

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

**ANA LAURA NICOMEDES CARNEIRO**

**POTENCIAL DE FAMÍLIAS E POPULAÇÕES DE FEIJÃO CARIOCA ORIUNDAS  
DE DOIS CICLOS DE SELEÇÃO RECORRENTE**

**VIÇOSA – MINAS GERAIS  
2021**

**ANA LAURA NICOMEDES CARNEIRO**

**POTENCIAL DE FAMÍLIAS E POPULAÇÕES DE FEIJÃO CARIOCA ORIUNDAS  
DE DOIS CICLOS DE SELEÇÃO RECORRENTE**

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

Orientador: José Eustáquio de Souza Carneiro

**VIÇOSA – MINAS GERAIS  
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

C289p  
2021  
Carneiro, Ana Laura Nicomedes, 1996-  
Potencial de famílias e populações de feijão carioca  
oriundas de dois ciclos de seleção recorrente / Ana Laura  
Nicomedes Carneiro. – Viçosa, MG, 2021.  
47 f. : il. ; 29 cm.

Orientador: José Eustáquio de Souza Carneiro.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f. 41-47.

1. Feijão - Melhoramento genético. 2. Índice de seleção.  
3. Predição. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de  
Fitotecnia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 635.652

**ANA LAURA NICOMEDES CARNEIRO**

**POTENCIAL DE FAMÍLIAS E POPULAÇÕES DE FEIJÃO CARIOCA ORIUNDAS  
DE DOIS CICLOS DE SELEÇÃO RECORRENTE**

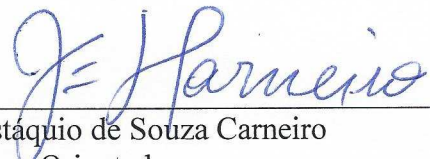
Dissertação apresentação à Universidade Federal de Viçosa, como exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 15 de março de 2020.

Assentimento:

  
Ana Laura Nicomedes Carneiro

Autora

  
José Eustáquio de Souza Carneiro

Orientador

A Deus e aos meus pais.

Às minhas avós e aos meus avôs (*in memoriam*).

À minha querida Tia Dalva (*in memoriam*).

E aos meus amigos de caminhada.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus por ser meu alicerce e me amparar nos momentos difíceis.

Agradeço aos meus pais, Ilma e Jésus Flaviano, por todo apoio, carinho, amor e por não medirem esforços para que meus sonhos sejam alcançados. À vó Filita e Albertina pelas orações e ensinamentos de vida.

A todos os professores que compartilharam o seu conhecimento durante esta jornada para contribuição em minha formação profissional.

À Universidade Federal de Viçosa e ao programa de Pós-Graduação em Fitotecnia pela oportunidade de realizar o mestrado.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pela concessão da bolsa e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG). À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código Financeiro 001 pelo apoio a este trabalho.

Em especial agradeço ao meu orientador, o professor José Eustáquio de Souza Carneiro por todo ensinamento e pelo suporte durante esses anos.

A todos os colegas do Programa Feijão pela ajuda na condução dos experimentos e pelo companheirismo. Agradeço também ao Gilberto e todos os funcionários da UEPE – Coimbra pelo apoio durante a realização dos experimentos.

Aos meus amigos, em especial à Angélica, Gabriela e Daiane, por sempre estarem presentes e por tornarem a caminhada mais leve e feliz.

Aos meus anjos no céu Vô Ieié e Tia Dalva.

**MUITO OBRIGADA!**

## **BIOGRAFIA**

ANA LAURA NICOMEDES CARNEIRO, filha de Ilma Aparecida Nicomedes Carneiro e J3sus Flaviano de Souza Carneiro, nasceu em Presidente Bernardes, Minas Gerais, Brasil, em 11 de abril de 1996.

Concluiu o Ensino Fundamental no ano de 2010 na Escola Estadual Padre Vicente de Carvalho em Presidente Bernardes. Em 2013, concluiu o Ensino M3dio no Col3gio 3gora em Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

Em 2014 ingressou no curso de agronomia na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. Durante a graduaç3o entre os anos de 2016 a 2018 foi bolsista de iniciaç3o cient3fica no Programa Feij3o. Obteve o t3tulo de Engenheira Agr3noma em janeiro de 2019 pela Universidade Federal de Viçosa.

Em març3o de 2020 iniciou o curso de P3s-graduaç3o em Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa e submeteu-se 3 defesa em març3o de 2021.

## RESUMO

CARNEIRO, Ana Laura, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2021. **Potencial de famílias e populações de feijão carioca oriundas de dois ciclos de seleção recorrente.** Orientador: José Eustáquio de Souza Carneiro.

Dentre as estratégias utilizadas no melhoramento do feijoeiro, a seleção recorrente tem se mostrado muito eficiente, com ganhos significativos para os vários caracteres de interesse. O objetivo geral com este trabalho foi dar continuidade ao Programa de Seleção Recorrente desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa visando o melhoramento do feijão tipo carioca. Como objetivos específicos têm-se: avaliar o potencial de famílias do ciclo C<sub>II</sub> para derivação de linhagens, visando à composição de futuros ensaios de Valor de Cultivo e Uso; e avaliar o potencial de populações e famílias do ciclo C<sub>III</sub>, visando à seleção de famílias para a recombinação. Todos os experimentos foram conduzidos na Unidade de Ensino Pesquisa e Extensão de Coimbra (UEPE Coimbra), em Coimbra, Minas Gerais. Foram avaliadas 50 famílias do C<sub>II</sub>, juntamente com quatro testemunhas, nas safras da seca e das águas de 2019, em blocos casualizados, com três repetições. A avaliação das 20 populações segregantes F<sub>2</sub> do C<sub>III</sub>, juntamente com cinco testemunhas, foi realizada na safra da seca de 2019, no delineamento em látice quadrado triplo. Além disso, foram avaliadas 380 famílias F<sub>2:3</sub> do C<sub>III</sub> juntamente com 20 testemunhas, na safra das águas de 2019, em látice quadrado simples. Nos experimentos das famílias do C<sub>II</sub>, foram avaliados arquitetura de plantas, o aspecto comercial dos grãos e a produtividade. Nos demais experimentos, avaliou-se somente a produtividade de grãos. Para selecionar as melhores famílias para extração de linhagens, utilizou-se o índice da distância genótipo-ideótipo. Já para prever o potencial das populações F<sub>2</sub> utilizou-se a metodologia proposta por Jinks e Pooni (1976). Foi observado efeito significativo de genótipos para todos os caracteres avaliados. Identificaram-se pelo menos 10 populações F<sub>2</sub> (C<sub>III</sub>) com potencial de originar linhagens que superem a testemunha Pérola em relação à produtividade de grãos. Dentre as 30 famílias F<sub>2:3</sub> com maiores médias de produtividade, 18 foram derivadas das 10 melhores populações F<sub>2</sub> classificadas pela metodologia de Jinks e Pooni (1976). O índice da distância genótipo-ideótipo mostrou-se eficiente na seleção de famílias, possibilitando ganhos mais equilibrados para os três caracteres sob seleção.

Palavras-chave: Índice de seleção. Predição do potencial de populações. Melhoramento do feijoeiro

## ABSTRACT

CARNEIRO, Ana Laura, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2021. **Potencial of families and populations of carioca beans from two recurrent selection cycles.** Advisor: José Eustáquio de Souza Carneiro.

Among the strategies used in common bean, recurrent selection has been shown to be very efficient, with significant gains for the various characters of interest. Thus, the general objective was to continue the Recurrent Selection Program developed at UFV focusing on improvements for carioca beans. The specific objectives are: to evaluate the potential of  $C_{II}$  cycle families for derivation of lines, aiming at the composition of future VCU tests; and assess the potential of  $C_{III}$  populations and families, aiming select families for recombination. All experiments were conducted at UEPE - Coimbra, Minas Gerais. Fifty families of the  $C_{II}$  were evaluated, together with four checks, in the drought and water seasons of 2019, in randomized blocks, with three replications. The evaluation of the 20 segregating  $F_2$  populations of the  $C_{III}$ , together with five checks, was carried out in the 2019 dry season, in a triple square lattice design. In addition, 380  $F_{2:3}$  families from the  $C_{III}$  were evaluated together with 20 checks, in the 2019 water season, in a simple square lattice. In the experiments of the families of the  $C_{II}$ , the characteristics of plant architecture, commercial aspect of grains and grain yield were evaluated. In the other experiments, only grain yield was evaluated. To select the best families for extracting lines, the genotype-ideotype distance index was used. To predict the potential of  $F_2$  populations, the methodology proposed by Jinks and Pooni (1976) was used. A significant effect of genotypes was observed for all traits evaluated, indicating that there is a significant difference both between population means and between family means. At least 10  $F_2$  populations ( $C_{III}$ ) have been identified with the potential to originate lines that exceed the Pérola control in relation to grain productivity. Among the 30  $F_{2:3}$  families with the highest productivity averages, 18 were derived from the 10 best  $F_2$  populations classified by the methodology of Jinks and Pooni (1976). Finally, the genotype-ideotype distance index proved to be efficient in selecting families from the  $C_{II}$ , enabling more balanced gains for the three characters under selection.

Keywords: Selection index. Prediction of population potential. Breeding of common bean

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. OBJETIVOS.....	10
2.1. Objetivo geral .....	10
2.2. Objetivos específicos .....	10
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	10
3.1. Cultivo do feijoeiro no Brasil .....	10
3.2. Melhoramento do feijoeiro no Brasil.....	11
3.3. Métodos de melhoramento e seleção na cultura do feijoeiro.....	13
3.3.1. Introdução de plantas .....	14
3.3.2. Seleção de linhas puras .....	14
3.3.3. Hibridação .....	15
3.4. Seleção Recorrente .....	18
3.5. Predição do potencial de populações segregantes .....	20
3.6. Seleção de linhagens para composição dos Ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) .....	22
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
4.1. Local de condução dos experimentos .....	24
4.2. Obtenção das famílias do ciclo dois (C <sub>II</sub> ) .....	24
4.3. Avaliações das famílias F <sub>2:6</sub> e F <sub>2:7</sub> do ciclo dois (C <sub>II</sub> ).....	24
4.4. Obtenção da população e famílias do ciclo três (C <sub>III</sub> ).....	26
4.5. Avaliação de populações F <sub>2</sub> do ciclo três (C <sub>III</sub> ) .....	27
4.6. Avaliação das famílias F <sub>2:3</sub> (C <sub>III</sub> ).....	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	29
5.1. Avaliação das famílias F <sub>2:6</sub> e F <sub>2:7</sub> do ciclo dois (C <sub>II</sub> ).....	29
5.2. Avaliação de populações segregantes F <sub>2</sub> do ciclo três (C <sub>III</sub> ).....	34
5.3. Avaliação de famílias F <sub>2:3</sub> do ciclo três (C <sub>III</sub> ).....	37
6. CONCLUSÕES .....	41
7. REFERÊNCIAS .....	41

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores de feijão, ocupando o terceiro lugar no ranking mundial (FAOSAT, 2020). Entretanto quando se considera apenas a produção do feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), o Brasil assume a primeira colocação mundial. O feijão compõe diariamente o prato do brasileiro sendo fonte de vitaminas, proteínas, ferro, magnésio e zinco, principalmente para a população economicamente menos favorecida (UMEDA, 2017).

No Brasil são cultivados vários tipos comerciais do feijão-comum, porém a preferência nacional é pelo tipo carioca, ou seja, grãos com cor de fundo creme e estrias marrom-claro. Segundo Alves (2012), a produção do feijão tipo carioca corresponde a 70% da produção nacional. Por isso, a maioria dos esforços dos programas de melhoramento no país são destinados a desenvolver novas cultivares superiores com esse tipo de grão.

No Brasil, os programas de melhoramento de feijão se concentram no setor público e são realizados pelas universidades e várias instituições de pesquisa (BARILI et al., 2016; VIEIRA et al., 2005). Os principais objetivos com o melhoramento de feijão são o desenvolvimento de cultivares mais produtivas, resistentes aos estresses bióticos (pragas e doenças) e abiótico (déficit hídrico), com arquitetura de planta que favoreça a colheita mecanizada e com melhor qualidade comercial, nutricional e tecnológica de grãos (AMABIELE et al., 2018; TSUTSUMI et al., 2015).

Como são vários os caracteres que se almeja melhorar no feijoeiro, é impossível obter linhagens que reúnam os vários fenótipos de interesse num único ciclo seletivo (MENEZES JÚNIOR et al., 2008). Uma forma de contornar este problema é o emprego da seleção recorrente. Segundo Hallauer (1985), a seleção recorrente é um processo cíclico que visa o aumento gradativo da frequência dos alelos favoráveis por meio de repetidos ciclos de seleção e recombinação. Além de promover o melhoramento populacional, ao final de cada ciclo é possível extrair linhagens superiores, uma vez que, as avaliações e a seleção das progênes ocorrem de forma contínua (CARGNIN, 2007). Dessa forma, o melhorista obtém novas linhagens que podem ser incluídas nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) para avaliação e recomendação como novas cultivares.

No estado de Minas Gerais, a recomendação de novas cultivares é feita por meio de um convênio envolvendo a Universidade Federal de Viçosa (UFV), a Universidade Federal de Lavras (UFLA), a Embrapa e a Epamig. Já a obtenção de linhagens está a cargo da UFV, UFLA e Embrapa. A principal estratégia utilizada por estes programas é a seleção recorrente. Assim, foram estabelecidos alguns programas de seleção recorrente, e um destes vem sendo

conduzido na UFV. O objetivo do programa de seleção recorrente da UFV é obter linhagens de feijão tipo carioca que reúna fenótipos de interesse relacionados à qualidade comercial dos grãos, arquitetura de planta para colheita mecanizada, potencial de produção e resistência a patógenos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Dar continuidade ao programa de Seleção Recorrente da UFV visando o melhoramento do feijão tipo carioca.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Avaliar o potencia de famílias do ciclo C<sub>II</sub> para derivação de linhagens visando à composição de futuros ensaios de VCU;
- Avaliar o potencial de famílias e populações do ciclo C<sub>III</sub>, visando à seleção de famílias para recombinação.

## **3. REVISÃO DE LITERATURA**

### **3.1. Cultivo do feijoeiro no Brasil**

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das culturas mais importantes e mais cultivadas no Brasil e no mundo. Além do aspecto econômico, o feijão possui grande importância social, uma vez que, contribui para a segurança alimentar e nutricional de muitos países (POSSE et al., 2010). Por ser fonte de proteínas, zinco, magnésio, ferro, cálcio e vitaminas (principalmente do complexo B) é um alimento de grande valor nutricional que compõe diariamente a base da alimentação da população brasileira, principalmente das classes sociais economicamente menos favorecidas (BORÉM; CARNEIRO, 2015; UMEDA, 2017).

No Brasil o cultivo do feijão é bem diversificado, sendo produzido individualmente ou consorciado com outras culturas. O seu cultivo se concentra nas pequenas e médias propriedades com adoção de um sistema produtivo no qual é empregado predominantemente mão de obra familiar e baixa tecnologia. Porém, nota-se que nos últimos anos houve aumento do cultivo de feijão em extensas áreas realizado por grandes produtores que empregam insumos de alta tecnologia e irrigação (FARIAS, 2018; MOURA; BRITO, 2015).

A época de cultivo do feijão no Brasil é distribuída ao longo do ano compreendendo três safras. A primeira safra, também denominada safra das águas, é semeada entre os meses de agosto e dezembro. Na safra das águas as regiões nas quais se concentra o cultivo são a

Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Sul da Bahia. A segunda safra, ou safra da seca, é semeada entre os meses de janeiro e abril. Esta safra abrange todos os estados brasileiros, mas com destaque para o Nordeste. Em anos normais, esta região contribui com cerca de mais de 50% da produção da safra da seca. Por fim, tem-se a terceira safra, ou safra de inverno. A semeadura de feijão neste caso é realizada de maio a julho dependendo da região de cultivo. Nesta safra as lavouras devem contar com irrigação obrigatoriamente, visto que no Brasil nessa época do ano há escassez de chuva na maioria dos estados produtores. A safra do inverno concentra-se nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Goiás e Bahia (MOURA; BRITO, 2015; LOLLATO et al., 2001).

Segundo dados da FAOSAT (2020), o Brasil está entre os dez maiores produtores mundiais de feijão assumindo a terceira posição no ranking. Porém, quando é considerada apenas a produção do feijão-comum o país assume a primeira colocação mundial. Na safra 2019/2020 a produção brasileira desta leguminosa foi de 3,22 milhões de toneladas com uma área plantada de 2,93 milhões de hectares, o que corresponde a uma produtividade de 1104 kg.ha<sup>-1</sup>. Já na safra 2020/2021, segundo as estimativas da Série Histórica das Safras, a área cultivada com feijão será de 2,93 milhões de hectares com uma produção de 3,12 milhões de toneladas, o que equivale a uma produtividade de 1065 kg.ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2021). Ressalta-se que os dados da CONAB consideram também a produção do feijão-caupi (*Vigna unguiculata*).

O feijão-comum possui vários tipos comerciais, sendo que a preferência da população por um tipo é bem regionalizada. Como exemplo, podemos citar o caso do feijão vermelho, que é o preferido na Zona da Mata mineira, e o feijão preto que é o mais consumido nos estados do Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro, Santa Catarina e parte do Paraná (BORÉM; CARNEIRO, 2015). Porém, a preferência nacional é pelo feijão tipo carioca, ou seja, o feijão com grão de fundo creme e estrias marrom-claro. Segundo Alves (2012), o feijão carioca é o mais consumido e cultivado no Brasil. A produção do feijão carioca corresponde a mais de 70% da produção nacional desta leguminosa.

### **3.2. Melhoramento do feijoeiro no Brasil**

O melhoramento de plantas no Brasil tem mostrado resultados promissores ao longo dos anos, contribuindo para o aumento da produtividade agrícola (BARILI et al., 2016). Isso foi possível graças ao desenvolvimento de cultivares adaptadas às diferentes condições edafoclimáticas do país, assegurando assim maior segurança alimentar (BORÉM; MIRANDA, 2013). No caso do feijoeiro, o melhoramento genético associado à incorporação

de tecnologias e investimento no setor produtivo gerou um aumento expressivo na produtividade da cultura. Para ter uma ideia, em meados da década de 1970 a produtividade do feijoeiro era de aproximadamente 500 kg.ha<sup>-1</sup>, atualmente na safra 2019/2020, a produtividade da cultura atingiu 1104 kg.ha<sup>-1</sup> (BARILI, 2015; CONAB, 2021).

No Brasil as instituições que realizam o melhoramento do feijoeiro se concentram no setor público (BARILI et al., 2016). De acordo com Ramalho e Abreu (2015), dentre os principais programas de melhoramento do feijoeiro do país destacam-se os conduzidos pela EMBRAPA Arroz e Feijão, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Instituto Agronômico de Campinas (IAC), Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA), EMBRAPA Clima Temperado e Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG).

Atualmente, entre os objetivos que se almeja alcançar com o melhoramento do feijoeiro destacam-se: o potencial de produção; melhoria da arquitetura de planta visando à colheita mecanizada; resistência a estresses bióticos e abióticos; precocidade; uniformidade; melhoria da qualidade dos grãos (tecnológica, nutricional e comercial) e cultivares com melhor fixação biológica de nitrogênio (AMABIELE et al., 2018; TSUTSUMI et al., 2015).

Em Minas Gerais, a UFV e a UFLA possuem programas ativos de melhoramento do feijoeiro sendo, portanto, responsáveis pelo desenvolvimento de novas linhagens. A etapa de avaliação das linhagens nos ensaios de VCU é realizada de forma cooperativa por meio do Convênio “Melhoramento de Feijoeiro para o Estado de Minas Gerais” firmado entre as duas instituições, além da EMBRAPA e EPAMIG. O convênio firmado em 2002 tem como objetivo desenvolver cultivares dos grupos comerciais (carioca e preto) e da classe de cores com grãos de boa aceitação comercial, produtivas, resistentes às principais doenças que acometem a cultura e com porte ereto (ABREU; PELOSO, 2004).

Como o feijão tipo carioca é o preferido nacionalmente pelos agricultores e consumidores brasileiros, os programas de melhoramento direcionam seus esforços para o desenvolvimento e lançamento de cultivares com este tipo de grão que superem as já recomendadas (CUNHA et al., 2005). A primeira cultivar de feijão tipo carioca foi recomendada na década de 1970 pelo IAC (ALMEIDA et al., 1971). A cultivar Carioca era 30% mais produtiva que as recomendadas na época. Além disso, foi responsável por profundas alterações no padrão de grãos produzidos e consumidos no Brasil (ALMEIDA et al., 2000). Ao longo dos anos, como resultado do trabalho dos programas de melhoramento, foram lançadas no mercado brasileiro diversas cultivares de feijão tipo carioca. Entretanto,

devido a não aceitação por parte dos consumidores estas deixaram de ser cultivadas após alguns anos (RAMALHO; ABREU, 2006).

Em 1994, a Embrapa Arroz e Feijão lançou a cultivar Pérola, que pelo seu potencial produtivo e aspecto comercial de grãos, tornou-se uma das mais importantes cultivares de feijão tipo carioca do país (EMBRAPA, 2015; ALVES, 2012). Entre os anos de 2001 e 2003 foram recomendadas pela EMBRAPA, isoladamente ou em parceria com as outras instituições que compõe o convênio, três cultivares de feijão tipo carioca para o Estado de Minas Gerais: BRSMG Talismã, BRS Pontal e BRS Requite. Todas estas cultivares apresentaram produtividade superior às cultivares recomendadas na época (Carioca e Pérola usadas como testemunhas nos ensaios experimentais). Além disso, possuíam resistência a no mínimo duas raças de antracnose (ABREU; PELOSO, 2004).

A EMBRAPA em 2009 lançou a cultivar BRS Estilo que se destacava pelo porte ereto, alto potencial produtivo e resistência ao mofo-branco e antracnose (MELO et al., 2009). No ano de 2012 através do convênio “Melhoramento de Feijoeiro para o Estado de Minas Gerais” foi recomendada aos produtores a cultivar BRSMG Madrepérola. Esta cultivar de feijão tipo carioca se destacou das demais já lançadas no mercado por manter a coloração clara dos grãos por maior período de tempo. Esta característica da cultivar é muito interessante, já que os consumidores associam a coloração escura do tegumento a um longo tempo de armazenamento e a um maior tempo para cocção. Aliado a isto, a cultivar apresenta alto potencial produtivo e resistência às principais doenças que acometem a cultura do feijoeiro na região para qual foi recomendada (ABREU et al., 2011). Mais recentemente, foi recomendada pelo convênio a cultivar BRSMG Uai, de porte ereto (ABREU et al., 2018).

### **3.3. Métodos de melhoramento e seleção na cultura do feijoeiro**

Há diversos métodos que podem ser utilizados para conduzir um programa de melhoramento. Diante disso, a escolha do método mais adequado é um dos passos primordiais para obter sucesso com o melhoramento. É comum nos programas de melhoramento em vez de utilizar somente um método, fazer o uso de uma combinação destes (TSUTSUMI et al., 2015).

Segundo Borém e Miranda (2013) os principais métodos de melhoramento comuns às plantas autógamas são: introdução de plantas, seleção de linhas puras e a hibridação.

### **3.3.1. Introdução de plantas**

A introdução de plantas é considerada um dos métodos mais fáceis e rápidos de fazer melhoramento. Este método consiste na introdução do material, avaliação do desempenho agronômico, seleção, multiplicação e disponibilização dos melhores materiais aos produtores (BORÉM; MIRANDA, 2013).

O método é indicado quando o objetivo é introduzir o cultivo de uma cultura em um país ou região onde ela ainda não foi implantada. Além disso, a introdução de plantas pode ser utilizada para aumentar a base genética. Isto permite que sejam disponibilizados novos genes e características que não estão presentes no germoplasma disponível aos melhoristas. A introdução pode ser realizada de duas formas: direta e indireta. Através da forma direta, o material é avaliado e se aprovado é liberado para uso da maneira como foi introduzido, isto é, como cultivar. Já na forma indireta, o material introduzido não é recomendado como cultivar, mas sim utilizado em cruzamentos com as cultivares recomendadas e adaptadas à região (BESPALHOK et al., 2007a).

No início do melhoramento do feijoeiro no Brasil, a introdução de plantas foi um dos métodos mais utilizados pela maioria dos programas. As linhagens de feijão introduzidas do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) eram avaliadas por meio de experimentos em regiões representativas e as que se destacavam eram recomendadas aos produtores. Dessa forma, diversas cultivares foram recomendadas e cultivadas pelos agricultores durante muitos anos (ALVES, 2012).

A cultivar de feijão preto Rico 23 é um exemplo do uso direto de germoplasma introduzido. Esta cultivar foi introduzida da Costa Rica em 1954 pelo professor Clibas Vieira. Pelo destaque das suas características agronômicas nas avaliações comparativas a cultivar foi lançada e disponibilizada aos produtores de Minas Gerais no ano de 1959, tornando-se a primeira cultivar lançada pelo programa de melhoramento da UFV (VIERIA, 2005; BORÉM; MIRANDA, 2013). Outra cultivar de feijão preto introduzida foi a Ouro Negro. Sua introdução foi realizada em 1991 e até os dias atuais é muito utilizada pelos agricultores. Algumas das cultivares de feijão tipo carioca também são oriundas da introdução de linhagens do CIAT, como exemplos citam-se as cultivares Rio Doce e Rudá (ALVES, 2012; ZIMMERMAN et al., 1996).

### **3.3.2. Seleção de linhas puras**

Como o feijoeiro é cultivado principalmente por pequenos produtores como cultura de subsistência, é comum a utilização dos grãos colhidos como sementes na safra seguinte. Com

isso, espera-se que haja uma variabilidade devido à ocorrência de mutações e cruzamentos naturais. Sendo assim, a segunda estratégia de melhoramento utilizada no feijoeiro visa o aproveitamento desta variabilidade natural e é denominada de seleção de linhas puras (CARNEIRO, 2002).

A seleção de linhas puras baseia-se na seleção de plantas individuais e na avaliação independente de cada progênie. Neste método as plantas superiores são selecionadas dentro de uma população que apresente variabilidade genética. As plantas selecionadas são colhidas individualmente e suas sementes constituirão uma progênie. Estas progênies serão plantadas em linhas e avaliadas por meio dos testes de progênies. A linha pura selecionada através destes testes deverá passar por vários ensaios comparativos com repetições em épocas e locais diferentes e, assim poderá ser lançada no mercado como uma nova cultivar (BESPALHOK et al., 2007b).

A cultivar Carioca é um exemplo de sucesso do emprego desse método de melhoramento. A cultivar foi obtida através da seleção de plantas da lavoura de feijão “chumbinho opaco”, que era cultivado em alguns municípios no estado de São Paulo. Os grãos das plantas selecionadas foram enviados para o IAC. Após as avaliações preliminares passou a ser recomendada para cultivo, uma vez que, foi constatada a sua superioridade em termos de produtividade, resistência às doenças e qualidades culinárias. Durante a década de 70, a cultivar Carioca foi a mais cultivada e comercializada no estado de São Paulo com grande aceitação comercial. Essa cultivar passou a ser a preferida do consumidor paulista e anos mais tarde tornou-se a cultivar mais plantada no país (ALVES, 2012; WUTKE; ALMEIDA, 2017).

### **3.3.3. Híbridaçã**

Segundo Borém e Miranda (2013), a híbridaçã é a uniã de gametas geneticamente diferentes que resulta em indivíduos híbridos heterozigóticos para um ou mais *loci*. A técnica da híbridaçã é a principal alternativa utilizada pelos melhoristas para gerar variabilidade, assim como é a estratégia mais utilizada atualmente para desenvolver novas cultivares de feijão (RAMALHO et al., 2012; RAMALHO; ABREU, 2015). Em plantas autógamas a utilizaçã da híbridaçã visa reunir na nova linhagem os alelos favoráveis presentes em dois ou mais genitores (BESPALHOK et al., 2007c). Estes genitores podem ser cultivares já recomendadas ou linhagens elite do programa de melhoramento.

No caso do feijão, uma espécie autógama, a híbridaçã é feita de forma artificial. O primeiro passo para realizar o cruzamento é a emasculaçã da flor que será utilizada como

genitor feminino. É importante frisar que a emasculação deve ser realizada antes das anteras liberarem o pólen. Feito isto, é coletado o pólen do genitor masculino e depositado sobre o estigma da flor que foi emasculada.

Em um programa de melhoramento conduzido por hibridação o melhorista tem que tomar decisões importantes em determinadas etapas. Dentre elas estão: escolhas dos genitores, obtenção da população segregante e condução da população segregante (CARNEIRO, 2002; RAMALHO et al., 2012).

### **3.3.3.1. Escolha dos genitores**

A escolha dos genitores é uma etapa de extrema importância e deve ser realizada de forma muito criteriosa, uma vez que, irá determinar o sucesso na obtenção das cultivares e, qualquer erro cometido nesta etapa afetará todo o processo levando à perda de recursos e de tempo (SANTOS et al., 2015; MENDONÇA, 2001). A escolha correta dos genitores que serão utilizados nos cruzamentos depende de alguns fatores, tais como: a fonte de gemoplasma disponível, os caracteres que se deseja melhorar e o controle genético destes (FEHR, 1987).

Quando o caráter de interesse apresenta herança qualitativa, ou seja, é governado por poucos genes e sofre pouca ou nenhuma influência do ambiente a escolha dos genitores é mais fácil. Pois, neste caso basta cruzar o genitor que porta os alelos favoráveis com outro que apresente os caracteres agrônômicos desejáveis para a cultura. Por outro lado, se a herança do caráter a ser melhorado for quantitativa, isto é, controlada por muitos genes e muito influenciada pelo ambiente, a escolha dos genitores não é mais tão simples (MENDONÇA, 2001). Sendo assim algumas metodologias estão disponíveis e podem ser usadas pelos melhoristas no momento da tomada de decisão. Dentre elas citam-se: o desempenho “per se” dos pais; divergência genética entre os pais; e comportamento das progênes oriundas dos cruzamentos (ABREU, 1997; BAENZIGER; PETERSON, 1991).

### **3.3.3.2. Obtenção das populações segregantes**

Uma das alternativas para a obtenção das populações segregantes são os cruzamentos envolvendo dois genitores, denominados de biparentais ou simples. Além do cruzamento simples, outra opção que envolve somente dois genitores são os retrocruzamentos. Já quando se utilizam três genitores, a população segregante resultante são os híbridos triplos, e no caso de quatro genitores são obtidos os híbridos duplos (BORÉM; MIRANDA, 2013).

Quando se opta por utilizar somente dois genitores, a população resultante terá 50% dos alelos dos envolvidos. Porém, como no feijoeiro a maioria dos caracteres apresenta herança quantitativa, há grande dificuldade para encontrar dois genitores que têm todos os alelos favoráveis para todos os caracteres que se deseja melhorar (CARNEIRO, 2002). Uma opção para contornar este problema seria o emprego dos cruzamentos múltiplos ou complexos nos quais são utilizados mais de quatro genitores. Já que, com o aumento do número de genitores o número de alelos favoráveis na população segregante para cada *locus* também aumenta. Entretanto, o emprego dos cruzamentos múltiplos possui algumas desvantagens como: o elevado tamanho da população F<sub>1</sub> para manter os alelos favoráveis de todos os genitores e baixa probabilidade de obter um genótipo que reúna todos os alelos desejáveis (RAMALHO et al., 2012).

Para o feijoeiro, Carneiro et al. (2002) conduziram um estudo com objetivo de comparar o potencial dos cruzamentos biparentais, duplos e múltiplos na obtenção das populações segregantes. Segundo estes autores, nos casos em que o melhorista possui objetivos bem definidos e tem condições de avaliar as populações segregantes a fim de identificar as de maior potencial, o emprego dos cruzamentos biparentais e duplos oferecem mais vantagens do que o uso dos cruzamentos múltiplos. Dado que estes requerem muito mais tempo e são mais onerosos para a obtenção da população segregante.

### **3.3.3.3. Condução das populações segregantes**

A condução ou avanço das populações segregantes tem como objetivo a obtenção das linhagens através de sucessivos ciclos de autofecundação (BESPALHOK et al., 2007c). Segundo Borém e Miranda (2013), no caso das plantas autógamas os métodos tradicionais de condução das populações segregantes são: método da população ou bulk, método genealógico ou pedigree e o método descendente de uma única semente (SSD).

O método bulk é um dos métodos mais simples para conduzir a população segregante. Na geração F<sub>2</sub> é feita a colheita e a trilha de todas as plantas em conjunto. Deste bulk de sementes é retirada uma amostra que será utilizada para a obtenção da geração F<sub>3</sub>. Este mesmo procedimento é realizado até a geração F<sub>5</sub> ou F<sub>6</sub>. Nesta geração o bulk é aberto e selecionam-se as plantas individuais que darão origem às progênies. Estas progênies serão avaliadas em experimentos com repetições até a identificação das melhores progênies, agora linhagens, que irão compor os ensaios de VCU (RAMALHO et al., 2012). A grande vantagem do método bulk é a facilidade de condução de um grande número de populações e aumento da proporção de indivíduos mais adaptados e competitivos devido à atuação da seleção natural

durante a condução da população. Por outro lado, tem-se o risco de perda de genótipos desejáveis que possuem baixa capacidade de competição (BORÉM; MIRANDA, 2013; BESPALHOK et al., 2007c).

No método genealógico a seleção individual das plantas na população segregante é feita com base na avaliação de cada progênie individualmente. Em  $F_2$  é realizada uma seleção visual para selecionar os melhores indivíduos. Os indivíduos selecionados são colhidos e trilhados individualmente. Com isso obtêm-se as progênies  $F_{2:3}$  que serão semeadas em linhas. O mesmo processo de seleção é feito e os indivíduos selecionados são colhidos e trilhados individualmente e, dessa forma, obtêm-se as progênies  $F_{3:4}$ . Este procedimento é realizado até a geração  $F_{5:6}$  ou  $F_{6:7}$  quando se iniciará a avaliação das linhagens. Nesse método o controle parental é realizado detalhadamente o que requer muitas anotações tornando-o um método moroso. Porém como há o registro completo da origem das progênies isto pode ser uma ferramenta muito útil ao melhorista para orientar a sua tomada de decisão no momento da seleção (RAMALHO et al., 2012).

O método SSD consiste no avanço de gerações com a coleta de uma única semente por planta sem realizar seleção nas primeiras gerações de autofecundação. Este procedimento inicia-se em  $F_2$  e é conduzido até  $F_5$  ou  $F_6$ . A fácil condução e a rapidez para atingir o nível de homozigose desejada são apontadas como uma das vantagens deste método. Entretanto, neste método não se aproveita da seleção natural além de não permitir o descarte de indivíduos indesejados nas gerações precoces (BORÉM; MIRANDA, 2013).

Nos dias atuais um método que vem sendo muito utilizado nos programas de melhoramento de espécies autógamas é o bulk dentro de famílias  $F_2$ . Este método consiste basicamente na junção do método genealógico com o método bulk (CARNEIRO, 2002). A principal vantagem deste método é a redução dos problemas de amostragem que ocorre nos métodos genealógico e bulk. Porém, é um método mais trabalhoso principalmente quando as progênies são avaliadas em experimentos com repetições (RAMALHO et al., 2012).

### **3.4. Seleção Recorrente**

Como já foi dito anteriormente, a maioria dos caracteres que se deseja melhorar no feijoeiro apresentam herança quantitativa, ou seja, são governados por vários genes e sofrem grande influência do ambiente. Dessa forma, é necessário manusear um elevado número de plantas a fim de obter um indivíduo que reúna todos os alelos favoráveis, o que é inviável em qualquer programa de melhoramento (RAMALHO et al., 2012). Além disso, é comum desenvolver programas que visam o melhoramento de mais de um caráter, com isso é

impossível obter sucesso com somente um ciclo de seleção (MENEZES JÚNIOR et al., 2008). Diante disso, a seleção recorrente é uma promissora estratégia a ser empregada pelos melhoristas em seus programas de melhoramento para contornar esses problemas.

A seleção recorrente é um processo cíclico no qual o objetivo é aumentar gradativamente a frequência dos alelos favoráveis, por meio dos repetidos ciclos de seleção e recombinação sem causar a redução de variabilidade (HALLAUER, 1985). A seleção recorrente pode ser conduzida de duas formas a depender do método de seleção empregado (CARGNIN, 2007). Quando a seleção é feita somente com base no fenótipo do indivíduo é denominada de seleção massal ou seleção recorrente fenotípica. Nesse caso, nenhuma informação genotípica é utilizada como critério de seleção. Nesse método a população é avaliada e os melhores indivíduos são selecionados fenotipicamente. Para obter a população do segundo ciclo de seleção são coletadas e agrupadas o mesmo número de sementes de todos os indivíduos selecionados. O procedimento é repetido até o objetivo ser atingido ou quando constatar que a seleção não está causando mais os resultados desejados. A ideia principal da seleção recorrente fenotípica é melhorar a população como um todo, com a reunião dos fenótipos superiores através da seleção dos melhores indivíduos fenotipicamente. Entretanto, como a seleção baseia-se somente no fenótipo, recomenda-se o seu uso quando o caráter a ser melhorado possui herança qualitativa e herdabilidade alta (MORAIS JÚNIOR et al., 2017).

Por outro lado a seleção recorrente genotípica tem como critério de seleção a avaliação das progênies. Na seleção recorrente genotípica as progênies são avaliadas nos experimentos de campo com repetições, conduzidos em diferentes ambientes. Dessa forma, é possível estimar com maior precisão os valores genotípicos das progênies e, por isso esse método é mais eficiente do que a seleção feita somente com base no fenótipo dos indivíduos. Como a seleção nesse caso baseia-se nos valores genotípicos, a seleção recorrente genotípica é uma alternativa no melhoramento de caracteres de herança quantitativa e/ou baixa herdabilidade. Quando a seleção recorrente é feita com base nas avaliações das progênies a condução é feita em três etapas (BORÉM; MIRANDA, 2013; CARGNIN, 2007; RAMALHO et al., 2012):

- Obtenção da população base: a população base deve apresentar média alta para o caráter a ser melhorado e variabilidade para que seja possível realizar a seleção. Para que a população apresente média alta é necessário envolver genitores que sejam adaptados. Já para haver variabilidade os genitores envolvidos devem ser complementares;

- Avaliação e seleção das progênies: são realizados os testes de progênies com repetição para avaliar as progênies, identificar as de melhor desempenho e posteriormente selecioná-las;
- Recombinação das progênies: as melhores progênies são selecionadas com a finalidade de serem recombinadas para obter o próximo ciclo de seleção. A recombinação pode ser realizada através da macho-esterilidade ou por meio do cruzamento manual. O cruzamento manual é mais interessante, pois possibilita o intercruzamento direcionado, apesar de ser alternativa mais trabalhosa.

Cabe ressaltar que ao final de cada ciclo, no caso do feijoeiro, é necessário também fazer seleção das melhores famílias visando à extração de linhagens superiores. Pois, como o feijão é uma planta autógama, são as linhagens que serão recomendadas como as novas cultivares.

Inicialmente a seleção recorrente foi proposta para o melhoramento de plantas alógamas (HALLAUER, 1999). Porém, são diversos os trabalhos que relatam o emprego e o sucesso desse método de melhoramento em plantas autógamas, como por exemplo, no trigo (MACHADO et al., 2010), arroz (MORAIS JÚNIOR et al., 2017), aveia (LANGE, 2003), soja (RIBEIRO, 2018) e feijão (ALVES et al., 2015; AMARO et al., 2007; BARILI et al., 2016; MENEZES JÚNIOR et al., 2008).

### 3.5. Predição do potencial de populações segregantes

Ao utilizar as metodologias de predição do potencial de populações segregantes é possível prever o comportamento das linhas puras baseando-se em informações obtidas nas gerações iniciais (CRUZ et al., 2012). Dessa forma, o uso destas metodologias em um programa de melhoramento, possibilita o descarte de populações segregantes menos promissoras logo no início. Com isso, economiza-se tempo, recursos e direciona as avaliações, ou seja, avalia-se um maior número de famílias derivadas das populações mais promissoras.

Dentre as metodologias de predição do potencial de populações segregantes destacam-se a metodologia Jinks e Pooni (1976) e a estimativa dos componentes de média  $m + a'$  e  $d$  (VENCOVSKY; BARRIGA, 1972). A estimativa de  $m + a'$  depende do desempenho *per se* das linhagens, já que representa a contribuição dos locos em homozigose que estão fixados nas linhagens parentais. Por outro lado, a estimativa de  $d$  diz respeito ao desvio dos heterozigotos em relação à média. Esta estimativa depende da divergência entre as linhagens e da existência de dominância do caráter. Portanto, a população com maior potencial de derivar linhagens superiores é aquela que associa altas estimativas de  $m + a'$  com elevados valores de

d. Ressalta-se que neste método de predição de população segregante é necessário a avaliação de duas populações subsequentes, como por exemplo, avaliação das gerações  $F_1$  e  $F_2$ . Nos trabalhos desenvolvidos por Carneiro et al. (2002) e Mendonça et al. (2002) há relatos da eficiência do uso dessa metodologia para predizer o potencial de populações segregantes de feijoeiro.

Por meio da metodologia proposta por Jinks e Pooni (1976) estima-se a probabilidade de uma população originar linhagens que superem um determinado padrão (PSP). Para aplicar esta metodologia considera-se que a média da geração  $F_2$  é igual à média na geração  $F_\infty$ . De acordo com esta metodologia, para caracteres quantitativos controlados por no mínimo seis genes, os valores médios fenotípicos de linhagens  $F_\infty$  derivadas sem seleção a partir de um cruzamento entre duas linhagens homozigóticas segue uma distribuição normal. Então, utilizando-se as propriedades da distribuição normal estima-se a probabilidade de ocorrência de linhagens que superem um determinado padrão (CRUZ et al., 2012).

Na cultura do feijoeiro, a metodologia Jinks e Pooni (1976) vem sendo utilizada para predizer o potencial de populações segregantes, bem como para identificar as mais promissoras para extração de linhagens superiores. Em seu trabalho, Trindade (2020) utilizou a metodologia para predizer o potencial de populações  $F_3$  de feijão preto oriundas do ciclo ( $C_1$ ) do programa de seleção recorrente da UFV. Essa autora identificou oito populações com maiores PSP tanto para produtividade de grãos quanto para diâmetro do hipocótilo, que foram os caracteres avaliados.

Melo (2006), utilizou a metodologia para predizer o potencial de populações  $F_3$  de feijão carioca. O autor identificou duas populações com maior probabilidade de superar a cultivar BRSMG Talismã em 20% em termos de produtividade. O autor, concluiu que essa metodologia foi eficiente para a identificação de populações segregantes mais promissoras para a extração de linhagens superiores de feijão.

Por meio da metodologia de Jinks e Pooni (1976), Oliveira (2003) identificou as populações segregantes mais promissoras em três safras: seca, inverno e águas. Sendo que, algumas dessas populações avaliadas se destacaram pelo fato de que nas três safras apresentaram maior probabilidade de superar o padrão. Além desses trabalhos já citados, Abreu et al. (2002) também utilizaram a metodologia para predizer o potencial de populações segregantes de feijoeiro. Estes autores concluíram que a metodologia do Jinks e Pooni (1976) é eficiente e promissora para predizer o potencial de populações segregantes.

### **3.6. Seleção de linhagens para composição dos Ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU)**

Os ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) são uma das exigências feitas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para registro de uma nova cultivar. De acordo com a lei número 10.711 (BRASIL, 2003), VCU é o valor intrínseco de combinação das características agrônômicas da cultivar com as suas propriedades de uso em atividades agrícolas, industriais, comerciais ou consumo in natura.

No caso da cultura do feijoeiro, os ensaios de VCU devem ser conduzidos por dois anos e no mínimo em três locais por época de semeadura e por estado. Segundo a normativa, o delineamento experimental utilizado deve ser o de blocos ao acaso (DBC) com parcelas com no mínimo quatro fileiras de 4 m desprezando as duas fileiras laterais. Além disso, dentre as testemunhas utilizadas nos ensaios, pelo menos duas devem estar inscritas no Registro Nacional de Cultivares (RNC) bem como, devem ser preferencialmente do mesmo grupo de cor e ser as cultivares mais plantadas na região ou ser as de maior potencial de rendimento (BRASIL, 2006).

Já que a duração dos ensaios de VCU é de dois anos, novas linhagens devem estar disponíveis para compor os novos ensaios após este período de tempo. Como na seleção recorrente a avaliação e seleção de progênie é um processo contínuo, permite-se que a cada ciclo de seleção sejam extraídas linhagens superiores (CARGNIN, 2007). Com isso, é possível que a cada dois anos o melhorista tenha novas linhagens disponíveis para serem avaliadas nos ensaios de VCU da sua região.

Para selecionar as linhagens superiores de cada ciclo seletivo é comum considerar mais de um caráter de interesse simultaneamente. Dessa forma a utilização de um índice de seleção facilita a tomada de decisão do melhorista e torna a seleção mais eficiente, uma vez que, o índice de seleção é estabelecido pela combinação ótima de vários caracteres (CRUZ et al., 2012). Assim, os índices de seleção permitem também que os genótipos superiores e mais adequados aos objetivos dos melhoristas sejam identificados de maneira rápida e fácil (BEM, 2012).

Na literatura são descritos diversos índices de seleção que podem ser utilizados pelos melhoristas. Dentre estes, como exemplo podem ser citados o índice clássico proposto por Smith (1936) e Hazel (1943); o índice de Pesek e Baker (1969) baseado nos ganhos desejados; o índice base proposto por Willians (1962); o índice livre de pesos e livre de parâmetros de Elston (1963); índice da distância genótipo-ideótipo de Schwarzabch (1972); o

índice proposto por Mulumba e Mock (1978) baseado em soma de postos (Ranks); e o índice multiplicativo (SUBANDI et al, 1973).

Dos índices de seleção citados acima, os mais utilizados são: o índice clássico; o índice baseado nos ganhos desejados; o índice multiplicativo e o índice da distância genótipo-ideótipo. O índice clássico foi proposto por Smith (1936) e Hazel (1943) e baseia-se em uma combinação linear ótima de todos os caracteres de interesse dos melhoristas. Neste método os coeficientes de ponderação são estimados de modo que a correlação do índice com o agregado genotípico seja maximizada. O índice é dado por uma combinação linear dos valores fenotípicos dos caracteres de interesse, enquanto que os agregados genotípicos é estabelecido por outra combinação linear que envolve os valores genéticos dos caracteres ponderados pelos seus respectivos pesos econômicos (TERRES et al., 2015; RAMOS, 2019).

Proposto por Pesek e Baker (1969), o índice com base nos ganhos desejados foi desenvolvido a partir da preocupação de se determinar com exatidão os valores dos pesos econômicos. Portanto, nesse índice, os pesos econômicos são substituídos pelos ganhos que os melhoristas desejam atingir para cada caráter de interesse (CRUZ et al., 2012). Já o índice da distância genótipo-ideótipo proposto por Schwarzbach (1972), consiste em fixar um valor ótimo para cada caráter de interesse, determinando assim o ideótipo. Feito isso, obtém-se a diferença entre a média de cada caráter e o ideótipo. Dessa forma, calcula-se a distância de cada genótipo em relação ao ideótipo criado, sendo que esta distância é o próprio índice de seleção (BEM, 2012).

Por fim, o índice multiplicativo desenvolvido por Subandi et al (1973) não exige que sejam estabelecidos pesos econômicos para os caracteres de interesse, bem como não é necessário estimar as variâncias e covariâncias fenotípicas e genotípicas. Este índice permite que os genótipos sejam classificados para todos os caracteres ao mesmo tempo, com isso é possível realizar a seleção com base em um único valor. Como o índice multiplicativo não necessita de estimativas de parâmetros genéticos e não pressupõe a existência de um valor genotípico populacional que deve ser melhorado, esse índice adaptada-se tanto aos programas de seleção recorrente como às etapas finais dos programas de desenvolvimento de cultivares (FARIAS, 2005).

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Local de condução dos experimentos**

Os experimentos foram conduzidos na Unidade de Ensino Pesquisa e Extensão de Coimbra (UEPE – Coimbra) que pertence ao Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa (DAA – UFV). A unidade localiza-se no município de Coimbra (latitude 20°51'24" S, longitude 42°48'10" W e 720 m de altitude), Minas Gerais. Os tratos culturais realizados seguiram as recomendações para a cultura do feijoeiro no estado de Minas Gerais.

### **4.2. Obtenção das famílias do ciclo dois (C<sub>II</sub>)**

A população do C<sub>II</sub> foi obtida por meio da recombinação das 20 melhores famílias F<sub>2:5</sub> do C<sub>I</sub>. Cada família foi cruzada com duas outras de acordo com o esquema de dialelo circulante (BEARZOTI, 1997). De cada uma das 20 populações foram derivadas 19 famílias avaliadas por cinco gerações, F<sub>2:3</sub>, F<sub>2:4</sub>, F<sub>2:5</sub> e F<sub>2:6</sub>. Ressalta-se que neste trabalho foram avaliadas as famílias F<sub>2:6</sub> e F<sub>2:7</sub>.

### **4.3. Avaliações das famílias F<sub>2:6</sub> e F<sub>2:7</sub> do ciclo dois (C<sub>II</sub>)**

As 50 melhores famílias do C<sub>II</sub> do programa de seleção recorrente foram avaliadas na safra da seca (F<sub>2:6</sub>) e das águas de 2019 (F<sub>2:7</sub>). Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso (DBC) com três repetições e parcelas de duas linhas de dois metros. Juntamente com as 50 famílias foram avaliadas as testemunhas: BRSMG Madrepérola, considerada padrão de aspecto comercial dos grãos; Pérola, cultivar de feijão carioca mais plantada no país; BRSMG Uai, considerada padrão para arquitetura de planta; e VC25, cultivar que apresenta elevado potencial produtivo.

Os caracteres avaliados em ambos os experimentos foram a arquitetura de planta, o aspecto comercial dos grãos e a produtividade de grãos. Para estimar a produtividade tomaram-se os dados de produção em gramas (g) por parcela e posteriormente estes dados foram convertidos para kg.ha<sup>-1</sup>. A arquitetura de planta foi avaliada por parcela com o auxílio de uma escala de notas crescente, de 1 a 5, proposta por Ramalho et al. (1998). Nesta escala, nota 1 corresponde a plantas eretas com uma haste; 2 – plantas eretas com algumas ramificações e guia curta; 3 – plantas semiprostradas com ramificações e guia mediana; 4 – plantas prostradas com ramificações e guia longa; e 5 – plantas completamente prostradas com muitas ramificações e guias muito longas.

No caso da avaliação do aspecto comercial de grãos, feita por parcela, também foi utilizada uma escala de notas crescentes de 1 a 5. Segundo Ramalho et al. (1998), nota 1

refere-se ao grão padrão, típico carioca, cor creme, estrias marrom-claras, fundo claro, halo creme, não achatado e com peso médio de 100 grãos de 22 a 24 g; nota 2 ao grão tipo carioca com deficiência em pelo menos uma das características mencionadas no padrão; nota 3 ao grão tipo carioca com deficiência em duas características mencionadas no padrão; nota 4 ao grão tipo carioca com deficiência em três características mencionadas no padrão e, por fim, a nota 5 refere-se ao grão de cor creme com estrias marrom escuras, fundo escuro, com halo não creme, peso médio de 100 grãos menor que 22 g e grãos fora do padrão carioca.

Os dados das famílias  $F_{2:6}$  e  $F_{2:7}$  foram submetidos à análise de variância individual segundo o modelo proposto abaixo. O efeito da média e dos tratamentos foram considerados como fixos e, os efeitos de blocos e erro como aleatórios.

$$Y_{ij} = \mu + t_i + b_j + e_{ij}$$

onde:

$Y_{ij}$ : observação referente ao  $i$ -ésimo tratamento ( $i = 1, 2, 3, \dots, 54$ ), no  $j$ -ésimo bloco ( $j = 1, 2, 3$ );

$\mu$ : média geral do experimento;

$t_i$ : efeito do tratamento  $i$ ;

$b_j$ : efeito do bloco  $j$ ;

$e_{ij}$ : efeito aleatório associado à observação  $Y_{ij}$ .

Posteriormente, os dados das famílias  $F_{2:6}$  e  $F_{2:7}$  foram submetidos à análise de variância conjunta de acordo com o modelo a seguir considerando efeito de tratamentos e ambiente como fixos.

$$Y_{ijk} = \mu + t_i + (b/a)_{jk} + a_j + ta_{ij} + e_{ijk}$$

em que:

$Y_{ijk}$ : valor observado referente ao tratamento  $i$  no ambiente  $j$  na repetição  $k$ ;

$\mu$ : média geral do experimento;

$t_i$ : efeito do tratamento  $i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, 54$ );

$(b/a)_{ij}$ : efeito do bloco  $k$  dentro do ambiente  $j$ ;

$a_j$ : efeito do ambiente  $j$  ( $j = 1, 2$ );

$ta_{ij}$ : efeito da interação do tratamento  $i$  no ambiente  $j$ ;

$e_{ijk}$ : erro aleatório associado à observação  $Y_{ijk}$ .

Pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade cada família foi comparada com as testemunhas BRSMG Madrepérola e Pérola considerando todos os caracteres avaliados. Visando selecionar as melhores famílias para extração de linhagens, utilizou-se o índice da

distância genótipo-ideótipo, adaptado de Carvalho et al. (2002). Neste índice o mesmo caráter avaliado em ambientes distintos (safras) foi considerado como um caráter diferente.

O índice da distância genótipo-ideótipo consiste em fixar um valor ótimo para cada caráter de interesse, determinando assim o ideótipo. Para os caracteres arquitetura de planta e aspecto comercial dos grãos, o valor ótimo foi definido como a menor média observada. Ou seja, a melhor arquitetura de planta e o melhor aspecto comercial dos grãos. Já para produtividade de grãos o valor ótimo foi definido como a maior média observada. Feito isso, obteve-se a diferença entre a média de cada caráter e o ideótipo. Dessa forma, calcula-se a distância de cada genótipo em relação ao ideótipo criado, sendo que esta distância é o próprio índice de seleção. Assim tem-se:

$X_{ij}$  = valor fenotípico do i-ésimo genótipo em relação ao j-ésimo caráter;

$Y_{ij}$  = valor fenotípico médio transformado;

$C_j$  = constante relativa à depreciação da média do genótipo, por não estar dentro dos padrões desejados pelo melhorista;

$LI_j$  = limite inferior a ser apresentado pelo genótipo, relativo ao caráter j, conforme o padrão desejado pelo melhorista;

$LS_j$  = limite superior a ser apresentado pelo genótipo; e

$VO_j$  = valor ótimo a ser apresentado pelo genótipo, sob seleção.

Se  $LI_j \leq X_{ij} \leq LS_j$ , então  $Y_{ij} = X_{ij}$ .

Se  $X_{ij} < LI_j$ ,  $Y_{ij} = X_{ij} + VO_j - LI_j - C_j$ .

Se  $X_{ij} > LS_j$ ,  $Y_{ij} = X_{ij} + VO_j - LS_j + C_j$ .

Na realização do índice é considerado  $C_j = LS_j - LI_j$ . Dessa forma, garante-se que o valor  $C_j$  de qualquer valor de  $X_{ij}$  dentro do intervalo de variação em torno do ótimo resultará em um valor  $Y_{ij}$  com magnitude próxima do valor ótimo ( $VO_j$ ). Entretanto, ocorre o contrário para os valores de  $X_{ij}$  fora desse intervalo. Portanto, a transformação de  $X_{ij}$  é feita como forma de garantir a depreciação dos valores fenotípicos fora do intervalo considerado ótimo do padrão a ser apresentado pelo genótipo que será selecionado.

Todas as análises estatísticas foram executadas no Programa GENES (CRUZ, 2013).

#### **4.4. Obtenção da população e famílias do ciclo três (C<sub>III</sub>)**

A população do C<sub>III</sub> foi obtida pela recombinação das 20 melhores famílias F2:5 selecionadas no C<sub>II</sub>. Utilizando-se o esquema de dialelo circulante, cada família selecionada foi cruzada com duas outras. Assim, originou-se 20 novas populações, sendo que de cada

população foi derivada 19 famílias. Neste trabalho estas famílias foram avaliadas em uma geração, a F<sub>2:3</sub>.

#### 4.5. Avaliação de populações F<sub>2</sub> do ciclo três (C<sub>III</sub>)

As 20 populações F<sub>2</sub> foram avaliadas juntamente com cinco testemunhas (BRSMG Madrepérola, Pérola, BRSMG Uai, VC25 e BRS Estilo) na safra da seca de 2019. O experimento foi conduzido no delineamento de látice quadrado triplo com parcelas constituídas por quatro linhas de quatro metros. A área útil do experimento foi de duas linhas de dois metros, sendo que uma das linhas foi destinada para a coleta de dados de plantas individuais e, a outra foi trilhada para a tomada de dados de produtividade de grãos por parcela.

O caráter avaliado no experimento foi a produtividade de grãos. Para estimar a produtividade tomaram-se os dados de produção em gramas (g) por parcela e posteriormente estes foram transformados para kg.ha<sup>-1</sup>. Os dados das populações F<sub>2</sub> foram submetidos à análise de variância seguindo o modelo abaixo que considerou o efeito da média e dos tratamentos (populações + testemunhas) como fixos e, os efeitos de blocos e erro como aleatórios.

$$Y_{il(j)} = \mu + t_i + r_j + (b/r)_{l(j)} + e_{il(j)}$$

onde:

$Y_{il(j)}$ : valor observado do tratamento  $i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, v = k^2$ ), no bloco incompleto  $l$  ( $l = 1, 2, \dots, k$ ), da repetição  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, r$ );

$\mu$ : constante inerente a todas as observações;

$t_i$ : efeito do tratamento  $i$ ;

$r_j$ : efeito da repetição  $j$ ;

$(b/r)_{l(j)}$ : efeito do bloco incompleto  $l$  dentro da repetição  $j$ ;

$e_{il(j)}$ : erro aleatório associado à observação  $Y_{il(j)}$ .

Para prever o potencial genético das populações utilizou-se a metodologia proposta por Jinks e Pooni (1976). Por meio desta metodologia estima-se a probabilidade de uma dada população gerar linhagens que superem um determinado padrão. No caso deste trabalho, estimou-se a probabilidade das populações F<sub>2</sub> superarem a produtividade da cultivar Pérola em 25%. Dessa forma, esse método permite que sejam feitas previsões sobre o comportamento das linhagens baseando-se em informações das populações nas gerações iniciais, o que possibilita o descarte de populações segregantes pouco promissoras logo no início das gerações (CRUZ et al., 2012).

Considerando essa metodologia, a variância genética ( $\sigma_G^2$ ) de uma população 'i' é obtida pela expressão abaixo:

$$\hat{\sigma}_{G_i}^2 = \hat{\sigma}_{F_{2i}}^2 - \hat{\sigma}_E^2$$

onde  $\hat{\sigma}_{G_i}^2$  é a variância genética presente na população *i*;  $\hat{\sigma}_{F_{2i}}^2$  é a variância fenotípica da população *i* na geração  $F_2$ , obtida através da média aritmética das variâncias dos tratamentos nas três repetições; e  $\hat{\sigma}_E^2$  corresponde a variância ambiental estimada por meio da média aritmética da variância da testemunha Pérola presente no experimento.

Com base nesta metodologia, a probabilidade de extrair linhagens superiores de cada população  $F_2$  corresponde a uma área à direita de determinado valor positivo de  $\mu$  na abscissa da distribuição normal. Esta área é calculada através das propriedades da distribuição normal padronizada e, é estimada pela estatística  $Z$  obtida pela seguinte expressão:

$$Z = \frac{\mu - \bar{F}_{2i}}{S_i}$$

onde  $\mu$  é a média considerada padrão para o caráter acrescida de 25%;  $\bar{F}_{2i}$  corresponde a média da população *i* na geração  $F_2$ , para produtividade de grãos;  $S_i$  é a estimativa do desvio-padrão fenotípico entre as linhagens da população *i* estimado pela equação abaixo:

$$S_i = \sqrt{2\hat{\sigma}_{F_{2i}}^2 - \sigma_E^2}$$

Para comparar as médias das populações com as das testemunhas, utilizou-se o teste de Dunnett a 5% de probabilidade. Todas as análises foram realizadas com o auxílio do Programa GENES (CRUZ, 2013).

#### 4.6. Avaliação das famílias $F_{2:3}$ (C<sub>III</sub>)

As 380 famílias  $F_{2:3}$ , extraídas das 20 populações  $F_2$  do C<sub>II</sub>, foram avaliadas na safra das águas de 2019, juntamente com 20 testemunhas, em experimentos conduzidos em látice quadrado simples com parcelas de uma linha de um metro.

O caráter avaliado foi a produtividade de grãos. Para estimar a produtividade tomou-se os dados de produção em gramas (g) por parcela e, posteriormente, estes dados foram convertidos para  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Os dados das famílias  $F_{2:3}$  foram submetidos à análise de variância individual seguindo o modelo abaixo. Nesse caso, considerou-se os efeitos da média e dos tratamentos (famílias + testemunhas) como fixos e, os efeitos de blocos e erro como aleatórios.

$$Y_{il(j)} = \mu + t_i + r_j + (b/r)_{l(j)} + e_{il(j)}$$

onde:

$Y_{il(j)}$ : valor observado do tratamento  $i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, v = k^2$ ), no bloco incompleto  $l$  ( $l = 1, 2, \dots, k$ ), da repetição  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, r$ );

$\mu$ : constante inerente a todas as observações;

$t_i$ : efeito do tratamento  $i$ ;

$r_j$ : efeito da repetição  $j$ ;

$(b/r)_{l(j)}$ : efeito do bloco incompleto  $l$  dentro da repetição  $j$ ;

$e_{il(j)}$ : erro aleatório associado à observação  $Y_{il(j)}$ .

Para comparar as médias das famílias com as das testemunhas utilizou-se o teste de Dunnett a 5% de probabilidade. As análises foram realizadas com o auxílio do Programa GENES (CRUZ, 2013).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Avaliação das famílias $F_{2:6}$ e $F_{2:7}$ do ciclo dois ( $C_{II}$ )

Nas Tabelas 1 e 2 estão apresentados os resumos das análises de variância individuais referentes às avaliações das 50 famílias  $F_{2:6}$  e  $F_{2:7}$  do  $C_{II}$  realizadas nas safras da seca e das águas de 2019, respectivamente. As médias de produtividade obtidas na safra da seca e das águas foram de 3495 kg.ha<sup>-1</sup> e 2688 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Já a média de produtividade das famílias  $F_{2:6}$  foi de 3505 kg.ha<sup>-1</sup> (Tabela 1), e a média das famílias  $F_{2:7}$  foi de 2694 kg.ha<sup>-1</sup> (Tabela 2). Observa-se que essas médias ficaram acima da produtividade média brasileira do feijoeiro na última safra (2019/2020), que foi de 1104 kg.ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2021). Ressalta-se que valores médios dessa magnitude são obtidas apenas em lavouras implantadas e conduzidas sob elevado nível tecnológico.

As estimativas do coeficiente de variação (CV) na avaliação das famílias  $F_{2:6}$  foram de: 16,15% para arquitetura de planta (ARQ); 12,98% para o aspecto comercial dos grãos (AG) e 11,02% para a produtividade de grãos (PG) (Tabela 1). Em relação à avaliação das famílias  $F_{2:7}$ , obteve-se as seguintes estimativas de CV: 16,82% para ARQ; 13,37% para AG e 18,92% para PROD. A partir destas estimativas verifica-se a boa precisão experimental de ambos os experimentos, uma vez que, estas ficaram abaixo dos 20%. Além disso, estas estimativas também são inferiores às relatadas na literatura para experimentos desta natureza com a cultura do feijoeiro (MARQUES JÚNIOR et al., 1997). Por fim, o que reforça ainda mais a boa qualidade experimental das avaliações, é o fato das estimativas dos CV's serem inferiores ao CV máximo (25%) permitido pelo MAPA nos ensaios de VCU (BRASIL, 2006).

Observou-se significância ( $p < 0,01$ ) para o efeito de famílias sobre os três caracteres avaliados em ambos os experimentos (Tabelas 1 e 2). Isto indica que há diferença significativa entre as médias das famílias para os três caracteres avaliados. Este fato é importante e fundamental para a seleção, visto que, para o sucesso da seleção é necessário que os genótipos apresentem médias favoráveis para o caráter sob seleção, bem como deve haver diferença significativa entre as médias dos genótipos.

**TABELA 1.** Resumo das análises de variância individuais da arquitetura de planta (ARQ), aspecto comercial dos grãos (AG) e produtividade de grãos (PROD), em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , referentes à avaliação de 50 famílias  $F_{2;6}$  do ( $C_{II}$ ), safra da seca de 2019. Coimbra, MG.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio		
		ARQ	AG	PROD
Tratamento	53	0,537**	0,254**	357104,837**
Famílias (F)	49	0,464**	0,248**	376860,0799**
Testemunhas (T)	3	1,917**	0,436**	81945,87**
F vs.T	1	0,0225 <sup>ns</sup>	0,00408 <sup>ns</sup>	214574,827 <sup>ns</sup>
Erro	106	0,228	0,102	148318,220
Média Geral		3,0	2,5	3495
Média (F)		3,0	2,5	3505
Média (T)		2,9	2,4	3366
CV (%)		16,15	12,98	11,02

<sup>ns</sup> e \*\*: não significativo, significativo a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

**TABELA 2.** Resumo das análises de variância individuais da arquitetura de planta (ARQ), aspecto comercial dos grãos (AG) e produtividade de grãos (PROD), em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , referentes à avaliação de 50 famílias  $F_{2;7}$  do ciclo dois ( $C_{II}$ ), na safra das águas de 2019. Coimbra, MG.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio		
		ARQ	AG	PROD
Tratamento	53	0,976**	0,698**	335261,138**
Famílias (F)	49	0,824**	0,685**	310770,208**
Testemunhas (T)	3	3,778**	0,823**	819984,0422**
F vs.T	1	0,00111 <sup>ns</sup>	0,925 <sup>ns</sup>	81148,00492 <sup>ns</sup>
Erro	106	0,281883	0,124	258729,772
Média Geral		3,2	2,6	2688
Média (F)		3,2	2,7	2694
Média (T)		3,2	2,4	2609
CV (%)		16,82	13,37	18,92

<sup>ns</sup> e \*\*: não significativo e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Na tabela 3 é apresentado o resumo das análises conjuntas de variância referentes à avaliação das 50 famílias  $F_{2;6}$  e  $F_{2;7}$ , nas safras da seca e das águas de 2019, com base nos caracteres ARQ, AG e PROD. Houve efeito significativo ( $p < 0,01$ ) da interação famílias x ambientes para os caracteres AG e PROD e não significativo ( $p > 0,01$ ) para ARQ. Segundo Cruz et al. (2012), a interação famílias x ambientes significativa indica que há inconsistência

no comportamento das famílias avaliadas nos diferentes ambientes. Ou seja, a melhor família em determinada safra não é necessariamente a melhor em outra com relação aos caracteres AG e PROD.

**TABELA 3.** Resumo das análises de variância conjunta da arquitetura de planta (ARQ), aspecto comercial dos grãos (AG) e produtividade de grãos (PROD), em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , referentes à avaliação de 50 famílias de feijão carioca do ciclo dois ( $C_{II}$ ), nas safras da seca e das águas de 2019. Coimbra, MG.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio		
		ARQ	AG	PROD
Ambiente (A)	1	3,210 <sup>ns</sup>	2,463**	52759061,755**
Tratamento (Trat)	53	1,278**	0,713**	404216,724**
Famílias (F)	49	1,0476**	0,696**	389975,654**
Testemunhas (T)	3	5,458**	1,0619**	678287,398**
F vs. Tes	1	0,007 <sup>ns</sup>	0,526**	279817,163 <sup>ns</sup>
Trat x A	53	0,236 <sup>ns</sup>	0,238**	288149,250*
F x A	49	0,240 <sup>ns</sup>	0,237**	297654,633**
T x A	3	0,236 <sup>ns</sup>	0,197 <sup>ns</sup>	223642,513 <sup>ns</sup>
F vs. T x A	1	0,0168 <sup>ns</sup>	0,403 <sup>ns</sup>	15905,669 <sup>ns</sup>
Erro	212	0,255	0,112610377	203523,996
Média Geral		3,1	2,5	3091
Média (F)		3,1	2,6	3100
Média (T)		3,0	2,4	2987
CV(%)		16,52	13,20	14,59

<sup>ns</sup>, \*\* e \*: não significativo, significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Ramalho et al. (1998) relataram que a interação mais expressiva no caso do feijoeiro foi devida ao efeito de genótipos x safras. Isto ocorre pelo fato do feijoeiro ser cultivado em três diferentes safras por ano (seca, inverno e águas) e estas apresentarem condições de cultivo muito distintas. Diante disso, as novas cultivares de feijão a serem recomendadas devem ser adaptadas a diferentes condições de cultivo (BEM, 2012; OLIVEIRA, 2012). Neste trabalho, as famílias foram avaliadas em dois ambientes diferentes (safra da seca e das águas), dado que o objetivo é selecionar as famílias mais promissoras para extração de linhagens superior de feijão tipo carioca que futuramente poderão compor os ensaios de VCU.

Como a interação famílias x ambientes teve efeito significativo, a seleção foi realizada com base em um índice de seleção e não somente com base nas médias dos caracteres avaliados. Para este fim, utilizou-se o índice da distância genótipo-ideótipo adaptado de (CARVALHO et al., 2002). A tabela 4 apresenta as médias para arquitetura de planta, aspecto comercial dos grãos e produtividade de grãos das 20 famílias que mais se aproximaram do ideótipo definido para os três caracteres avaliados.

Em relação à arquitetura de plantas, o desempenho das 20 melhores famílias classificadas pelo índice da distância genótipo-ideótipo deixou a desejar. A maioria das famílias, em ambas as safras, obteve nota média de arquitetura de plantas superior a 2,5 em uma escala de notas crescente de 1 a 5 (Tabela 4). Vale ressaltar que quanto maior a nota atribuída ao genótipo pior é o seu desempenho. Neste caso mais prostrada é a planta o que não é desejado. De forma geral, as famílias não diferiram estatisticamente das cultivares testemunhas BRSMG Madrepérola e Pérola pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. Somente as famílias 16, 24 e 26 diferiram estatisticamente das referidas testemunhas na safra das águas, sendo estas famílias as que obtiveram melhores médias de arquitetura nessa safra: 2,0; 2,2 e 2,0 (Tabela 4), respectivamente.

O desempenho das 20 famílias para o aspecto comercial dos grãos foi satisfatório. A maioria das famílias apresentou nota média para esse caráter abaixo de 2,5 em uma escala de notas crescente de 1 a 5. Logo, quanto mais próximo de 1 é a nota atribuída ao genótipo melhor é o seu desempenho, isto é, melhor é o aspecto dos grãos da família. Além disso, a maioria das famílias não diferiu estatisticamente da cultivar BRSMG Madrepérola (Tabela 4). Esta cultivar é considerado o padrão para o aspecto comercial dos grãos de feijão tipo carioca reforçando o bom desempenho das 20 famílias selecionadas pelo índice da distância genótipo-ideótipo. A família 50 foi a que se destacou das demais, dado que obteve a menor nota média (1,5) em ambas as safras (Tabela 4).

A maior média de produtividade observada na safra da seca foi de 4113 kg.ha<sup>-1</sup> e, na safra das águas, foi de 3528 kg.ha<sup>-1</sup> (Tabela 4). Médias de produtividade desta magnitude são observadas em lavouras nas quais são empregadas elevado nível tecnológico. Todas as 20 famílias classificadas pelo índice não diferiram estatisticamente da testemunha BRSMG Madrepérola (Tabela 4), que foi uma das testemunhas mais produtivas. Este resultado corrobora com o bom desempenho das famílias selecionadas em relação à produtividade de grãos.

**TABELA 4.** Médias da arquitetura de planta (ARQ), aspecto comercial dos grãos (AG) e produtividade de grãos (PROD), em kg.ha<sup>-1</sup>, referentes às 20 melhores famílias do ciclo dois (C<sub>II</sub>) classificadas pelo índice distância genótipo-ideótipo. Safras seca e águas de 2019. Coimbra, MG.

Famílias	ARQ				AG				PROD			
	Seca 2019		Águas 2019		Seca 2019		Águas 2019		Seca 2019		Águas 2019	
21	3,0	a b	3,2	b	2,0	a b	2,3	a b	3982	a b	3528	a
6	2,7	a b	3,0	a b	2,2	a b	2,1	a b	3516	a b	3098	a b
28	2,8	a b	3,0	b	2,2	a b	2,3	a b	3638	a b	3147	a
14	2,4	b	3,0	b	2,2	a b	2,2	a b	3819	a b	2682	a b
26	2,5	b	2,0		2,5	a b	2,6	b	3985	a b	3087	a b
5	2,6	a b	2,5	b	2,3	a b	2,2	a b	3626	a b	2727	a b
1	2,7	b	2,5	b	2,2	a b	2,1	a b	3346	a b	2706	a b
2	2,3	b	2,8	b	2,2	a b	2,3	a b	3870	a b	2432	a b
19	2,6	a b	2,8	b	2,5	a b	2,5	b	3435	a b	3208	a
23	3,3	a b	3,3	a b	2,2	a b	2,4	a b	4113	a b	3062	a b
24	2,5	b	2,2		2,3	a b	3,2	b	3963	a b	2621	a b
11	3,0	a b	2,7	b	2,7	a b	2,5	a b	3816	a b	3113	a b
16	3,0	a b	2,0		2,3	a b	2,4	a b	3358	a b	2548	a b
27	3,2	a b	3,2	b	2,5	a b	2,4	a b	3704	a b	3118	a b
20	2,8	a b	3,0	b	2,5	a b	2,8	b	3761	a b	2810	a b
50	3,3	a b	3,2	b	1,5	a	1,5	a	2852	a b	2834	a b
36	2,8	a b	3,3	a b	2,3	a b	2,5	a b	3882	a b	2397	a b
40	3,5	a b	3,5	a b	2,2	a b	1,8	a	3276	a b	3038	a b
49	2,3	b	2,3	b	2,5	a b	3,8		3808	a b	3098	a b
29	3,5	a b	3,7	a b	2,0	a b	2,4	a b	3564	a b	2681	a b
Madrepérola	3,7	a	4,5	a	2,2	a	1,7	a	3297	a	2594	a
Pérola	3,3	b	3,5	b	2,7	b	2,8	b	3204	b	1911	b

Médias seguidas pela mesma letra da testemunha, na coluna, não diferem estatisticamente da testemunha (Dunnett, 5%).

Ao considerar os três caracteres simultaneamente, pelos menos três famílias classificadas pelo índice da distância genótipo-ideótipo se mostraram promissoras para a extração de linhagens superiores de feijão tipo carioca. Destas três famílias, a família 26 (Tabela 4) foi a que se sobressaiu por conciliar bom desempenho de aspecto comercial dos grãos e arquitetura de plantas, com altas médias de produtividade em ambas as safras de avaliação. Nos trabalhos conduzidos por Bem (2012), Oliveira (2012) e Trindade (2020) há relatos da eficiência do uso do índice da distância genótipo-ideótipo para selecionar e identificar linhagens de feijão carioca e feijão preto mais promissoras para compor ensaios de VCU.

## 5.2. Avaliação de populações segregantes F<sub>2</sub> do ciclo três (C<sub>III</sub>)

Na tabela 5 está apresentado o resumo da análise de variância individual da produtividade de grãos referente à avaliação de 20 populações F<sub>2</sub>. A média de produtividade do experimento foi de 2730 kg.ha<sup>-1</sup> e, a média de produtividade das populações foi de 2788 kg.ha<sup>-1</sup> (Tabela 5). Observou-se que o contraste Populações vs. Testemunhas (P vs. T) foi significativo (p<0,01). Isto indica que há diferença significativa entre as médias de produtividade das populações e das testemunhas. A média de produtividade das populações foi superior à das testemunhas (Tabela 5), o que demonstra o potencial produtivo destas populações. Uma vez que, as testemunhas utilizadas são cultivares já recomendadas e que possuem elevada produtividade.

**TABELA 5.** Resumo da análise de variância da produtividade de grãos (PROD), em kg.ha<sup>-1</sup>, referente à avaliação de 20 populações F<sub>2</sub> do ciclo três (C<sub>III</sub>), na safra da seca de 2019. Coimbra, MG.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio
Tratamento (Trat)	24	357458,563**
População (P)	19	1012848,592**
Testemunhas (T)	4	201150,937**
P vs. T	1	936072,281**
Erro		106693,590**
Média Geral		2730
Média (P)		2788
Média (T)		2497
Eficiência do Látice		95,75
CV(%)		11,97

\*\* : significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Houve efeito significativo ( $p < 0,01$ ) de populações (Tabela 5). Portanto, há diferença significativa entre as médias de produtividade das populações, o que permite identificar e selecionar as mais promissoras. A estimativa do CV, foi de 11,97% (Tabela 5), indicando que há boa qualidade experimental, já que esta estimativa está abaixo dos 20% e, além disso, está abaixo dos valores de CV's relatados na literatura para experimentos com a cultura do feijoeiro (MARQUES JÚNIOR et al., 1997).

A tabela 6 apresenta as médias de produtividade das 20 populações F<sub>2</sub> avaliadas na safra da seca. A maior média de produtividade entre as populações foi de 3283 kg.ha<sup>-1</sup> e a menor média foi de 2388 kg.ha<sup>-1</sup> (Tabela 6). As 20 populações não diferiram pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade da testemunha mais produtiva, a cultivar BRS Estilo (Tabela 6). Isto demonstra que estas populações têm elevado potencial produtivo. Além disso, por se tratar de populações segregantes há muita variabilidade dentro destas. Com isso, é possível extrair dessas populações linhagens capazes de superar a testemunha BRS Estilo em termos de produtividade.

**TABELA 6.** Médias de produtividade de grãos (PROD), em kg.ha<sup>-1</sup>, das 20 populações segregantes F<sub>2</sub> do ciclo três (C<sub>III</sub>). Safra seca 2019. Coimbra, MG.

População	PROD (Kg.ha <sup>-1</sup> )				
714	3283	a	b	c	
703	3215	a	b	c	d
707	3074	a	b	c	d
702	3061	a	b	c	d
699	3053	a	b	c	d
704	2991	a	b	c	d
708	2864	a	b	c	d
700	2850	a	b	c	d
713	2779	a	b	c	d
696	2772	a	b	c	d
698	2744	a	b	c	d
712	2740	a	b	c	d
710	2704	a	b	c	d
709	2637	a	b	c	d
701	2624	a	b	c	d
697	2536	a	b	c	d
715	2497	a	b	c	d
706	2491	a	b	c	d
711	2456	a	b	c	d
705	2388	a	b	c	d e
Estilo	3071	a			
Madrepérola	2715		b		
Pérola	2689			c	
VC25	2426				d
Uai	1586				e

Médias seguidas pela mesma letra da testemunha, na coluna, não diferem estatisticamente da testemunha (Dunnett, 5%).

No presente estudo foi realizada a predição do potencial das populações F<sub>2</sub> de gerarem linhagens que superem a cultivar Pérola (padrão), com base na produtividade de grãos (g/planta). Para este fim foi utilizada a metodologia proposta por Jinks e Pooni (1976). Dessa forma, baseando-se nos dados de médias e variância da produtividade de grãos, estimou-se a probabilidade de superar o padrão (PSP) em 25% de cada população. A tabela 7 apresenta as médias, as variâncias e as PSP das 20 populações F<sub>2</sub> avaliadas.

**TABELA 7.** Probabilidade de superar a testemunha Pérola em 25% (PSP) (Jinks e Pooni, 1976) das 20 populações segregantes F<sub>2</sub> do ciclo três (C<sub>III</sub>), considerando a produtividade de grãos (PG). Safra seca 2019. Coimbra, MG.

População	Média (g/planta)	Variância genética	PSP (%)
714	10,945	32,6211	49,20
703	10,718	5,5639	47,61
702	10,203	88,2855	47,21
707	10,246	42,7727	46,81
699	10,176	14,6106	45,22
704	9,972	25,9794	45,22
700	9,501	30,1405	43,64
696	9,240	44,7580	43,25
698	9,148	42,9100	42,86
708	9,548	16,0309	42,47
713	9,264	28,6115	42,47
706	8,302	90,4475	42,47
709	8,788	32,7149	41,29
712	9,132	16,6807	40,90
697	8,453	37,3470	40,13
715	8,325	38,9793	39,74
705	7,960	44,7992	38,97
710	9,012	1,0654	37,83
701	8,747	5,2296	37,45
711	8,186	6,4185	34,83
Testemunha	Média	Variância ambiental	
Pérola	8,960	46,7300	

A PSP variou de 49,20% (população 714) a 34,83% (população 711). Segundo as estimativas de PSP, as populações mais promissoras são: 714 (49,20%); 703 (47,61%); 702 (47,21%); 707 (46,81%); 699 (45,22%); 704 (45,22%); 700 (43,64%); 696 (43,25%); 698

(42,86%); 708 (42,47%). Sendo que estas populações também estão entre as 10 com maiores médias de produtividade (Tabela 6), o que indica a eficiência desta metodologia para predizer o potencial de populações segregante de feijoeiro. Nos trabalhos conduzidos por Trindade (2020), Melo (2006), Oliveira (2003) e Abreu et al. (2002), há relatos da eficiência da metodologia Jinks e Pooni (1976) para predizer o potencial de populações segregantes de feijoeiro.

A população 703 apesar da elevada estimativa de PSP (47,61 %) apresentou uma baixa variância genética (5,5639) (Tabela 7). O inverso ocorreu com a população 706. Apesar de esta população apresentar elevada variância genética (90,4475), a estimativa de PSP foi de 42,47% (Tabela 7). É importante ressaltar que a avaliação de plantas individuais pode sofrer grande influência devido à competição dentro de cada parcela além do efeito de bordadura (VELLO; VENCOVSKY, 1974). Diante disso, como a variância ambiental foi estimada com base em apenas uma testemunha (Pérola), essa estimativa viesada pode não representar a verdadeira variância genética das populações (ROCHA et al., 2013).

### **5.3. Avaliação de famílias $F_{2:3}$ do ciclo três ( $C_{III}$ )**

A tabela 8 apresenta o resumo da análise de variância individual da produtividade de grãos referente à avaliação das famílias  $F_{2:3}$  do  $C_{III}$ . A média de produtividade geral do experimento foi de 3213 kg.ha<sup>-1</sup> (Tabela 8). Já a média das famílias avaliadas atingiu os 3259 kg.ha<sup>-1</sup> (Tabela 8) superando a média de produtividade do feijão irrigado (CONAB, 2021). Cabe ressaltar, que médias de produtividade com essas proporções são atingidas sob sistemas de cultivo nos quais são empregados elevados níveis de tecnologia.

A estima do CV experimental foi de 21,22% (Tabela 8) o que indica uma boa qualidade experimental. Dado que este valor ficou entre os valores de CV relatados na literatura para experimentos com o feijoeiro (MARQUES JÚNIOR et al., 1997). Além do mais, a estimativa do CV ficou abaixo do CV máximo permitido (25%) pelo MAPA para os ensaios de VCU (BRASIL, 2006).

Com base na análise de variância, detectou-se efeito significativo ( $p < 0,01$ ) para a fonte de variação famílias (Tabela 8). Ou seja, há diferença significativa entre as médias de produtividade. Isso é muito importante para o processo de seleção, pois assim, é possível selecionar as famílias mais promissoras visando à extração de linhagens superiores de feijão carioca.

**TABELA 8.** Resumo da análise de variância da produtividade de grãos (PROD), em kg.ha<sup>-1</sup>, referente à avaliação das 380 famílias F<sub>2:3</sub> do ciclo três (C<sub>III</sub>), na safra das águas de 2019. Safra seca 2019. Coimbra, MG.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio PROD
Tratamento (Trat)	399	1642389.0414**
Famílias (Fam)	379	1538175.369**
Fam/População 696	18	1385265.870**
Fam/População 697	18	788474.289**
Fam/População 698	18	894237.727**
Fam/População 699	18	1398561.726**
Fam/População 700	18	1337719.029**
Fam/População 701	18	615255.736 <sup>ns</sup>
Fam/População 702	18	1564775.302**
Fam/População 703	18	1324977.247**
Fam/População 704	18	1070059.889**
Fam/População 705	18	503598.368 <sup>ns</sup>
Fam/População 706	18	1251272.671**
Fam/População 707	18	1681508.065**
Fam/População 708	18	1800961.644**
Fam/População 709	18	595843.774 <sup>ns</sup>
Fam/População 710	18	2509363.179**
Fam/População 711	18	558510.595 <sup>ns</sup>
Fam/População 712	18	1259255.769**
Fam/População 713	18	1897911.246**
Fam/População 714	18	2075964.163**
Fam/População 715	18	1797342.494**
Entre Populações	19	5756474.0344**
Testemunas (T)	19	2154244.920**
Fam vs. T	1	31414109.261**
Erro	361	464781,5297
Média Geral		3213
Média (Fam)		3259
Média (T)		2349
Eficiência do Látice		98,01
CV(%)		21,22

\*\* e <sup>ns</sup>: significativo e não significativo a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Desmembrou-se a fonte de variação famílias em famílias por população (Fam/Pop). Isto foi feito para identificar se há diferença significativa entre as médias de produtividade dentro de cada família. Não foi detectado efeito significativo ( $p > 0,01$ ) de Fam/Pop para as famílias F<sub>2:3</sub> extraídas das populações F<sub>2</sub> 701, 705, 709 e 711 (Tabela 8). Em contra partida, para todas as outras famílias extraídas das demais populações foi detectado efeito significativo ( $p < 0,01$ ) de Fam/Pop (Tabela 8). Portanto, este fato aponta que há diferença

significativa ente as médias de produtividade dentro das famílias. Com isso, é possível identificar e selecionar os fenótipos mais favoráveis.

A tabela 9 apresenta as médias de produtividade das famílias por população, bem como os limites inferiores e os superiores. Estes limites referem-se às maiores (limite superior) e menores (limite inferior) médias dentro de cada família, respectivamente. A maior média de produtividade das famílias por população foi de 4046 kg.ha<sup>-1</sup>, sendo a menor média de 2584 kg.ha<sup>-1</sup> (Tabela 9). Observou-se também, que as maiores médias são das famílias que foram extraídas das 10 populações F<sub>2</sub> com maior potencial para extração de linhagens superiores segundo o Jinks e Pooni (1976) (Tabela 7).

**TABELA 9.** Médias da produtividade de grãos (PROD), em kg.ha<sup>-1</sup>, das famílias F<sub>2:3</sub> do ciclo três (C<sub>III</sub>) por população e limites inferiores e superiores. Safra das águas de 2019.

FAM/POP	NOME	PROD	LIM INF	LIM SUP
1	696	3717	2358	5412
2	697	3496	2144	4320
3	698	2981	1877	4676
4	699	3269	1661	5056
5	700	3361	1806	5113
6	701	3247	2495	4644
7	702	3583	2085	5262
8	703	4046	2303	5710
9	704	2952	1729	4291
10	705	2855	1590	3561
11	706	3887	2335	4958
12	707	3239	1658	4958
13	708	3425	1220	4776
14	709	2871	1997	4036
15	710	3014	840	4598
16	711	2640	1779	3739
17	712	3491	1283	5108
18	713	3163	1287	5034
19	714	2584	154	4342
20	715	3349	1582	4556
<b>Testemunhas</b>	Estilo	1760		
	Pérola	2018		

A tabela 10 contém as médias das 30 famílias F<sub>2:3</sub> mais produtivas. Dentre essas, a mais produtiva teve média de 5710 kg.ha<sup>-1</sup> (Tabela 10); já a média da menos produtiva foi de 4499 kg.ha<sup>-1</sup> (Tabela 10). Observa-se que mesmo a família menos produtiva, dentre as 30, obteve uma elevada média de produtividade. Todas as 30 famílias superaram as testemunhas

Pérola e BRS Estilo, segundo o teste de Dunnett a 5%. Este resultado demonstra o elevado potencial produtivo destas famílias, bem com o potencial para derivação de linhagens elites.

**TABELA 10.** Médias da produtividade de grãos (PROD), em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , das 30 famílias  $F_{2:3}$  mais produtivas do ciclo três ( $C_{III}$ ). Safra das águas de 2019.

Famílias	Cruzamento de origem	PROD ( $\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )	
703F2I34	703	5710	
696F2I335	696	5412	
702F2I132	702	5262	
702F2I120	702	5161	
703F2I36	703	5149	
700F2I302	700	5113	
712F2I100	712	5108	
696F2I324	696	5100	
699F2I143	699	5056	
713F2I225	713	5034	
706F2I250	706	4958	
707F2I19	707	4958	
700F2I304	700	4932	
706F2I266	706	4916	
706F2I251	706	4883	
703F2I31	703	4879	
703F2I23	703	4821	
708F2I349	708	4776	
703F2I30	703	4717	
708F2I356	708	4688	
698F2I229	698	4676	
701F2I79	701	4644	
707F2I2	707	4636	
710F2I316	710	4598	
715F2I170	715	4556	
702F2I121	702	4532	
702F2I119	702	4528	
715F2I158	715	4515	
713F2I216	713	4501	
710F2I306	710	4499	
<b>Testemunhas</b>	Pérola	2018	a
	Estilo	1760	b

Médias seguidas pela mesma letra da testemunha, nas colunas, não difere estatisticamente da testemunha (Dunnett, 5%).

Observou-se que dentre as 30 famílias  $F_{2:3}$  mais produtivas (Tabela 10), 18 foram extraídas das 10 populações  $F_2$  mais promissoras (Tabela 7) segundo metodologia de Jinks e Pooni (1976). Este resultado corrobora para a eficiência da metodologia do Jinks e Pooni (1976) de predizer o potencial de populações segregantes, assim como para identificar as famílias mais promissoras visando à extração de linhagens superiores de feijão tipo carioca.

## 6. CONCLUSÕES

Foram selecionadas 20 famílias do ciclo C<sub>II</sub> que reúnem fenótipos favoráveis para derivação de novas linhagens de feijão do tipo carioca. Dentre as 20 famílias selecionadas, a de número 26 se destacou por associar fenótipos favoráveis para os três caracteres avaliados (arquitetura de planta, aspecto comercial dos grãos e potencial de produção).

Por meio da metodologia de Jinks e Pooni (1976) foi possível ranquear as populações F<sub>2</sub> do ciclo C<sub>III</sub> de modo a selecionar aquelas com maior potencial para derivação de linhagens.

Das 380 famílias F<sub>2:3</sub> do ciclo C<sub>III</sub>, as 30 de maior produtividade de grãos superaram as testemunhas Pérola e BRS Estilo. Dezoito destas foram extraídas das 10 populações F<sub>2</sub> mais promissoras segundo a metodologia de Jinks e Pooni (1976).

## 7. REFERÊNCIAS

- ABREU, A. de F. B. **Predição do potencial genético de populações segregantes do feijoeiro utilizando genitores inter-raciais**. 1997. 79 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas), Universidade Federal de Lavras – Lavras, 1997.
- ABREU, A. de F. B.; DEL PELOSO, M. J. **Cultivares de Feijoeiro Comum para o Estado de Minas Gerais**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica, 65. 4 p, 2004.
- ABREU, A. de F. B. et al. **BRSMG Madrepérola: Cultivar de Feijão Tipo Carioca com Escurecimento Tardio dos Grãos**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica, 200. 4 p, 2011.
- ABREU, A. de F. B. et al. **BRSMG Uai: Cultivar de Feijão Tipo Carioca com com Planta de Arquitetura Ereta**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado Técnico, 246. 8 p, 2018.
- ABREU, A. de F. B.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. Prediction of seed-yield potencial of common bean population. **Genetics and Molecular Biology**, v. 25, n. 3, p. 323-327, 2002.
- ALMEIDA, L. D. A.; LEITÃO FILHO, H. F.; MYASAKA, S. Características do feijão carioca, um novo cultivar. **Bragantia**, v. 30, n. 7, p. 33-38, 1971.
- ALMEIDA, L. D. A. O feijão carioca: reflexos de sua adoção. Campinas: IAC, 2000. Não paginado.
- AMABILE, R. F.; VILELA, M. S.; PEIXOTO, J. R. **Melhoramento de plantas: variabilidade genética, ferramentas e mercado**. Embrapa Cerrados-Livro técnico (INFOTECA-E), 2018. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1106825>. Acesso em: 09 de junho de 2020.

ARAÚJO, S. J. de. **Cultivar de feijão BRS Pérola**. Embrapa Arroz e Feijão Multimídia. Disponível em: <https://www.embrapa.br/arroz-e-feijao/busca-de-imagens/-/midia/2172002/cultivar-de-feijao-brs-perola>. Acesso em: 10 de junho de 2020.

ALVES, F. A. **Seleção Recorrente no melhoramento de feijão carioca**. 2012. 61 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Universidade Federal de Viçosa – Viçosa, 2012.

ALVES, A. F.; MENEZES JÚNIOR, J. A. N. DE.; MENEZES, V. P. S.; CARNEIRO, J. E. S.; CARNEIRO, P. C. S.; ALVES, A. F. Genetic progress and potencial of common bean families obtained by recurrent selection. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 15, n. 4, p. 218-226, 2015.

AMARO, G. B.; ABREU, A. de F. B.; RAMAHO, M. A. P.; SILVA, F. B. Phenotypic recurrent selection in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) with carioca-type grains for resistance to the fungi *Phaeoisariopsis griseola*. **Genetics and Molecular Biology**, v. 30, n. 5, p. 584-588, 2007.

BAENZIGER, P. S.; PETERSON, C. J. Genetic variation: Its origin and use for breeding self-pollinated species. In: STALKER, H. T.; MURPHY, J. P. **Plant breeding in the 1990' s**. Raleigh: North Carolina State Universty, 1991. p. 69-100.

BARILI, L. D. **Evolução dos cultivares de feijão carioca recomendados no Brasil**. 2015. 38 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento), Universidade Federal de Viçosa – Viçosa, 2015.

BARILI, L. D.; VALE, N. M.; MOURA, L. M.; PAULO, R. G.; SILVA, F. F.; CARNEIRO, J. E. S. Genetic progress resulting from forty-three years of breeding of the carioca common bean in Brazil. **Genectis and Molecular Research**, v. 15, n. 3, p. 1-11, 2016.

BEARZOTI, E. **Simulação de seleção recorrente assistida por marcadores moleculares em espécies autógamas**. 1997. 230 f. Tese (Doutorado em genética e melhoramento de plantas), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Piracicaba, 1997.

BESPALHOK, F. J. C.; GUERRA, E.P.; OLIVEIRA, R. Introdução de Plantas, In: BESPALHOK, F. J. C.; GUERRA, E.P.; OLIVEIRA, R. (Ed). **Melhoramento de Plantas**. 2007a. p. 36-38. Disponível em: [www.bespa.agrarias.ufpr.br](http://www.bespa.agrarias.ufpr.br). Acesso em 12 de junho de 2020.

BESPALHOK, F. J. C.; GUERRA, E.P.; OLIVEIRA, R. Melhoramento de Plantas autógamas por seleção, In: BESPALHOK, F. J. C.; GUERRA, E. P.; OLIVEIRA, R. **Melhoramento de Plantas**. 2007b. p. 11-20. Disponível em: <http://www.bespa.agrarias.ufpr.br/paginas/livro/capitulo%206.pdf>. p.11-20. Acesso em 12 de junho de 2020.

BESPALHOK, F. J. C.; GUERRA, E.P.; OLIVEIRA, R. Melhoramento de plantas autógamas por hibridação. In: BESPALHOK, F. J. C.; GUERRA, E.P.; OLIVEIRA, R. (Ed). **Melhoramento de Plantas**. 2007c. p. 11-17. Disponível em: <http://www.bespa.agrarias.ufpr.br/paginas/livro/capitulo%207.pdf>. Acesso em 15 de junho de 2020.

BEM, E. M. A. de. **Seleção de linhagens de feijão carioca para ensaios de Valor de Cultivo e Uso**. 2012. 45 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Federal de Viçosa – Viçosa, 2012.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 6. ed. Viçosa: UFV, 2013. 523 p.

BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S.; A cultura. In: CARNEIRO, J. E. S.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão do plantio a colheita**. 1. ed. Viçosa: UFV. 2015. p. 9-15.

BRASIL. Decreto Lei nº 10. 711 de cindo de agosto de 2003. [Dispõe sobre o Sistema Nacional de Sementes e Mudanças e dá outras providências]. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2003.

BRASIL. Instrução Normativa nº 25 de 23 de agosto de 2006. Anexo I. Requisitos mínimos para determinação do Valor de Cultivo e Uso de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) para a inscrição no Registro Nacional de Cultivares. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2006.

CARGNIN, A. **Seleção Recorrente no melhoramento genético de plantas autógamas**. Embrapa Cerrado – Documentos, n. 184, 2007. Disponível em: [https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2009/28639/1/doc\\_184.pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2009/28639/1/doc_184.pdf). Acesso em: 15 de junho de 2020.

CARNEIRO, J. E. S. **Alternativas para obtenção e escolha de populações segregantes no feijoeiro**. 2002. 134 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas), Universidade Federal de Lavras – Lavras, 2002.

CARNEIRO, J. E. S.; RAMALHO, M. A.; ABREU, B. A. De F.; GONÇALVES, F. M. A. Breeding potential of single, double and multiple crosses in common bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 2, n. 5, p. 515-524, 2002.

CARVALHO, C. G. P.; CRUZ, C. D.; VIANA, J. M. S.; SILVA, D. Selection based on distances from ideotype. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 2, n. 2, p. 171-178, 2002.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Série Histórica das Safras**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20>. Acesso em 01 de fevereiro de 2021a.

CUNHA, W. G.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Selection aiming at upright growth habit common bean with carioca type grains. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.5, n. 4, p. 379-386, 2005.

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**. v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2012. 514 p.

DESTRO, D.; MONTALBAN, R. Introdução de plantas autógamas, In: Destro, D.; MONTALBAN, R. (Ed.). **Melhoramento genético de plantas**. Londrina: UEL. 1999. p. 181-187.

ESLTON, R. C. A weight-free for the purpose of ranking or selection with respect to several traits at a time. **Biometrics**, v. 19, p. 85-97, 1963.

FAOSAT. CROPS. FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Disponível em:

<[http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries\\_by\\_commodity](http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity)>. Acesso em: 09 de junho de 2020.

FARIAS, F. J. C. **Índices de seleção em cultivares de algodoeiro herbáceo**. 2005. 121 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Piracicaba, 2005.

FARIAS, F. C. **Progresso genético do programa de seleção recorrente para produtividade de grãos de feijoeiro-comum da EMBRAPA**. 2018. 53 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas), Universidade Federal de Goiás – Goiânia, 2018.

FEHR, W. R. **Principles of cultivar development**. New York: MacMillan, 1987. 536 p.

HALLAUER, A. R. Compendium of recurrent selection methods and their applications. *Critical Reviews in Plant Sciences*, v. 3, p. 1-33, 1985.

HALLAUER, A. R. Conversion of tropical germplasm for temperate area use. **Illinois Corn Breeders School**, v. 35, p. 20-36, 1999.

HAZEL, L. N. The genetic basics for constructing selection indexes. **Genetics**, v. 28, n. 1, p. 476-490, 1943.

JINKS, J. L.; POONI, H. S. Predicting the properties of recombinant inbred lines derived by single seed descend. **Heredity**, v. 36, n. 2, p. 253-266, 1976.

LANGE, C. E. **Seleção recorrente para rendimento de grãos em aveia (*Avena sativa* L.): identificação do tipo de unidade experimental para avaliação, da geração de seleção e da variabilidade dos genitores**. 2003. 127 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, 2003.

LOLLATO, M. A.; SEPULCRI, O.; DEMARCHI, M. **Cadeia produtiva do feijão – Diagnóstico e Demandas atuais**. Londrina: IAPAR, 2001. 48 p.

MACHADO, J. C.; SOUZA, M. A. DE.; OLIVEIRA, D. M. DE.; CARGNIN, A. PIMENTEL, A. J. B.; ASSIS, J. C. DE. Recurrent selection as breeding strategy for heat tolerance in wheat. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 10, n. 1, p. 9-15, 2010.

MARQUES JÚNIOR, O. G. **Eficiência de experimentos com a cultura do feijão**. 1997. 180 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

MELO, C. L. P. **Melhoramento de feijão tipo carioca: avaliação de populações segregantes e uso de marcadores moleculares visando resistência a patógenos**. 2006. 107 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento), Universidade Federal de Viçosa – Viçosa, 2006.

MELO, L. C et al. **BRS Estilo: cultivar de grão tipo comercial carioca, com arquitetura de planta ereta associada com alto potencial produtivo**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica, 186. 4 p, 2009.

MENDONÇA, H. A. **Escolha de populações segregantes de feijoeiro utilizando parâmetros genéticos, fenotípicos e marcadores RAPD**. 2001. 100 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento), Universidade Federal de Lavras – Lavras, 2001.

- MENDONÇA, H. A.; SANTOS, J. B.; RAMALHO, M. A. P. Selection of common bean segregain population using genetic and phenotypic parameters and RAPD makers. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.2, n. 2, p. 219-226, 2002.
- MENEZES JÚNIOR, J. A. N. DE.; RAMALHO, M. A.; ABREU, A. B. De F. Seleção recorrente para três caracteres do feijoeiro. **Bragantia**, v. 67, n. 4, p. 833-838, 2008.
- MOURA, A. D. de.; BRITO, L. M. de. Aspecto Socioecômicos. In: CARNEIRO, J. E. S.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão do plantio a colheita**. 1. ed. Viçosa: UFV. 2015. p. 16-36.
- MORAIS JÚNIOR, O. P.; BRESEGHELLO, F.; DUARTE, J. B.; MORAIS, O. P.; RANGEL, P. H. N.; COELHO, A. S. G. Effectiveness of Recurrent Selection in Irrigated Rice Breeding. **Crop Science**, v. 57, p. 3043-3058, 2017.
- MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of th Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egypt J. Gen. Cytol**, v. 7, p. 40-51, 1978.
- OLIVEIRA, M. da S. **Predição do potencial genético de populações segregantes de feiao comum oriundas de híbridos simples e duplos**. 2003. 75 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento), Universidade Federal de Viçosa – Viçosa, 2003.
- PESEK, J.; BAKER, R. J. Desired improvement in relation to selected indices. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 49, n. 1, p. 803-804, 1969.
- POSSE, S. C. P.; SOUZA, E. M. R.; SILVA, G. M.; FASOLO, L. M.; SILVA, M. B.; ROCHA, M. A. M. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na região central-brasileira: 2009 – 2011**. Vitória: INCAPER, 2010. 245 p.
- RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Cultivares, In: VIEIRA, C.; PAULA, JR.; T. J. de; BORÉM, A. (Ed). **Feijão**. 2. Ed. Viçosa: UFV. 2006. p. 415-436.
- RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Obtenção de Cultivares. In: CARNEIRO, J. E. S.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão do plantio a colheita**. 1. ed. Viçosa: UFV. 2015. p. 96-114.
- RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; SANTOS, J. B.; NUNES, J. A. R. **Aplicações da Genética Quantitativa no Melhoramento de Plantas Autógamas**. Lavras: UFLA, 2012. 522 p.
- RAMALHO, M. A. P.; PIROLA, L. H.; ABREU, A. de F. B. Alternativas na seleção de plantas de feijoeiro com porte ereto e grão tipo carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 12, p. 1989-1994, 1998.
- RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. Melhoramento do Feijão. **Informativo Agropecuário**, v. 8, n. 90, p. 16-19, 1982.
- RAMOS, J. P. C. **Ganhos genéticos via índice de seleção e modelos mistos em amendoim para o semiárido**. 2019. 61 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal da Paraíba – Areia, 2019.
- RAPOSO, R. V. **Comparação de métodos de condução de populações segregantes no feijoeiro**. 1999. 72 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas), Universidade Federal de Lavras – Lavras, 1999.

RIBEIRO, F. de O. **Seleção genotípica visando à precocidade em soja**. 2018. 60 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas), Universidade Federal de Lavras – Lavras, 2018.

ROCHA G. S.; CARNEIRO J. E. S.; REZENDE JÚNIOR L. S.; SILVA V. M. P, MENEZES JÚNIOR J. Â. N; CARNEIRO P. C. S; CECON P. R. Effect of environments on the estimated genetic potential of segregating common bean populations. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 13, n. 4, p. 241-248, 2013.

SANTOS, A. dos.; BRAGA, D. C.; CORREA, A. M.; MELO, C. L. P. de.; SILVA, J. A. Dos S.; LIMA, A. R. De S. RODRIGUES, E. V. Escolha de genitores de feijão-comum baseado na divergência genética. **Revista Agrarian**, v. 8, n. 29, p. 235-245, 2015.

SCHWARZBACH, E. Einige Anwendungsmöglichkeiten elektronischer Datenverarbeitung (EDV) für die Beurteilung von Zuchtmaterial. **Arb. Tag. Österr. Pfl anzenz Gumpenstein**, 1972. p.277-287.

SMITH, H. F. A discriminant function for plant selection. **Annals of Eugenics**, v. 7, n. 1, p. 240-250, 1936.

SUBANDI, W.; COMPTON, A.; EMPIG, L. T. Comparison of the efficiencies of selection indices for three traits in two variety crosses of corn. **Crop Science**, v. 13, n. 1, p. 184-186, 1973.

TERES, L. R.; LENZ, E.; CASTRO, C. M.; PEREIRA, A. S. Estimativas de ganhos genéticos por diferentes índices de seleção em três populações híbridas de batata. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 3, p. 305-310, 2015.

TRINDADE, T. F. H. **Potencial de linhagens e populações oriundas do programa de seleção recorrente de feijão preto**. 2020. 69 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento), Universidade Federal de Viçosa – Viçosa, 2020.

TSUTSUMI, C. Y.; BULEGON, L. G.; PIANO, J. T. Melhoramento genético do feijoeiro: avanços, perspectivas e novos estudos, no âmbito nacional. **Nativa**, v. 3, n. 3, p. 217-223, 2015.

UMEDA, W. M. **Caracterização nutricional, capacidade antioxidante e composto bioativos de grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2017. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos), Universidade Estadual Paulista – São José do Rio Preto, 2017.

VENCOVSKY. R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 426 p.

VELLO, N. A.; VENCOVSKY, R. Variâncias associadas às estimativas de variância genética e coeficiente de herdabilidade. In: **Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, (Relatório Científico de 1974). p. 238-248, 1974.

VIEIRA, C.; BORÉM, A.; RAMALHO, M. A. P.; CARNEIRO, J. E. S. Melhoramento do feijão. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2005. p. 301-392.

WILLIAMS, J. S. The evaluation of a selection index. **Biometrics**, v. 18, p. 375-393, 1962.

WUTKE, E. B.; ALMEIDA, L. D'A de. Feijão Carioca: Meio século de sucesso no campo e de revolução na mesa dos brasileiros. **Revista RG News**, v. 3, n. 3, p. 82-91, 2017. Disponível em: <[http://www.recursosgeneticos.org/Recursos/Arquivos/13.\\_Feij\\_o\\_Carioca\\_Meio\\_s\\_culo\\_de\\_sucesso\\_no\\_campo\\_e\\_de\\_revolu\\_o\\_na\\_mesa\\_dos\\_brasileiros.pdf](http://www.recursosgeneticos.org/Recursos/Arquivos/13._Feij_o_Carioca_Meio_s_culo_de_sucesso_no_campo_e_de_revolu_o_na_mesa_dos_brasileiros.pdf)>. Acesso em 12 de junho de 2020.

ZIMMERMANN, M. J. O.; CARNEIRO, J. E. S.; DEL PELOSO, M. J.; COSTA, J. G. C.; RAVA, C. A.; SARTORATO, A.; PEREIRA, P. A. A. Melhoramento genético e cultivares, In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C.A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. (Ed). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba, 1996. p. 223-262.