMO, P. et al. Seleção antecipada de progênies de café descendentes de ‘Híbrido de Timor’ X ‘Catuaí Amarelo’ e ‘Catuaí Vermelho’. **Acta Scientiarum**. Agronomy, Maringá, v. 26, p. 91-96, 2004b.
- BOTELHO, C. E. et al. Seleção de progênies F4 de cafeeiro obtidas pelo cruzamento de Icatu com Catimor. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 57, p. 274-281, 2010.
- BOTREL, M. A. et al. Estimativas de coeficientes de repetibilidade para produção de matéria seca em cultivar de alfafa, sob diferentes ambientes. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 47, p. 651-663, 2000.
- BUTLER, D. et al. **ASReml-R reference manual**. Brisbane: DPI, 2007. Disponível em: <<http://www.vsn-intl.com/products/asreml/>>. Acesso em: 23 out. 2018.
- CARGNIN, A. et al. Interação entre genótipos e ambientes e implicações em ganhos com seleção em trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, p. 987-993, 2006.
- CARVALHO, A. Evolução nos cultivares de café. **O Agrônomo**, Campinas, v. 37, n. 1, p. 7-11, jan./abr. 1985.
- CARVALHO, A. Melhoramento do cafeeiro VI: estudo e interpretação, para fins de seleção de produções individuais na variedade Bourbon. **Bragantia**, Campinas, v. 12, n. 4/6, p. 179-200, abr./jun. 1952.

CARVALHO, A. Novas variedades mais produtivas. **Agricultura Hoje**, São Paulo, v. 6, n. 68, p. 32-34, mar. 1981.

CARVALHO, A. et al. Aspectos genéticos do cafeeiro. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 14, n. 1, p. 135-183, 1991.

CARVALHO, A. et al. Melhoramento do cafeeiro XXII: resultados obtidos no ensaio de seleções regionais de Campinas. **Bragantia**, Campinas, v. 20, n. 30, p. 711-740, jul. 1961.

CARVALHO, A.; FAZUOLI, L. C. Café. In: FURLANI, A. M. C.; VIÉGAS, G. P. (Ed.). **O melhoramento de plantas no Instituto Agrônômico**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1993. v. 1, p. 29-76.

CARVALHO, A.; FAZUOLI, L. C.; COSTA, W. M. Produtividade do Híbrido Timor, de seus derivados e outras fontes de resistência a *Hemileia vastatrix*. **Bragantia**, Campinas, v. 48, n. 1, p. 73-86, 1989.

CARVALHO, A.; MÔNACO, L. C. Transferência do fator caturra para o cultivar mundo novo de *Coffea arabica*. **Bragantia**, Campinas, v. 31, p. 379-399, dez. 1972.

CARVALHO, A. M. et al. Resistentes à ferrugem no Estado de Minas Gerais, Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p. 481-487, 2012.

CARVALHO, G. R. et al. Avaliação e seleção de progênes resultantes do cruzamento de cultivares de café catuaí com mundo novo. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 844-852, set./out. 2006.

CARVALHO, S. P. **Metodologias de avaliação do desempenho de progênes do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 1989. 68 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1989.

COIMBRA, J. L. M. et al. Reflexos da interação genótipo x ambiente e suas implicações nos ganhos de seleção em genótipos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 3, p. 433-439, 1999.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG, 1999. 359 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café**: v. 5, safra 2018, n. 3, terceiro levantamento. Brasília, DF, 2018. 76 p.

CORRÊA, L. V. T.; MENDES, A. N. G.; BARTHOLO, G. F. Comportamento de cafeeiro Icatu. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, p. 618-622, 2006.

COSTA, M. N. et al. Divergência genética entre acessos e cultivares de mamoneira por meio de estatística multivariada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, p. 1617-1622, 2006.

COSTA, W. M.; RIBEIRO, I. J. A. Resistência a *H. vastatrix* observada no café Icatu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 1975, Curitiba. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC-GERCA, 1975. p. 113.

COSTE, R. **Coffee: the plant and the product**. London: MacMillan Press, 1992.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 1997. 390 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2001. 390 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2003. v. 2, 585 p.

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

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2012.

CUENYA, M. I.; MARIOTTI, J. A. Repetibilidad de la expresión en etapas tempranas de selección en progenies híbridas de caña de azúcar (*Saccharum spp.*). **Revista Industrial y Agrícola de Tucumán**, Tucumán, v. 70, p. 41-48, 1993.

DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 18, n. 1, p. 55-81, 2006.

DAMATTA, F. M.; RODRIGUEZ, N. Sustainable production of coffee in agroforestry systems in the Neotropics: an agronomic and ecophysiological approach. **Agromía Colombiana**, Bogota, v. 25, n. 1, p. 113-123, 2007.

DAVIS, A. P. et al. An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (*Rubiaceae*). **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v. 152, n. 4, p. 465-512, Dec. 2006.

DAVIS, A. P. et al. Growing coffee: *Psilanthus* (*Rubiaceae*) subsumed on the basis of molecular and morphological data; implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v. 167, p. 357-377, 2011.

DUARTE, J. B. **Sobre o emprego e a análise estatística do delineamento em blocos aumentados no melhoramento genético vegetal**. 2000. 293 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

DUARTE, J. B.; VENCOSKY, R. Estimación e predição por medelo linear misto com ênfase na ordenação de medias de tratamentos genéticos. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, p. 109-117, jan./mar. 2001.

ESKES, A.; COSTA, W. M. da. Characterization of incomplete resistance to *Hamileia vastatrix* in Icatu coffee population. **Euphytica**, Wageningen, v. 32, p. 649-655, 1983.

FAHL, J. I. et al. **Instruções agrícolas para o estado de São Paulo**. 6. ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1995.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. Heritability and repeatability discussion: sugarcane breeders. **International Society of Sugar Cane Technology**, Baton Rouge, v. 18, p. 15-17, 1996.

FAZUOLI, L. C. **Avaliação de progênies de café “Mundo Novo” (*Coffea arabica* L.)**. 1977. 146 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1977.

FAZUOLI, L. C.; CARVALHO, A.; MÔNACO, L. C. Qualidade da bebida do café Icatu. **Bragantia**, Campinas, v. 36, n. 15, p. 165-172, jun. 1977.

FAZUOLI, L. C. et al. Avaliação das cultivares mundo novo, bourbon amarelo e bourbon vermelho de *Coffea arabica* L. em Campinas, SP. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 4, p. 533-546, 2005.

FAZUOLI, L. C. et al. Avaliação de progênies e seleção no cafeeiro Icatu. **Bragantia**, Campinas, v. 42, p. 179-189, fev. 1983.

FAZUOLI, L. C. et al. Estimação de parâmetros genéticos e fenotípicos em progenies do café Icatu. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DE BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos Expandidos...** Belo Horizonte: Minasplan, 2000. p. 494-499.

FERRÃO, R. G. et al. Parâmetros genéticos em café Conilon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, p. 61-69, 2008.

FERREIRA, A. et al. Repetibilidade e número de colheitas para seleção de clones de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 8, p. 761-767, ago. 2005.

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

FERREIRA, R. P. et al. Avaliação de cultivares de alfafa e estimativas de repetibilidade de caracteres forrageiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 6, p. 994-1002, jun. 1999.

FISHER, R. The correlation between relatives on the supposition of Mendelian inheritance. **Transactions of Royal Society of Edinburgh**, Edinburgh, v. 52, p. 399-433, 1918.

FONSECA, A. F. A. **Análises biométricas em café conillon (*Coffea canephora* Pierre)**. 1999. 121 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.

HAMBLIN, J.; ZIMMERMAN, M. J. de O. Breeding common bean for yield in mixtures. **Plant Breeding Reviews**, New York, v. 4, p. 245-272, 1986.

HENDERSON, C. R. Estimation of genetic parameters. **Annals of Mathematical Statistics**, Ann Arbor, v. 21, p. 309, 1950.

HENDERSON, C. R. et al. Estimation of environmental and genetic trends from records subject to culling. **Biometrics**, Washington, v. 13, p. 192-218, 1959.

HENDERSON, C. R.; QUAAS, R. L. Multiple trait evaluation using relatives records. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 43, p. 1188-1197, 1976.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. **Coffee market ends 2017/18 in surplus**. Disponível em: <<https://icocoffeeorg.tumblr.com/post/178884744500/coffee-market-ends-201718-in-surplus>>. Acesso em: 21 out. 2018.

KAGEYAMA, P. Y.; GANDARA, F. B.; SOUZA, L. M. I. de. Consequências genéticas da fragmentação sobre populações de espécies arbóreas. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 12, n. 32, p. 65-70, dez. 1998.

KRUG, C. A.; MENDES, J. E. T.; CARVALHO, A. **Taxonomia de *Coffea arabica* L.** Campinas: Instituto Agrônômico do Estado, 1939. (Boletim Técnico, 62).

LASHERMES, P. et al. Molecular characterisation and origin of the *Coffea arabica* L. genome. **Molecular and General Genetics**, New York, v. 261, p. 259-266, 1999.

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

MARTINS, A. L. M. **Avaliação de progênies de cafés Catuaí (*Coffea arabica* L.) na região de Pindorama (SP)**. 1989. 67 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal, 1989.

MENDES, A. N. G. **Avaliação de metodologias empregadas na seleção de progênies do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) no Estado de Minas Gerais**. 1994. 167 p. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1994.

MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, R. J. **Genética e melhoramento do cafeeiro**. Lavras: Ed. UFLA, 1998. 99 p.

MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, R. J.; SOUZA, C. A. S. Classificação botânica, origem e distribuição geográfica do cafeeiro. In: MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, R. J.; SOUZA, C. A. S. (Ed.). **Cafeicultura**. Lavras: Ed. UFLA/FAEPE, 2002. p. 99.

MENDES, F. et al. Adaptability and stability of maize varieties using mixed model methodology. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 12, p. 111-117, 2012.

- MISTRO, J. C. **Estimativas de parâmetros genéticos visando o melhoramento do café robusta (*Coffea canephora* Pierre ex. A. Froehner)**. 2013. 152 p. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.
- MÔNACO, L. C. Banco ativo de germoplasma. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS VEGETAIS, 1980, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: EMBRAPA, 1980. p. 72.
- MÔNACO, L. C.; CARVALHO, A. Resistência a *Hemileia vastatrix* no melhoramento do cafeeiro. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 27, n. 10, p. 1070-1081, out. 1975.
- MÔNACO, L. C.; CARVALHO, A.; FAZUOLI, L. C. Melhoramento do cafeeiro: germoplasma Icatu e seu potencial no melhoramento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIARIAS, 1974, Poços de Caldas. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1974. p. 103.
- NYQUIST, W. E. Estimation of heritability and prediction of selection response in plant populations. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Abingdon, v. 10, p. 235-322, 1991.
- OLIVEIRA, A. C. B. et al. Prediction of genetic gains from selection in Arabica coffee progenies. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 11, p. 106-113, 2011.
- PELÚZIO, J. et al. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em quatro épocas de semeadura no sul do Estado do Tocantins. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 55, n. 1, p. 34-40, 2008.
- PELÚZIO, J. M. et al. Comportamento de cultivares de soja no sul do estado de Tocantins. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 21, p. 113-117, 2005.
- PELÚZIO, J. M. et al. Desempenho de cultivares de soja, em duas épocas de semeadura, no sul do Estado do Tocantins. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 22, p. 69-74, 2006.
- PEREIRA, A. A. et al. Melhoramento genético do cafeeiro no Estado de Minas Gerais: cultivares lançadas e em fase de obtenção. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **O estado da arte de tecnologia na produção de café**. 4. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2002. p. 253-295.
- PEREIRA, J. B.; ARAÚJO NETTO, K. de. Comportamento de progênies de Icatu em Santo Antonio do Gramma, Zona da Mata de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIARIAS, 1981, São Lourenço. **Anais...** São Lourenço, 1981. p. 28-31.
- PEREIRA, S. P. et al. Crescimento, produtividade e bienalidade do cafeeiro em função do espaçamento de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 2, p. 152-160, fev. 2011.
- PEREIRA, T. B. et al. Eficiência da seleção de progênies de café F4 pela metodologia de modelos mistos (REML/BLUP). **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 3, p. 230-236, 2013.
- PETEK, M. R.; SERA, T.; FONSECA, I. C. B. Predição de valores genéticos aditivos na seleção visando obter cultivares de café mais resistentes à ferrugem. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 133-140, 2008.

- PICINI, A. G. et al. Desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos para a estimativa de produtividade do cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 1, p. 157-170, 1999.
- PINTO, M. F. et al. Eficiência na seleção de progênies de cafeeiro avaliadas em Minas Gerais. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 1, p. 1-7, 2012.
- R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2017. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 10 out. 2017.
- RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Ed. UFLA, 2012. v. 1, 522 p.
- RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 3. ed. rev. Lavras: Ed. UFLA, 2012. 328 p.
- REIS, P. R.; CUNHA, R. L. da. **Café arábica do plantio à colheita**. Lavras: UR EPAMIG SM, 2010. 896 p.
- RESENDE, M. D. V. de. Avanços da genética biométrica florestal. In: ENCONTRO SOBRE TEMAS DE GENÉTICA E MELHORAMENTO "GENÉTICA BIOMÉTRICA VEGETAL", 14., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Ed. ESALQ/USP, 1997a. p. 20-46.
- RESENDE, M. D. V. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2002. 975 p.
- RESENDE, M. D. V. de. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: EMBRAPA Floresta, 2007a. 360 p.
- RESENDE, M. D. V. de. Melhoramento genético de essências florestais. In: SIMPÓSIO SOBRE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1997, Lavras. **Anais...** Lavras: Ed. UFLA, 1997b. p. 59-93.
- RESENDE, M. D. V. de. **SELEGEN-REM/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos**. Colombo: EMBRAPA Floresta, 2007b. 360 p.
- RESENDE, M. D. V. de et al. Estimativas de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos no melhoramento do cafeeiro pelo procedimento REML/BLUP. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 3, p. 185-193, 2001.
- SERA, T. **Estimação dos componentes da variância e do coeficiente de determinação genotípica da produção de grãos de café (*Coffea arabica* L.)**. 1980. 62 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1980.
- SERA, T. **Possibilidade de emprego de seleção nas colheitas iniciais de café (*Coffea arabica*.cv. Acaia)**. 1987. 147 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, Universidade de São Paulo, 1987.

SILVA, F. M. et al. Effects of manual harvesting on coffee (*Coffea arabica* L.) crop biannuality in Ijaci, Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 625-632, maio/jun. 2010.

SISTEMA DE MONITORAMENTO AGROMETEOROLÓGICO. Disponível em: <<https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/Estatisticas/index.jsp?siglaUF=ES>>. Acesso em: 1 out. 2018.

SQUILASSI, M. G. **Interação de genótipos com ambientes**. Aracajú: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 2003. 47 p.

SRINIVSA, C. S.; VISHERSHWRA, S.; SUAVAMANYA, H. Genotype enviromental interation and heritability yield in *Coffe arabica* L. **Journal of Coffee Resarch**, Balehonnur, v. 9, p. 69-73, 1979.

THOMAZIELLO, R. A. et al. **Café arábica: cultura e técnicas de produção**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2000. 82 p.

VASCONCELOS, E. S. et al. Adaptability and stability of semilate and late maturing soybean genotypes in Minas Gerais state. **Acta Scientiarum**. Agronomy, Maringá, v. 32, p. 411-415, 2010.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496 p.

WINTGENS, J. N. **Coffee: growing, processing, sustainable production**. New York: Wiley, 2004.

WRICKE, G.; WEBER, W. E. **Quantitative genetics and selection in plant breeding**. Berlin: Walter de Gruyter, 1986. 406 p.

YAN, W. K. et al. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. **Crop Science**, Madison, v. 40, p. 597-605, 2000.

ANEXO A - Tabelas

Tabela A1. Médias dos genótipos de Icatu em Campos Altos e Capelinha.

| Tratamentos | | Produtividade média de cada tratamento em sacas por hectare (sc/ha) | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|--------------------------------|---|-------|------|-------|------|-------|-------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| | | Campos Altos | | | | | | | Capelinha | | | | | | |
| Nº | Descrição | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | Média geral | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | Média geral |
| 1 | IAC 2942 | 10.32 | 60.51 | 2.32 | 95.89 | 2.32 | 95.89 | 44.54 | 24.05 | 18.10 | 12.30 | 28.56 | 12.30 | 28.56 | 20.64 |
| 2 | IAC 2944 | 4.47 | 44.14 | 4.47 | 93.41 | 4.47 | 93.41 | 40.73 | 17.95 | 16.55 | 31.84 | 17.18 | 31.84 | 17.18 | 22.09 |
| 3 | IAC 3282 | 10.81 | 57.33 | 3.69 | 75.89 | 3.69 | 75.89 | 37.88 | 20.75 | 16.79 | 49.39 | 55.63 | 49.39 | 55.63 | 41.26 |
| 4 | IAC 4040-179 | 7.94 | 34.26 | 5.75 | 67.12 | 5.75 | 67.12 | 31.32 | 10.88 | 11.87 | 30.64 | 15.49 | 30.64 | 15.49 | 19.17 |
| 5 | IAC 4040-181 | 11.26 | 47.61 | 6.87 | 92.35 | 6.87 | 92.35 | 42.88 | 10.76 | 13.40 | 29.50 | 21.03 | 29.50 | 21.03 | 20.87 |
| 6 | IAC 4040-315 | 10.45 | 48.41 | 6.09 | 81.08 | 6.09 | 81.08 | 38.86 | 19.93 | 33.52 | 56.28 | 32.53 | 56.28 | 32.53 | 38.51 |
| 7 | IAC 4042-114 | 15.94 | 50.43 | 6.35 | 87.62 | 6.35 | 87.62 | 42.38 | 15.85 | 20.92 | 40.91 | 38.95 | 40.91 | 38.95 | 32.75 |
| 8 | IAC 4042-222 | 14.32 | 47.95 | 3.91 | 78.37 | 3.91 | 78.37 | 37.80 | 15.57 | 14.58 | 40.93 | 13.54 | 40.93 | 13.54 | 23.18 |
| 9 | IAC 4045 | 8.93 | 41.50 | 4.90 | 73.41 | 4.90 | 73.41 | 34.50 | 9.22 | 23.95 | 12.10 | 20.63 | 12.10 | 20.63 | 16.44 |
| 10 | IAC 4228 | 11.90 | 69.50 | 3.40 | 98.53 | 3.40 | 98.53 | 47.54 | 15.85 | 24.54 | 58.01 | 35.46 | 58.01 | 35.46 | 37.89 |
| 11 | IAC 4782 | 3.87 | 29.63 | 4.37 | 68.78 | 4.37 | 68.78 | 29.96 | 4.13 | 16.24 | 19.71 | 31.49 | 19.71 | 31.49 | 20.46 |
| 12 | IAC 376-4-8 (T ¹) | 7.11 | 45.57 | 0.40 | 61.83 | 0.40 | 61.83 | 29.52 | 28.90 | 22.06 | 36.20 | 26.36 | 36.20 | 26.36 | 29.34 |
| 13 | IAC 376-4-30 (T ¹) | 9.59 | 53.90 | 0.99 | 82.00 | 0.99 | 82.00 | 38.25 | 13.53 | 22.04 | 13.39 | 20.75 | 13.39 | 20.75 | 17.31 |
| 14 | IAC 379-19 (T ¹) | 10.02 | 53.40 | 0.50 | 86.47 | 0.50 | 86.47 | 39.56 | 17.04 | 30.30 | 19.79 | 14.58 | 19.79 | 14.58 | 19.34 |
| 15 | IAC 388-17(T ¹) | 12.83 | 57.53 | 1.19 | 95.63 | 1.19 | 95.63 | 44.00 | 9.45 | 13.08 | 12.05 | 26.28 | 12.05 | 26.28 | 16.53 |

¹T: Testemunha

Tabela A2. Médias dos tratamentos de Catuaí em Campos Altos e Capelinha.

| Tratamentos | | Produtividade média de cada tratamento em sacas por hectare (sc/ha) | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---|---|-------|------|--------|------|--------|-------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| | | Campos Altos | | | | | | | Capelinha | | | | | | |
| Nº | Descrição | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | Média geral | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | Média geral |
| 1 | Catuaí Vermelho IAC-15 | 7.94 | 49.20 | 0.74 | 89.94 | 0.74 | 89.94 | 39.75 | 31.60 | 22.94 | 64.68 | 70.48 | 64.68 | 70.48 | 54.14 |
| 2 | Catuaí Amarelo IAC-17 | 7.67 | 48.68 | 1.59 | 87.30 | 1.59 | 87.30 | 39.02 | 20.56 | 14.92 | 46.83 | 34.84 | 46.83 | 34.84 | 33.14 |
| 3 | Catuaí Amarelo IAC-30 | 7.30 | 54.50 | 1.27 | 92.06 | 1.27 | 92.06 | 41.41 | 31.60 | 18.25 | 86.51 | 37.86 | 86.51 | 37.86 | 49.76 |
| 4 | Catuaí Vermelho IAC-44 | 12.81 | 63.70 | 1.36 | 90.47 | 1.36 | 90.47 | 43.36 | 13.59 | 16.67 | 23.81 | 36.91 | 23.81 | 36.91 | 25.28 |
| 5 | Catuaí Amarelo IAC-47 | 7.30 | 53.76 | 1.89 | 97.61 | 1.89 | 97.61 | 43.34 | 23.41 | 22.86 | 54.76 | 41.35 | 54.76 | 41.35 | 39.75 |
| 6 | Catuaí Vermelho IAC-51 | 11.64 | 58.83 | 1.11 | 110.05 | 1.11 | 110.05 | 48.80 | 17.21 | 20.88 | 32.14 | 47.30 | 32.14 | 47.30 | 32.83 |
| 7 | Catuaí Amarelo IAC-62 | 8.47 | 54.50 | 0.53 | 99.46 | 0.53 | 99.46 | 43.82 | 18.31 | 29.05 | 57.94 | 45.79 | 57.94 | 45.79 | 42.47 |
| 8 | Catuaí Vermelho IAC-72 | 7.20 | 47.19 | 1.75 | 83.07 | 1.75 | 83.07 | 37.34 | 19.40 | 21.75 | 36.51 | 48.18 | 36.51 | 48.18 | 35.09 |
| 9 | Catuaí Vermelho IAC-79 | 4.23 | 38.09 | 0.00 | 68.78 | 0.00 | 68.78 | 29.98 | 15.30 | 14.92 | 33.73 | 24.60 | 33.73 | 24.60 | 24.48 |
| 10 | Catuaí Vermelho IAC-81 | 7.20 | 45.82 | 2.22 | 84.65 | 2.22 | 84.65 | 37.79 | 23.96 | 16.35 | 57.94 | 33.09 | 57.94 | 33.09 | 37.06 |
| 11 | Catuaí Amarelo IAC-86 | 7.89 | 55.56 | 0.53 | 76.72 | 0.53 | 76.72 | 36.32 | 27.98 | 23.97 | 57.94 | 30.95 | 57.94 | 30.95 | 38.29 |
| 12 | Catuaí Vermelho IAC-91 | 10.95 | 50.26 | 1.17 | 76.72 | 1.17 | 76.72 | 36.16 | 17.71 | 20.08 | 28.97 | 35.48 | 28.97 | 35.48 | 27.78 |
| 13 | Catuaí Vermelho IAC-99 | 9.63 | 47.72 | 1.70 | 84.65 | 1.70 | 84.65 | 38.34 | 28.67 | 18.10 | 67.46 | 46.90 | 67.46 | 46.90 | 45.92 |
| 14 | Catuaí Vermelho IAC-100 | 6.88 | 51.85 | 0.00 | 86.24 | 0.00 | 86.24 | 38.53 | 24.70 | 19.52 | 52.78 | 30.08 | 52.78 | 30.08 | 34.99 |
| 15 | Catuaí Vermelho IAC-144 | 8.47 | 55.55 | 1.85 | 99.25 | 1.85 | 99.25 | 44.37 | 20.39 | 14.68 | 38.49 | 23.02 | 38.49 | 23.02 | 26.35 |
| 16 | IAPAR-59 (T ¹) | 9.52 | 44.45 | 3.33 | 66.14 | 3.33 | 66.14 | 32.15 | 16.77 | 8.49 | 28.97 | 21.67 | 28.97 | 21.67 | 21.09 |
| 17 | Rubi MG 1192 (T ¹) | 7.41 | 47.62 | 0.00 | 83.06 | 0.00 | 83.06 | 36.86 | 17.46 | 23.73 | 24.61 | 45.00 | 24.61 | 45.00 | 30.07 |
| 18 | H 1190-11-70-4 (T ¹) | 10.05 | 41.27 | 0.00 | 83.06 | 0.00 | 83.06 | 36.24 | 16.02 | 35.64 | 15.87 | 39.28 | 15.87 | 39.28 | 26.99 |
| 19 | MN IAC-502-9 (T ¹) | 5.03 | 55.02 | 0.00 | 80.95 | 0.00 | 80.95 | 36.99 | 10.82 | 8.73 | 30.95 | 12.38 | 30.95 | 12.38 | 17.70 |
| 20 | Acaiá Cerrado MG 1474 (T ¹) | 8.05 | 49.63 | 0.64 | 73.54 | 0.64 | 73.54 | 34.34 | 13.15 | 9.29 | 21.83 | 5.95 | 21.83 | 5.95 | 13.00 |

¹T: Testemunha

Tabela A3. Médias dos genótipos de Mundo Novo em Campos Altos e Capelinha (continua).

| Tratamentos | | Produtividade média de cada tratamento em sacas por hectare (sc/ha) | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---------------------------------|---|-------|------|-------|------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| | | Campos Altos | | | | | | Capelinha | | | | | | | |
| Nº | Descrição | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | Média geral | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | Média geral |
| 1 | MN IAC 382-14 | 13.29 | 50.99 | 1.16 | 81.38 | 1.16 | 81.38 | 38.23 | 11.47 | 12.30 | 6.70 | 33.48 | 6.70 | 33.48 | 17.36 |
| 2 | LH 2897 | 16.40 | 54.89 | 0.00 | 80.68 | 0.00 | 80.68 | 38.77 | 13.33 | 18.25 | 10.91 | 33.98 | 10.91 | 33.98 | 20.23 |
| 3 | LCP 447 | 11.38 | 60.25 | 0.99 | 66.30 | 0.99 | 66.30 | 34.37 | 10.44 | 12.45 | 7.69 | 25.99 | 7.69 | 25.99 | 15.04 |
| 4 | CP 387-14-11 | 9.36 | 46.06 | 0.60 | 73.44 | 0.60 | 73.44 | 33.91 | 10.30 | 14.83 | 11.41 | 39.24 | 11.41 | 39.24 | 21.07 |
| 5 | MN IAC 502-1 | 13.56 | 50.92 | 0.63 | 80.68 | 0.63 | 80.68 | 37.85 | 6.25 | 10.57 | 0.65 | 25.85 | 0.65 | 25.85 | 11.63 |
| 6 | LCP 403-1 | 9.00 | 42.77 | 0.60 | 85.35 | 0.60 | 85.35 | 37.28 | 12.57 | 17.31 | 7.34 | 61.76 | 7.34 | 61.76 | 28.01 |
| 7 | LH 2931 | 9.89 | 54.75 | 2.15 | 97.87 | 2.15 | 97.87 | 44.11 | 9.23 | 14.68 | 10.91 | 36.86 | 10.91 | 36.86 | 19.91 |
| 8 | MN IAC 515-20 | 10.95 | 64.67 | 0.00 | 88.29 | 0.00 | 88.29 | 42.03 | 12.07 | 20.83 | 12.65 | 36.31 | 12.65 | 36.31 | 21.80 |
| 9 | MN IAC 501-5 | 3.97 | 40.08 | 1.27 | 79.36 | 1.27 | 79.36 | 34.22 | 11.84 | 25.10 | 3.47 | 49.21 | 3.47 | 49.21 | 23.72 |
| 10 | LCP 475 | 12.34 | 45.99 | 0.93 | 70.10 | 0.93 | 70.10 | 33.40 | 15.13 | 16.52 | 16.52 | 38.00 | 16.52 | 38.00 | 23.45 |
| 11 | 1169 C 231 | 14.12 | 56.21 | 0.00 | 79.03 | 0.00 | 79.03 | 38.06 | 7.26 | 19.99 | 5.81 | 41.07 | 5.81 | 41.07 | 20.17 |
| 12 | MN IAC 376-4 | 20.28 | 60.11 | 5.19 | 63.75 | 5.19 | 63.75 | 36.38 | 22.26 | 19.84 | 42.66 | 52.33 | 42.66 | 52.33 | 38.68 |
| 13 | CP 500-11 | 12.30 | 52.38 | 0.20 | 50.70 | 0.20 | 50.70 | 27.74 | 6.45 | 15.72 | 11.66 | 32.84 | 11.66 | 32.84 | 18.53 |
| 14 | CP 464-15 | 10.32 | 47.28 | 1.19 | 79.23 | 1.19 | 79.23 | 36.41 | 6.73 | 10.12 | 9.53 | 46.73 | 9.53 | 46.73 | 21.56 |
| 15 | MN IAC 379-19 (T ¹) | 12.90 | 55.22 | 2.18 | 76.71 | 2.18 | 76.71 | 37.65 | 10.09 | 15.23 | 9.97 | 38.99 | 9.97 | 38.99 | 20.54 |
| 16 | LCP 408 | 13.56 | 53.80 | 1.26 | 72.58 | 1.26 | 72.58 | 35.84 | 13.10 | 19.30 | 7.94 | 42.02 | 7.94 | 42.02 | 22.05 |
| 17 | CP 471-11 | 9.03 | 52.31 | 1.16 | 73.04 | 1.16 | 73.04 | 34.96 | 18.55 | 23.66 | 14.88 | 61.11 | 14.88 | 61.11 | 32.37 |
| 18 | 421-207 | 16.47 | 60.84 | 0.40 | 84.65 | 0.40 | 84.65 | 41.23 | 15.02 | 22.92 | 13.15 | 59.18 | 13.15 | 59.18 | 30.43 |
| 19 | 422 C 19 | 9.42 | 54.89 | 0.50 | 70.27 | 0.50 | 70.27 | 34.31 | 11.64 | 18.65 | 9.97 | 35.77 | 9.97 | 35.77 | 20.29 |
| 20 | 423-104 | 10.58 | 53.76 | 3.18 | 70.10 | 3.18 | 70.10 | 35.15 | 7.94 | 16.12 | 6.15 | 48.42 | 6.15 | 48.42 | 22.20 |
| 21 | 425-44 | 15.64 | 47.88 | 0.83 | 93.51 | 0.83 | 93.51 | 42.03 | 16.44 | 17.96 | 11.91 | 58.68 | 11.91 | 58.68 | 29.26 |
| 22 | 426-188 | 12.43 | 44.44 | 1.68 | 78.12 | 1.68 | 78.12 | 36.08 | 11.71 | 17.02 | 7.94 | 50.94 | 7.94 | 50.94 | 24.41 |
| 23 | 427-494 | 10.48 | 44.64 | 0.83 | 75.26 | 0.83 | 75.26 | 34.55 | 8.77 | 18.35 | 4.96 | 45.14 | 4.96 | 45.14 | 21.22 |

Tabela A3. Médias dos genótipos de Mundo Novo em Campos Altos e Capelinha.

| Tratamentos | | Produtividade média de cada tratamento em sacas por hectare (sc/ha) | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|------------|---|-------|------|--------|------|--------|-------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| | | Campos Altos | | | | | | | Capelinha | | | | | | |
| Nº | Descrição | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | Média geral | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | Média geral |
| 24 | 428-474 | 9.39 | 61.60 | 1.49 | 105.01 | 1.49 | 105.01 | 47.33 | 15.20 | 20.88 | 20.84 | 60.17 | 20.84 | 60.17 | 33.01 |
| 25 | 429-315 | 13.43 | 58.39 | 0.00 | 84.18 | 0.00 | 84.18 | 40.03 | 12.17 | 23.32 | 6.35 | 56.45 | 6.35 | 56.45 | 26.85 |
| 26 | 430-276 | 7.77 | 51.91 | 0.20 | 72.75 | 0.20 | 72.75 | 34.26 | 12.87 | 16.87 | 13.89 | 50.79 | 13.89 | 50.79 | 26.52 |
| 27 | 432-293 | 12.47 | 61.30 | 0.00 | 69.77 | 0.00 | 69.77 | 35.55 | 8.07 | 18.45 | 19.20 | 56.25 | 19.20 | 56.25 | 29.57 |
| 28 | 436-539 | 8.60 | 40.67 | 1.32 | 85.97 | 1.32 | 85.97 | 37.31 | 11.68 | 17.06 | 5.70 | 42.46 | 5.70 | 42.46 | 20.84 |
| 29 | 437-416 | 10.32 | 48.61 | 0.33 | 76.71 | 0.33 | 76.71 | 35.50 | 11.81 | 16.32 | 9.18 | 50.30 | 9.18 | 50.30 | 24.51 |
| 30 | 442-213 | 11.64 | 54.89 | 0.33 | 69.44 | 0.33 | 69.44 | 34.34 | 5.06 | 16.57 | 5.46 | 42.61 | 5.46 | 42.61 | 19.63 |
| 31 | 452-163 | 11.91 | 41.00 | 0.83 | 69.69 | 0.83 | 69.69 | 32.32 | 13.43 | 11.51 | 15.13 | 23.32 | 15.13 | 23.32 | 16.97 |
| 32 | 453-283 | 10.19 | 52.44 | 0.00 | 55.11 | 0.00 | 55.11 | 28.81 | 8.53 | 16.22 | 6.55 | 38.40 | 6.55 | 38.40 | 19.11 |
| 33 | 458-309 | 13.56 | 55.09 | 0.76 | 84.98 | 0.76 | 84.98 | 40.02 | 16.01 | 21.28 | 25.55 | 52.33 | 25.55 | 52.33 | 32.17 |
| 34 | 464-174 | 10.58 | 54.89 | 0.66 | 89.28 | 0.66 | 89.28 | 40.89 | 7.04 | 15.13 | 5.71 | 36.21 | 5.71 | 36.21 | 17.67 |
| 35 | 464-5-10-4 | 10.65 | 60.64 | 0.00 | 80.35 | 0.00 | 80.35 | 38.66 | 1.42 | 3.42 | 9.33 | 31.55 | 9.33 | 31.55 | 14.43 |

¹T: Testemunha