

LENIN PEREIRA BARROS

**ÍNDICES DE SELEÇÃO E POTENCIAL DE FAMÍLIAS DE
FEIJÃO VERMELHO PARA DERIVAÇÃO DE LINHAGENS**

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 S. Carneiro

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2020**

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

T

Barros, Lenin Pereira, 1994-
B277i Índices de seleção e potencial de famílias de feijão
2020 vermelho para derivação de linhagens / Lenin Pereira Barros. –
Viçosa, MG, 2020.
54 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: José Eustáquio de Souza Carneiro.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 48-54.

1. *Phaseolus vulgaris*. 2. Feijão - Melhoramento genético.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Agronomia.
Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 635.6522

LENIN PEREIRA BARROS

ÍNDICES DE SELEÇÃO E POTENCIAL DE FAMÍLIAS DE FEIJÃO VERMELHO PARA DERIVAÇÃO DE LINHAGENS

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*.

APROVADA: 07 de outubro de 2020.

Assentimento:



Lenin Pereira Barros
Autor



José Eustáquio de Souza Carneiro
Orientador

AGRADECIMENTOS

À minha família pelo apoio incondicional.

À todos meus amigos e colegas de Viçosa, em especial a equipe do programa de melhoramento de feijoeiro.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de fazer o curso.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

BARROS, Lenin Pereira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2020. **Índices de seleção e potencial de famílias de feijão vermelho para derivação de linhagens.** Orientador: José Eustáquio de Souza Carneiro.

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é a fonte de proteína vegetal de baixo custo mais importante da dieta de países em desenvolvimento. Os feijões do tipo carioca e preto são os mais cultivados em território nacional. Feijões com outras colorações de tegumento apresentam destaques regionais, como o feijão vermelho de grãos brilhantes que tem grande relevância econômica e cultural na Zona da Mata mineira. A Ouro Vermelho é a principal cultivar de grãos vermelhos, devido sua produtividade e excelente aspecto comercial de grãos. Esta cultivar trouxe ganhos significativos para região, com produção superior às cultivares Vermelho 2157 e Vermelhinho. A Ouro Vermelho apresenta porte prostrado, inviabilizando a colheita mecanizada. Existem linhagens elites no programa de melhoramento de feijoeiro da UFV que apresentam porte ereto, como a linhagem VR20, recentemente recomendada como Ouro da Mata. A Ouro da Mata apresenta arquitetura de planta ereta, porém deixa a desejar quanto ao aspecto de grão. O objetivo com este trabalho foi avaliar o potencial de famílias derivadas de três populações, visando a obtenção de linhagens de feijão vermelho que reúnam fenótipos favoráveis quanto à arquitetura de planta, aspecto comercial de grãos e produtividade. As famílias avaliadas foram derivadas de três populações tendo como genitores quatro linhagens de feijão vermelho do programa de melhoramento da UFV. Foram derivadas 132 famílias de cada população F₂. As 396 famílias e os quatro genitores foram avaliados por duas gerações, utilizando o delineamento em látice simples na geração F_{2:3}, com avaliação da produtividade, e em látice triplo, na F_{2:4}, com avaliação da produtividade, aspecto comercial de grão e arquitetura de planta. Com base no comportamento das 396 famílias na geração F_{2:4}, comparou-se os ganhos preditos pelas seguintes metodologias de seleção: seleção direta pela arquitetura de plantas; seleção direta pela produtividade; seleção direta pelo aspecto comercial de grão; índice clássico de Smith e Hazel; índice com base

nos ganhos desejados de Pesek e Baker; índice-base de Williams; índice de soma de *ranks* de Mulamba e Mock; índice “livre de pesos” e “livre de parâmetros”; e índice genótipo-ideótipo. O índice genótipo-ideótipo mostrou-se mais eficiente entre as metodologias de seleção utilizadas. Foram selecionadas 96 famílias que juntamente com os quatro genitores foram avaliados na safra das “águas” de 2019 (geração F_{2:5}). Com base nas análises individuais das gerações F_{2:4} e F_{2:5} (96 famílias comuns aos dois experimentos) foram selecionadas 18 famílias com maior potencial para derivar linhagens.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*. Melhoramento. Feijoeiro. Grãos Especiais.

ABSTRACT

BARROS, Lenin Pereira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, October, 2020. **Selection index and potential of red bean families for lineage derivation.** Advisor: José Eustáquio de Souza Carneiro.

Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is the most important low-cost vegetable protein source in the diet of developing countries. Carioca and black beans are the most cultivated in the country. Beans with other tegument colors have regional highlights, such as bright-grained red beans that have great economic and cultural relevance in the Zona da Mata in Minas Gerais. Ouro Vermelho is the main cultivar of red grains, due to its productivity and excellent commercial aspect of grains. This cultivar brought significant gains to the region, with higher production than the cultivars Vermelho 2157 and Vermelhinho. Ouro Vermelho has a prostrate size, making mechanized harvesting impossible. There are elite strains in the UFV bean breeding program that are upright, such as the VR20 strain, recently recommended as Ouro da Mata. Ouro da Mata has an erect plant architecture, but it lacks the grain aspect. The objective of this work was to evaluate the potential of families derived from three populations, aiming at obtaining strains of red beans that gather favorable phenotypes in terms of erect plant architecture, the commercial aspect of grains, and productivity. The evaluated families were derived from three populations with four red bean strains developed by the UFV breeding program as parents. 132 families were derived from each F₂ population. The 396 families and the four parents were evaluated for two generations, using the simple lattice design in the F_{2:3} generations, with productivity evaluation, and in the triple lattice, in the F_{2:4}, with productivity evaluation, the commercial aspect of grain and plant architecture. Based on the behavior of the 396 families in the F_{2:4} generations, the gains predicted by the following selection methodologies were compared: direct selection by plant architecture; direct selection by productivity; direct selection by the commercial aspect of grain; classic Smith and Hazel index; index based on the desired earnings of Pesek and Baker; Williams base index; sum index of Mulamba and Mock ranks; “weight-free” and “parameter-free” index; and genotype-ideotype

index. The genotype-ideotype index proved to be more efficient among the selection methodologies used. 96 families were selected, these and the 4 parents were evaluated in the harvest of the “waters” of 2019 (generation F₂:5). Based on the individual analyzes of generations F_{2:4} and F_{2:5} (96 families common to both experiments), 18 families with the greatest potential to derive strains were selected. Plant architecture, grain appearance, and productivity in kg/ha were used as selection parameters.

Keywords: *Phaseolus vulgaris*. Bean. Breeding. Special Grains.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Métodos de seleção de 96 famílias oriundas de 3 populações com um total de 396 famílias de feijoeiro de grãos vermelhos, utilizando seleção direta em Arquitetura de planta (ARQ); Seleção direta em produção (PG); Seleção direta em Aspecto Comercial de Grão (AG); Índice de Smith e Hazel (SH); Índice de Pesek e Baker (PB); Índice Base de Williams (BW); Índice de Mulamba e Mock (MM); Índice Livre de Pesos e Parâmetros (LPP); Índice Genótipo Ideótipo (GI). Utilizando como parâmetros os caracteres: Arquitetura de plantas, produtividade e aspecto comercial e grãos. 36

Figura 2. Ganho genético predito com a seleção de 18 famílias de feijão vermelho por meio do índice genótipo ideótipo (DE CARVALHO et al., 2002) para arquitetura de plantas (ARQ $F_{2:4}$), produtividade (PG $F_{2:4}$), aspecto de grão (AG $F_{2:4}$) em $F_{2:4}$; produtividade (PG $F_{2:5}$) e aspecto de grão (AG $F_{2:5}$), nas safras “seca” e “águas” de 2019, Coimbra, MG. 40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Cruzamentos de linhagens de feijão vermelho e suas populações originadas.	21
Tabela 2. Detalhes experimentais e caracteres avaliados nos três experimentos.	22
Tabela 3. Escala de notas de arquitetura de plantas (adaptado de Collichio,1995).	22
Tabela 4. Escala de notas de aspecto comercial de grãos (adaptado de Ramalho, 1998).	23
Tabela 5. Resumo da análise de variância individual da variável produtividade de grãos (PG) em kg/ha referente à avaliação de famílias de feijão-vermelho na safra das águas, geração F _{2:3} . Coimbra, MG.....	32
Tabela 6. Resumo da Anova individual de arquitetura de plantas (ARQ), produtividade de grãos (PG) em kg/hae aspecto de grão (AG) referente à avaliação de famílias de feijão-vermelho na safra da seca, geração F _{2:4} . Coimbra, MG.....	34
Tabela 7. Ganhos genéticos preditos baseado na seleção para os caracteres aspecto comercial de grãos (AG), produtividade de grãos (PG) e arquitetura de plantas (ARQ) referentes a famílias de feijão-vermelho na “safra da seca”, geração F _{2:4}	34
Tabela 8. Resumo das análises de variância individuais das variáveis produtividade de grãos (PG) em kg/ha e aspecto de grão (AG) referentes à avaliação de famílias de feijão-vermelho na safra das águas, geração F _{2:5} . Coimbra, MG.....	38
Tabela 9. Resumo das análises de variância conjunta da produtividade de grãos (PG), em kg/ha e aspecto de grãos (AG) referentes à avaliação de famílias de feijão-vermelho nas safras da seca de 2019 e águas de 2019, gerações F _{2:4} e F _{2:5} respectivamente. Coimbra, MG.	39
Tabela 10. Comparação entre médias pelo teste de Dunnet (1955) de 18 famílias e os parentais Ouro Vermelho (OV) e Ouro da Mata (VR20), para arquitetura de plantas (ARQ F _{2:4}), produtividade (PROD F _{2:4}), aspecto de grão (AG F _{2:4}) na geração F _{2:4} e produtividade (PROD F _{2:5}), e aspecto de grão (AG F _{2:5}) na geração F _{2:5} , médias referentes feijão vermelho cultivados nas safras da “seca” e “águas” 2019, Coimbra, MG.....	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVOS.....	12
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	13
3.1 A cultura do feijão	13
3.2 Melhoramento do feijoeiro.....	14
3.3 Índices de seleção	16
4 MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1 Local de condução dos experimentos.....	20
4.2 Obtenção e avaliação das progênies.....	20
4.3 Análises genético-estatística.....	23
4.3.1 Metodologias de Seleção.....	25
4.3.1.1 Seleção direta	26
4.3.1.2 Índice Clássico de Smith(1936) e Hazel (1943).....	26
4.3.1.3 Índice com base nos ganhos desejados (PESEK e BAKER, 1969). 27	
4.3.1.4 Índice-base (WILLIAMS, 1962).....	28
4.3.1.5 Índice com base em soma de postos (<i>Ranks</i>) de Mulamba e Mock (1978)	28
4.3.1.6 Índice “livre de pesos” e “livre de parâmetros” (ELSTON, 1963)	28
4.3.1.7 Índice genótipo-ideótipo (DE CARVALHO et al, 2002)	29
4.3.2 Ganhos Genéticos	30
5 RESULTADOS.....	32
5.1 Avaliação de famílias $F_{2:3}$	32
5.2 Avaliação de famílias $F_{2:4}$	32
5.2.1 Seleção de famílias $F_{2:4}$	34
5.3 Avaliação $F_{2:5}$	37
5.3.1 Seleção de famílias para extração de linhagens.....	38
6. DISCUSSÃO	43
7 CONCLUSÕES.....	47
8 REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é da família *Fabaceae*, tem origem no continente americano, com centros de diversidade genética na região central do continente (mesoamericano) e na região andina, originando, respectivamente, cultivares de grãos pequenos e grandes (MAMIDI et al., 2013).

O Brasil está entre os maiores produtores e consumidores de feijão, em especial do grupo mesoamericano. Na safra 2019/2020, o Brasil produziu 2.517.500 toneladas de feijão comum, sendo 67% da produção oriunda de sequeiro, cultivo das “águas” e da “seca” (CONAB, 2020).

O feijoeiro possui ciclo curto, encaixando-se no sistema de produção de uma ampla faixa de regiões. É explorado, em sua maioria, por pequenos e médios produtores, desempenhando importante papel socioeconômico pela geração de ocupação e renda no decorrer de toda cadeia produtiva (BORÉM e CARNEIRO, 2015; MOURA e BRITO, 2015; GONÇALVES et al., 2010).

As cultivares apresentam alta variabilidade quanto ao tamanho, formato e cores dos grãos. O consumo de feijão pelos brasileiros tem preferências regionalizadas. Os feijões carioca e preto são os mais produzidos e consumidos, correspondendo a 62% e 16% da produção total, respectivamente (CONAB, 2020). O feijão com grãos do tipo carioca é consumido em todo o Brasil, enquanto o consumo de feijão preto se concentra no Rio de Janeiro e estados do sul (BORÉM e CARNEIRO, 2015).

O feijão comum é um produto com a demanda superior à oferta do mercado interno, no entanto, a área de plantio vem decrescendo ao longo das últimas safras (EMBRAPA, 2019). A produção total mantém certa estabilidade em decorrência do acréscimo na produtividade (EMBRAPA, 2019), resultado do uso de tecnologias de produção, em especial cultivares melhoradas, principalmente dos tipos carioca e preto. (FARIA et al., 2014; BARILI, 2015; BARILI et al., 2016).

Apesar do feijão do tipo carioca e preto serem os mais cultivados e consumidos, grãos com outras colorações de tegumento, também apresentam destaques regionais, como o feijão vermelho brilhante, com grande relevância econômica e cultural na Zona da Mata mineira, podendo

chegar ao dobro do preço dos demais tipos cultivados (SILVA, 2005). A Ouro Vermelho, principal cultivar de grãos vermelho, é muito utilizada na culinária local, devido sua produtividade, aspecto comercial de grãos e reduzido tempo de cocção (CARNEIRO et al., 2006).

A cultivar Ouro Vermelho, desenvolvida pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), trouxe ganhos significativos para a região da Zona da Mata mineira, com produção superior às cultivares até então recomendadas, Vermelho 2157 e Vermelhinho. No entanto, a Ouro Vermelho apresenta porte prostrado, o que dificulta a colheita mecanizada. Existem linhagens elites no programa de melhoramento de feijoeiro da UFV que apresentam porte ereto, como a linhagem VR20, em fase de recomendação como Ouro da Mata. A Ouro da Mata apresenta arquitetura de planta ereta, porém deixa um pouco a desejar quanto ao aspecto de grão.

Para atender a demanda regional é necessário o desenvolvimento de linhagens que possuam, arquitetura de planta ereta, alto potencial produtivo e bom aspecto comercial de grãos. Por se tratar de múltiplos caracteres a serem selecionados, preconiza-se a utilização de metodologias que permitam a seleção com base em múltiplos caracteres. Neste contexto, o uso de índices de seleção têm sido recomendados e utilizados (CRUZ, REGAZZI e CARNEIRO, 2012).

2 OBJETIVO

O objetivo com este trabalho foi avaliar a eficiência de diferentes métodos para seleção de famílias de feijoeiro visando a extração de linhagens para composição de futuros Ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU).

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A cultura do feijão

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é a fonte de proteína vegetal de baixo custo mais importante da dieta de países em desenvolvimento (MESQUITA et al., 2007). Rico em ferro e aminoácidos, possui alto valor nutritivo (CIAT, 2016) e digestibilidade proteica de 78,70% (PIRES et al., 2006).

O Brasil com produção média de 3,1 milhões de toneladas está entre os maiores produtores de feijão do mundo (FAO, 2019). É ainda o maior consumidor do bloco comercial do Mercosul, consumindo 90% da produção (CONAB, 2020). Os dados da FAO e Conab consideram o *Phaseolus vulgaris* L. e o *Vigna unguiculata*.

A produção do feijão comum está distribuída de Norte a Sul do Brasil. De acordo com o levantamento da Conab (2020), no ano agrícola de 2020/2021 a produção total será de 2.439.600 de toneladas com produtividade média de 1.493 kg/ha.

O feijão comum é um produto com a demanda superior à oferta do mercado interno, no entanto a estimativa da Conab é de redução de 3,2% da produção na safra 2020/2021 em relação à safra 2019/2020. Diversos fatores podem ser citados como desestimulantes à produção de feijão, mas o principal parece ser o risco, já que 80% da produção brasileira é proveniente do cultivo das “águas” e da “seca”, ambos cultivados em sequeiro (EMBRAPA, 2019; BORÉM e CARNEIRO, 2015).

O cultivo das “águas” é considerado de “risco” por coincidir a colheita com o período chuvoso, podendo comprometer a qualidade dos grãos. O cultivo da “seca” também é considerado de risco devido à escassez hídrica durante etapas essenciais ao desenvolvimento da cultura, como florescimento e enchimento de grãos (BORÉM e CARNEIRO, 2015). Esses dentre outros fatores adversos não instigam confiança para que os produtores realizem maiores investimentos na produção.

De acordo com os dados conjunturais da Embrapa (2019), a produtividade média do feijoeiro tem aumentado gradualmente. Esse aumento

na produtividade pode ser observado principalmente na 3ª safra, “cultivo de Inverno”.

Acréscimos na produtividade da cultura e facilitação dos processos de plantio e colheita mecanizadas, são fatores que podem favorecer o aumento da produção total. O melhoramento genético tem papel central nesse processo.

3.2 Melhoramento do feijoeiro

As pesquisas e o melhoramento do feijoeiro no Brasil, são realizados principalmente por instituições públicas: universidades, Embrapa Arroz e Feijão, Instituto Agronômico de Campinas (IAC) e Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR). Faz parte do papel dessas instituições o desenvolvimento de novas cultivares e tecnologias a serem utilizadas na cadeia produtiva (BORÉM e CARNEIRO, 2015).

O melhoramento do feijoeiro no Brasil é realizado desde 1930, iniciado pela UFV e pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC) (VIEIRA, 1996; VOYSEST, 2000). Em 1970 com a criação de várias estatais de pesquisa, passou-se a dar maior ênfase no melhoramento desta cultura (RAMALHO, 2001), período este, marcado pelo surgimento da cultivar “carioca”, considerada como um divisor de águas, com superioridade em relação às demais cultivares da época, tanto em produtividade como em resistência a doenças (ALMEIDA, 2001).

Quanto ao feijoeiro de grãos pretos, estima-se que o melhoramento deste passou a ser efetivo a partir do final da década de 80, com ganhos para arquitetura de plantas, aspecto comercial de grãos, produtividade e caracteres correlacionados (BARILI et al., 2016 e FARIA et al., 2014).

Os feijões carioca e preto são os mais produzidos e consumidos, correspondendo a 62% e 16% da produção total, respectivamente (CONAB, 2020). Os principais programas de melhoramento do país dão ênfase a feijões com estes padrões de grão, obtendo cultivares com alta produtividade, arquitetura ereta de plantas, resistência a pragas e doenças, além de bom aspecto comercial de grãos (BARILI, 2015; BARILI et al., 2016).

Entretanto, existem grãos com outros padrões, que apesar da pouca expressão no mercado nacional, são destaques regionais, como é o caso do feijão vermelho de grãos brilhantes, preferência dos mineiros da Zona da Mata. O feijão vermelho chega a ter o dobro do preço dos demais tipos cultivados (BORÉM e CARNEIRO, 2015). Devido à prevalência regional de grãos com esse aspecto, a UFV vem conduzindo um programa de melhoramento voltado para o feijão vermelho.

A primeira cultivar de grãos vermelhos que se tem conhecimento na região é a cultivar “Vermelhinho”, tradicionalmente utilizada pelos produtores por algumas décadas. Apesar de ter tido larga aceitação, esta cultivar era susceptível a vários e relevantes patótipos de *U. appendiculatus* (ferrugem), *C. lindemuthianum* (antracnose) e *P. griseola* (mancha-angular) (ALZATE-MARIN et al., 2006), apresentava elevado tempo de cocção (50 minutos) e baixa produtividade, em especial na safra das “águas”, além da arquitetura prostrada (CARNEIRO et al., 2006).

Em 1998, a EPAMIG e UFV registram a “Vermelho 2157”, recomendando-a para a região da Zona da Mata de Minas, com potencial produtivo superior a “Vermelhinho”, maiores níveis de resistência a patógenos e tempo de cocção semelhante a “Vermelhinho” (48 minutos), no entanto, é pouco cultivada na região, devido à coloração desuniforme dos grãos (CARNEIRO et al., 2006; VIEIRA, 2005).

Atualmente, o feijão de grãos vermelhos tem como principal cultivar a “Ouro Vermelho”, registrada em 2006 pela UFV e EPAMIG, apresenta elevada produtividade em relação às cultivares “Vermelhinho” e “Vermelho 2157” (CARNEIRO et al., 2006).

Em ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) a Ouro Vermelho apresentou uma produtividade média nas três safras de 2.682 kg/ha podendo chegar a 3.680 kg/ha na safra de inverno, enquanto as cultivares “Vermelho 2157” e “Vermelhinho” produziram em média, 2383 kg/ha e 2.040 kg/ha, respectivamente. A diferença em produtividade é marcante na safra das “águas” onde a “Ouro Vermelho” produziu 106% a mais que a “Vermelhinho” (CARNEIRO et al., 2006).

Outra característica apreciada da cultivar “Ouro Vermelho” é o reduzido tempo de cocção com média de 30 minutos (CARNEIRO et al., 2006).

Contudo, essa cultivar apresenta arquitetura prostrada, o que dificulta o processo de colheita mecanizada.

Com o crescente aumento da importância do feijoeiro de grãos vermelhos em regiões circunvizinhas à Zona da Mata de Minas Gerais e a popularização da colheita mecanizada, o programa de melhoramento de feijão vermelho da UFV passou a dar maior ênfase à arquitetura ereta de plantas.

Atualmente, existem linhagens elites de feijão vermelho do programa de melhoramento da UFV que apresentam arquitetura ereta de planta, mas exibem algumas características que não as tornam a melhor opção para o consumidor e conseqüentemente para o produtor. A exemplo, a linhagem VR20, possui arquitetura ereta de planta, bom potencial produtivo, mas deixa a desejar quanto ao aspecto comercial de grãos.

Para atender a demanda do mercado regional, faz-se necessário reunir fenótipos favoráveis que estão distribuídos em diferentes genitores. Quando dois genitores reúnem a maioria das características de interesse, alto potencial de produção, arquitetura ereta de plantas, resistência a patógenos, baixo tempo de cocção e bom aspecto comercial de grãos, como a “Ouro Vermelho” e a “VR20”, é recomendável a realização de cruzamentos biparentais, aumentando a probabilidade da progênie resultar em indivíduos que reúnam tais características (MENEZES JÚNIOR et al., 2013).

3.3 Índices de seleção

Ao trabalhar com múltiplos caracteres é preciso definir a metodologia de seleção, objetivando obter cultivares de feijão que reúnam fenótipos favoráveis quanto ao potencial de produção, arquitetura de plantas, resistência a patógenos, aspecto comercial de grãos e aspectos tecnológicos.

A seleção truncada ou focada em apenas um caractere não apresenta resultados satisfatórios, obtendo ganhos significativos ao caráter selecionado, mas com desempenho não tão favorável em outros caracteres importantes, podendo levar à rejeição da cultivar (CRUZ, REGAZZI e CARNEIRO, 2012).

Pesquisadores e melhoristas se utilizam de diversas técnicas para seleção de materiais, buscando maior ganho de seleção em múltiplos caracteres. O método em “Tandem” consiste na seleção de um caráter por

vez, esperando obter ganho em todos, em decorrência das correlações entre caracteres. Em feijoeiro alguns dos caracteres de importância agrônômica possuem correlação negativa, portanto, a seleção em tandem poderá levar a seleção de linhagens com fenótipo favorável a um caractere e desfavorável em um ou mais caracteres, como evidenciado por Jost et al. (2012). Para seleção em tandem é importante fazer análises de correlações, trilha, para saber o comportamento das populações antes de sua aplicação.

Já o método dos níveis independentes de eliminação delimita mínimos e/ou máximos para cada característica e seleciona aqueles que fiquem na faixa determinada para todos os caracteres. A utilização deste método exige que o melhorista conheça bem as características de seu material de estudo, ou pode acarretar em limites acima e/ou abaixo em demasia, levando a perda de materiais promissores. Quando utilizado corretamente, este método de seleção evita que se leve à gerações seguintes materiais que possuem características que os tornam inviáveis ao seu propósito.

Índices de seleção tem demonstrado maior eficiência que o método dos níveis independentes de seleção, este que por sua vez é superior ao método da seleção em tandem (CRUZ, REGAZZI e CARNEIRO, 2012). Índices de seleção são combinações lineares que permitem a seleção de vários caracteres simultaneamente.

Existem diversos índices de seleção disponíveis para melhoristas e pesquisadores, entre estes alguns dos principais são: índice Clássico de Smith (1936) no melhoramento vegetal e Hazel (1943) no melhoramento animal; índice com base nos ganhos desejados de Pesek e Baker (1969); índice-base de Williams (1962); índice com base em soma *Rank's* de Mulamba e Mock (1978), índice “livre de pesos” e “livre de parâmetros” (ELSTON, 1963), índice genótipo-ideótipo (DE CARVALHO et al., 2002), entre outros.

O índice clássico consiste em uma combinação linear dos vários caracteres de importância econômica, onde os coeficientes de ponderação são estimados de modo a maximizar a correlação do índice com o agregado genotípico. A estimação de índices acurados é dependente da estimação de matrizes de variância e covariância. Problemas em decorrência da estimação destas matrizes são recorrentes. Outro inconveniente é a determinação dos

pesos econômicos, que necessita de experiência do melhorista. Pode-se utilizar do coeficiente de variação genético das características como referencial para determinar os pesos econômicos (CRUZ, 1990; CRUZ, REGAZZI e CARNEIRO, 2012).

A dificuldade na determinação dos pesos econômicos levou Pesek e Baker (1969) a propor o índice baseado nos “ganhos desejados”, substituindo a matriz de pesos econômicos por “ganhos desejados”. O índice baseado nos ganhos desejados demonstrou ganhos satisfatórios apenas quando os ganhos desejados de cada característica foram equivalentes a um desvio-padrão da característica (CRUZ, REGAZZI e CARNEIRO, 2012).

O índice “clássico” e o de “ganhos desejados” são baseados em matrizes de variância e covariância, ambos necessitam da determinação de valores que vão influenciar a intensidade de seleção sobre cada caractere, seja este um peso econômico ou ganho desejado. Este tipo de índice quando usado corretamente pode obter o máximo ganho para população de estudo, como evidenciado por Jost et al. (2012) utilizando o índice clássico em feijoeiro, inicialmente os ganhos foram insatisfatórios ao se utilizar o CVg, mas ao redefinir os “pesos econômicos” obteve-se os maiores ganhos entre os índices utilizados.

Os índices até então mencionados dependem de matrizes de variâncias e covariâncias. Como alternativa tem-se o “índice base” proposto por Williams (1962), que consiste na combinação linear dos caracteres avaliados, ponderados diretamente pelos seus respectivos pesos econômicos, dispensando a estimação de matrizes de variância e covariância. Este índice apresentou larga aceitação por parte dos melhoristas (CRUZ, REGAZZI e CARNEIRO, 2012).

Para a utilização do índice base ainda é preciso determinar os “pesos econômicos”. A aplicação do índice base é vantajoso quando os valores fenotípicos são próximos aos genotípicos e quando os caracteres utilizados são produtórios. Em índices que utilizam-se de matrizes de variância e covariância faz-se necessário realizar a inversão de matrizes, e quando um ou mais caracteres são produtos da soma, divisão, subtração, porcentagem e etc., pode ocorrer multicolinearidade, o que compromete a estimação dos parâmetros. Por isso, quando utiliza-se caracteres produtórios para seleção é

recomendado utilizar índices que não necessitem da inversão de matrizes, como o índice base. Jost et al. (2012) utilizando o índice base obtiveram ganho de até 70% em feijoeiro, próximo aos ganhos obtidos utilizando o índice clássico.

Elston (1963) propôs o índice “livre de pesos” e “livre de parâmetros”, que em síntese é um algoritmo para os níveis independentes de seleção, onde os indivíduos com ao menos um dos caracteres abaixo ou acima do valor definido são eliminados e selecionados apenas os que atenham-se aos limites estipulados (CRUZ, REGAZZI e CARNEIRO, 2012). Deve-se utilizar o índice “livre de pesos” e “livre de parâmetros” com cautela, pois quando define-se limites muito restritivos é possível que sejam selecionados poucos materiais, acarretando na perda de materiais potenciais, Santos e de Araújo (2002) trabalhando com feijão caupi selecionou poucas linhas, enquanto Jost et al. (2012) não selecionou nenhuma linhagem de feijão comum com este índice.

Outro índice de fácil utilização é o de Mulamba e Mock (1978) que consiste basicamente na soma de *rank's*, classificando o material de acordo com cada característica, então são somados os *rank's* e o material é classificado (CRUZ, REGAZZI e CARNEIRO, 2012). Este índice é simples e apesar das visíveis falhas, como diferenciar em demasia genótipos próximos ou pouca diferenciação de genótipos muito divergentes tem apresentado resultados favoráveis em açaí e milho doce, equiparando-se em alguns estudos a utilização do REM-BLUP (TEIXEIRA et al., 2012; ENTRINGER et al., 2016)

Um índice com larga aceitação é o baseado na distância genótipo-ideótipo, este seleciona materiais que possuam médias fenotípicas ou genotípicas aproximadas do ideótipo estipulado, independe de matrizes de variância e covariância, pode ser utilizado quando o fenótipo desejado é um valor intermediário ao máximo e/ou mínimo das médias fenotípicas. Na literatura existem alguns métodos para se estimar essa distância, como o de Carvalho et al. (2002), que permite também definir valores máximos e mínimos, onde genótipos que fiquem fora da faixa definida são penalizados e é aumentada sua distância do ideótipo estipulado. Este índice vem apresentando resultados favoráveis em várias culturas, inclusive em feijoeiro (OLIVEIRA, A., 2012; OLIVEIRA, B., 2012; BEM, 2012).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Local de condução dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos na Unidade de Ensino Pesquisa e Extensão (UEPE) do Departamento de Agronomia (DAA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada em Coimbra, MG, Zona da Mata de Minas Gerais, latitude 20° 45' S, longitude 42° 51' W e altitude 690 metros.

4.2 Obtenção e avaliação das progênies

Foram utilizados como genitores, quatro linhagens elites de feijão vermelho do Programa de Melhoramento da UFV. Visando reunir fenótipos de interesse, a linhagem VR 20, foi utilizada em cruzamentos com outras três (Ouro Vermelho, OVR e VR 21). A cultivar Ouro Vermelho, apesar de apresentar excelentes aspecto de grãos e potencial de produção, tem porte prostrado e é suscetível a várias doenças (antracnose, ferrugem, mancha-angular, crestamento-bacteriano-comum e mosaico-comum). A linhagem VR 20, em fase de recomendação, com o nome fantasia “Ouro da Mata”, tem como aspectos favoráveis, o porte ereto da planta e resistência à mancha-angular. A linhagem “OVR”, oriunda do programa de piramidação de genes de resistência aos patógenos da ferrugem e antracnose, obtida pelo Instituto de Biotecnologia Aplicada à Agropecuária da UFV (COSTA, 2007). A “OVR”, apesar do porte prostrado, tem bons níveis de resistência à ferrugem (*Uromyces appendiculatus*) e antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*). Já a linhagem VR 21, oriunda do programa de seleção recorrente do Departamento de Agronomia da UFV, apesar do porte prostrado, tem alto potencial de produção e grãos de excelente qualidade comercial.

Os cruzamentos foram realizados em casa de vegetação de modo a obter as seguintes combinações híbridas: (VR20 x Ouro Vermelho), (VR20 x OVR) e (VR20 x VR21) (Tabela 1). Nas hibridações utilizou-se o método sem emasculação (PETERNELLI, BORÉM e CARNEIRO, 2009). As sementes F₁ foram multiplicadas e obtidas a geração F₂. De cada população F₂ foram

derivadas 132 progênies ($F_{2:3}$), levando-se em consideração o aspecto comercial de grãos.

Tabela 1. Cruzamentos de linhagens de feijão vermelho e suas populações originadas.

Linhagens	Populações
VR20 x Ouro Vermelho	População I
VR20 x OVR	População II
VR20 x VR21	População II

As 396 famílias e os quatro genitores foram avaliados por duas gerações ($F_{2:3}$ e $F_{2:4}$). Foi utilizado o delineamento em látice com duas repetições e parcelas constituídas de uma linha de um metro na geração $F_{2:3}$ e três repetições com parcelas constituídas de uma linha de dois metros na geração $F_{2:4}$. Com base nas informações da geração $F_{2:4}$, 96 famílias foram selecionadas e avaliadas junto aos quatro genitores na geração seguinte ($F_{2:5}$), no delineamento em látice triplo, com parcelas de duas linhas de dois metros.

A seleção das 96 melhores famílias avaliadas em $F_{2:5}$ levou em conta os caracteres produtividade, arquitetura de planta e aspecto comercial de grãos, avaliados em $F_{2:4}$. Para isso foram utilizadas e comparadas as seguintes metodologias: Seleção direta com base em arquitetura de plantas; seleção direta com base em produtividade de grãos; seleção direta com base em aspecto comercial de grãos; índice Clássico de Smith(1936) e Hazel (1943); índice com base nos ganhos desejados de Pesek e Baker(1969); índice-base de Williams (1962); índice de soma de *ranks* de Mulamba e Mock (1978), Índice “livre de pesos” e “livre de parâmetros” (ELSTON, 1963); Índice genótipo-ideótipo (DE CARVALHO et al., 2002). Também foram preditos os ganhos genéticos com as diferentes metodologias de seleção.

Já a seleção final das melhores famílias para extração de linhagens baseou-se nos dados da avaliação das 96 famílias comuns aos experimentos das gerações $F_{2:4}$ e $F_{2:5}$. Para isso foi utilizado o índice genótipo/ideótipo com adaptações, utilizando caracteres das duas gerações para a seleção.

Detalhes experimentais e caracteres avaliados em cada experimento, encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Detalhes experimentais e caracteres avaliados nos três experimentos.

	Experimentos/Gerações		
	F _{2:3}	F _{2:4}	F _{2:5}
Nº tratamentos	400	400	100
Nº total de famílias	396	396	96
Nº famílias Pop. I	132	132	33
Nº famílias Pop. II	132	132	35
Nº famílias Pop. III	132	132	28
Nº parentais	4	4	4
Caracteres	Produtividade	Produtividade, aspecto comercial de grão e arquitetura de plantas.	Produtividade e aspecto comercial de grão.

A arquitetura de planta foi avaliada por meio de escalas de notas, adaptado de Collicchio (1995), conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Escala de notas de arquitetura de plantas (adaptado de Collicchio, 1995).

Nota	Descrição
1	Planta do tipo I, com uma haste e alta inserção das primeiras vagens
2	Intermediária ao 1 e 3
3	Planta do tipo II, ereta e com algumas ramificações
4	Intermediária ao 3 e 5
5	Planta do tipo III, semi-ereta e com muitas ramificações e tendência a prostrar
6	Intermediária ao 5 e 7
7	Planta do tipo III, medianamente prostrada
8	Intermediária ao 7 e 9
9	Planta do tipo III, com internódios longos e muito prostrada

Para a avaliação do aspecto comercial de grãos adotou-se a escala de notas conforme Ramalho (1998), adaptada para feijão vermelho (Tabela 4).

Tabela 4. Escala de notas de aspecto comercial de grãos (adaptado de Ramalho, 1998).

Nota	Descrição
1	Típico grão vermelho, vermelho brilhante, fundo uniforme sem manchas, sem halo escuro, grãos não achatados.
2	Grãos do tipo vermelho com deficiência em uma característica referente ao padrão.
3	Grãos do tipo vermelho com deficiência em duas características referente ao padrão.
4	Grãos do tipo vermelho com deficiência em três características referente ao padrão.
5	Grãos fora do padrão do tipo vermelho.

De modo a adequar os dados de arquitetura de plantas e aspecto comercial de grãos para uso nos índices de seleção, as escalas foram invertidas, por meio de conversão dos escores (notas), conforme proposto por Dos Anjos et al. (2019), utilizando a seguinte expressão:

$$S'u'i' = \left[\left(\frac{i' - u'}{i - u} \right) (Sui - u) \right] + u'$$

Em que:

Sui : escore da escala original;

u : escore do fenótipo indesejável da escala original;

i : escore do Ideótipo na escala original;

$S'u'i'$: escore da escala convertida;

u' : escore do fenótipo indesejável na escala convertida;

i' : escore do Ideótipo na escala convertida.

4.3 Análises genético-estatística

Os dados referentes à produtividade de grãos (kg/ha), foram submetidos à análise variância (ANOVA) por geração, considerando os efeitos do modelo como aleatório, exceto repetição e média. O modelo estatístico para as análises individuais foi:

$$Y_{ijk} = m + g_i + r_j + b_{k(j)} + e_{ijk}$$

Em que:

Y_{ijk} : valor observado na parcela que recebeu o genótipo i , no bloco k , dentro da repetição j , independentemente e normalmente distribuído;

m : média geral do experimento;

g_i : efeito do genótipo i , sendo $i = 1, 2, 3, \dots, n$, sendo n o número de genótipos, independentemente e normalmente distribuído, com média zero e variância σ_g^2 ;

r_j : efeito da repetição j , sendo $j = 1, 2$ e 3 , independentemente e normalmente distribuído, média zero e variância σ_r ;

$b_{k(j)}$: efeito do bloco k dentro da repetição j , independente e normalmente distribuído, com média zero e variância σ_b^2 ;

e_{ijk} : erro experimental associado à observação Y_{ij} , assumindo que os erros são independentes e normalmente distribuídos, com média zero e variância σ^2 .

Os dados referentes à arquitetura de plantas (9 a 1) e aspecto comercial de grãos (5 a 1) foram submetidos à análise variância (ANOVA) por geração, considerando os efeitos do modelo como aleatório, exceto repetição e média. O modelo estatístico para as análises individuais foi:

$$Y_{ij} = m + g_i + r_j + e_{ij}$$

Em que:

Y_{ij} : valor observado na parcela que recebeu o genótipo i , dentro da repetição j , independentemente e normalmente distribuído;

m : média geral do experimento;

g_i : efeito do genótipo i , sendo $i = 1, 2, 3, \dots, n$, sendo n o número de genótipos, independentemente e normalmente distribuído, com média zero e variância σ_g^2 ;

r_j : efeito da repetição j , sendo $j = 1, 2$ e 3 , independentemente e normalmente distribuído, com média zero e variância σ_r ;

e_{ij} : erro experimental associado à observação Y_{ij} , assumindo que os erros são independentes e normalmente distribuídos, com média zero e variância σ_e^2 .

As análises conjuntas foram realizadas considerando os efeitos do modelo como aleatório, exceto repetição e média de acordo com o modelo:

$$Y_{ijk} = m + g_i + r/a_{jk} + a_j + ga_{ij} + e_{ijk}$$

Em que:

Y_{ijk} : valor observado na parcela que recebeu o genótipo i , na repetição k , dentro do ambiente j ;

m : média geral do experimento, efeito considerado fixo;

g_i : efeito do genótipo i , sendo $i = 1, 2, 3, \dots, n$, sendo n o número de genótipos, normalmente e independentemente distribuído, com média zero e variância σ_g^2 ;

r/a_{jk} : efeito da repetição k dentro do ambiente j , independentemente e normalmente distribuído, com média zero e variância $\sigma_{r/a}^2$;

a_j : efeito do ambiente j , sendo $j = 1$ e 2 , independentemente e normalmente distribuído, com média zero e variância σ_a^2 ;

ga_{ij} : efeito do genótipo i no ambiente j , sendo $i = 1, 2, 3, \dots, n$, sendo n o número de genótipos e $j = 1$ e 2 , independentemente e normalmente distribuído, com média zero e variância σ_{ga}^2 ;

e_{ijk} : erro experimental associado à observação Y_{ijk} , assumindo que os erros são independentes e normalmente distribuídos, com média zero e variância σ_e^2 .

As análises individuais e as conjuntas foram realizadas utilizando o software GENES (CRUZ, 2016).

4.3.1 Metodologias de Seleção

4.3.1.1 Seleção direta

Esta metodologia de seleção considera apenas um caractere por vez. Realizado-se um raqueamento dos materiais avaliados com base no desempenho para a característica principal, buscando ganhos máximos nesta, e de acordo com a associação deste caractere com os demais, ocorrerá respostas indiretas, sejam favoráveis ou desfavoráveis em relação aos caracteres secundários.

4.3.1.2 Índice Clássico de Smith(1936) e Hazel (1943)

Este índice consiste em uma combinação linear de caracteres, onde os coeficientes de ponderação são estimados de modo a maximizar a correlação entre o índice e o agregado genotípico, estes então são ponderados pelos “pesos econômicos” atribuídos a cada característica. Seja o índice de seleção (I) e o agregado genotípico (H) descritos da seguinte forma:

$$I = b_1y_1 + b_2y_2 + \dots + b_ny_n = \sum_{i=1}^n b_iy_i = y'b$$

$$H = a_1g_1 + a_2g_2 + \dots + a_ng_n = \sum_{i=1}^n a_i g_i = g'a$$

Em que:

n: número de caracteres avaliados;

b: vetor de dimensão 1 x n dos coeficientes de ponderação do índice de seleção a ser estimado;

y': matriz de dimensão n x 1 de valores fenotípicos dos caracteres;

a: é o vetor de dimensão 1 x n de pesos econômicos previamente estabelecidos;

g: matriz de dimensão g x 1 de valores genéticos desconhecidos dos n caracteres considerados.

Assim, tem-se que o vetor $b = P^{-1} Ga$, em que P^{-1} é a inversa da matriz, de dimensão n x n, de variâncias e covariâncias fenotípicas entre os

caracteres; G é a matriz, de dimensão $n \times n$, de variâncias e covariâncias genéticas entre os caracteres.

4.3.1.3 Índice com base nos ganhos desejados (PESEK e BAKER, 1969)

O índice “com base nos ganhos desejados” propõe a substituição de pesos econômicos existente no índice clássico de Smith(1936) e Hazel (1943) por uma matriz de ganhos desejados. A construção desse índice envolve o conhecimento da expressão do ganho esperado dos vários caracteres, que é definida por:

$$\Delta g = \frac{G\hat{b}i}{\hat{\sigma}_i}$$

Em que:

Δg é o ganho estimado pelo índice;

G é a matriz de dimensão $n \times n$, de variâncias e covariâncias genéticas entre os caracteres;

$\hat{b}$ é o vetor, de dimensão $1 \times n$, dos coeficientes de ponderação do índice de seleção a ser estimado;

i é o diferencial de seleção, em unidades de desvio-padrão do índice I ;

$\hat{\sigma}_i$ é o desvio-padrão do índice I .

No método de Pesek e Baker (1969) substitui-se na expressão anterior o Δg por Δg_d , que é o vetor de ganhos desejados, e estima-se b pela expressão :

$$\hat{b} = G^{-1}\Delta g_d \frac{\hat{\sigma}_I}{i}$$

Como a escalar $\frac{\hat{\sigma}_I}{i}$ não afeta a proporcionalidade dos $\hat{b}_i$ s, pode-se estimar b apenas por:

$$\hat{b} = G^{-1}\Delta g_d$$

Os coeficientes proporcionarão a maximização dos ganhos em cada caráter, baseando-se na especificação dos ganhos desejados.

4.3.1.4 Índice-base (WILLIAMS, 1962)

Esse índice propõe a combinação linear dos valores fenotípicos médios dos caracteres, ponderados diretamente pelos seus respectivos pesos econômicos.

Algebricamente, tem-se:

$$I_b = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n = a'x$$

Em que x e a são vetores $n \times 1$, cujos os elementos são as médias e os pesos econômicos dos caracteres estudados, respectivamente.

4.3.1.5 Índice com base em soma de postos (*Ranks*) de Mulamba e Mock (1978)

Este índice consiste na classificação dos materiais genotípicos em relação a cada um dos caracteres, do maior para o menor ou o inverso. Uma vez classificados, são somados as ordens de cada material genético referente a cada caráter, resultando em um ranqueamento dos genótipos, onde os que possuem menor valor possuem mais atributos favoráveis.

4.3.1.6 Índice “livre de pesos” e “livre de parâmetros” (ELSTON, 1963)

Este índice caracteriza-se por estabelecer limites máximos e/ou mínimos, onde os genótipos que fiquem dentro do intervalo estabelecido para todos os caracteres são selecionados.

Algebricamente tem-se:

$$I_e = \omega_1 \omega_2 \dots \omega_n$$

Em que:

$$\omega_j = X_j - K_j$$

K_j é um valor mínimo (ou máximo) estabelecido pelo melhorista para o j-ésimo caráter. X_j é a média da j-ésima característica do i-ésimo genótipo. Valores de X_j inferiores a K_j são considerados nulos.

4.3.1.7 Índice genótipo-ideótipo (DE CARVALHO et al, 2002)

Este índice utiliza-se da distância euclidiana média para selecionar genótipos próximos a valores considerados ideais. É definido o ideótipo (VO_j) para cada variável, podendo este ser um valor máximo, mínimo ou intermediário. Define-se também limites inferiores (LI_j) e superiores (LS_j), onde os genótipos que fiquem fora da faixa definida são penalizados, aumentando a distância do ideótipo.

Considerando:

X_{ij} como o valor fenotípico médio do i-ésimo genótipo referente a j-ésima característica;

Y_{ij} o valor fenotípico médio transformado;

C_j a constante relacionada à depreciação.

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

Neste estudo, considera-se $C_j = LS_j - LI_j$.

Este C_j garante que o valor de qualquer X_{ij} dentro da faixa ideal resultará em um valor Y_{ij} mais próximo de VO_j que o valor obtido para X_{ij} fora deste intervalo. A transformação de X_{ij} é realizada para depreciar a média fenotípica de genótipos que possuam valores fora da faixa ideal.

Considera-se também Y_{ij} como o i-ésimo valor fenotípico transformado, padronizado e ponderado de acordo com a raiz quadrada da importância relativa da j-ésima característica, $S(Y_j)$ o desvio padrão dos valores

fenotípicos médios transformados da j-ésima característica, incluindo o do ideótipo, e VO_j o melhor valor fenotípico padronizado e ponderado de acordo com a raiz quadrada da importância relativa da j-ésima característica. Assim, temos:

$$Y_{ij} = \sqrt{a_j} \frac{Y_{ij}}{S(Y_j)}; VO_j = \sqrt{a_j} \frac{VO_j}{S(Y_j)}; e IDI = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (Y_{ij} - VO_j)^2}$$

Em que IDI é o índice com base na distância genótipo-ideótipo, n é o número de características incluídas no índice, a_j é a importância relativa da j-ésima característica.

4.3.2 Ganhos Genéticos

Para seleção direta, o ganho esperado para o i-ésimo caractere (GS_i) é estimado com base no diferencial de seleção ponderado pela herdabilidade do caractere, pela fórmula:

$$GS_i = (X_{si} - X_{oi})h_i^2 = DS_i h_i^2$$

Em que:

X_{si} = média das famílias selecionadas para o caráter i;

X_{oi} = média original da população;

DS_i = diferencial de seleção praticado na população;

h_i^2 = herdabilidade do caráter i.

O ganho indireto no caráter j, pela seleção no caráter i, é dada por:

$$GS_i = DS_{j(i)} h_j^2$$

Em que:

$DS_{j(i)}$ é o diferencial de seleção indireto obtido em função da média do caráter das famílias selecionados com base no caractere primário, em que se praticou a seleção direta.

Quanto aos índices de seleção, o ganho esperado para o caráter j , quando a seleção é praticada sobre o índice, é expresso por:

$$\Delta g_{j(i)} = DS_{j(i)} h_j^2$$

Em que:

$\Delta g_{j(i)} = g_{j(i)}$: ganho esperado para o caráter j , com a seleção baseada no índice i ;

$DS_{j(i)}$: diferencial de seleção do caráter j , com a seleção baseada no índice i ;

h_j^2 : herdabilidade do caráter j .

5 RESULTADOS

5.1 Avaliação de famílias F_{2:3}

A Anova evidenciou variabilidade para as famílias em todas as populações. Não houve diferença significativa entre as populações avaliadas, indicando similaridade entre as médias das populações avaliadas. A seleção para este carácter pode ser realizada independente da população de origem. Não foram encontradas diferenças estatísticas entre parentais e as famílias. Assim, em média, as famílias apresentam potencial produtivo equiparado aos parentais (Tabela 5).

Tabela 5. Resumo da análise de variância individual da variável produtividade de grãos (PG) em kg/ha referente à avaliação de famílias de feijão-vermelho na safra das águas, geração F_{2:3}. Coimbra, MG.

FV	GL	QM
Blocos	1	27919636,26
Tratamentos	399	564279,40**
Famílias (F)	395	568166,20**
População I (Pop.I)	131	718603,06**
População II (Pop.II)	131	584299,27**
População III (Pop.III)	131	401626,75*
Entre Populações	2	566170,05 ^{ns}
Testemunha (Test.)	3	190300,93 ^{ns}
F. vs Test.	1	150927,35 ^{ns}
Erro	399	305679,61
Média Geral		2184,13
Médias Famílias		2182,75
Média Pop. I		2199,02
Média Pop. II		2130,50
Média Pop. III		2218,72
Média Test.		2320,79
CV(%)		25,31

** e * significativos a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F

^{ns} não-significativo pelo teste F.

5.2 Avaliação de famílias F_{2:4}

Na geração F_{2:4} evidenciou-se variabilidade entre as famílias para todos os caracteres avaliados. As populações possuem variabilidade, possibilitando a seleção.

Para o carácter produtividade, os testes não foram capazes de diferenciar as médias das populações. Condizente com os resultados da geração $F_{2:3}$. Em média as famílias apresentam potencial produtivo equiparado aos parentais (Tabela 6).

Para os caracteres arquitetura de planta e aspecto comercial de grãos encontrou-se diferença significativa entre as populações. A população I apresentou média inferior às demais para arquitetura de plantas e média superior quanto aspecto comercial de grão.

Quanto aspecto comercial de grãos, a média dos parentais foi superior à de famílias. Em síntese, a populações I apresentou média superior as demais para ARQ e inferior as demais para AG.

Por se tratar de múltiplos caracteres a serem selecionados é importante levar em consideração as inter-relações dos caracteres. No caso das populações deste estudo, foram identificadas correlações negativas e significativas pelo teste t (STUDENT, 1908). Na ordem de -0,41 entre arquitetura de plantas e produtividade e de -0,35 entre arquitetura de plantas e aspecto de grãos.

Tabela 6. Resumo da Anova individual de arquitetura de plantas (ARQ), produtividade de grãos (PG) em kg/ha e aspecto de grão (AG) referente à avaliação de famílias de feijão-vermelho na safra da seca, geração F_{2:4}. Coimbra, MG.

FV	GL	Quadrados Médios		
		ARQ	PG	AG
Blocos	2	13,30	9238817,26	7,06
Tratamentos	399	3,27 **	709195,64**	0,32**
Famílias	395	3,20**	693781,91**	0,32**
População I (Pop.I)	131	3,27**	850773,06**	0,26**
População II (Pop.II)	131	3,64**	695338,98**	0,41**
População III (Pop.III)	131	2,37**	543678,96**	0,21**
Entre Populações	2	23,48**	140562,15 ^{ns}	5,85**
Testemunha (Test)	3	13,44**	2747014,47**	0,36*
F vs Test	1	0,22 ^{ns}	684156,92 ^{ns}	1,35**
Erro	798	1,06	266992,05	0,11
Média Geral		3,64	3368,06	3,42
Médias Famílias		3,64	3365,66	3,42
Média Pop. I		3,36	3387,39	3,56
Média Pop. II		3,81	3353,97	3,34
Média Pop. III		3,74	3355,61	3,35
Média Test.		3,50	3605,64	3,76
CV(%)		28,33	15,34	9,77

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

^{ns} não-significativo; pelo teste F.

5.2.1 Seleção de famílias F_{2:4}

Tabela 7. Ganhos genéticos preditos baseado na seleção para os caracteres aspecto comercial de grãos (AG), produtividade de grãos (PG) e arquitetura de plantas (ARQ) referentes a famílias de feijão-vermelho na “safra da seca”, geração F_{2:4}.

Metodologia de seleção	Ganhos esperados (%)			
	(ARQ)	(PG)	(AG)	Σ% ganhos
Direta em (ARQ)	25,79	-3,91	-2,25	19,63
Direta em (PG)	-11,20	11,39	3,33	3,52
Direta em (AG)	-10,06	4,89	7,51	2,34
Smith (1936) e Hazel (1943) ^a	-16,67	10,76	4,76	-1,15
Pesek e Baker (1969) ^b	16,83	3,99	2,26	23,08
Williams (1962) ^c	-11,01	11,39	3,36	3,74
Mulamba e Mock (1978)	1,38	8,22	5,41	15,01
Elston (1963) ^d	16,95	1,62	0,92	19,49
De Carvalho et al., (2002) ^e	7,36	6,3	4,19	17,85

^a Peso econômico: Coeficiente de variação genético(CVG).

^b Ganho desejado: Desvio padrão genético.

^c Peso econômico: Coeficiente de variação genético(CVG).

^d Limite inferior ARQ (3,66); PG (3000 kg/ha); AG (3,1).

^e Limite inferior: primeiro quartil; limite superior: valor máximo encontrado para o caractere; ótimo: valor máximo encontrado para o caractere.

A seleção direta para arquitetura de planta, obteve um ganho superior a 25%, com uma pressão de seleção de 24,24%, mostrando o potencial das famílias para melhoramento deste caractere. A seleção direta ocasionou ganhos indiretos negativos para produtividade e aspecto de grão, dois caracteres de grande importância do feijoeiro.

Quando realizou-se seleção direta para produtividade obteve-se um ganho predito superior a 11% para este caractere. Houve ganho indireto para aspecto de grão, já que esta característica se correlacionou positivamente com a produtividade, diferente do observado para arquitetura de planta que apresentou correlação negativa com produtividade.

A seleção direta para aspecto de grão proporcionou ganhos superiores a 7%, e ganhos indiretos positivos para produtividade, devido a correlações já relatadas. Assim como na seleção direta para produtividade, houve ganho indireto negativo para arquitetura de plantas.

Para o índice clássico de Smith (1936) e Hazel (1943), utilizou-se os coeficientes de variação genético (CVg) como “pesos econômicos” de acordo com o sugerido por Cruz(1990), já que este baseia-se na variabilidade genética existente dentro dos próprios dados. A utilização do CVg como “peso econômico” obteve ganho predito negativo para a arquitetura de plantas e ganhos para os demais caracteres. Considerando a variabilidade das populações, utilizou-se também desvio padrão genético, razão CVg/CVe e a herdabilidade como “pesos econômicos”, obtendo-se resultados similares.

No índice de ganhos desejados de Pesek e Baker (1969) obteve-se ganhos favoráveis em todos os caracteres, maiores que os apresentados pelo índice clássico de Smith (1936) e Hazel (1943).

Para o índice base o CVg foi utilizado como “peso econômico”, por apresentar os maiores ganhos com base na estatística dos próprios dados. O índice apresentou ganhos superiores aos apresentados pelo índice clássico, corroborando com os encontrados por Teixeira et al. (2012) em açaizeiro.

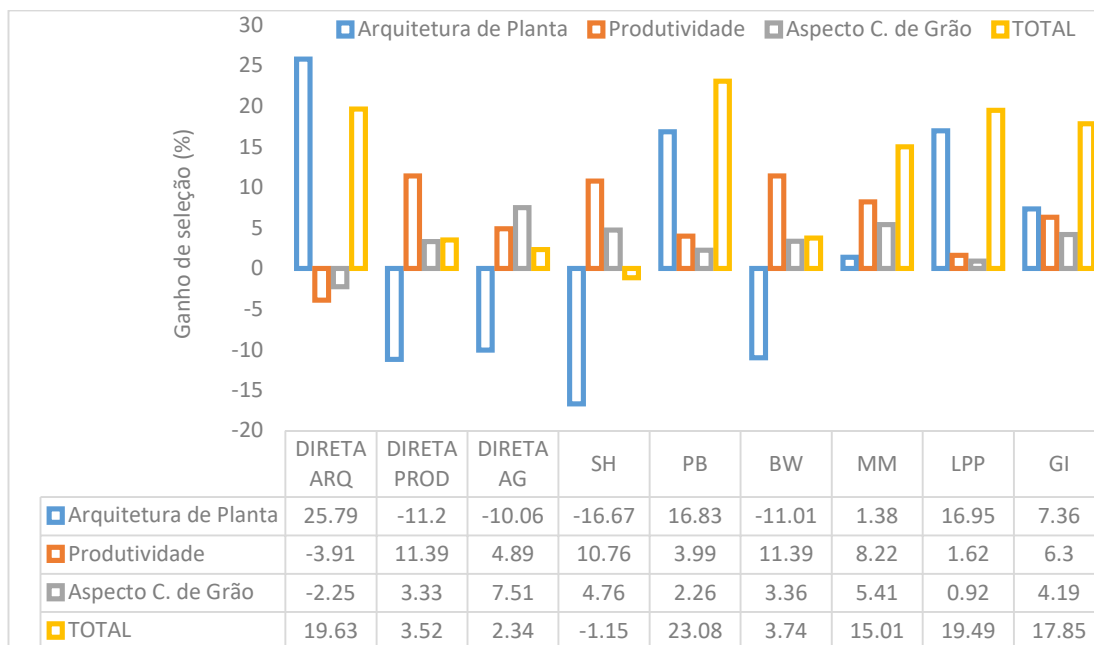
Apesar de ter demonstrado ganhos superiores ao índice clássico, apresentou baixo ganho geral e ganho negativo para produtividade.

O índice de Mulamba e Mock(1978) apresentou ganhos positivos para todos os caracteres avaliados, os ganhos foram maiores para produtividade e aspecto de grão, apresentando ganhos modestos para arquitetura de plantas.

Com a utilização do índice “livre de pesos” e “livre de parâmetros” foi possível obter ganhos para todos os caracteres avaliados, apresentando maior ganho para arquitetura de plantas, contudo, obteve baixo ganho para aspecto de grão, fator este de extrema relevância para o consumidor.

O índice genótipo-ideótipo apresentou como resultado ganhos positivos e bem distribuídos para todos os caracteres, mostrando-se como a melhor alternativa entre os índices utilizados para as populações deste estudo.

Figura 1. Métodos de seleção de 96 famílias oriundas de 3 populações com um total de 396 famílias de feijoeiro de grãos vermelhos, utilizando seleção direta em Arquitetura de planta (ARQ); Seleção direta em produção (PG); Seleção direta em Aspecto Comercial de Grão (AG); Índice de Smith e Hazel (SH); Índice de Pesek e Baker (PB); índice Base de Williams (BW); Índice de Mulamba e Mock (MM); Índice Livre de Pesos e Parâmetros (LPP); Índice Genótipo Ideótipo (GI). Utilizando como parâmetros os caracteres: Arquitetura de plantas, produtividade e aspecto comercial e grãos.



5.3 Avaliação F_{2:5}

A avaliação das 96 famílias selecionadas através do índice genótipo-ideótipo na geração F_{2:4}, safra da “seca” 2019, foi realizada na safra das “águas” 2019. Houve efeito significativo das famílias para produtividade e aspecto de grãos. Para produtividade observou-se que as famílias da população I possuem variabilidade entre si, as populações II e III não apresentaram variabilidade para este caractere, o que pode indicar o esgotamento da variabilidade genética entre as famílias destas populações.

As famílias selecionadas em média são mais produtivas que os genitores. Nas gerações anteriores à seleção, a produtividade das famílias não divergia dos genitores, o que demonstra ganhos positivos para este caractere, com famílias que superam a média das principais linhagens para produtividade.

Quanto ao aspecto de grãos, todas as populações possuem variabilidade genética entre famílias, possibilitando a seleção. As famílias não apresentaram diferença estatística da média dos genitores. Importante ressaltar que na geração anterior à seleção, os genitores possuíam média estatisticamente superior.

A média das famílias selecionadas é superior à média dos genitores para produtividade. Para aspecto comercial de grãos, a média das famílias após a seleção é igual à dos genitores.

Tabela 8. Resumo das análises de variância individuais das variáveis produtividade de grãos (PG) em kg/ha e aspecto de grão (AG) referentes à avaliação de famílias de feijão-vermelho na safra das águas, geração F_{2:5}. Coimbra, MG.

FV	GL	Quadrados Médios	
		PG	AG
Blocos	2	200505,20	1,21
Tratamentos	99	362664,42**	0,46**
Famílias	95	363028,78**	0,46**
População I (Pop.I)	32	471907,75**	0,36 **
População II (Pop.II)	34	300900,87 ^{ns}	0,60 **
População III (Pop.III)	27	250264,61 ^{ns}	0,40 **
Entre Populações	2	1099523,08**	0,29 ^{ns}
Testemunha (Test.)	3	172128,64 ^{ns}	0,59 **
F. vs Test.	1	899657,47*	0,01 ^{ns}
Erro Efetivo	171	220335,25	0,11
Média Geral		2522,55	3,37
Médias Famílias		2533,72	3,37
Média Pop. I		2430,02	3,33
Média Pop. II		2530,73	3,34
Média Pop. III		2659,71	3,45
Média Test.		2254,27	3,39
CV(%)		18,61	9,95

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

^{ns} não-significativo; pelo teste F.

5.3.1 Seleção de famílias para extração de linhagens

A seleção das 96 famílias avaliadas em F_{2:5} resultou em ganhos para todos os caracteres. Para extração de linhagens é necessário focar em famílias com elevado potencial.

Foi realizada a análise conjunta dos tratamentos comuns em F_{2:4} e F_{2:5} para produtividade e aspecto de grãos. As famílias não apresentaram efeito significativo para os caracteres avaliados, diferente do observado nas análises individuais.

A ausência de variabilidade pode ser explicada pelo efeito significativo da interação famílias (F) x ambientes (A), que consome a variabilidade. Na decomposição da interação, esta mostrou-se majoritariamente de natureza complexa, 98,43% para produtividade e 95,13% para aspecto de grão (CRUZ e CASTOLDI, 1991).

A interação de natureza complexa encontrada torna inviável a seleção considerando a média conjunta dos ambientes, já que existe alteração no ranqueamento das famílias nos ambientes avaliados.

Tabela 9. Resumo das análises de variância conjunta da produtividade de grãos (PG), em kg/ha e aspecto de grãos (AG) referentes à avaliação de famílias de feijão-vermelho nas safras da seca de 2019 e águas de 2019, gerações F_{2:4} e F_{2:5} respectivamente. Coimbra, MG.

FV	GL	Quadrados Médios	
		PG	AG
Ambientes	1	139847881,47**	10,6696**
Tratamentos	99	473859,30**	0,3547 ^{ns}
Famílias	95	462358,20 ^{ns}	0,3461 ^{ns}
População I (Pop. I)	32	498750,92 ^{ns}	0,3675*
População II (Pop.II)	34	508750,11 ^{ns}	0,4012 ^{ns}
População III (Pop.III)	27	328119,84 ^{ns}	0,2535 ^{ns}
Entre Populações	2	903630,16 ^{ns}	0,3186 ^{ns}
Testemunha (Test.)	3	843293,09 ^{ns}	0,7007 ^{ns}
F. vs Test.	1	458162,40 ^{ns}	0,1276 ^{ns}
Tratamentos(T) x Ambientes (A)	99	647118,04**	0,2694**
Famílias (F) x A	95	605026,27**	0,2711**
Pop. I x A	32	575604,29**	0,2166**
Pop. II x A	34	667324,01**	0,3484**
Pop. III x A	27	466172,66*	0,2118**
Entre Pops x A	2	1891240,11**	0,6300**
Testemunhas(Test) x A	3	2048825,58**	0,2874 ^{ns}
(F vs Test) x A	1	440713,73 ^{ns}	0,0539 ^{ns}
Erro	396	273140,55	0,1138
Média Geral		3125,45	3,37
Médias Famílias		2533,72	3,37
Média Pop. I		3112,73	3,33
Média Pop. II		3080,63	3,34
Média Pop. III		3215,81	3,45
Média Test.		2990,08	3,39
CV(%)		16,84	9,84

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

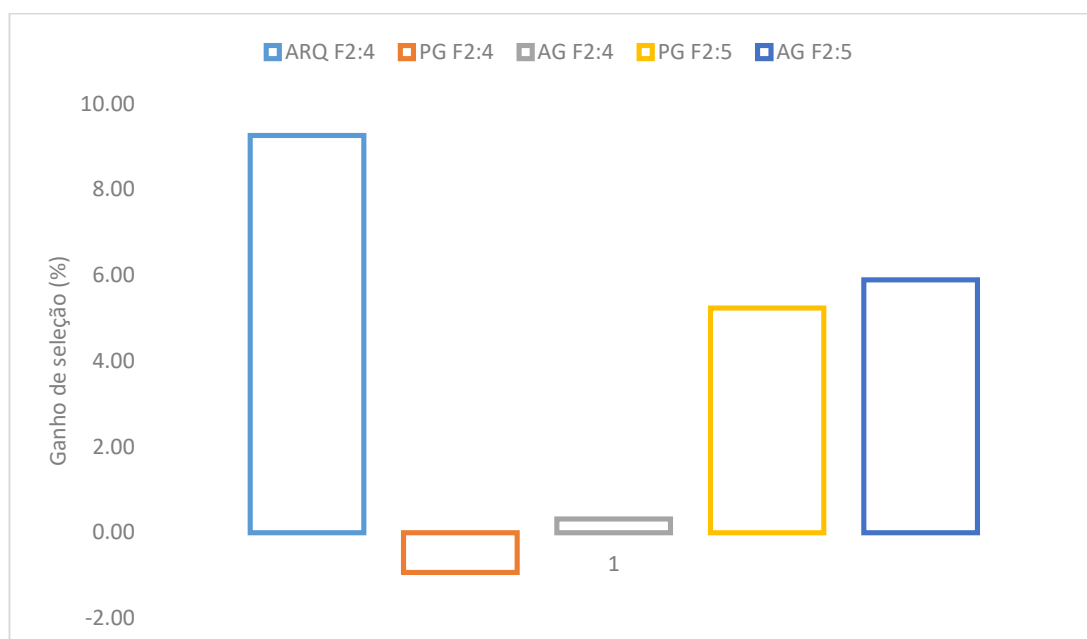
^{ns} não-significativo; pelo teste F.

Devido a interação de natureza complexa entre famílias (F) x ambientes (A), a seleção foi realizada considerando os dados de aspecto de grão e produtividade referentes as duas avaliações separadamente. Os dados de arquitetura de plantas, foram os mesmos na geração F_{2:4} e F_{2:5}, para que houvesse a mesma relevância dos demais caracteres.

Como identificado no comparativo de seleção (Figura 1), o índice genótipo- ideótipo demonstrou-se como a alternativa mais adequada para a seleção das famílias das populações deste estudo. A partir do índice genótipo-ideótipo, selecionou-se 18 famílias que apresentaram maior potencial para abertura de famílias e extração de linhagens elite.

A seleção das 18 famílias proporcionou ganhos para aspecto de grão, considerando as safras da “seca” e “águas” (Figura 2). Também observou-se ganhos para arquitetura de plantas. Quanto à produtividade, a seleção proporcionou ganhos negativos referente a safra da “seca”, ainda que de baixa magnitude. Para a safra das “águas” o ganho predito foi positivo, considerando as duas safras simultaneamente, o ganho para produtividade foi positivo.

Figura 2. Ganho genético predito com a seleção de 18 famílias de feijão vermelho por meio do índice genótipo ideótipo (DE CARVALHO et al., 2002) para arquitetura de plantas (ARQ F_{2:4}), produtividade (PG F_{2:4}), aspecto de grão (AG F_{2:4}) em F_{2:4}; produtividade (PG F_{2:5}) e aspecto de grão (AG F_{2:5}), nas safras “seca” e “águas” de 2019, Coimbra, MG.



A seleção foi realizada sem levar em consideração a população de origem. As populações II e III tiveram 6 e 8 famílias selecionadas, respectivamente. A população I teve 4 famílias selecionadas, no entanto, nenhuma delas está entre as 12 melhores.

A maioria das famílias selecionadas possuem médias que não diferem dos parentais (tabela 10). Para arquitetura de plantas, à exceção de uma família, as selecionadas possuem arquitetura equivalente a “Ouro da Mata”, principal linhagem para arquitetura de plantas.

Em relação a produtividade, todas as famílias possuem média equiparável a Ouro Vermelho nas duas safras, existindo famílias com médias superiores, mesmo que não difira estatisticamente.

Para aspecto comercial de grão, a maioria das famílias possuem média equiparável a Ouro Vermelho, principal cultivar de grãos vermelhos, com destaque para seu aspecto comercial de grãos.

Tabela 10. Comparação entre médias pelo teste de Dunnet (1955) de 18 famílias e os parentais Ouro Vermelho (OV) e Ouro da Mata (VR20), para arquitetura de plantas (ARQ F_{2:4}), produtividade (PROD F_{2:4}), aspecto de grão (AG F_{2:4}) na geração F_{2:4} e produtividade (PROD F_{2:5}), e aspecto de grão (AG F_{2:5}) na geração F_{2:5}, médias referentes feijão vermelho cultivados nas safras da “seca” e “águas” 2019, Coimbra, MG.

Tratamentos	ARQ F _{2:4}	PROD F _{2:4}	AG F _{2:4}	PROD F _{2:5}	AG F _{2:5}
184 (VR20/OVR)	5.33 b	3845.39 a	3.83 ab	2617.90 ab	4.00 ab
278 (VR20/VR21)	4.67 ab	3567.33 ab	4.00 ab	3115.46 ab	3.58 ab
335 (VR20/VR21)	5.00 ab	3620.09 ab	3.67 ab	3471.14 ab	3.83 ab
273 (VR20/VR21)	5.00 ab	3610.33 ab	3.67 ab	3378.81 ab	3.58 ab
137 (VR20/OVR)	5.67 b	3235.94 ab	4.00 ab	2969.46 ab	3.00 b
232 (VR20/OVR)	5.00 ab	3611.18 ab	3.50 ab	3126.71 ab	4.00 ab
191 (VR20/OVR)	6.00 b	2785.73 ab	4.00 ab	2669.46 ab	4.00 ab
381 (VR20/VR21)	4.00 ab	3894.64 a	3.67 ab	3027.76 ab	4.08 ab
323 (VR20/VR21)	4.33 ab	3759.59 a	3.69 ab	2691.65 ab	3.58 ab
234 (VR20/OVR)	3.67 a	3566.88 ab	3.83 ab	2987.94 ab	4.00 ab
284 (VR20/VR21)	5.00 ab	4271.27 a	3.50 ab	2929.97 ab	3.00 b
14 (VR20/OV)	4.67 ab	3743.06 a	3.67 ab	2591.68 ab	3.42 ab
16 (VR20/OV)	4.33 ab	3485.91 ab	3.67 ab	3325.95 ab	3.25 ab
139 (VR20/OVR)	4.67 ab	3756.06 a	3.33 b	3575.97 ab	3.83 ab
332 (VR20/VR21)	4.00 ab	3560.91 ab	3.67 ab	2968.21 ab	3.67 ab
22 (VR20/OV)	6.00 b	3218.64 ab	3.67 ab	2864.05 ab	3.00 b
359 (VR20/VR21)	4.67 ab	3238.21 ab	3.50 ab	3425.06 ab	3.75 ab
82 (VR20/OV)	6.33 b	3176.88 ab	3.33 b	2722.10 ab	3.83 ab
398 (OV)	2.33 a	3693.51 a	4.17 a	2419.45 a	4.00 a
400 (VR20)	6.67 b	2390.84 b	3.33 b	2656.43 b	3.50 b

6 DISCUSSÃO

A maioria dos coeficientes de variação (CV) ficaram abaixo do relatado para experimentos dessa natureza (MELO, 2016; MATOS, RAMALHO e ABREU, 2007; SOUZA, GERALDI e RAMALHO, 2000). O CV para produtividade variou de 15.34% a 25.31%, para aspecto comercial de grãos de 9.77% a 12.89% e para arquitetura de plantas foi de 28.33%. O CV para produtividade em F2:3 e arquitetura de plantas em F2:4 foi acima de 25%.

Oliveira et al. (2009) comparou diversas metodologias para definir faixas para os CV's, classificando em baixo, médio, alto e muito alto. Para produtividade o CV acima de 25% foi considerado alto em todas as metodologias. O alto CV encontrado para produtividade em F2:3 (25.31%) pode estar relacionado a variabilidade dentro de famílias, tamanho de parcelas, número de repetições e efeito de safra (CARGNELUTTI FILHO, RIBEIRO e STORCK, 2009; OLIVEIRA et al., 2006; RAMALHO et al., 1977). Em ensaios de VCU, Oliveira et al. (2006) encontrou CV's acima de 25% na safra das "águas".

Quanto à arquitetura de plantas, o alto CV 28.33% pode estar associado ao efeito de parcelas adjacentes (MARQUES JÚNIOR et al., 1997), método de avaliação e a alta variabilidade existente entre as famílias para este caractere. No experimento conduzido por Marques Júnior et al. (1997), o efeito de parcelas adjacentes influenciou no CV, contudo sem alteração no ranqueamento dos genótipos.

De acordo com Judice et al. (2003), experimentos com baixa precisão podem levar a conclusões errôneas, aumentando-se a probabilidade de cometer o erro tipo II, ou seja, indicar igualdade entre tratamentos, quando na realidade estes são diferentes. Apesar do alto CV para produtividade (F2:3) e arquitetura de planta (F2:4), encontrou-se variabilidade.

Diferenças significativas ($P < 0,01$) entre famílias das diferentes populações foram encontradas para os caracteres avaliados nas gerações F2:3 e F2:4. As populações avaliadas apresentaram potencial para todas as características, apresentando variabilidade e famílias com média igual ou superior aos parentais, exceto para aspecto de grão, no qual as famílias tiveram média inferior.

Dentre as populações avaliadas, a população I em relação as demais, apresentou média superior para aspecto de grãos. Enquanto as populações II e III apresentaram médias superiores para arquitetura ereta de plantas. Estas características das populações podem estar relacionadas as correlações encontradas: entre arquitetura de planta e aspecto de grão, na ordem de -0,35; entre arquitetura de planta e produtividade, na ordem de -0,41.

A associação entre arquitetura de plantas e produtividade em feijoeiro pode ser positiva ou negativa, depende de cada população e pode ser quebrada, selecionando famílias com arquitetura ereta de planta e com potencial produtivo (SILVA, 2006; SILVA, 2009; SILVA, 2013). Quanto a aspecto de grão, apesar da correlação negativa com arquitetura de plantas, não há relação de causa e efeito que inviabilize a seleção de famílias que aliem ambos os caracteres.

Foram avaliadas duas gerações antes de realizar a seleção. Em gerações precoces a baixa disponibilidade de sementes é um fator limitante, induzindo a redução do tamanho de parcelas e número de repetições, o que reflete em uma menor precisão experimental, estando sujeito a maior influência ambiental na expressão dos caracteres. Por esta razão a seleção de famílias foi realizada considerando apenas os dados de F2:4.

Para a seleção, ao comparar diferentes metodologias, optou-se por utilizar o índice genótipo-ideótipo proposto por De Carvalho et al. (2002), onde obteve-se ganhos bem distribuídos para todos os caracteres avaliados (figura 1). Estes resultados são condizentes com os encontrados por Silva, Pereira e Carvalho (2014) trabalhando com batata para fritura em dois ambientes, outros exemplos com pinhão manso (BHERING et al., 2012; ROCHA et al. 2012), maracujá-doce (JUNG et al., 2007) e feijoeiro (OLIVEIRA¹, 2012; OLIVEIRA², 2012; BEM, 2012) reafirmam a eficiência do índice genótipo-ideótipo.

Os índices “livre de pesos” e “livre parâmetros” (ELSTON, 1963), soma de *rank's* (MULAMBA e MOCK, 1978) e o com base nos “ganhos desejados” (PESEK e BAKER, 1969) também apresentaram ganhos positivos para todos os caracteres, porém estes ganhos não foram bem distribuídos.

O índice “livre de pesos” e “livre parâmetros” apresentou ganhos muito baixos para aspecto comercial de grãos, selecionando famílias com baixo

potencial para extração de linhagens. Para cultivares de grãos vermelhos, essa característica é muito importante, podendo levar a rejeição dos consumidores, perdendo seu valor comercial, destinando-a à rejeição, como o ocorrido com a “Vermelho 2157” (VIEIRA, 2005).

Outro inconveniente de utilizar o índice “livre de pesos” e “livre parâmetros” é a determinação de um valor mínimo para cada caractere, o que dificulta a aplicação da intensidade de seleção desejada, necessitando de várias atribuições de valores mínimos até que se obtenha um valor em que seja possível aplicar a pressão de seleção.

Já o índice de soma de *rank's*, apesar das falhas visíveis como incapacidade de diferenciar genótipos que acabam por obter o mesmo valor na classificação dos *rank's* ou a diferenciação em demasia de genótipos com valores próximos, tem apresentado resultados positivos em açaí e milho doce, equiparando-se em alguns estudos a utilização do REM-BLUP (TEIXEIRA et al., 2012; ENTRINGER et al., 2016).

No entanto, índices de seleção baseado em soma de *rank's* tendem a propiciar maiores ganhos em caracteres correlacionados, em virtude da estrutura de classificação. O que foi observado neste trabalho, onde os ganhos foram superiores para produtividade e aspecto de grão, apesar de arquitetura de plantas ser o caractere com maior variabilidade nas populações deste estudo.

Com a utilização do índice clássico não foi possível obter ganho em todos os caracteres. Bhering et al (2012) utilizando CVg obteve ganhos totais e indiretos inferiores ao obtido por seleção direta no rendimento em pinhão manso. Granate, Cruz e Pacheco (2002) em milho pipoca utilizando CVg, razão CVg\CVe e herdabilidade como “pesos econômicos” não obtiveram ganhos simultâneos nos caracteres avaliados, obtendo somente após várias atribuições aleatórias de “pesos econômicos”.

Como o objetivo dos índices de seleção é selecionar bons materiais de maneira rápida e eficiente, a atribuição aleatória de pesos até que se obtenha ganhos desejados não é uma boa alternativa, demandando tempo e deixando a incerteza de que o obtido é o melhor possível, ou se caso atribua-se outros pesos os ganhos poderiam vir a ser maiores.

Entre os índices que se baseiam em matrizes de variância e covariância, apenas o de Pesek e Baker (1969) apresentou ganhos positivos em todos os caracteres, mas só quando se utilizou uma unidade de desvio padrão genético (DPg), como matriz de ganhos desejados, corroborando com os resultados encontrados em milho pipoca (SANTOS et al., 2007; GRANATE, CRUZ e PACHECO, 2002), a utilização do CVg não proporcionou ganhos positivos para produtividade.

Após realizada a seleção de 96 famílias por meio do índice genótipo-ideótipo na safra da “seca”, avaliou-se estas na safra das “águas” 2019. As famílias apresentaram variabilidade para os caracteres e acréscimos na média geral em relação aos parentais, possibilitando a seleção de famílias com alto potencial para extração de linhagens.

Também observou-se alteração na estrutura das populações. Principalmente para aspecto comercial de grãos, onde não se encontrou diferença entre o potencial das populações. Para produtividade as populações I e II não diferiram, enquanto a população III apresentou, em média, famílias menos produtivas.

A alteração nas estruturas das populações evidencia que apesar dos diferentes potenciais para as características e correlações observadas, existem indivíduos transgressores, viabilizando a seleção de genótipos promissores independente da população de origem.

Após a avaliação em F2:5 realizou-se a análise conjunta de F2:4 e F2:5. A variabilidade observada na ANOVA individual de F2:5 foi consumida na análise conjunta, devido a interação safra x famílias, recorrente em experimentos com feijão comum no estado de Minas Gerais (ABREU et al., 1990; TAKEDA et al., 1991; ROSAL et al., 2000; COLLICCHIO, RAMALHO e ABREU, 1997; OLIVEIRA et al., 2006; PEREIRA et al., 2009).

Na decomposição, a interação mostrou-se majoritariamente de natureza complexa, 98,43% para produtividade e 95,13% para aspecto de grão, de acordo com a metodologia proposta por Cruz e Castoldi (1991). Quando a interação é majoritariamente de natureza complexa é dificultada a seleção, uma vez que há alteração do ranqueamento das famílias (CRUZ, REGAZZI e CARNEIRO, 2012). Nesse caso a seleção pode ser realizada com base nas análises individuais, levando em consideração as duas safras,

selecionando famílias que aliem os caracteres de interesse e que sejam mais estáveis ao efeito de safra.

A utilização do índice genótipo-ideótipo demonstrou-se adequado à seleção de famílias para as populações deste estudo e com algumas adaptações pode ser utilizado para seleção em experimentos conduzidos em vários ambientes (OLIVEIRA, A., 2012; OLIVEIRA, B., 2012; BEM, 2012).

Com base nos ganhos preditos pelo índice, optou-se por selecionar 18 famílias, que apresentaram média elevada para os caracteres avaliados. Grande parte das famílias selecionadas reúnem os fenótipos favoráveis oriundos de diferentes genitores, arquitetura ereta de plantas, bom aspecto de grão e elevado potencial produtivo.

A variabilidade entre famílias está praticamente esgotada, mas a variabilidade dentro de famílias ainda não foi explorada, podendo-se abrir famílias e explorar estas. As médias das famílias selecionadas são um indicativo de que é possível obter linhagens com médias superiores ou equiparáveis aos parentais. Tomando como exemplo a família 184 (OVR\VR20) que possui excelente arquitetura de plantas, bom aspecto de grão e alto potencial produtivo nas duas safras.

7 CONCLUSÕES

O índice genótipo-ideótipo mostrou-se como a melhor alternativa entre as metodologias de seleção utilizadas para as populações deste estudo.

Foram selecionadas 18 famílias com potencial para extração de linhagens de feijoeiro visando a composição de futuros Ensaios de VCU.

8 REFERÊNCIAS

- ABREU, A.F.B.; RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B. dos; PEREIRA FILHO, I.A. Effects genotype x environment interaction on estimations of genetic and phenotypic parameters of common beans. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.13, n1, p.75-82, 1990.
- ALMEIDA, L. D. O feijão carioca: reflexos de sua adoção. In: **Dia de Campo de Feijão, 16, 2000, Capão Bonito. Anais**. Campinas, Instituto Agrônomo, 2001. 83p.
- ALZATE-MARIN, A. L., DE SOUZA, T. L. P. O., ARRUDA, K. M. A., DE MORAIS SILVA, M. G., CHAGAS, J. M., DE BARROS, E. G., e MOREIRA, M. A. Reação do cultivar de feijoeiro-comum “vermelhinho” à ferrugem, antracnose e mancha-angular. **Revista Ceres**, v. 53, n. 306, p. 164-170, 2006.
- BARILI, L. D., **Evolução dos cultivares de feijão carioca recomendados no Brasil**. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) Departamento de Biologia- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, p.38, 2015.
- BARILI, L. D., VALE, N. M. D., CARNEIRO, J. E. D. S., SILVA, F. F., E SILVA, F. L. D. Five decades of black common bean genetic breeding in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46, n. 3, p. 259-266, 2016.
- BEM, E. M. A., **Seleção de linhagens de feijão carioca para ensaios de valor de cultivo e uso**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) Departamento de Fitotecnia- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, p.45, 2012.
- BHERING, L. L., LAVIOLA, B. G., SALGADO, C. C., SANCHEZ, C. F. B., ROSADO, T. B., & ALVES, A. A. Genetic gains in physic nut using selection indexes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 3, p. 402-408, 2012.
- BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S. A cultura. In: CARNEIRO, J. E.; JÚNIOR, T. J. DE. P.; BORÉM, A. **Feijão do plantio à colheita**. Ed. UFV. Viçosa - MG. p. 09 - 15. 2015.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de plantas**. 7. Ed. Viçosa: UFV, 2017. 543 p.
- CARGNELUTTI FILHO, A., RIBEIRO, N. D., e STORCK, L. Número de repetições para a comparação de cultivares de feijão. **Ciência Rural**, v. 39, n. 9, p. 2419-2424, 2009.
- CARNEIRO, J. E. S.; SILVA, L. C. da; PAULA JÚNIOR, T. J. de; ARAÚJO, G. A. A.; CARNEIRO, P. C. S.; GIÚDICE, M. P. del; MENEZES JÚNIOR, J. Â. N.; RAMALHO, M. A. P.; DEL PELOSO, M. J.; ABREU, A. de F. B.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. de. Ouro Vermelho': new red bean cultivar for Minas Gerais, Brazil. **Annual Report - Bean Improvement Cooperative**, v. 49, p. 281, 2006.

CIAT - International Center for Tropical Agriculture. **Beans**. 2016 Disponível em: <<https://ciat.cgiar.org/what-we-do/breeding-better-crops/beans/>>. Acesso em Nov. 2019.

COLLICCHIO, E. **Associação entre o porte da planta do feijoeiro e o tamanho dos grãos**. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas). Universidade Federal de Lavras, Lavras, p. 98, 1995.

COLLICCHIO, E.; RAMALHO, M.A.P.; ABREU, Â. DE F.B. Associação entre o porte da planta do feijoeiro e o tamanho dos grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, p.297 304, 1997.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: Segundo Levantamento Safra 2019/20.**, Brasília – DF, v.7, n.2, 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em Nov. 2019.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Análises do mercado histórico**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-feijao/item/download/24680_32d1b2a37a591099b54919025d21f01b> Acesso em Out. 2019.

COSTA, M. R. **Melhoramento de feijões preto e vermelho visando a resistência à Antracnose, Ferrugem e Mancha-Angular, com auxílio de marcadores moleculares**. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) Departamento de Biologia- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, p.88, 2007.

CRUZ, C. D. Genes Software-extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 38, n. 4, p. 547-552, 2016.

CRUZ, C. D.; CASTOLDI, F. Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa. **R. Ceres**, Viçosa, MG, v. 38, p. 422-430, 1991.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético** (volume 1). Viçosa, Editora UFV, v. 1, edição 4, p. 514p, 2012.

CRUZ, C.D. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas**. Piracicaba: ESAL/USP. 1990. 188 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1990.

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

DEL PELOSO M. J. e MELO L. C. Potencial de rendimento da cultura do feijoeiro comum. **Embrapa Arroz e Feijão**, Santo Antônio de Goiás, 2005, 131p.

DOS ANJOS, R. S., MARÇAL, T. D. S., CARNEIRO, P. C., e CARNEIRO, J. E.S. New proposals to estimate unbiased selection gain and coefficient of variation in traits evaluated using score scales. **Crop Science**, v. 59, n. 3, p. 937-944, 2019.

DUNNETT, C. W. A multiple comparison procedure for comparing several treatments with a control. **Journal of the American Statistical Association**, v. 50, n. 272, p. 1096-1121, 1955.

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

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Dados conjunturais da produção de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e caupi (*Vigna unguiculata* L.) Walp) no Brasil (1985 a 2018): área, produção e rendimento**. 2019. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>>. Acesso em Dez. de 2019.

ENTRINGER, G. C., VETTORAZZI, J. C. F., SANTOS, E. A., PEREIRA, M. G., & VIANA, A. P. Genetic gain estimates and selection of S1 progenies based on selection indices and REML/BLUP in super sweet corn. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 3, p. 411, 2016.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Crops**. Disponível em:<<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: Nov. 2019.

FARIA, L. C., MELO, P. G. S., PEREIRA, H. S., WENDLAND, A., BORGES, S. F., PEREIRA FILHO, DIAZ J. L. C., CALGARO M. e MELO, L. C. Genetic progress during 22 years of black bean improvement. **Euphytica**, v. 199, n. 3, p. 261- 272, 2014.

JOST, E., RIBEIRO, N. D., MAZIERO, S. M., POSSOBOM, M. T. D. F., ROSA, D. P., e DA SILVA DOMINGUES, L. Comparison among direct, indirect and index selections on agronomic traits and nutritional quality traits in common bean. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 5, p. 1097-1104, 2013.

JUDICE, M. G.; MUNIZ, J. A.; AQUINO, L. H. Metodologias para classificação do coeficiente de variação na experimentação com animais. In: SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA (SEAGRO), 10.; REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA (RBRAS), 48., 2003, Lavras. **Resumos Expandidos**. Lavras: UFLA, 2003. v. 1. CD-ROM.

GONÇALVES, J. G. R.; CHIORATO, A. F.; MORAIS, L. K.; PERINA, E. F.; FARIAS, F. L.; CARBONELL, S. A. M. Estudo da estabilidade fenotípica de feijoeiro com grãos especiais. **Ciência e Agrotecnologia**, V.34, n.4, p.922-931, 2010.

GRANATE, M.J., CRUZ, C.D., e PACHECO, C.A.P., Predição de ganho genético com diferentes índices de seleção no milho pipoca CMS-43. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 37, n. 7, p. 1001-1008, 2002.

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

JUNG, M. S., VIEIRA, E. A., SILVA, G. O. D., BRANCKER, A., e NODARI, R. O. Capacidade de combinação por meio de análise multivariada para caracteres fenotípicos em maracujazeiro-doce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 5, p. 689-694, 2007.

MAMIDI, S., ROSSI, M., MOGHADDAM, S. M., ANNAM, D., LEE, R., PAPA, R., e MCCLEAN, P. E. Demographic factors shaped diversity in the two gene pools of wild common bean *Phaseolus vulgaris* L. **Heredity**, 110(3), 267-276, 2013.

MARQUES JÚNIOR, O. G., RAMALHO, M. A. P., MENDONÇA, H. A. D., e SANTOS, J. B. D., Efeito de parcelas adjacentes na avaliação de alguns caracteres em cultivares de feijão. **Bragantia**, v. 56, n. 1, p. 199-206, 1997.

MATOS, J. W.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Trinta e dois anos do programa de melhoramento genético do feijoeiro comum em Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1749-1754, 2007.

MELO, V.L. **Progresso genético e potencial de famílias e linhagens de dois ciclos de seleção recorrente no melhoramento de feijão vermelho**. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Departamento de Biologia, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, p. 37. 2016.

MENEZES JÚNIOR, J. Â. N. D.; REZENDE JÚNIOR, L. D. S.; ROCHA, G. S. D.; PEREIRA, A. C.; CARNEIRO, P. C. S.; PETERNELLI, L. A.; CARNEIRO, J. E. D. S. Two cycles of recurrent selection in red bean breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.13, n.1, p. 41-48, 2013.

MESQUITA, F. R.; CORRÊA, A. D.; ABREU, C. M. P. de.; LIMA, R. A. Z.; ABREU, A. F. B. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): Composição química e digestibilidade protéica. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 4, p. 1114-1121, 2007.

MOURA, A. D.; BRITO, L. M. Aspectos Socioeconômicos. In: CARNEIRO, J. E.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Ed). **Feijão do Plantio à Colheita**. Viçosa-MG: UFV, p.16-36, 2015.

MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco Maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egyptian journal of genetics and cytology**., Alexandria, v. 7, p.40-51, 1978.

OLIVEIRA, A. M. C., **Estratégias de seleção visando melhoramento da arquitetura do feijoeiro**. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 2012.

OLIVEIRA, B. M., **Potencial de linhagens de feijão preto oriundas da população “Ouro Negro” x “Meia Noite”**. Tese (Doutorado em genética e melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 2012.

OLIVEIRA, G. V., CARNEIRO, P. C. S., CARNEIRO, J. E. S., e CRUZ, C. D. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de feijão comum em Minas Gerais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 41, n. 2, p. 257-265, 2006.

OLIVEIRA, R. L. D., MUNIZ, J. A., ANDRADE, M. J. B. D., e REIS, R. L. D. Precisão experimental em ensaios com a cultura do feijão. **Ciência e agrotecnologia**, v. 33, n. 1, p. 113-119, 2009.

PEREIRA, H.S.; MELO, L.C.; FARIA, L.C. de; PELOSO, M.J. del; COSTA, J.G.C. da; RAVA, C.A.; WENDLAND, A. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum com grãos tipo carioca na Região Central do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, p.29-37, 2009.

PESEK, J.; BAKER, R.J. Desired improvement in relation to selected indices. **Can. J. Plant. Sci.**, Ottawa, v..49, p..803-804, 1969.

PETERNELLI, L. A.; BORÉM, A.; CARNEIRO, J.E.S. Hibridação em Feijão. In: BORÉM, A. **Hibridação artificial de plantas**. 2. Ed. Viçosa: UFV, p. 320-348. 2009.

PIRES, C. V.; OLIVEIRA M. G. A.; ROSA, J. C.; COSTA, N. M. B. Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes proteicas. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.26, n.1, p.179-187, 2006.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; SANTOS, J. B. dos. Melhoramento de espécies autógamas, In. NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S. de; VALADARES-INGLIS, M. C. (ed.) **Recursos genéticos e melhoramento: plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, p.201-230, 2001.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, Â. de F. B.; SANTOS, J. B. dos.; NUNES, J. A. R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Editora UFLA, 2012. 522p.

RAMALHO, M. A. P., DUARTE, G. D. S., e SILVEIRA, J. V. Estimativa do tamanho ideal da parcela para os experimentos com a cultura do feijão. **Ciência Prática**, v.1, p.5-12, 1977.

RAMALHO, M. A. P.; PIROLA, L. H.; ABREU, Â. 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.

RAPOSO, F. V., RAMALHO, M. A. P., e ABREU, A. D. F. B. Comparação de métodos de condução de populações segregantes do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 10, p. 1991-1997, 2000.

ROCHA, R. B., RAMALHO, A. R., TEIXEIRA, A. L., LAVIOLA, B. G., SILVA, F. C. G. D., e MILITÃO, J. S. L. T. Eficiência da seleção para incremento do teor de óleo do pinhão-mansão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 1, p. 44-50, 2012.

ROSAL, C. J. D. S., RAMALHO, M. A. P., GONÇALVES, F., AVELAR, M., e ABREU, Â. D. F. B. Seleção precoce para a produtividade de grãos no feijoeiro. **Bragantia**, v. 59, n. 2, p. 189-195, 2000.

SANTOS C.A., de Araújo F.P. Aplicação de índices para seleção de caracteres agronômicos de feijão-de-corda. **Embrapa Semiárido-Artigo em periódico indexado (ALICE)**. 2002.

SANTOS, F. S., AMARAL JÚNIOR, A. T. D., JÚNIOR, F., DE PAIVA, S., RANGEL, R. M., e PEREIRA, M. G. Predição de ganhos genéticos por índices de seleção na população de milho pipoca UNB-2U sob seleção recorrente. **Bragantia**, v. 66, n. 3, p. 389-396, 2007.

SILVA, C. A., ABREU, Â. D. F. B., e RAMALHO, M. A. P. Associação entre arquitetura de planta e produtividade de grãos em progênies de feijoeiro de porte ereto e prostrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 12, p. 1647-1652, 2009.

SILVA, G. O. D., PEREIRA, A. D. S., e CARVALHO, A. D. F. D. Seleção de clones de batata para fritura com base em índices de seleção. **Revista Ceres**, v. 61, n. 6, p. 941-947, 2014.

SILVA, L. C. da. **Recomendação de cultivares de feijão vermelho para o estado de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Federal de Viçosa - UFV. Viçosa - MG. 2005.

SILVA, M. G. D. M., SANTOS, J. B. D., e ABREU, Â. D. F. B. Seleção de famílias de feijoeiro resistente à antracnose e à mancha-angular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 10, p. 1499-1506, 2006.

SILVA, V. M. P.; CARNEIRO, P. C. S.; MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; CARNEIRO, V. Q.; CARNEIRO, J. E. de S.; CRUZ, C. D.; BORÉM, A. Genetic potential of common bean parents for plant architecture improvement. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 70, n. 3, p. 167–175, 2013.

SMITH, H.F. A discriminant function for plant selection. **Ann. Eugen.**, v.7, p.240-250, 1936.

SOUZA, E. A. D.; GERALDI, I. O., e RAMALHO, M. A. P. Alternativas experimentais na avaliação de famílias em programas de melhoramento genético do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 9, p. 1765-1771, 2000.

TAKEDA, C.; SANTOS, J.B. dos; RAMALHO, M.A.P. Choice of parental lines for common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) breeding. II. Reaction of cultivars and of their segregant populations to variations in different environments. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.14, n.2, p.455-465, 1991.

TEIXEIRA, D. H. L., OLIVEIRA, M. D. S. P. D., GONÇALVES, F. M. A., e NUNES, J. A. R. Índices de seleção no aprimoramento simultâneo dos componentes da produção de frutos em açaizeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 2, p. 237-243, 2012.

VIEIRA C. **Memórias de meio século de estudo sobre a cultura do feijão**. UFV, Viçosa, 214 p., 2005.

VIEIRA, C. **O feijão e eu: memórias de um ex-aluno da ESAV**. Viçosa: UFV, 1996. 178p.

VOYSEST, O. V. Mejoramiento genético del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.): legado de variedades de América Latina 1930-1999). **Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)**, Cali, Colombia, 2000. 195p.

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