

MICHELI THAISE DELLA FLORA POSSOBOM

**DIVERSIDADE GENÉTICA DE LINHAGENS DE FEIJÃO PRETO E
“CARIOCA” RECOMENDADAS NO BRASIL NOS ÚLTIMOS 50 ANOS**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

P856d
2018 Possobom, Micheli Thaise Della Flora, 1988-
Diversidade genética de linhagens de feijão preto e
“carioca” recomendadas no Brasil nos últimos 50 anos / Micheli
Thaise Della Flora Possobom. – Viçosa, MG, 2018.
xii, 90 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: José Eustáquio de Souza Carneiro.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. *Phaseolus vulgaris* L.. 2. Análise multivariada.
3. Variação (Genética). 4. Feijão. I. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 633.372

MICHELI THAISE DELLA FLORA POSSOBOM

DIVERSIDADE GENÉTICA DE LINHAGENS DE FEIJÃO PRETO E
"CARIOCA" RECOMENDADAS NO BRASIL NOS ÚLTIMOS 50 ANOS

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

APROVADA: 11 de abril de 2018.


Pedro Crescêncio Souza Carneiro
(Coorientador)


Cosme Damilão Cruz


Rodrigo Oliveira de Lima


Lisandra Magna Moura


José Eustáquio de Souza Carneiro
(Orientador)

Aos meus pais, Breni Antônio Possobom e Inês Maria Della Flora Possobom.

Aos meus irmãos, Marcos Rogério Possobom e Mateus Eduardo Possobom.

Aos meus sobrinhos, Maria Eduarda, Luigi e João Pedro.

DEDICO.

“Se dois homens vêm andando por uma estrada, cada um com um pão, e, ao se encontrarem, trocarem os pães, cada um vai embora com um. Se dois homens vêm andando por uma estrada, cada um com uma ideia, e, ao se encontrarem, trocarem as ideias, cada um vai embora com duas.”

Provérbio Chinês

“O que vale na vida não é o ponto de partida e sim a caminhada. Caminhando e semeando, no fim terás o que colher”.

Cora Coralina

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas graças a Deus, não sou o que era antes”.

Martin Luther King

“Se você faz o que todo mundo faz, chega aonde todos chegam. Se você quer chegar aonde a maioria não chega, precisa fazer algo que a maioria não faz”.

Roberto Shinyashiki

“Sê humilde para evitar o orgulho, mas voa alto para alcançar a sabedoria”.

Santo Agostinho

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus por estar sempre ao meu lado me dando força e persistência.

Aos meus pais, Breni e Inês, por todo amor e compreensão, que mesmo distantes estão sempre apoiando minhas escolhas.

Aos meus irmãos, Marcos e Mateus, pelo incentivo e amizade dedicado a mim em todos os momentos.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de cursar o doutorado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu orientador, José Eustáquio de Souza Carneiro, pela orientação, ensinamentos, sugestões, amizade, compreensão e humildade que me transmitiu ao longo destes quatro anos.

Ao meu coorientador, Pedro Crescêncio Souza Carneiro, pela amizade, paciência, ensinamentos, conselhos e toda a ajuda na análise dos dados e elaboração da tese.

Ao professor Cosme Damião Cruz, por toda atenção e gentileza nos esclarecimentos de minhas dúvidas.

Ao professor Rodrigo Oliveira de Lima, por todo o incentivo ao longo do curso, sempre me motivando e acreditando no meu potencial.

Ao professor Felipe Lopes da Silva, que sempre disponibilizou seu tempo para proporcionar agradáveis momentos na troca de conhecimentos.

A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia e Genética e Melhoramento, pelo conhecimento transmitido.

Às secretárias da Pós-graduação em Fitotecnia, Tatiani e Lídia, por estarem sempre dispostas a ajudar a esclarecer qualquer dúvida.

Ao funcionário Vicente Madaleno dos Santos, pelo agradável convívio e colaboração ao longo do curso.

Aos funcionários da Estação Experimental de Coimbra, Sebastião, Pereira, Carlinhos, Potoca, Douglas, Nilson, Beto, Fonseca e João, pela amizade e auxílio nos experimentos de campo.

Aos funcionários da Estação Experimental Diogo Alves de Melo, Estação Experimental Clibas Vieira e Estação Experimental Horta Velha, por toda ajuda na condução dos experimentos.

Aos funcionários, Pereira e Gilberto, os quais se tornaram grandes amigos, sempre me aconselhando e transmitindo suas experiências, tornando um ambiente de trabalho mais descontraído.

A todos os meus colegas do Grupo Feijão, Adérico, Naine, Leiri, Lisandra, Vinícius, Ramon, Laércio, Michel, Leonardo, Isabela, Igor, Jhonn, Andréia, Gabriela, Ana Laura, Kharenn, Laiza, Beatriz, Ana Rita, Jamille, Thalita, Tiago, Natália, Adriel, Felipe, Fabíola, Karine, João, Michele e Isadora, que colaboraram na condução deste trabalho.

Aos amigos do programa soja, Daniele, André, Francisco, Diego, Stênio, Alisson, Martha, Guilherme, Danúbia, Amilton e Cupertino, pessoas fundamentais durante minha estadia em Viçosa.

Aos amigos, Fagner, Jefferson, Willian e Leandro pelos agradáveis momentos que compartilhamos sempre regados por um bom churrasco e chimarrão.

Ao meu colega Tiago Souza por ter, inúmeras vezes, esclarecido minhas dúvidas estatísticas.

Ao meu grande amigo, Haroldo Rodrigues, por ter se tornado um irmão, sempre estendendo a sua mão, me auxiliando, apoiando e, muitas vezes, me encorajando diante dos desafios.

À minha colega de apartamento, Liany Divina Miranda, à qual se tornou uma grande amiga, onde compartilhamos momentos de alegrias, frustrações, mas sempre vibrando com as conquistas uma da outra. A toda sua família, por ter me dado amor e carinho nesses quase quatro anos de Viçosa.

Enfim, cada pessoa, cada palavra e cada momento marcaram essa trajetória, agradeço a todos que de fato me apoiaram.

Muito Obrigada!

BIOGRAFIA

MICHELI THAISE DELLA FLORA POSSOBOM, filha de Breni Antônio Possobom e Inês Maria Della Flora Possobom, nasceu em 24 de janeiro de 1988, na cidade de Tupanciretã, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

Em outubro de 2006, iniciou o curso superior em Agronomia, na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em Santa Maria, Rio Grande do Sul. Durante a graduação trabalhou como bolsista de iniciação científica na área de melhoramento genético de feijão, sob orientação da Professora Dra. Nerinéia Dalfollo Ribeiro.

Entre agosto de 2010 e abril de 2011 participou do programa de estágio International Farmers Aid Association nos estados de Minnesota e Califórnia nos Estados Unidos, desempenhando atividades na área de produção de grãos, pecuária, floricultura e cultura de tecidos. Em janeiro de 2012 colou grau em Agronomia na UFSM.

Em março de 2012, ingressou no curso de Mestrado em Produção Vegetal na UFSM, submetendo-se à defesa de dissertação em fevereiro de 2014, intitulada: “Genética da coloração do tegumento e da concentração de ferro em sementes de feijão Mesoamericano e Andino”.

Em março de 2014, ingressou no curso de Doutorado em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais. Em setembro de 2017 foi contratada como pesquisadora associada pelo grupo Dupont Pioneer. Em abril de 2018, submeteu-se à defesa de tese, intitulada: “Diversidade genética de linhagens de feijão preto e “carioca” recomendadas no Brasil nos últimos 50 anos”.

SUMÁRIO

RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	7
ANÁLISE MULTIAMBIENTES DA DIVERSIDADE GENÉTICA DE LINHAGENS DE FEIJÃO PRETO E “CARIOCA” RECOMENDADAS NO BRASIL NOS ÚLTIMOS 50 ANOS.....	9
Resumo.....	10
Abstract	11
Introdução.....	12
Material e Métodos	13
Análises de variância e da interação GxA	15
Análises de diversidade genética por ambiente	16
Análise de diversidade genética multiambientes	18
Resultados e discussão	19
Análises de variância individuais e conjunta.....	19
Diversidade genética por ambiente	21
Diversidade genética multiambientes.....	25
Desempenho dos grupos de dissimilaridade.....	28
Conclusões	33
Referências	34
MATERIAL SUPLEMENTAR	39
RANKING DE LINHAGENS DE FEIJÃO PRETO E “CARIOCA” RECOMENDADAS NO BRASIL NOS ÚLTIMOS 50 ANOS, VISANDO O MELHORAMENTO DA CULTURA	46
Resumo.....	47
Abstract	48
Introdução.....	49
Material e Métodos	52
Material genético.....	52
Avaliação das linhagens	53
Análises de variância individuais e conjunta	53
Análise de fatores para linhagens de feijão preto e “carioca” visando o melhoramento da cultura.....	54

Resultados e Discussão	56
Análise de variância conjunta	56
Análise de fatores de linhagens de feijão preto e “carioca” visando o melhoramento da cultura	59
Conclusões	81
Referências	82
MATERIAL SUPLEMENTAR	87
3. CONCLUSÕES GERAIS	90

RESUMO

POSSOBOM, Micheli Thaise Della Flora, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2018. **Diversidade genética de linhagens de feijão preto e “carioca” recomendadas no Brasil nos últimos 50 anos.** Orientador: José Eustáquio de Souza Carneiro. Coorientador: Pedro Crescêncio Souza Carneiro.

Ao longo de vários anos de melhoramento genético de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) no Brasil, inúmeras cultivares foram recomendadas, especialmente dos grupos comerciais preto e “carioca”. A cultura do feijoeiro é um dos produtos agrícolas de maior importância econômico-social, devido especialmente à mão-de-obra empregada desde o preparo para a semeadura até chegar ao produto final. O estudo da diversidade genética de linhagens de feijão preto e “carioca” é importante para facilitar o processo de conhecimento e direcionamento dos programas de melhoramento da cultura no país. Assim, os objetivos destes estudos foram: 1) avaliar a diversidade genética das linhagens de feijão preto e “carioca” recomendadas no Brasil nos últimos 50 anos, por meio de técnicas multivariadas, considerando a interação genótipos x ambientes (GxA) e 2) identificar as melhores linhagens de feijão preto e “carioca” para compor blocos de cruzamentos, com base no índice de seleção FAI, o qual se baseia na análise de fatores. Foram utilizadas 77 cultivares e três linhagens elites do programa de melhoramento da Universidade Federal de Viçosa, totalizando 40 genótipos do grupo comercial preto e 40 do “carioca”, avaliadas em sete experimentos, nos municípios de Viçosa e Coimbra-MG, no período de 2013 e 2016. Os resultados do primeiro estudo mostraram interação GxA para todos os 15 caracteres morfoagronômicos avaliados, com predominância de interação do tipo complexa, o que refletiu em diferentes dendrogramas em cada ambiente auferidos pela estatística M^2 de Procrustes. As linhagens recomendadas após a década de 90 apresentaram melhor aspecto de grão e maiores produtividade e massa de 100 grãos, número de vagens por planta, número de grãos por planta e número de grãos por vagem. As linhagens de feijão preto apresentaram arquitetura de planta mais ereta e maior diâmetro do hipocótilo comparadas às de grãos carioca. O número de vagens por planta e aspecto de grãos foram os caracteres que mais contribuíram para a diversidade genética. Há variabilidade genética entre as

linhagens dos dois grupos comerciais, bem como entre as linhagens oriundas de diferentes instituições de pesquisa e décadas de recomendação. Linhagens de feijão preto e “carioca” apresentam entre si elevada variabilidade genética, com maior diversidade entre as linhagens de feijão do grupo “carioca” do que as do preto. A estratégia de soma das matrizes de dissimilaridade genética se mostrou eficiente para quantificar a diversidade multiambientais. O segundo estudo baseou-se em oito caracteres morfoagronômicos avaliados em sete ambientes, totalizando 56 caracteres analisadas. Os resultados obtidos a partir do índice FAI, o qual se baseia na análise de fatores, identificaram as linhagens de maior potencial para rendimento de grãos, independente de grupo comercial que são: IPR Campos Gerais, IPR Tiziu, BRS Expedito, IAC Ybaté, Iapar 65, IPR Uirapurú, BRSMG Majestoso, IPR Andorinha, VC 15 e IPR Tuiuiú. As linhagens BRS Valente, IPR Graúna, IPR Uirapurú, BRS Supremo, BRS Esplendor, IPR Tuiuiú, IPR Tiziu, VP 22, IPR Gralha (grupo comercial preto) e BRS Cometa (grupo comercial “carioca”) devem ser consideradas em blocos de cruzamento quando o objetivo for melhorar a arquitetura de planta. As linhagens do grupo comercial “carioca”: VC 15, IAC Alvorada, IPR 139, IAC Formoso, Pérola, IPR Tangará, BRS Estilo, IPR Campos Gerais, IPR Andorinha e IAC Imperador devem ser consideradas em blocos de cruzamento quando o objetivo for melhorar aspectos de grão. O desempenho de linhagens em ambientes favoráveis e desfavoráveis contribui para a escolha de genitores divergentes e deve ser considerada na formação dos blocos de cruzamentos.

ABSTRACT

POSSOBOM, Micheli Thaise Della Flora, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April, 2018. **Multi-environmental analysis of the genetic diversity of black and "carioca" common bean lines recommended in Brazil over the last 50 years.** Adviser: José Eustáquio de Souza Carneiro. Co-adviser: Pedro Crescêncio Souza Carneiro.

Over several years of genetic improvement of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in Brazil, numerous cultivars were recommended, especially from the black and "carioca" commercial groups. The common bean crop is one of the agricultural products of major economic and social importance, especially due to the workforce employed from the preparation for sowing to the final product. The study of the genetic diversity of common beans black and "carioca" lines is important to facilitate the process of knowledge and direction of the breeding programs of the culture in the country. Thus, the objectives of these studies were: 1) to evaluate the genetic diversity of black and "carioca" common bean lines recommended in Brazil in the last 50 years, using multivariate techniques and considering genotypes x environments interaction and 2) to recommend the best crosses of lines of black and "carioca" groups based on the FAI selection index, which is based on factor analysis. A total of 77 cultivars and three elite lines of the breeding program of the Federal University of Viçosa were used, totaling 40 genotypes of the commercial black group and 40 of the "carioca" group, evaluated in seven experiments in the municipalities of Viçosa and Coimbra-MG in the period of 2013 and 2016. The results of the first study showed interaction GxE for all 15 morphoagronomic characters evaluated, with a predominance of complex type interaction, which reflected in different dendrograms in each environment obtained by the Procrustes M^2 statistic. The recommended lines after the 90s presented better grain appearance and higher yield and mass of 100 grains, number of pods per plant, number of grains per plant and number of grains per pod. The black common bean lines presented a more erect plant architecture and a larger hypocotyl diameter compared to those of carioca grains. The number of pods per plant and grain aspect were the main contributors to genetic diversity. There is genetic variability between the lines of the two commercial groups, as well as between the lines coming from different research institutions and

decades of recommendation. Black and "carioca" common bean lines have high genetic variability among them, with greater diversity among the common bean lines of the carioca group than those of black. The sum strategy of the genetic dissimilarity matrices was shown to be efficient in quantifying the multienvironmental diversity. The second study was based on eight morphoagronomic characters evaluated in seven environments, totaling 56 analyzed variables. The results obtained from the FAI index, which is based on the analysis of factors, identified the 10 lines of greatest potential for grain yield, independent of commercial group: IPR Campos Gerais, IPR Tiziu, BRS Expedito, IAC Ybaté, Iapar 65, IPR Uirapurú, BRSMG Majestoso, IPR Andorinha, VC 15 e IPR Tuiuiú. The lines BRS Valente, IPR Graúna, IPR Uirapurú, BRS Supremo, BRS Esplendor, IPR Tuiuiú, IPR Tiziu, VP 22, IPR Gralha (black commercial group) and BRS Cometa ("carioca" commercial group) should be considered in crossing blocks when the aim is to improve plant architecture. The lines of the "carioca" commercial group: VC 15, IAC Alvorada, IPR 139, IAC Formoso, Pérola, IPR Tangará, BRS Estilo, IPR Campos Gerais, IPR Formoso and IAC Imperador should be considered in crossing blocks when the objective is to improve aspects of grain. The performance of lines in favorable and unfavorable environments contributes to the choice of divergent parents and should be considered as the formation of crossing blocks.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é a principal fonte de proteína vegetal usada na dieta da população, especialmente em países menos desenvolvidos (MESQUITA et al., 2007). Além disso, o feijão é um dos produtos agrícolas de maior importância econômico-social, devido especialmente à mão-de-obra empregada desde o preparo para a semeadura até chegar ao produto final.

O Brasil é o maior produtor mundial de feijão (FAO, 2017), com uma produção média anual de 3,4 milhões de toneladas (CONAB, 2017). Esse resultado é devido à boa adaptação da cultura do feijoeiro às mais variadas condições edafoclimáticas do país, podendo ser cultivado em três épocas de semeadura: safra das “águas” (primeira safra), com plantio nos meses de outubro e novembro; safra da “seca” (segunda safra), com plantio de fevereiro a março; e safra de outono/inverno ou feijão irrigado (terceira safra), com plantio de abril a junho (ARAÚJO; CAMELO, 2015).

A produção brasileira de feijão é proveniente, principalmente, de áreas com baixo uso de tecnologias, especialmente de pequenos agricultores, o que resulta em uma produtividade média baixa, apenas 1064 kg ha⁻¹, dados da safra 2016/2017 (CONAB, 2017). Em áreas de cultivo sob alta tecnologia, como irrigação e controle eficiente de pragas e doenças, a produtividade média pode ultrapassar os 3000 kg ha⁻¹ (BORÉM; CARNEIRO, 2015). A maior produtividade média de grãos é observada na região Centro-oeste (1.761 kg ha⁻¹), seguida das regiões Sudeste (1.731kg ha⁻¹), Sul (1.630 kg ha⁻¹), Norte (1.158 kg ha⁻¹) e Nordeste (438 kg ha⁻¹) (CONAB, 2017).

Ao longo de vários anos de melhoramento genético de feijão no Brasil, inúmeras cultivares foram recomendadas, especialmente dos grupos comerciais preto e “carioca”. Atualmente o Registro Nacional de Cultivares (RNC) pertencente ao Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) apresenta 337 cultivares de feijão-comum registradas (incluindo feijão-vagem).

O melhoramento do feijoeiro no Brasil é realizado predominantemente por instituições públicas. Os primeiros trabalhos começaram na década de 30 pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), avaliando principalmente linhagens introduzidas. Posteriormente, a Escola Superior de Agricultura e Veterinária de Viçosa (ESAV), hoje Universidade Federal de Viçosa (UFV), iniciou as pesquisas com a cultura, a cargo de Drummond & Muller. Posteriormente, a partir de 1955 o

professor Clibas Vieira foi responsável pela coleta e introdução de cultivares, como a cultivar Rico 23, originária da Costa Rica, recomendada no ano de 1959 para o estado de Minas Gerais e mais tarde expandida para mais seis estados (CARNEIRO, 2002).

A Universidade Federal de Lavras (UFLA) iniciou os seus trabalhos de pesquisa com a cultura do feijoeiro no ano de 1968, com a avaliação de linhagens introduzidas de outras regiões pelo então professor Arnaldo Junqueira Neto (CARNEIRO, 2002). Ainda no estado de Minas Gerais, foram realizadas pesquisas nas estações experimentais do Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuária do Centro-Oeste (IPEACO), as quais eram subordinadas ao Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas (SNPA), órgão vinculado ao Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas (CNEPA) (VOYSEST, 2000; CARNEIRO, 2002).

Em 1960, a CNEPA foi substituída pelo Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária (DNPEA), composto por sete institutos regionais: IPEA (RS e SC), IPEAME (PR e SP), IPEACS (RJ e ES), IPEACO (MG, GO e MT), IPEAL (BA e SE), IPEANE (PE e AL) e IPEAN (PA). Em 1963 o MAPA criou a Comissão Brasileira de Feijão (CBF), com o objetivo de estabelecer metodologias e normas para a experimentação em feijão (CARNEIRO, 2002). A DNPEA instituiu, por meio do MAPA, os programas especiais de pesquisa agropecuária (PEPA), como o Programa Nacional de Feijão (PNF) em 1972, o qual foi extinto com a criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (CARNEIRO, 2002).

No sul do Brasil, as pesquisas com a cultura do feijoeiro se deram a partir de 1950 no estado do Rio Grande do Sul pelo Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuária do Sul (IPEAS), com a avaliação de linhagens (VOYSEST, 2000). Em Santa Catarina, o programa de melhoramento iniciou-se em 1979 na Empresa de Pesquisa Agropecuária de Santa Catarina (EMPASC). No Paraná, as pesquisas iniciaram-se em 1973 no Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), com a introdução de germoplasmas do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), do IAC, da Embrapa e da Universidade de Nebraska (CARNEIRO, 2002). Já no Nordeste do país, as pesquisas concentraram-se no Instituto de Pesquisa Agropecuária de Pernambuco (IPA), apesar do feijão-comum não se destacar nessa região do país.

Em 1975, com a criação do Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP), pertencente à Embrapa, localizado no estado de Goiás, as pesquisas com a

cultura do feijoeiro ganharam destaque, resultando na recomendação de inúmeras cultivares (VOYSEST, 2000).

Em 1981, foi estabelecida a Comissão Regional de Avaliação e Recomendação de cultivares de Feijão (CRC-Feijão) a fim de promover a avaliação e recomendação de cultivares no país para o MAPA (CARNEIRO, 2002). A partir de 1993, foi criado o ensaio regional, composto pelas melhores linhagens do ensaio nacional e, a Embrapa ficou com a responsabilidade de enviar os ensaios nacionais e regionais a todas as instituições de pesquisa que os solicitassem (CARNEIRO, 2002). Com a lei 9.456, Lei de Proteção de Cultivares, de 25/04/1997, a responsabilidade de recomendação de cultivares passou a ser do obtentor e as CRCs foram extintas. O

Registro Nacional de Cultivares (RNC) passou a possuir a listagem oficial de cultivares habilitadas para produção e comercialização de sementes no país. Nesse sentido, o MAPA estabeleceu as regras para determinar o Valor de Cultivo e Uso (VCU) como critério para que uma cultivar possa ser registrada (CARNEIRO, 2002).

Ainda no aspecto de desenvolvimento de cultivares de feijão, merece destaque o Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), localizado em Cali na Colômbia, o qual possui um banco de germoplasma de 40.000 acessos de feijão, sendo um importante centro de envio de material genético para o Brasil (CHIORATO et al., 2010).

Nos dias atuais as principais instituições que trabalham no desenvolvimento de novas cultivares de feijão, são:

- EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Arroz e Feijão, em Goiânia (GO).
- IAC: Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo, em Campinas (SP).
- IAPAR: Instituto Agrônômico do Paraná, em Londrina (PR).
- IPA: Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Recife (PE).
- UFV: Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa (MG).
- UFLA: Universidade Federal de Lavras, em Lavras (MG).
- EPAGRI: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Santa Catarina, em Chapecó (SC).
- EPAMIG: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, em Viçosa (MG).
- EMCAPA/INCAPER: Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária, em Vitória (ES).

Apesar do aumento na produtividade de grãos ser uma das características mais desejadas pelos programas de melhoramento, essa característica isoladamente

não é fator determinante para a aceitação de uma cultivar. Outros caracteres, como: resistência às principais doenças, arquitetura de planta adequada à colheita mecanizada, estabilidade produtiva e qualidade de grãos apresentam grande importância (CHIORATO et al., 2010). Para isso, a seleção dos genitores é uma etapa fundamental no sucesso de qualquer programa de melhoramento.

No melhoramento genético do feijoeiro por hibridação, há três etapas fundamentais: escolha ou seleção de genitores, realização de cruzamentos (obtenção das populações segregantes) e condução das populações à homozigose visando derivar linhagens. Uma adequada seleção de genitores está diretamente relacionada ao conhecimento do material genético a nível morfológico, fenológico, agrônomico e também, tecnológico. Para isso, estudos utilizando a diversidade genética são fundamentais na identificação de genitores superiores visando às melhores combinações híbridas. A inferência sobre a diversidade genética pode ser de duas naturezas, de natureza quantitativa, baseada na quantificação da heterose (ex.: análises dialélicas) ou de natureza preditiva da heterose (ex.: métodos multivariados).

A definição de como avaliar a diversidade genética depende do conjunto de informações disponíveis, como as fenotípicas, as genotípicas ou até mesmo geográficas. A partir disso, escolhe-se a medida de distância (dissimilaridade) a ser utilizada na formação da matriz de distância entre pares de indivíduos para que, posteriormente, possam ser aplicados métodos multivariados capazes de produzir uma estrutura de grupos (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2011).

As informações múltiplas de cada cultivar são expressas em medidas de dissimilaridade obtidas de caracteres quantitativas ou qualitativas. Os caracteres classificadas como quantitativas são aquelas que podem ser medidas em escala real, enquanto que as qualitativas são definidas por categorias ou classes, podendo ser ordinais ou nominais. Dentre as medidas de dissimilaridade obtidas de caracteres quantitativas, elas podem ser contínuas ou discretas. E entre as medidas de dissimilaridade obtidas de caracteres qualitativas pode haver binárias ou multicategóricas (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2011).

A diversidade genética pode ser estabelecida por métodos preditivos baseados no coeficiente de parentesco, na análise multivariada de caracteres quantitativos e nos marcadores moleculares. Dentre todos esses métodos, as técnicas multivariadas têm apresentado uma expressiva utilização, pois permite considerar simultaneamente vários caracteres. Entre as técnicas multivariadas podem-se citar as análises por

métodos de agrupamento, componentes principais e variáveis canônicas (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012), os quais quantificam em medidas de dissimilaridade ou similaridade.

Nas análises por métodos de agrupamento há a necessidade de medidas de dissimilaridade, estimadas previamente, como a distância euclidiana, a distância euclidiana média, a distância euclidiana padronizada ou a distância de Mahalanobis. As distâncias euclidiana média padronizada e generalizada de Mahalanobis, entre os pares de genótipos, são muito utilizadas como medida de dissimilaridade nos métodos de agrupamento.

A vantagem no uso da distância de Mahalanobis se dá por levar em consideração a existência de correlações entre os caracteres analisados por meio da matriz de variâncias e covariâncias residuais, exigindo experimentos com repetições. Já no caso dos métodos baseados em componentes principais e por caracteres canônicas, o objetivo é avaliar a similaridade dos genitores via dispersão gráfica, ou seja, esses possibilitam a identificação de indivíduos similares por meio de gráficos bi ou tridimensionais (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Outro parâmetro a ser considerado em um estudo sobre a diversidade genética é a influência que o ambiente exerce sobre o genótipo. A expressão fenotípica de um indivíduo é o resultado da ação do efeito genotípico sob influência do meio ao qual foi submetido. As diferentes respostas obtidas por um mesmo indivíduo, avaliado em vários ambientes caracteriza a interação genótipo x ambiente (GxA), e o processo de seleção depende também da estimação desta interação.

As causas da interação GxA podem ser atribuídas a fatores fisiológicos e bioquímicos próprios de cada genótipo cultivado, e também a fatores genéticos que são as respostas diferenciais do mesmo conjunto gênico em ambientes distintos (COCKERHAM, 1963). Segundo Allard e Bradshaw (1964), as variações ambientais que contribuem para a interação são classificadas em dois tipos: previsíveis e imprevisíveis. Fatores previsíveis: relacionadas ao clima (fotoperíodo) e as variações ambientais (solo, manejo, entre outros). Fatores imprevisíveis: relacionados às variações do clima (precipitação, umidade relativa do ar, temperatura atmosférica e etc). Para Cruz; Regazzi; Carneiro (2012) esse comportamento diferencial dos genótipos à variação do ambiente dificulta a seleção e a identificação de cultivares com ampla adaptação. Portanto, a interação GxA deve ser considerada em um estudo sobre a diversidade genética.

As informações geradas pelo estudo de diversidade genética devem ser aplicadas de forma a contribuir na orientação de cruzamentos, a fim de favorecer o programa de melhoramento. Considerando que um estudo de diversidade genética é baseado em inúmeros caracteres, esses devem ser considerados simultaneamente quando se busca a seleção dos melhores genitores.

A utilização de índices para a seleção de genótipos de alta performance é bastante difundida. No entanto, entraves relacionados a problemas como multicolinearidade e atribuição de diferentes pesos econômicos faz com que a aplicação dos índices de seleção seja um assunto bastante estudado. Nesse contexto, Rocha et al. (2017) desenvolveram um índice de seleção (FAI), baseado na análise de fatores, sendo a seleção realizada com base no ideótipo.

A análise de fatores permite que muitos caracteres iniciais sejam substituídos por um número menor de caracteres latentes, chamada fatores. Cada fator corresponde a um grupo dos caracteres iniciais que estejam fortemente correlacionadas entre si, mas fracamente correlacionadas com os outros caracteres iniciais (GRANATE, 2001). O sistema complexo de uma matriz de correlações pode ser comparado a um espaço multidimensional, e os fatores podem ser considerados eixos de influência comuns a vários conjuntos de caracteres independentes, inseridos dentro do espaço multidimensional da matriz (CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014).

Diante do exposto, os objetivos deste trabalho foram:

1. Avaliar a diversidade genética multiambiental das linhagens de feijão preto e “carioca” recomendadas no Brasil nos últimos 50 anos, por meio de técnicas multivariadas, considerando a interação GxA.
2. Determinar o ranking de linhagens de feijão preto e “carioca” com base no índice de seleção FAI visando o melhoramento da cultura, quanto aos caracteres: arquitetura de plantas, produtividade e aspecto comercial de grão

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLARD, R.W.; BRADSHAW, A.D. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, v. 4, p. 503- 508, 1964.
- ARAÚJO, G. A. A.; CAMELO, G. N. Preparo do Solo e Plantio. In: CARNEIRO, J. E.S.; PAULA JR., T. J.; BORÉM, A. (Org.). **Feijão: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2015. p. 115-144.
- BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. A Cultura. In: CARNEIRO, J. E.; PAULA JR., T. J.; BORÉM, A. (Coord.). **Feijão do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2015. p. 9-15.
- CARNEIRO, J. E. de S. **Alternativa para obtenção e escolha de populações segregantes no feijoeiro**. 2002. 134p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- CHIORATO, A. F.; CARBONELL, S. A. M.; VENCOVSKY, R.; FONSECA JÚNIOR, N. S da.; PINHEIRO, J. B. Genetic gain in the breeding program of common beans at IAC from 1989 to 2007. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 10, p. 329-336, 2010.
- COCKERHAM, C. C. Estimating genetic variance. In: Hanson, W.D.; Robinson, H.F (Eds). **Statistical genetics and plant breeding**, p. 53-93, 1963.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, oitavo levantamento**, Brasília: Conab, 2016, 158p. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_04_07_10_39_11_boletim_graos_abril_2016.pdf. Acesso em: 17 jun. 2016.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2014. 668p.
- CRUZ, C. D.; FERREIRA, F. M; PESSONI, L. A. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. 620p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. 4.ed. Viçosa: UFV, 2012. 514p.
- FAO. Food and Agriculture Organization. **Statistical Databases**. Disponível em: <<https://www.fao.org.br>> Acesso em: 24 jun. 2017.
- GRANATE, M. J.; CRUZ, C. D.; CECON, P. R.; PACHECO, C. A. P. A análise de fatores na predição de ganhos por seleção em milho (*Zea mays* L.). **Acta Scientiarum**, v. 23, n. 5, p. 1271-1279, 2001.
- 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.

ROCHA, J. R. A. S. C.; MACHADO, J. C.; CARNEIRO, P. C. S. Multitrait index based on factor analysis and ideotype-design: proposal and application on elephant grass breeding for bioenergy. **Global Change Biology Bioenergy**, v. 10, p. 52-60, 2017.

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

ARTIGO 1

ANÁLISE MULTIAMBIENTES DA DIVERSIDADE GENÉTICA DE LINHAGENS DE FEIJÃO PRETO E “CARIOCA” RECOMENDADAS NO BRASIL NOS ÚLTIMOS 50 ANOS

ANÁLISE MULTIAMBIENTES DA DIVERSIDADE GENÉTICA DE LINHAGENS DE FEIJÃO PRETO E “CARIOCA” RECOMENDADAS NO BRASIL NOS ÚLTIMOS 50 ANOS

Resumo

Objetivou-se quantificar a diversidade multiambientes de linhagens de feijão preto e “carioca” recomendadas no Brasil nos últimos 50 anos. Foram utilizadas 77 cultivares e três linhagens elites do programa de melhoramento da Universidade Federal de Viçosa, totalizando 40 genótipos do grupo comercial preto e 40 do “carioca”. Os experimentos foram conduzidos em Viçosa e Coimbra-MG, no período de 2013 e 2016, totalizando sete experimentos, com a avaliação de 15 caracteres morfoagronômicos. Observou-se interação genótipos x ambientes para todos os caracteres, com predominância do tipo complexa, que refletiu em diferentes dendrogramas em cada ambiente auferidos pela estatística M^2 de Procrustes. As linhagens recomendadas após a década de 90 apresentam melhor aspecto de grãos e maiores produtividade e massa de 100 grãos, número de vagens por planta, número de grãos por planta e número de grãos por vagem. As linhagens de feijão preto apresentam arquitetura de planta mais ereta e maior diâmetro do hipocótilo comparadas às de grãos carioca. O número de vagens por planta e aspecto de grãos foram os caracteres que mais contribuíram para a diversidade genética. Há variabilidade genética entre as linhagens dos dois grupos comerciais, bem como entre as linhagens oriundas de diferentes instituições de pesquisa e décadas de recomendação. Linhagens de feijão preto e “carioca” apresentam entre si elevada variabilidade genética, com maior diversidade entre as linhagens de feijão do grupo carioca do que as do preto. A estratégia de soma das matrizes de dissimilaridade genética se mostrou eficiente para quantificar a diversidade multiambientes.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., interação genótipos x ambientes, análise multivariada, variabilidade genética.

**MULTI-ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF THE GENETIC DIVERSITY OF BLACK AND
CARIOCA COMMON BEAN LINES RECOMMENDED IN BRAZIL OVER THE LAST 50
YEARS**

Abstract

The objective of this study was to quantify the multi-environmental diversity of black and carioca common bean lines recommended in Brazil over the last 50 years. Seventy-seven cultivars and three elite lines of the breeding program of the Federal University of Viçosa were used, totaling 40 genotypes of the commercial black group and 40 of the carioca group. The experiments were conducted in Viçosa and Coimbra, MG, Brazil, during the period of 2013 and 2016, for a total of seven experiments with the evaluation of 15 morphoagronomic traits. Genotype x environment interactions were observed for all the traits, with predominance of the complex type, which was reflected in different dendrograms in each environment obtained by the Procrustes M^2 statistic. The lines recommended after the 1990's present a better grain appearance, and higher grain yield and mass of 100 grains, number of pods per plant, number of grains per plant and number of grains per pod. The black common bean lines presented more erect plant architecture and larger hypocotyl diameter compared to those of carioca grains. The number of pods per plant and grain aspect were the main contributors to genetic diversity. There is genetic variability between the lines of the two commercial groups, as well as between the lines produced by different research institutions and decades of recommendation. Black and carioca common bean present high genetic variability among themselves, with greater diversity among the common bean lines of the carioca group than those of the black group. The sum of genetic dissimilarity matrices proved to be efficient to quantify the multi-environmental diversity.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L., interaction genotypes x environments, multivariate analysis, genetic variability.

Introdução

Ao longo de vários anos de melhoramento genético do feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) no Brasil, inúmeras linhagens foram recomendadas, especialmente dos grupos comerciais preto e “carioca”. Essas linhagens vêm sendo utilizadas como genitores nos programas de melhoramento das diversas instituições de pesquisa. De forma geral, os programas de melhoramento de feijão tem buscado obter linhagens com fenótipos desejáveis para várias características, como arquitetura da planta, produtividade e aspecto comercial de grãos. Nesse contexto, é importante inferir sobre a diversidade genética destas linhagens de feijão recomendadas no Brasil a fim de subsidiar os programas de melhoramento na identificação de genitores superiores, visando a obtenção de populações segregantes com potencial para a extração de novas linhagens melhoradas.

A diversidade genética de um grupo de genitores pode ser quantificada por métodos preditivos ou técnicas biométricas. Entre as técnicas biométricas destacam-se as análises dialélicas, que estimam tanto a capacidade específica de combinação quanto a heterose manifestada nos híbridos. Entretanto, o número elevado de genitores constitui limitação do uso dos dialelos no estudo da diversidade genética, em virtude da necessidade de avaliações de grande número de combinações híbridas. Além disso, cabe ressaltar que nas análises dialélicas detecta-se a diversidade entre os genitores apenas dos locos com alelos que exibem dominância. Nestes casos, os métodos preditivos de diversidade genética baseados em análises multivariadas tem merecido considerável ênfase por dispensarem a obtenção prévia das combinações híbridas e considerarem a diversidade de locos com alelos que exibem apenas efeito aditivo. Estas técnicas multivariadas têm apresentado expressiva utilização em diversos trabalhos com a cultura do feijoeiro (CARGNELUTTI FILHO et al., 2008; CABRAL et al., 2011; SCARANO et al., 2014).

A consistência dos estudos de diversidade genética por meio de técnicas multivariadas é dependente do número e da natureza dos caracteres envolvidos nas análises. De forma geral, estas análises se baseiam em caracteres morfoagronômicos, moleculares, fisiológicos, entre outros. Considerando que o feijoeiro é cultivado em praticamente todo o território brasileiro e em diferentes safras (safra das “águas” - com semeadura nos meses de outubro a novembro; safra da “seca” - com semeadura

de fevereiro a março; e safra de “outono/inverno”, com semeadura de abril a junho), ocorre interação genótipos x ambientes (GxA) para a maioria dos caracteres agronômicos nessa cultura (FARIA et al., 2009; PEREIRA et al., 2012; CORREA et al., 2016). A interação GxA é determinada como a expressão diferencial dos genes que controlam os caracteres em avaliação nos diferentes ambientes em que os genótipos são avaliados. Assim, espera-se que esta interação GxA afete de forma efetiva os estudos de diversidade genética.

Os trabalhos sobre a diversidade genética em feijão, de modo geral tem-se baseado em avaliações em um único ambiente (COELHO et al., 2007; KLOSTER et al., 2011; SZILAGYI et al., 2011; LIMA et al., 2012; LANGARICA et al., 2014) o que, muitas vezes, dificultam uma conclusão generalizada sobre a diversidade genética. Ainda, ressalta-se a inexistência de metodologias adequadas para a análise de diversidade genética que contemplem a interação GxA, resultante da avaliação de genótipos em diferentes ambientes.

Diante do exposto, o objetivo com esse trabalho foi quantificar a diversidade multiambientes de linhagens de feijão preto e “carioca” recomendadas no Brasil nos últimos 50 anos.

Material e Métodos

Nesse estudo foram utilizadas 77 cultivares de feijão-comum, recomendadas no Brasil nos últimos 50 anos, e três linhagens elites do programa de melhoramento da Universidade Federal de Viçosa (VC 15, VP 22 e VP 33), totalizando 40 genótipos pertencentes ao grupo comercial preto e 40 ao “carioca”. Essas linhagens são oriundas dos principais programas de melhoramento do feijoeiro do país: Embrapa Arroz e Feijão (EMBRAPA), Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), Universidade Federal de Lavras (UFLA) e Universidade Federal de Viçosa (UFV).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com três repetições e parcelas experimentais constituídas de quatro linhas de dois metros,

espaçadas de 0,5 metros. Os tratos culturais empregados foram de acordo com o recomendado para a cultura na região.

Os experimentos foram conduzidos nos municípios de Viçosa - MG (latitude: 20° 45' 14" S, longitude: 42° 52' 55" W, altitude: 648m) nas safras de seca e inverno de 2013 e seca de 2016 e em Coimbra - MG (latitude: 20°49'44" S, longitude: 42°45'56" W, altitude: 713 m) nas safras de seca e inverno de 2013 e de 2016, totalizando sete diferentes ambientes de avaliação.

Foram avaliados os seguintes caracteres:

1 - dias para o florescimento - DF (50% das plantas mais uma da parcela com pelo menos uma flor aberta, a partir da data de emergência);

2 - maturação fisiológica - R9 (50% das plantas mais uma da parcela com maturação, a partir da data de emergência);

3 - ciclo (dias entre a emergência e a colheita);

4 - arquitetura de plantas - ARQ (avaliação realizada por meio de escala de notas, variando de 1 - planta ereta a 5 - planta prostrada, conforme COLLICCHIO, 1997);

5 - stay-green - SG (avaliação baseada em diagrama de notas, variando de 1 - plantas com 80% de caule e vagens verdes a 5 - plantas com até 20% de caules e vagens verdes, segundo WALULU et al., 1994);

6 - altura média do dossel - AMD (em cm, baseada em três medições realizadas na parcela, desde o nível do solo até a inserção da última folha);

7 - altura de inserção de primeira vagem - AIIV (em cm, medida a partir do hipocótilo até a inserção da primeira vagem);

8 - altura de planta - AP (em cm, medida a partir do hipocótilo até o ápice da haste principal);

9 - diâmetro do hipocótilo - DH (em cm, medida um centímetro abaixo do nó cotiledonar, por meio de paquímetro digital);

10 - produtividade de grãos - PROD (em Kg ha⁻¹, baseado no peso da parcela);

11 - massa de 100 grãos - M100G (em gramas, obtida por amostra aleatória e realizada a contagem de 100 grãos de cada parcela);

12 - número de vagens por planta - NVP;

13 - número de grãos por planta - NGP;

14 - número de grãos por vagem - NGV;

15 - aspecto de grão - AG (avaliada por escala de notas variando de 1 - cor, formato e tamanho com bom padrão comercial até 5 - grãos fora do padrão comercial, de acordo com Ramalho et al. 1998).

Os caracteres AIV, AP, DH, NVP, NGP e NGV foram avaliados a partir de dados individuais de seis plantas representativas em cada parcela, obtendo-se, assim, os valores médios/parcela.

Análises de variância e da interação GxA

Os dados obtidos a partir de cada ambiente foram submetidos à análise de variância individual e, posteriormente, à análise de variância conjunta. Para a análise de variância conjunta, consideraram-se genótipos de efeito fixo e ambientes de efeito aleatório, conforme modelo: $Y_{ijk} = m + G_i + B/A_{jk} + A_k + GA_{ik} + \epsilon_{ijk}$ em que: Y_{ijk} = o valor observado da característica no genótipo i no bloco j ($j = 1, 2, 3$) e dentro do ambiente k ; m = a média geral; G_i = o efeito fixo do genótipo i ($i = 1, 2, 3, \dots, 80$); B/A_{jk} = efeito aleatório do bloco j dentro do ambiente k ; A_k = o efeito aleatório do ambiente k ($k = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$); GA_{ik} = o efeito aleatório da interação do genótipo i com o ambiente k ; ϵ_{ijk} = o erro experimental.

A fim de quantificar as frações simples e complexa da interação GxA foi utilizada a metodologia de Cruz e Castoldi (1991). A fração complexa da interação para um par de ambientes (ambientes 1 e 2) é dado por: $\sqrt{(1-r)^3 Q1Q2}$, em que r é a correlação entre o desempenho médio dos genótipos nos ambientes 1 e 2, e $Q1$ e $Q2$, os quadrados médios dos genótipos nos ambientes 1 e 2, respectivamente, e assim, sucessivamente, para todos os pares de ambientes.

A análise de Plaisted e Peterson (1959), convencionalmente usada para quantificar a contribuição relativa de cada genótipo para a interação GxA, foi adaptada a fim de quantificar a contribuição relativa de cada ambiente (θ_k) para a interação, conforme a seguir:

$$\theta_k = \frac{1}{a-1} [\sum_{\square} \sigma_{(\square)\square}^2]$$

em que $\sigma_{(\square)\square}^2$ é o componente da interação GxA, estimado a partir da análise conjunta de todos os genótipos no par de ambientes kk' . A contribuição relativa de cada ambiente para a interação foi obtida por meio do valor percentual, dada por:

$\theta_k(\%) = \theta_{ga} * 100 / a\hat{\sigma}_{ga}^2$, em que $\hat{\sigma}_{ga}^2$ é a estimativa da interação GxA obtida a partir da análise conjunta.

Análises de diversidade genética por ambiente

Para as análises de diversidade genética, entre os genótipos avaliados, primeiramente foi estimada a distância genética entre todos os pares de genótipos por meio da distância generalizada de Mahalanobis (D^2) para cada ambiente. A partir da matriz D^2 foi construído um dendrograma de diversidade genética para cada ambiente com base no método de agrupamento da ligação média entre grupos (UPGMA).

No método UPGMA, o dendrograma é estabelecido pelos genótipos de maior similaridade em que a distância entre o genótipo a e o grupo formado pelos indivíduos b e c é dado por:

$$d_{(bc)a} = \text{média} \{ d_{ba}; d_{ca} \} = (d_{ba} + d_{ca}) / 2$$

ou seja, $d_{(bc)a}$ é dada pela média do conjunto das distâncias dos pares de indivíduos (b e a) e (c e a). E a distância entre dois grupos é fornecida por:

$$d_{(BC)(AE)} = \text{média} \{ d_{BA}; d_{BE}; d_{CA}; d_{CE} \} = (d_{BA} + d_{BE} + d_{CA} + d_{CE}) / 4,$$

dessa forma, a distância entre dois grupos formados, respectivamente, pelos indivíduos (B e C) e (A e E) é dada pelo média do conjunto, cujos elementos são as distâncias entre os pares de indivíduos (B e A), (B e E), (C e A) e (C e E).

A determinação do número de grupos foi obtida pelo método de Mojena (1977) com o valor de $K=1,25$ (MILLIGAN; COOPER, 1985). Conforme Cruz et al. (2011), o método baseia-se no tamanho relativo dos níveis de fusões (distâncias) no dendrograma. Em que:

$$\alpha_j > \theta_k$$

sendo: α_j o valor de distâncias dos níveis de fusão correspondentes ao estágio j ($j = 1, 2, \dots, n$); e θ_k o valor referencial de corte, dado por:

$$\theta_k = \bar{\alpha} + K\hat{\sigma}$$

em que, $\bar{\alpha}$ e $\hat{\sigma}$ a média e o desvio-padrão não viesado dos valores α , respectivamente, e K uma constante.

Para quantificar o grau de dissimilaridade entre as matrizes de diversidade genética de cada ambiente foi utilizada a análise de procrustes, por pares de ambientes, a qual permite a comparação de dois conjuntos de dados desde que cada linha corresponda ao mesmo indivíduo. Conforme García-Penã e Dias (2009), a análise de procrustes segue três passos: movimentos de translação (deslocamento de todos os pontos através de uma distância constante no mesmo sentido), rotação (deslocamento fixo de todos os pontos através de um ângulo constante, mantendo a distância de cada ponto ao centróide) e dilatação (estiramento ou encolhimento de todos os pontos por meio de uma constante em uma linha reta do ponto ao centróide da configuração).

A análise de procrustes é dada pela estatística de soma de quadrados (M^2), sendo:

$$M^2 = c^2 \text{traço}(YY^T) - 2c \text{traço}(XQ^T Y^T) + \text{traço}(XX^T)$$

Em que: $c = \frac{\text{Traço}(\Sigma)}{\text{Traço}(YY^T)}$ é o parâmetro de dilatação; $Q = VU^T$ é a matriz de

rotação, com $U\Sigma V^T$ é a decomposição por valores singulares da matriz $X^T Y$. De acordo com García-Penã e Dias (2009), o procedimento correto é manter uma configuração fixa (X) e fazer com que uma outra (Y) se iguale a X. Desse modo, quanto menor o valor dos resíduos, maior a concordância entre o conjunto de dados, ou seja, em uma variação entre 0 e 1, quanto mais próximo de 0 estiver a estatística M^2 mais similares serão os dois conjuntos de dados. Pontes (2016) estabeleceu M^2 crítico de 0,1, em que valores superiores a 0,1 demonstram diferença entre as combinações. A partir das médias transformadas dos caracteres por condensação pivotal de cada um dos sete ambientes, realizou-se a comparação par a par dos ambientes, obtendo a estimativa de M^2 para os pares de ambientes. A contribuição de cada ambiente para a diversidade genética foi obtida pela média dos valores de M^2 dos pares de ambientes, em que o referido ambiente participou.

Na identificação do grupo de caracteres que menos contribuíram para a diversidade genética das linhagens recomendadas nos últimos 50 anos foi utilizada a análise de componentes principais (ACP), a partir das médias padronizadas, com base no critério de Jolliffe (1972). A ACP consiste em transformar o conjunto de v caracteres em um novo conjunto que são funções lineares dos x_j 's e independentes entre si. A importância relativa (IR) de cada componente, útil na avaliação da

capacidade de discriminação do componente estimado, é calculada por meio da expressão:

$$IR_j = \frac{\lambda_j}{\text{Traço}} (\mathbf{R})$$

Na técnica dos componentes principais, os caracteres de maiores pesos nos últimos autovetores são consideradas de menor importância para o estudo da diversidade genética.

Análise de diversidade genética multiambientes

Para a análise de diversidade genética multiambientes, foi utilizada uma matriz de dissimilaridade obtida a partir da soma das matrizes de dissimilaridade genética de cada ambiente de avaliação e construído o dendrograma, também, com base no método UPGMA. A determinação do número de grupos foi realizada pelo método de Mojena (1977). A consistência dos dendrogramas, tanto individuais quanto multiambientes, foi realizada pelo coeficiente de correlação cofenética (SOKAL; ROHLF, 1962), sendo que quanto maior o valor da correlação, menor a distorção devido ao agrupamento.

Para avaliar a concordância dos grupos de dissimilaridade genética obtidos pelo método de Mojena (1977), foi realizada a análise de agrupamento pelo método de Tocher (univariado) com base nas médias de cada uma das 15 caracteres. O método de Tocher avalia a média das medidas de dissimilaridade dentro de cada grupo, sendo que essas devem ser menor que as distâncias médias entre grupos. A entrada de um indivíduo em um grupo sempre aumenta o valor médio da distância dentro do grupo (Cruz et al. 2011). A inclusão, ou não, do indivíduo A no grupo é feita considerando:

- se: $d_{(\text{grupo})A}/n \leq \theta$, inclui-se o indivíduo A no grupo;
- se: $d_{(\text{grupo})A}/n > \theta$, não inclui-se o indivíduo A no grupo.

Sendo n = número de indivíduos que constitui o grupo original.

Nesse caso, a distância entre o indivíduo A e o grupo formado pelos indivíduos BC é dada por: $d_{(BC)A} = d_{BA} + d_{CA}$.

Todas as análises foram realizadas no aplicativo Genes (CRUZ, 2013), via integração Genes/Matlab (CRUZ, 2016) e o software R (R CORE TEAM, 2015).

Resultados e discussão

Análises de variância individuais e conjunta

Nas análises de variância individuais, observou-se efeito de genótipos ($P < 0,01$) sobre todos os caracteres mensurados, o que indica variabilidade genética entre os genótipos avaliados (Suplementar, Tabela S1). Pela análise de variância conjunta, observou-se interação genótipos x ambientes (GxA) significativa para todos os caracteres (Suplementar, Tabela S2). Na presença de interação GxA os genótipos apresentam diferentes comportamentos conforme o ambiente de avaliação (FARIA et al., 2009) e isso se deve à expressão diferenciada dos genes que controlam cada caráter nos diferentes ambientes. Assim, espera-se que a diversidade genética, em cada ambiente, com base nestes caracteres seja afetada pela interação GxA. A maioria dos caracteres apresentou predomínio de interação do tipo complexa, com exceção de DF, M100G e AG (Suplementar, Tabela S3).

Considerando o caráter DF, observou-se variação de 28,56 a 44,22 dias (Suplementar, Tabela S1). Conforme Ribeiro et al. (2004), o feijão é uma cultura com curto período entre a emergência e o florescimento, variando de 28 a 49 dias, o que demonstra a existência de variabilidade genética para o caráter entre as linhagens disponíveis para o cultivo no Brasil. Em trabalho, avaliando linhagens de feijão visando a seleção de genitores precoces, Vale et al. (2015) também relataram interação GxA para o caráter dias para o florescimento. Para M100G e AG estudos também demonstram interação GxA (CARBONELL et al., 2010; PEREIRA et al., 2012).

A M100G apresentou variação média entre os genótipos de 19,79 a 26,11 gramas (Suplementar, Tabela S1), sendo que os dois menores valores foram verificados nos ambientes 4 (19,79 gramas) e 7 (19,80), ambos da safra de inverno. Nesta safra pode ocorrer maior influência climática sobre o desenvolvimento das plantas, devido às baixas temperaturas e ao alongamento do ciclo da cultura. Em relação ao aspecto de grãos na cultura do feijão é importante destacar, que esse caráter leva em consideração a aparência, tamanho, cor e formato, portanto, em condições desfavoráveis, pode acarretar em perda expressiva da massa dos grãos.

Para os caracteres, R9, Ciclo, ARQ, AMD, AP e DH predominou a interação do tipo complexa e de baixa a média correlação intraclasses entre os pares de

ambientes (rf de 0,11 a 0,75) (Suplementar, Tabela S3). Interação de natureza do tipo complexa demonstra que há genótipos com desempenho superior em um ambiente, mas inferior em outro. Conforme Pereira et al. (2012), as condições ambientais afetam drasticamente o ciclo e, além disso, os genótipos que apresentam a maior precocidade no florescimento não são, necessariamente, os de menor ciclo (Ribeiro et al. 2004).

Quantos aos caracteres NVP, NGP e NGV e PROD, a interação foi do tipo complexa e de baixa a média correlação intraclasses entre os pares de ambientes (rf de - 0,39 a 0,61). Para o caractere produtividade de grãos, houve predomínio da interação do tipo complexa em 71,43% das combinações, resultado semelhante ao encontrado por Melo et al. (2007) no qual, em estudo com genótipos de feijoeiro-comum, avaliados em diferentes épocas, anos e locais, verificaram predominância da interação GxA do tipo complexa para produtividade de grãos em 81,8% das combinações. A presença de interação do tipo complexa para produtividade de grãos, também foi verificada por Pereira et al. (2011) e Torga et al. (2013).

O programa de melhoramento do feijoeiro no Brasil experimentou, nos últimos 50 anos, diferentes condições bióticas e abióticas. Entre as abióticas destacam-se as condições variadas de temperatura, disponibilidade hídrica, umidade relativa, disponibilidade de nutrientes, entre outros (BEEBE et al., 2014). Quanto às bióticas, a ocorrência de pragas e doenças se destacam (SINGH; SCHWARTZ, 2011). Neste sentido, como observado, era de se esperar elevada interação GxA dos genótipos avaliados.

A contribuição de cada ambiente para a interação GxA (Suplementar, Tabela S4), considerando cada caráter individualmente, foi caráter. Para DF, AMD e NVP o ambiente 6 foi o que mais contribuiu para a interação. No entanto, para R9 e AG foi o ambiente 2, para Ciclo e SG (ambiente 1), ARQ, DH e M100G (ambiente 4), A11V, PROD, NGP e NGV (ambiente 5) e AP (ambiente 7). Quando considerada a contribuição média de cada ambiente para a interação GxA (Suplementar, Tabela S4) os ambientes 5 (seca 2016 - Coimbra), seguido dos ambientes 6 (seca 2016 - Viçosa) e 7 (inverno 2016 - Coimbra), todos pertencentes ao mesmo ano agrícola, foram os que mais contribuíram. Os ambientes 3 (inverno 2013 - Coimbra), 1 (seca 2013 - Coimbra), 4 (inverno 2013 - Viçosa) e 2 (seca 2013 - Viçosa) foram os de menor contribuição relativa para a interação GxA. Pereira et al. (2010) e Torga et al. (2013), avaliando as interações entre genótipos em diferentes safras, locais e anos, relatam

que o efeito de safras e de anos foram os que mais contribuíram para a interação GxA. Em anos diferentes de avaliação pode ocorrer variação das condições bióticas e abióticas, contribuindo para a interação GxA. Dessa forma, espera-se elevada diferenciação genética das linhagens de feijoeiro recomendadas no Brasil ao longo dos últimos 50 anos.

Diversidade genética por ambiente

Para a análise de diversidade por ambiente, foi obtida a matriz de dissimilaridade dos 80 genótipos com base na distância generalizada de Mahalanobis e construído o dendrograma baseado no método de agrupamento UPGMA.

Para quantificar o grau de dissimilaridade entre as sete matrizes de diversidade genética obtidos em cada ambiente foi utilizada a análise de procrustes, por pares de ambientes, resultando em 21 combinações. Destas combinações, aquelas envolvendo os pares de um a quatro (1x2 até 3x4), todos do mesmo ano agrícola (2013), tiveram os menores valores de M^2 ($M^2 = 0,2142$ a $0,2998$), comparado às demais combinações, 1x5 até 6x7 ($M^2 = 0,3510$ a $0,9234$), que envolvem anos agrícolas diferentes e combinações de safras e locais diferentes no mesmo ano agrícola (2016). Quanto maior o valor de M^2 , mais diferenciados são os dendrogramas entre o par de ambientes. Todas as combinações de pares de ambientes apresentaram M^2 maior que 0,1 (Tabela 1), indicando, segundo critério estabelecido por Pontes (2016), que os sete dendrogramas são diferentes.

Considerando a média dos valores de M^2 que cada ambiente participou, observou-se que o ambiente 6 obteve o maior valor de M^2 médio (0,7198), ou seja, foi o ambiente que mais se diferiu dos demais quanto à diversidade das linhagens manifestada nesse ambiente (Tabela 1). Os ambientes 5, 6 e 7 (ano 2016), em média, foram ambientes mais dissimilares comparados aos ambientes 1, 2, 3 e 4 (ano 2013), pela estatística M^2 média. A análise de procrustes tem sido utilizada em trabalhos relacionados à diversidade genética na cultura da alfafa (GRANDÓN et al., 2013) e na cultura do milho (NELSON et al., 2016) visando correlacionar matrizes de distância de dados fenotípicos com moleculares.

Tabela 1. Análise de procrustes por pares de ambientes baseada na estatística M^2 e média de cada ambiente em relação aos demais (M^2 médio), baseado nos caracteres dias para o florescimento (DF, dias), maturação fisiológica (R9, dias), ciclo (dias), arquitetura de planta (ARQ, nota), stay-green (SG, nota), altura média do dossel (AMD, cm), altura de inserção de primeira vagem (AI1V, cm), altura de planta (AP, cm), diâmetro do hipocótilo (DH, cm), produtividade de grãos (PROD, Kg ha⁻¹), massa de 100 grãos (M100G, g), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), número de grãos por vagem (NGV) e aspecto de grão (AG, nota) de 80 linhagens de feijão avaliadas nos anos de 2013 e 2016, nas épocas de seca e inverno, nos municípios de Coimbra e Viçosa, no estado de Minas Gerais

Estatística M^2								
	AMB. 1	AMB. 2	AMB. 3	AMB. 4	AMB. 5	AMB. 6	AMB. 7	M^2 médio
AMB. 1 ¹		0,2998	0,2142	0,2482	0,8357	0,7907	0,5629	0,4919
AMB. 2			0,2534	0,2786	0,7705	0,8682	0,7545	0,5375
AMB. 3				0,2244	0,7825	0,8209	0,6671	0,4937
AMB. 4					0,9234	0,9112	0,7731	0,5598
AMB. 5						0,3510	0,5945	0,7096
AMB. 6							0,5768	0,7198
AMB. 7								0,6548

¹Referentes aos ambientes de avaliação: ambiente 1 = seca 2013, local = Coimbra; ambiente 2 = seca 2013, local = Viçosa; ambiente 3 = inverno 2013, local = Coimbra, ambiente 4 = inverno 2013, local = Viçosa; ambiente 5 = seca 2016, local: Coimbra; ambiente 6 = seca 2016, local: Viçosa e ambiente 7 = inverno 2016, local:Coimbra.

De acordo com a análise de componentes principais (ACP), nos sete ambientes avaliados, observou-se que NGP, PROD, AMD, DF, R9, SG, AP, DH, M100G, NGV, ARQ e AI1V (Tabela 2) foram os caracteres de menor importância para o estudo de diversidade genética. Conforme critério de Jolliffe (1972), as caracteres de menor importância são àquelas com os maiores pesos nos últimos autovetores. Já entre os caracteres considerados como os de maior importância nos ambientes analisados, NVP e AG (Tabela 2) foram os que mais contribuíram para a diversidade genética.

O NVP esteve entre os caracteres de maior importância nos sete ambientes avaliados. Esse caráter possui grande potencial para o incremento na produtividade de grãos no feijoeiro. De acordo com Barili et al. (2016b), entre as linhagens carioca recomendadas a partir do ano 2000, o NVP foi, em média, de três a cinco vagens a mais por planta em relação às linhagens recomendadas antes de 1994. O NVP, também esteve entre os caracteres de maior importância para divergência genética em estudo com o feijão carioca (CEOLIN et al., 2007).

O AG é indispensável na aceitação de uma nova cultivar de feijão. Conforme Ramalho; Abreu (2015), as linhagens mais antigas tiveram pouca aceitação devido às características desfavoráveis de grãos. Para atender as exigências dos consumidores, atualmente os programas de melhoramento do feijoeiro buscam desenvolver linhagens com um bom aspecto de grão, ou seja, grãos claros para feijão carioca e opacos para feijão preto, formato oblongo e massa de 100 grãos de 25 gramas, aproximadamente.

Neste trabalho optou-se por apresentar apenas os dendrogramas dos ambientes mais dissimilares (ambientes 4 e 5), conforme análise de procrustes. Com base nestes dendrograma observa-se diferença quanto ao número e constituição de genótipos em cada grupo (Suplementar, Figura S1a e S1b).

No dendrograma referente ao ambiente 4 (Suplementar, Figura S1a) ocorreu a formação de sete grupos, em que cada grupo foi formado por genótipos recomendados nas mesmas décadas. Por outro lado, o ambiente 5 com a formação de oito grupos (Suplementar, Figura S1b), apresentou uma mescla de genótipos dentro de grupos, entre linhagens recomendadas em diferentes décadas. Este resultado indica diferença na magnitude da diversidade manifestada nos dois ambientes, a qual é devida à expressão diferencial dos genes envolvidos no controle dos caracteres avaliados nos genótipos em cada ambiente. Para os dendrogramas do ambiente 4 e 5,

o coeficiente de correlação cofenética (CCC) foi de 0,73** e 0,66** e com distorção de 15 e 13%, respectivamente, indicando que o dendrograma reflete a matriz de dissimilaridade genética adequadamente. De acordo com Cruz et al. (2012), dentre os métodos de agrupamento hierárquico, o método da ligação média entre grupos (UPGMA) possui a vantagem de proporcionar maior correlação cofenética.

Tabela 2. Importância dos caracteres avaliados, dias para o florescimento (DF, dias), maturação fisiológica (R9, dias), ciclo (dias), arquitetura de planta (ARQ, nota), stay-green (SG, nota), altura média do dossel (AMD, cm), altura de inserção de primeira vagem (AI1V, cm), altura de planta (AP, cm), diâmetro do hipocótilo (DH, cm), produtividade de grãos (PROD, Kg ha⁻¹), massa de 100 grãos (M100G, g), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), número de grãos por vagem (NGV) e aspecto de grão (AG, nota) de 80 linhagens de feijão avaliadas nos anos de 2013 e 2016, nas épocas de seca e inverno, nos municípios de Coimbra e Viçosa, no estado de Minas Gerais

Amb. 1 - Seca 2013: Coimbra		Amb. 2 - Seca 2013: Viçosa		Amb. 3 - Inverno 2013: Coimbra		Amb. 4 - Inverno 2013: Viçosa	
(+) ACP ¹	(-) ACP ²	(+) ACP	(-) ACP	(+) ACP	(-) ACP	(+) ACP	(-) ACP
Ciclo	NGP	R9	NGP	Ciclo	NGP	Ciclo	NGP
ARQ	AMD	AP	ARQ	NVP	R9	AG	PROD
NVP	PROD	AMD	Ciclo	ARQ	AMD	AI1V	DH
AG	R9	NVP	NGV	AG	PROD	NVP	NGV
SG	M100G	AG	PROD	SG	NGV		M100G
	NGV		M100G		M100G		R9
	DH		DH		AI1V		ARQ
	AI1V		AI1V		DH		AMD
	DF		DF		DF		SG
	AP		SG		AP		AP
							DF
Amb. 5 - Seca 2016: Coimbra		Amb. 6 - Seca 2016: Viçosa		Amb. 7 - Inverno 2016: Coimbra			
(+) ACP	(-) ACP	(+) ACP	(-) ACP	(+) ACP	(-) ACP		
NVP	NGP	NVP	NGP	Ciclo	R9		
DH	R9	R9	Ciclo	M100G	NGP		
PROD	AMD	AP	AMD	NVP	AMD		
NGV	ARQ	NGV	ARQ	ARQ	DH		
M100G	Ciclo	DH	M100G	DF	SG		
AG	AP	AG	DF	AI1V	PROD		
	DF	AI1V	PROD	AG	AP		
	SG		SG		NGV		
	AI1V						

¹Caracteres mais importantes pela análise de componentes principais; ²Caracteres menos importantes pela análise de componentes principais.

Diversidade genética multiambientes

Para a análise multiambientes da diversidade genética dos 80 genótipos foi utilizada uma matriz, resultante da soma das matrizes de dissimilaridade dos sete ambientes com base na distância generalizada de Mahalanobis, visando contemplar a diversidade manifestada em cada ambiente. A partir dessa matriz foi construído o dendrograma baseado no método de agrupamento UPGMA (Figura 1). Foram formados 11 grupos de dissimilaridade pelo método de Mojena, com valor de $k = 1.25$. O coeficiente de correlação cofenética (CCC) do dendrograma foi de 0,63 (significativo a 1% de probabilidade pelo teste t) com distorção de apenas 13%, indicando que o dendrograma reflete a matriz de dissimilaridade genética de forma adequada.

Pelo agrupamento (Figura 1) observou-se, de forma geral, distinção quanto aos grupos formados para as linhagens de grãos comerciais tipo preto e “carioca”, instituições de pesquisa e décadas de recomendação. Dos 11 grupos formados, cinco foram constituídos por linhagens recomendadas entre as décadas de 50 e 90 (linhagens mais antigas), compostos predominantemente por linhagens de grãos preto. Os outros seis grupos foram formados por linhagens recomendadas após a década de 90 (linhagens mais novas), com destaque para as linhagens de grãos cariocas, sendo cinco grupos com predomínio de linhagens de grãos carioca e um de grãos preto. Após a recomendação da cultivar Carioca em 1970, o feijão carioca passou a ser o tipo de grão de maior preferência dos brasileiros, resultando em dezenas de linhagens de feijão recomendadas a partir de então.

As linhagens oriundas de mesma instituição de pesquisa (Embrapa, IAC, Iapar, UFLA e UFV), principalmente a partir de 1990, foram alocadas no mesmo grupo de dissimilaridade, indicando maior parentesco entre linhagens desenvolvidas por uma mesma instituição.

Observou-se maior similaridade entre os grupos constituídos por linhagens mais antigas (recomendadas antes da década de 90), bem como as mais novas (recomendadas a partir da década de 90), do que entre os grupos de dissimilaridade envolvendo as linhagens mais novas e mais antigas. Esses resultados podem ser devidos ao progresso genético dos programas de melhoramento com a cultura do feijoeiro. Segundo Coelho et al. (2007) e Kloster et al. (2011), a análise de

diversidade genética, com a formação de grupos de genótipos com maior homogeneidade dentro de cada grupo e heterogeneidade entre os grupos, informa a respeito da variabilidade genética existente entre os genótipos, o que é fundamental para a orientação dos programas de melhoramento.

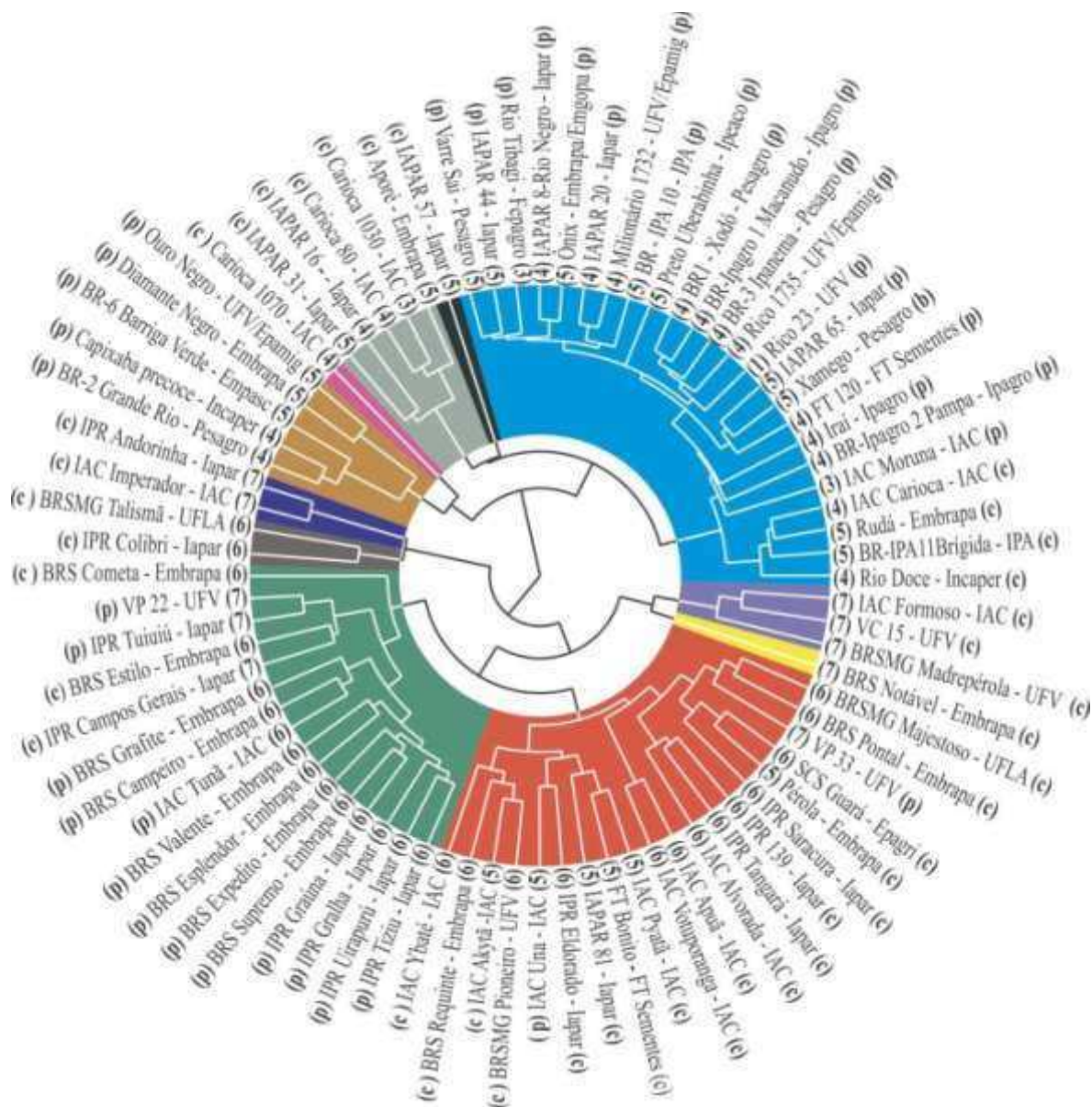


Figura 1. Dendrograma representativo da dissimilaridade genética entre 80 genótipos de feijão comum, obtido pelo método UPGMA a partir da soma de matrizes dos sete ambientes avaliados. A letra representa o grupo comercial, carioca (c) e preto (p), seguida do nome da cultivar, instituição responsável e década de recomendação, variando de (1) à (7), sendo: (1), (2), (3), (4), (5), (6) e (7) correspondentes ao período de 1950 à 1959; 1960 à 1969; 1970 à 1979; 1980 à 1989; 1990 à 1999; 2000 à 2009 e de 2010 à 2013, respectivamente.

Em função da diversidade das linhagens de feijão recomendadas após a década de 90, observa-se maior variabilidade entre as linhagens de feijão carioca do que as de feijão preto, uma vez, que para as de grão preto observou-se um grupo de dissimilaridade e para as de grão carioca cinco grupos. Esses resultados indicam que há variabilidade entre as linhagens de grão carioca a ser explorada pelos programas de melhoramento. No caso do melhoramento do feijão preto, cruzamento com linhagens de grãos carioca poderá gerar maior variabilidade a ser explorada.

Desempenho dos grupos de dissimilaridade

O desempenho dos grupos de dissimilaridade foi determinado pela análise de agrupamento de Tocher para cada um dos caracteres avaliados (Tabela 3). Para os caracteres DF, R9 e Ciclo, não houve discriminação entre os grupos compostos por linhagens mais recentemente recomendadas, após a década de 90 (grupos 1 a 6) e as mais antigas, recomendadas antes da década de 90 (7 a 11), indicando que as linhagens recomendadas mais recentemente não apresentaram maior precocidade em relação às mais antigas. Os grupos 5, 6 e 8 que receberam letra “a” para DF, R9 e Ciclo, são os também formados, predominantemente, por linhagens de hábito de crescimento determinado, portanto mais precoces. A maioria das linhagens de feijão em cultivo no Brasil apresenta um ciclo aproximado de 90 dias. No entanto, a redução desse período é requerida por servir como fator de escape a algumas condições, como: as adversidades climáticas visando diminuir o uso de recursos hídricos por meio de irrigação, facilitar a rotação de culturas, reduzir custos de produção e até mesmo a obter um melhor preço de venda do produto devido a colheita antecipada.

Para ARQ, observou-se um predomínio de menores notas (plantas mais eretas) para as linhagens de feijão preto (grupo 4), seguidas do grupo 10 e 2 (carioca) e 11 (preto), não havendo uma diferenciação entre os grupos formados por linhagens mais novas em relação as mais antigas (Tabela 3). Apesar disso, percebe-se que a arquitetura de plantas tem sido uma característica pouco melhorada, visto que as linhagens recomendadas mais recentemente (grupos 1 ao 6) não apresentaram notas superiores às antigas (grupos 7 ao 11). As linhagens de feijão com arquitetura ereta, normalmente, possuem um menor número de ramificações (hábito de crescimento

determinado), e, portanto, cessam seu florescimento mais cedo que àquelas que emitem guias (hábito de crescimento indeterminado), refletindo em um menor potencial produtivo.

Barili et al. (2016b) relatam que não houve progresso genético destas linhagens para ARQ ao longo das décadas de recomendação. No entanto, a arquitetura ereta de plantas de feijão é desejável, pois permite a colheita mecanizada com menores perdas e grãos com melhor qualidade, principalmente quando a colheita coincide com períodos prolongados de chuva (PIRES et al., 2014). Silva et al. (2013) e Moura et al. (2013) verificaram associação entre diâmetro do hipocótilo e arquitetura de plantas em feijoeiro, o que evidencia potencial de uso do diâmetro do hipocótilo na seleção indireta para programas de melhoramento que visam o desenvolvimento de linhagens de feijão mais eretas. O DH, assim como a ARQ, apresentou os valores mais desejáveis para os grupos constituídos por linhagens do grupo comercial preto (grupo 4).

O caractere A11V, de forma geral, não apresentou diferenciação entre grupos para as linhagens avaliadas (Tabela 3). No melhoramento da arquitetura do feijoeiro tem-se buscado plantas com maior A11V, pois também contribuem para a redução de perdas com a colheita mecanizada.

Para AMD, os grupos compostos tanto por linhagens antigas como aqueles compostos pelas mais novas não foram divergentes, exceto o grupo 4 (predomínio de linhagens do grupo comercial preto) que obteve um maior valor de AMD. Como referido anteriormente, linhagens do grupo comercial preto apresentaram melhor nota para arquitetura e, também, maior AMD e DH.

Para SG, as notas das linhagens foram superiores a 4 (menos de 40% das plantas com stay-green), independente da década de recomendação (Tabela 3). O stay-green é relacionado em algumas culturas como favorável para o aumento na produtividade de grãos, no estabelecimento de tolerância à seca, calor e frio, maior resistência a patógenos e menor suscetibilidade ao acamamento (ADU et al., 2011). Conforme Luche et al. (2015), é necessário um melhor entendimento acerca do stay-green em relação aos mecanismos e a capacidade fotossintética a ele associado, para então potencializar o seu uso em prol dos programas de melhoramento.

Nas linhagens de feijão mais novas (grupos 1 ao 6), a M100G apresentou valor mais elevado em relação as linhagens mais antigas (grupos 7 ao 11), com valores entre 24,36 a 26,94 (Tabela 3). Para Barili et al. (2016a, b), o progresso

genético para a característica massa de 1000 grãos em feijão preto e “carioca” foi de 1,42% a 2,08%, respectivamente, entre os anos de 1989 e 2013. O tamanho dos grãos, assim como a coloração, é um requisito de grande importância para a aceitação de uma cultivar, pois o consumidor associa grãos maiores à maior expansão após o cozimento e, conseqüentemente, ao melhor rendimento (CARBONELL et al., 2010). De acordo com Pereira et al. (2012), para grãos do tipo carioca, são preferidos os com massa acima de 25g/100 sementes.

O caráter AG nas linhagens mais novas (grupos 1 ao 6), de forma geral, apresentaram notas inferiores (1,68 a 3,20) em relação as linhagens mais antigas (grupos 7 ao 11) com notas variando de 2,22 a 4,32 (Tabela 3). As linhagens do grupo 1, apresentaram a menor nota (1,68). O fato da cultivar Madrepérola fazer parte desse grupo contribuiu para uma nota mais baixa, uma vez, que é uma cultivar carioca com uma coloração mais clara em relação às demais, e ainda, apresenta a vantagem de manter a cor por mais tempo sem escurecimento (cerca de seis meses) (CARNEIRO et al., 2012).

Alguns padrões do grupo comercial podem fazer com que determinada cultivar seja menos aceita, como é o caso de feijão carioca com coloração mais escura em que o consumidor associa a “grãos velhos”, ou no caso do feijão preto com padrão brilhante, em que é associado a demora no tempo de cozimento. Ao longo dos anos, os programas de melhoramento genético do feijoeiro concentraram esforços no desenvolvimento de linhagens com melhor qualidade de grãos. Depois da recomendação da cultivar Carioca na década de 70, os programas de melhoramento começaram a buscar linhagens de grãos carioca com melhor padrão comercial, ou seja, grãos maiores e mais claros. De acordo com Faria et al. (2013), em 22 anos de melhoramento de feijão carioca na Embrapa, houve um progresso de 2,3% ao ano para aspecto de grãos.

Para produtividade de grãos é possível perceber a diferenciação entre as linhagens mais novas e as mais antigas (Tabela 3). Os grupos 1 ao 6, formados por linhagens recomendadas a partir do ano 1990 apresentaram produtividade de grãos variando de 2931,52 a 3491,93 Kg ha⁻¹, enquanto que as linhagens mais antigas, grupos 7 ao 11, apresentaram produtividade de grãos inferior, de 2184,61 a 2622,84 Kg ha⁻¹. Os aumentos expressivos na produtividade de grãos observados nas últimas décadas se devem ao melhoramento genético, podendo proporcionar ganhos ainda maiores no futuro (RAMALHO et al., 2012). Para Barili et al. (2016a, b), a

contribuição dos programas de melhoramento para a produtividade de grãos foi de 2,42% ao ano a partir de 1988 para o feijão do grupo comercial preto e de 6,74% ao ano (68,15 kg ha⁻¹ por ano) a partir de 1990 para o feijão carioca. Esses resultados demonstram que a produtividade de grãos representa o caráter de maior importância econômica no melhoramento genético do feijoeiro-comum, sendo o principal critério de seleção.

O incremento na produtividade de grãos no feijoeiro-comum é um resultado dependente do produto dos componentes do rendimento de grãos. Os caracteres NVP, NGP e NGV tiveram um aumento expressivo quando comparados os valores obtidos nos grupos compostos por linhagens mais novas em relação aos grupos das linhagens mais antigas (Tabela 3). Em estudo, Barili et al. (2016a, b) observaram incremento anual, na ordem de 1,42% e 1,85% para NVP e NGV em feijão preto e de 5,62% e 4,59% para NVP e NGV em feijão carioca a partir da década de 90. Para Zilio et al. (2011), maior número de vagens por planta e número de grãos por vagem no feijoeiro contribuíram eficientemente na identificação dos genótipos mais promissores para rendimento de grãos.

Tabela 3. Agrupamento de otimização de Tocher nos 11 grupos gerados pelo método de Mojena, a partir das médias dos genótipos em relação aos caracteres dias para o florescimento (DF, dias), maturação fisiológica (R9, dias), ciclo (dias), arquitetura de planta (ARQ, nota), stay-green (SG, nota), altura média do dossel (AMD, cm), altura de inserção de primeira vagem (AIIV, cm), altura de planta (AP, cm), diâmetro do hipocótilo (DH, cm), produtividade de grãos (PROD, Kg ha⁻¹), massa de 100 grãos (M100G, g), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), número de grãos por vagem (NGV) e aspecto de grão (AG, nota) de 80 linhagens de feijão avaliadas nos anos de 2013 e 2016, nas épocas de seca e inverno, nos municípios de Coimbra e Viçosa, no estado de Minas Gerais

Grupos	DF	R9	Ciclo	ARQ	SG	AMD	AIIV	AP	DH	PROD	M100G	NVP	NGP	NGV	AG
1	36,81c*	84,00d	90,14d	3,68d	4,48c	24,16c	15,84a	72,78a	4,81b	3251,65b	26,94a	13,71b	74,34b	5,29a	1,68a
2	35,29b	82,57c	89,43d	2,83b	4,48c	27,36c	13,99a	70,98a	4,61b	3491,93a	25,65b	15,22a	82,04a	5,28a	3,17c
3	37,55c	84,14d	90,38d	3,41d	4,44c	27,38c	15,44a	76,51a	4,78b	2931,52b	24,44c	12,05c	58,60c	4,85b	2,76c
4	37,44c	83,39c	89,85d	2,56a	4,53c	35,87a	15,06a	68,04b	5,27a	3175,32b	24,37c	13,31b	70,93b	5,28a	2,15b
5	32,12a	79,69a	86,45b	3,57d	4,83b	23,36c	14,69a	68,95b	4,31b	2991,38b	24,36c	12,42c	56,60c	4,49c	3,20c
6	31,05a	79,21a	84,90a	3,43d	4,83b	25,16c	15,38a	60,82c	4,60b	3393,71a	26,50a	14,74a	76,88b	5,08a	2,70c
7	32,70a	82,07c	88,15c	3,83d	4,73b	23,23c	13,81a	75,17a	4,27b	2622,84c	21,96d	11,29d	49,72d	4,38c	2,22b
8	31,57a	79,14a	83,95a	4,07e	4,95a	19,91d	15,20a	55,76d	4,09c	2184,61d	19,55e	11,54d	46,96d	4,10d	3,82d
9	36,83c	82,04c	87,79c	3,79d	4,71b	22,11d	14,25a	77,01a	4,13c	2480,79c	21,82d	10,74e	44,34d	4,19d	4,32d
10	36,90c	80,81b	86,86b	2,33a	4,43c	33,13a	12,55b	54,17d	4,53b	2487,81c	22,39d	12,08c	48,30d	4,01d	4,31d
11	37,67c	83,30c	89,64d	3,22c	4,67b	30,00b	14,51a	71,88a	4,85b	2515,25c	20,12e	11,35d	51,73d	4,53c	3,04c

1 - Formoso (7⁽¹⁾c⁽²⁾), VC15 (7c), Madrepérola (7c); **2** - Notável (7c); **3** - Majestoso (6c), Pontal (6c), VP 33 (7p), Guará (6c), Pérola (5c), Saracura (6c), IPR 139 (6c), Tangará (6c), Alvorada (6c), Apuã (6c), Votuporanga (6c) Pyatã (5c), FT Bonito (5c), Iapar 81 (5c), Eldorado (6c), Una (5p), Pioneiro (6c), Akytã (5c), Requite (6c), Ybaté (6c); **4** - Tiziu (6p), Uirapuru (6p), Gralha (6p), Graúna (6p), Supremo (6p), Expedito (6p), Esplendor (6p), Valente (6p), Tunã (6p), Campeiro (6p), Grafite (6p), Campos Gerais (7c), Estilo (6c), Tuiuiú (7p), VP 22 (7p), Cometa (6c); **5** - Colibri (6c), Talismã (6c); **6** - Imperador (7c), Andorinha (7c); **7** - Grande Rio (4p), Capixaba Precoc (4p), Barriga Verde (5p), Diamante Negro (5p), Ouro Negro (5p); **8** - Carioca 1070 (4c); **9** - Iapar 31 (5c), Iapar 16 (4c), Carioca 80 (4c), Carioca 1030 (3c), Aporé (5c); **10** - Iapar 57 (5c); **11** - Varre-Sai (5p), Iapar 44 (5p), Rio Tibagi (3p), Rio Negro (4p), Ônix (5p), Iapar 20 (4p), Milionário 1732 (4p), IPA 10 (5p), Preto Uberabinha (5p), Xodó (4p), Macanudo (4p), Ipanema; 12- (4p), Rico 1735 (4p), Rico 23 (1p), Iapar 65 (5p), Xamego (5p), FT 120 (4p), Iraí (4p), Pampa (4p), Moruna (3p), Carioca (4c), Rudá (5c), Brígida (5c), Rio Doce (4c). ⁽¹⁾Número referente a década de recomendação das linhagens: (1) - 1950 à 1959; (2) - 1960 à 1969; (3) - 1970 à 1979; (4) - 1980 à 1989; (5) - 1990 à 1999; (6) - 2000 à 2009 e (7) - 2010 à 2013. ⁽²⁾Letra correspondente ao grupo comercial de grão, sendo: c = carioca e p = preto.* Letras (a), (b), (c), (d), (e) referem-se aos grupos formados pelo agrupamento de Tocher.

Conclusões

As linhagens de feijão recomendadas após a década de 90, independente do grupo comercial, apresentam melhor aspecto de grãos e maiores produtividade de grãos, massa de 100 grãos, número de vagens por planta, número de grãos por planta e número de grãos por vagem.

As linhagens de feijão do grupo comercial preto, de modo geral, apresentam maior diâmetro de hipocótilo e melhor arquitetura de planta, comparadas às do grupo carioca.

O número de vagens por planta e aspecto de grão são os caracteres que mais contribuíram para a diversidade genética das linhagens de feijoeiro recomendadas nos últimos 50 anos.

Há variabilidade genética entre as linhagens de grãos comerciais tipo preto e “carioca”, bem como entre as linhagens oriundas de diferentes instituições de pesquisa e décadas de recomendação.

Há maior variabilidade genética entre linhagens de feijão do grupo “carioca” do que preto.

Há elevada variabilidade genética entre as linhagens de feijão grupo preto e linhagens do grupo “carioca”.

A interação GxA afeta os estudos de diversidade genética do feijoeiro.

A estratégia de soma das matrizes de dissimilaridade genética se mostrou eficiente para quantificar a diversidade multiambientais.

Referências

ADU, M. O; SPARKES, D. L; PARMAR, A; YAWSON, D. O. 'Stay-green' in wheat: comparative study of modern bread wheat and ancient wheat cultivars. **Journal o Agriculture and Biological Science**, v. 6, n. 9, p. 16-24, 2011.

BARILI, L. D; VALE, N. M; CARNEIRO, J. E. S; SILVA, F. F; SILVA, F. L. Five decades of black common bean genetic breeding in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46, n. 3, p. 259-266, 2016a. doi: 10.1590/1983-40632016v46i41371

BARILI, L. D; VALE, N. M; MOURA, L. M; PAULA, R. G; SILVA, F. F; CARNEIRO, J. E. S. Genetic progress resulting from forty-three years of breeding of the carioca common bean in Brasil. **Genetic Molecular Research**, v. 15, n. 3, p. 1-11, 2016b. doi: 10.4238/gmr.15038523

BEEBE, S. E; RAO, I. M; DEVI, M. J; POLANIA, J. Common beans, biodiversity, and multiple stresses: challenges of drought resistance in tropical soils. **Crop Pasture Science**, v. 65, n. 7, p. 667-675, 2014. doi: 10.1071/CP13303

CABRAL, P. D. S; SOARES, T. C. B; LIMA, A. B. P; ALEVES, D. S; NUNES, J. A. Diversidade genética de acessos de feijão comum por caracteres agrônômicos. **Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 4, p. 898-905, 2011. doi: 10.1590/S1806-66902011000400011

CARBONELL, S. A. M, CHIORATO, A. F, GONÇALVES, J. G. R, PERINA, E. F, CARVALHO, C. R. Tamanho de grão comercial em cultivares de feijoeiro. **Ciência Rural**, v. 40, n. 4, p. 2067-2073, 2010. doi: 10.1590/S0103-84782010005000159

CARGNELUTTI FILHO, A; RIBEIRO, N. D; REIS, R. C. P; SOUZA, J. R; JOST, E. Comparação de métodos de agrupamento para o estudo da divergência genética em cultivares de feijão. **Ciência Rural**, v. 38, n. 8, p. 2138-2145, 2008. doi: 10.1590/S0103-84782008005000059

CARNEIRO, J. E. S; ABREU, A. F. B; RAMALHO, M. A. P; PAULA JÚNIOR, T. J; DEL PELOSO, M. J; MELO, L. C; PEREIRA, H. P; PEREIRA FILHO, I. A; MARTINS, M; VIEIRA, R. F; MARTINS, F. A. D; COELHO, M. A. O; CARNEIRO, P. C. S; MOREIRA, J. A. A; SANTOS, J. B; FARIA, L. C; COSTA, J. G. C; TEIXEIRA, H. BRSMG Madrepérola: common bean cultivar with late-darkening Carioca grain. **Crop Breeding Applied Biotechnology**, v. 12, n. 4, p. 281-284, 2012. doi: 10.1590/S1984-70332012000400008

CEOLIN, A. C. G; GONÇALVES-VIDIGAL, M. C; VIDIGAL FILHO, P. S; KVITSCHAL, M. V; GONELA, A; SCAPIM, C. A. Genetic divergence of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) group Carioca using morpho-agronomic traits by multivariate analysis. **Hereditas**, v. 144, p. 1-9, 2007. doi: 10.1111/j.2006.0018-0661.01943.x

COELHO, C. M. M; COIMBRA, J. L. M; SOUZA, C. A; BOGO, A; GUIDOLIN, A. F. Diversidade genética em acessos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência Rural**, v. 37, n. 5, p. 1241-1247, 2007. doi: 10.1590/S0103-84782007000500004

COLLICCHIO, E; RAMALHO, M. A. P; ABREU, A. F. B. Associação entre o porte da planta do feijoeiro e o tamanho dos grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 3, p. 297-304, 1997.

CORREA AM, GONÇALVES MC, TEODORO PT. Pattern analysis of multi-environment trials in common bean genotypes. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 2, p. 328-336, 2016. doi: 10.14393/BJ-v32n2a2016-29572

CRUZ, C. D; CASTOLDI, F. Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa. **Revista Ceres**, v. 38, n. 219, p. 422-430, 1991.

CRUZ, C. D; FERREIRA, F. M; PESSONI, L. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. Suprema, Visconde do Rio Branco, 2011. 620p.

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013. doi: 10.4025/actasciagron.v35i3.21251

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. doi: 10.4025/actasciagron.v38i4.32629

CRUZ, C. D; REGAZZI, A. J; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. 4.ed. Viçosa: UFV, 2012. 514p.

FARIA, A. P; MODA-CIRINO, V; BURATTO, J. S; SILVA, C. F. B; DESTRO, D. Interação genótipo x ambiente na produtividade de grãos de linhagens e cultivares de feijão linhagens e cultivares de feijão. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 4, p. 579-585, 2009. doi: 10.4025/actasciagron.v31i4.850

FARIA, L. C; MELO, P. G. S; PEREIRA, H. S; DEL PELOSO, M. J; BRÁS, A. J. B. P; MOREIRA, J. A. A; CARVALHO, H. W. L; MELO, L. C. Genetic progress during 22 years of improvement of carioca-type common bean in Brazil. **Field Crops Research**, v. 142, n. 20, p. 68-74, 2013. doi: 10.1016/j.fcr.2012.11.016

GARCÍA-PEÑA, M; DIAS, C. T. S. Análise dos modelos aditivos com interação multiplicativa (AMMI) bivariados. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 27, n. 4, p. 586-602, 2009.

GRANDÓN, N. G; ALARCÓN, Y; MORENO, M. V; AROLFO, V; ORODIZZI, A; BASIGALUP, D. H; GIECO, J. O; BRUNO, C. Genetic diversity among alfalfa genotypes (*Medicago sativa* L.) of non-dormant cultivars using SSR markers and agronomic traits. **Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias**, v. 45, n. 2, p. 150-170, 2013.

JOLLIFFE, I. T. Discarding variables in a principal component analysis. I. Artificial data. **Applied Statistics**, v. 21, n. 2, p. 160-173, 1972.

KLOSTER, G. S; BARELLI MA, A; SILVA, C. R; NEVES, L. G; SOBRINHO, S. P; LUZ, P. B. Análise da divergência genética através de caracteres morfológicos em cultivares de feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 3, p. 452-459, 2011. doi: 10.5039/agraria.v6i3a1140

LANGARICA, G. H. R; SERNA, R. R; DELGADO, H. S; PEREZ, M. N. Morphological and molecular characterization of common bean landraces cultivated in the semi-arid Mexican high plateau. **Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica**, v. 49, n. 4, p. 525-540, 2014.

LIMA, M. S; CARNEIRO, J. E. S; CARNEIRO, P. C. S; PEREIRA, C. S; VIEIRA, R. F; CECON, P. R. Characterization of genetic variability among common bean genotypes by morphological descriptors. **Crop Breeding Applied Biotechnology**, v. 12, n. 1, p. 76-84, 2012. doi: 10.1590/S1984-70332012000100010

LUCHE, H. S; SILVA, J. A. G; MAIA, L. C; OLIVEIRA, A. C. Stay-green: a potentiality in plant breeding. **Ciência Rural**, v. 45, n. 10, p. 1755-1760, 2015. doi: 10.1590/0103-8478cr20140662

MELO, L. C; MELO, P. G. S; FARIA, L. C; DIAZ, J. L. C; DEL PELOSO, M. J; RAVA, C. A; COSTA, J. G. C. Interação com ambientes e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum na Região Centro-Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 5, p. 715-723, 2007. doi: 10.1590/S0100-204X2007000500015

MOJENA, R. Hierarchical grouping methods and stopping rules: an evaluation. **The Computer Journal**, v. 20, n. 4, p. 359-363, 1977. doi: 10.1093/comjnl/20.4.359

MOURA, M. M; CARNEIRO, P. C. S; CARNEIRO, J. E. S; CRUZ, C. D. Potencial de caracteres na avaliação da arquitetura de plantas de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 4, p. 417-425, 2013. doi: 10.1590/S0100-204X2013000400010

MILLIGAN, G. W; COOPER, M. C. An examination of procedures for determining the number of clusters in a data set. **Psychometrika**, v. 50, n. 2, p. 159-179, 1985.

NELSON, P. T; KRAKOWSKY, M. D; COLES, N. D; HOLLAND, J. B; BUBECK, D. M; SMITH, J. S. C; GOODMAN, M. M. Genetic Characterization of the North Carolina State University Maize Lines. **Crop Science**, v. 56, n. 1, p. 259-275, 2016. doi: 10.2135/cropsci2015.09.0532

PEREIRA, H. S; ALMEIDA, V. M; MELO, L. C; WENDLAND, A; FARIA, L. C; DEL PELOSO, M. J; MAGALDI, M. C. S. Influência do ambiente em cultivares de feijoeiro-comum em cerrado com baixa altitude. **Bragantia**, v. 71, n. 2, p. 165-172, 2012. doi: 10.1590/S0006-87052012005000024

PEREIRA, H. S; MELO, L. C; DEL PELOSO, M. J; FARIA, L. C; WENDLAND, A. Complex interaction between genotypes and growing seasons of carioca common

bean in Goiás/Distrito Federal. **Crop Breeding Applied Biotechnology**, v. 10, n. 3, p. 207-215, 2011. doi: 10.1590/S1984-70332011000300002

PEREIRA, H. S; MELO, L. C; FARIA, L. C; DEL PELOSO, M. J; DÍAZ, J. L. C; WENDLAND, A. Indicação de cultivares de feijoeiro-comum baseada na avaliação conjunta de diferentes épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 6, p. 571-578, 2010. doi: 10.1590/S0100-204X2010000600006

PIRES, L. P. M; RAMALHO, M. A. P; ABREU, A. F. B; FERREIRA, M. C. Recurrent mass selection for upright plant architecture in common bean. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 3, p. 240-243, 2014. doi: 10.1590/S0103-90162014000300009

PLAISTED, R. L; PETERSON, L. C. A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations and seasons. **American Potato Journal**, v. 36, n. 11, p. 381-385, 1959. doi: 10.1007/BF02852735

PONTES, D. S. **Seleção de caracteres no estudo da diversidade genética via análise de procrustes**. 2016. 39p. Dissertação - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

RAMALHO, M. A. P; ABREU, A. F. B. OBTENÇÃO DE CULTIVARES IN: CARNEIRO, J. E. S; PAULA JÚNIOR, T. J; BORÉM, A. **Feijão do Plantio à Colheita**, Viçosa: UFV, 2015. 384p.

RAMALHO, M. A. P; DIAS, L. A. S; CARVALHO, B. L. Contributions of plant breeding in Brazil: progress and perspectives. **Crop Breeding Applied Biotechnology**, v. 12, p. 111-120, 2012. doi: 10.1590/S1984-70332012000500012

RAMALHO, M. A. P; PIROLA, L. H; ABREU, A. F. B. Alternativas na seleção de plantas de feijoeiro com porte ereto e grão tipo carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 12, p. 1984-1994, 1998.

R DEVELOPMENT CORE TEAM, **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2015.

RIBEIRO, N. D; HOFFMANN JÚNIOR, L; POSSEBON, S. B. Variabilidade genética para ciclo em feijão dos grupos preto e carioca. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 10, n. 1, p. 19-29, 2004. doi: 10.18539/cast.v10i1.685

SCARANO, D; RUBIO, F; RUIZ, J. J; RAO, R; CORRADO, G. Morphological and genetic diversity among and within common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces from the Campania region (Southern Italy). **Scientia Horticulturae**, v. 180, p. 72-78, 2014. doi: 10.1016/j.scienta.2014.10.013

SILVA, V. M. P; MENEZES JÚNIOR, J. A. N; CARNEIRO, P. C. S; CARNEIRO, J. E. S; CRUZ, C. D. Genetic improvement of plant architecture in the common bean. **Genetic Molecular Research**, v. 12, n. 3, p. 3093-3102, 2013. doi: 10.4238/2013

SINGH, S. P; SCHWARTZ, H. F. Review: Breeding common bean for resistance to insect pests and nematodes. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 91, n. 2, p. 239-250, 2011. doi: 10.4141/CJPS10002

SOKAL, R. R; ROHLF, F. J. The comparison of dendrograms by objective methods. **Taxon**, v. 11, n. 2, p. 30-40, 1962. doi: 10.2307/1217208

SZILAGYI, L; TAYYAR, S; CIUCA, M. Evaluation of genetic diversity in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) using RAPD markers and morpho-agronomic traits. **Romanian Biotechnological Letters**, v. 16, n. 1, p. 98-105, 2011.

TORGA, P. P; MELO, P. G. S; PEREIRA, H. S; FARIA, L. C; DEL PELOSO, M. J; MELO, L. C. Interaction of common bean cultivars of the black group with years, locations and sowing seasons. **Euphytica**, v. 189, n. 2, p. 239-248, 2013. doi: 10.1007/s10681-012-0793-y

VALE, N. M; BARILI, L. D; OLIVEIRA, H. M; CARNEIRO, J. E. S; CARNEIRO, P. C. S; LOPES, F. Escolha de genitores quanto à precocidade e produtividade de feijão tipo carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 2, p. 141-148, 2015. doi: 10.1590/S0100-204X2015000200006

WALULU, R. S; ROSENOW, D. T; WERTER, D. B; NGUYEN, H. T. Inheritance of the stay-green trait in sorghum. **Crop Science**, v. 34, n. 4, p. 970-972, 1994. doi: 10.2135/cropsci1994.0011183X003400040026x

ZILIO, M; COELHO, C. M. M; SOUZA, C. A; SANTOS, J. C. P; MIQUELLUTI, D. J. Contribuição dos componentes de rendimento na produtividade de genótipos crioulos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 2, p. 429-438, 2011. doi: 10.1590/S1806-66902011000200024

MATERIAL SUPLEMENTAR

Tabela S1. Resumo da análise de variância individual para os caracteres dias para o florescimento (DF, dias), maturação fisiológica (R9, dias), ciclo (dias), arquitetura de planta (ARQ, nota), stay-green (SG, nota), altura média do dossel (AMD, cm), altura de inserção de primeira vagem (AIV, cm), altura de planta (AP, cm), diâmetro do hipocótilo (DH, cm), produtividade de grãos (PROD, Kg ha⁻¹), massa de 100 grãos (M100G, g), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), número de grãos por vagem (NGV) e aspecto de grão (AG, nota) de 80 linhagens de feijão avaliadas nos anos de 2013 e 2016, nas épocas de seca e inverno, nos municípios de Coimbra e Viçosa, no estado de Minas Gerais

Ambiente ¹	DF			R9			Ciclo			ARQ			SG		
	QMT	Média	CV%	QMT	Média	CV%	QMT	Média	CV%	QMT	Média	CV%	QMT	Média	CV%
1.	16,71**	33,71	3,59	25,25**	89,60	2,61	35,93**	96,67	3,14	1,86**	3,29	14,46	0,84**	4,31	12,32
2.	19,70**	41,32	4,04	36,75**	85,04	4,57	37,01**	94,44	3,89	1,97**	3,80	12,40	0,43**	4,64	10,66
3.	31,75**	35,34	4,86	18,36**	80,41	2,57	30,51**	86,49	2,68	1,38**	3,72	12,62	0,45**	4,52	11,27
4.	20,59**	28,56	4,86	20,62**	77,99	1,47	17,17**	86,64	1,49	1,08**	3,91	6,91	0,50**	4,65	8,06
5.	9,02**	36,35	3,31	9,11**	74,16	1,69	17,61**	79,15	3,40	0,67**	2,78	14,12	0,64**	4,44	13,43
6.	19,04**	37,94	3,76	13,56**	84,29	2,28	8,98**	88,92	1,96	0,50**	2,48	21,99	0,30**	4,69	8,90
7.	22,81**	44,22	5,61	4,16**	90,27	1,50	4,16**	93,27	1,45	0,83**	2,66	16,19	0,18**	4,89	5,94
Ambiente	AMD			AIV			AP			DH			PROD		
	QMT	Média	CV%	QMT	Média	CV%	QMT	Média	CV%	QMT	Média	CV%	QMT	Média	CV%
1.	94,72**	23,76	15,97	2,80**	10,75	11,88	136,94**	54,77	14,83	0,66**	4,88	7,30	1691223,68**	3408,49	10,59
2.	142,49**	18,14	23,44	2,49**	12,05	7,69	206,29**	77,99	10,85	0,61**	4,87	8,78	846315,86**	3028,69	12,83
3.	138,83**	26,88	18,75	4,03**	13,00	8,68	199,52**	76,67	11,46	0,51**	4,77	7,11	1228977,09**	3049,58	9,07
4.	103,84**	23,77	12,72	2,48**	12,10	4,29	192,72**	80,14	10,84	0,88**	4,82	6,34	737794,64**	2314,63	8,29
5.	98,90**	37,45	12,01	43,50**	21,97	21,60	412,01**	87,51	11,36	0,98**	4,87	8,44	832271,19**	3271,13	15,51
6.	82,32**	37,99	13,78	23,17**	17,20	21,05	347,64**	59,70	21,90	0,86**	4,62	9,38	668486,12**	2550,38	10,40
7.	200,13**	34,84	18,38	22,66**	16,86	18,02	266,08**	67,56	15,49	0,65**	4,76	9,24	433483,94**	2096,16	20,75
Ambiente	M100G			NVP			NGP			NGV			AG		
	QMT	Média	CV%	QMT	Média	CV%	QMT	Média	CV%	QMT	Média	CV%	QMT	Média	CV%

Continuação...

1.	21,42**	24,64	5,14	20,57**	14,73	11,03	1295,52**	68,45	14,02	1,39**	4,56	11,00	2,11**	2,56	11,01
2.	23,11**	22,41	8,19	19,25**	13,72	13,08	1342,27**	64,63	16,19	1,61**	4,61	11,19	2,40**	2,75	15,12
3.	14,15**	23,00	3,26	18,60**	13,63	10,82	1482,28**	65,27	14,91	1,85**	4,67	11,08	2,52**	2,83	11,64
4.	37,66**	19,79	5,12	19,76**	12,32	11,44	1354,68**	57,36	16,15	1,90**	4,51	10,83	2,17**	2,88	14,90
5.	23,30**	26,11	5,86	15,49**	10,56	23,70	508,82**	54,91	25,54	0,75**	5,20	8,13	1,38**	2,67	17,23
6.	24,23**	24,42	5,75	9,56**	9,85	23,15	383,33**	47,97	29,58	0,56**	4,81	11,46	2,04**	2,94	16,51
7.	15,82**	19,80	6,74	19,19**	10,14	30,39	626,29**	51,40	32,97	0,53**	5,00	9,98	1,96**	2,91	18,98

**Significativo pelo teste F em nível de 1% de probabilidade; ¹Referentes aos ambientes de avaliação: ambiente 1 = seca 2013, local = Coimbra; ambiente 2 = seca 2013, local = Viçosa; ambiente 3 = inverno 2013, local = Coimbra, ambiente 4 = inverno 2013, local = Viçosa; ambiente 5 = seca 2016, local: Coimbra; ambiente 6 = seca 2016, local: Viçosa e ambiente 7 = inverno 2016, local: Coimbra.

Tabela S2. Resumo da análise de variância conjunta para os caracteres dias para o florescimento (DF, dias), maturação fisiológica (R9, dias), ciclo (dias), arquitetura de planta (ARQ, nota), stay-green (SG, nota), altura média do dossel (AMD, cm), altura de inserção de primeira vagem (AI1V, cm), altura de planta (AP, cm), diâmetro do hipocótilo (DH, cm), produtividade de grãos (PROD, Kg ha⁻¹), massa de 100 grãos (M100G, g), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), número de grãos por vagem (NGV) e aspecto de grão (AG, nota) de 80 linhagens de feijão avaliadas nos anos de 2013 e 2016, nas épocas de seca e inverno, nos municípios de Coimbra e Viçosa, no estado de Minas Gerais

FV	GL	Quadrado médio							
		DF	R9	Ciclo	ARQ	SG	AMD	AI1V	AP
Blocos/Ambientes	14	97,37	105,94	108,58	2,48	0,60	182,32	55,00	926,61
Genótipos (G)	79	99,98 **	66,89 **	80,63 **	5,45 **	0,97 **	599,72 **	26,04 ns	1118,33 **
Ambientes (A)	6	6259,90 **	8493,38 **	8588,28 **	84,72 **	8,37 **	14540,20 **	3835,55 **	33311,62 **
GxA	474	6,61 **	18,05 **	16,52 **	0,47 **	0,39 **	43,58 **	25,57 **	124,50 **
Resíduo	1106	2,68	8,98	8,73	0,20	0,22	22,25	15,73	87,22
Total	1679								
Média		36,78	83,11	89,37	3,23	4,59	28,98	14,84	72,05
CV (%)		4,45	3,60	3,31	13,72	10,22	16,28	26,72	12,96

FV	GL	Quadrado médio						
		DH	PROD	M100G	NVP	NGP	NGV	AG
		0,81	1372911,91	21,81	6,89	346,06	1,05	0,68
Genótipos (G)	79	3,00 **	2704212,62 **	124,17 **	38,49 **	2658,70 **	3,96 **	11,65 **
Ambientes (A)	6	2,03 ns	58818661,37 **	1409,66 **	929,77 **	14312,35 **	15,55 **	4,64 **
GxA	474	0,36 **	598250,26 **	5,92 **	13,99 **	722,42 **	0,77 **	0,49 **
Resíduo	1106	0,15	143796,62	1,81	4,42	152,48	0,25	0,19
Total	1679							
Média		4,80	2825,11	22,88	12,14	58,57	4,77	2,79
CV (%)		8,20	13,42	5,88	17,33	21,08	10,51	15,42

** Significativo pelo teste F em nível de 1% de probabilidade; ns= não significativo.

Tabela S3. Percentuais da parte complexa da interação e correlações intra-classe entre os pares de ambientes em relação aos caracteres dias para o florescimento (DF, dias), maturação fisiológica (R9, dias), ciclo (dias), arquitetura de planta (ARQ, nota), stay-green (SG, nota), altura média do dossel (AMD, cm), altura de inserção de primeira vagem (AIIV, cm), altura de planta (AP, cm), diâmetro do hipocótilo (DH, cm), produtividade de grãos (PROD, Kg ha⁻¹), massa de 100 grãos (M100G, g), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), número de grãos por vagem (NGV) e aspecto de grão (AG, nota) de 80 linhagens de feijão avaliadas nos anos de 2013 e 2016, nas épocas de seca e inverno, nos municípios de Coimbra e Viçosa, no estado de Minas Gerais

AMB ¹	DF		R9		Ciclo		ARQ		SG		AMD		AIIV		AP		
	%FC	rf	%FC	rf	%FC	rf	%FC	rf	%FC	Rf	%FC	rf	%FC	rf	%FC	rf	
1	2	26,65	0,92 **	70,21	0,47 **	71,00	0,50 **	46,06	0,79 **	86,29	0,15	43,43	0,77 **	79,48	0,36 **	69,32	0,48 **
1	3	38,24	0,78 **	56,14	0,66 **	66,89	0,55 **	50,69	0,72 **	77,48	0,31 **	44,28	0,77 **	79,57	0,34 **	60,46	0,60 **
1	4	45,77	0,78 **	73,88	0,44 **	67,02	0,43 **	60,37	0,57 **	80,00	0,30 **	56,50	0,68 **	85,11	0,27 *	60,42	0,61 **
1	5	38,43	0,78 **	53,54	0,53 **	70,44	0,39 **	43,28	0,65 **	90,06	0,17	62,33	0,61 **	36,64	0,22 *	51,14	0,53 **
1	6	53,58	0,71 **	58,01	0,58 **	47,90	0,49 **	36,44	0,65 **	79,17	0,15	56,41	0,68 **	61,74	0,06	53,06	0,48 **
1	7	67,94	0,52 **	44,95	0,45 **	40,16	0,40 **	42,52	0,70 **	73,15	0,05	34,37	0,79 **	44,51	0,31 **	48,54	0,68 **
2	3	44,07	0,76 **	52,44	0,63 **	54,93	0,69 **	43,13	0,79 **	76,38	0,42 **	50,04	0,75 **	55,40	0,64 **	67,36	0,55 **
2	4	48,93	0,76 **	70,51	0,43 **	59,70	0,52 **	57,61	0,59 **	82,85	0,31 **	53,23	0,69 **	49,24	0,76 **	65,79	0,57 **
2	5	40,09	0,73 **	48,31	0,48 **	61,32	0,51 **	44,26	0,62 **	90,85	0,14	57,52	0,64 **	35,28	0,21	50,76	0,65 **
2	6	55,03	0,70 **	58,32	0,48 **	45,83	0,51 **	34,33	0,66 **	84,61	0,25 *	62,28	0,55 **	65,95	-0,13	62,13	0,49 **
2	7	68,79	0,52 **	51,28	0,23 *	47,13	0,28 *	37,52	0,74 **	90,13	0,01	50,03	0,73 **	53,71	0,11	71,32	0,48 **
3	4	0,53	1,00 **	70,23	0,50 **	61,18	0,55 **	70,61	0,49 **	86,22	0,25 *	50,08	0,73 **	23,78	0,90 **	7,43	0,99 **
3	5	24,64	0,78 **	59,00	0,55 **	60,32	0,57 **	58,17	0,55 **	101,07	-0,05	62,93	0,58 **	50,95	0,09	55,70	0,58 **
3	6	49,52	0,70 **	67,09	0,53 **	48,26	0,53 **	43,90	0,64 **	93,58	0,08	59,23	0,59 **	78,51	-0,14	65,79	0,43 **
3	7	70,33	0,48 **	54,34	0,43 **	42,48	0,42 **	53,32	0,66 **	85,27	0,08	58,65	0,62 **	56,99	0,24 *	61,16	0,60 **
4	5	33,06	0,79 **	67,81	0,40 **	62,03	0,62 **	69,18	0,47 **	97,41	0,04	68,29	0,53 **	39,67	0,12	54,07	0,59 **
4	6	55,34	0,69 **	82,56	0,28 *	72,15	0,39 **	68,09	0,41 **	93,17	0,07	68,13	0,52 **	68,46	-0,18	65,17	0,43 **
4	7	72,59	0,47 **	57,87	0,34 **	58,28	0,38 **	72,31	0,46 **	84,65	0,06	59,42	0,56 **	49,03	0,19	61,16	0,60 **
5	6	39,76	0,74 **	54,84	0,66 **	57,32	0,58 **	68,29	0,51 **	68,31	0,41 **	65,59	0,56 **	70,94	0,41 **	63,86	0,59 **
5	7	61,09	0,46 **	62,70	0,52 **	50,05	0,48 **	53,52	0,70 **	65,35	0,28 *	41,57	0,74 **	88,04	0,13	68,23	0,49 **
6	7	69,96	0,50 **	66,56	0,36 **	68,56	0,44 **	50,24	0,69 **	87,02	0,18	40,99	0,70 **	91,74	0,16	65,17	0,51 **

Continuação...

AMB	DH		PROD		M100G		NVP		NGP		NGV		AG		
	%FC	rf	%FC	rf	%FC	rf	%FC	rf	%FC	rf	%FC	rf	%FC	rf	
1	2	58,93	0,65**	36,82	0,78**	36,41	0,87**	49,30	0,76**	36,05	0,87**	42,67	0,81**	49,78	0,75**
1	3	56,68	0,66**	27,44	0,90**	30,12	0,88**	33,66	0,88**	28,88	0,91**	43,14	0,80**	38,86	0,84**
1	4	84,53	0,27*	16,23	0,90**	27,18	0,87**	46,38	0,78**	35,25	0,88**	43,26	0,79**	43,16	0,81**
1	5	53,16	0,68**	96,59	-0,05	46,39	0,78**	110,65	-0,24*	109,07	-0,39**	102,55	-0,14	46,24	0,75**
1	6	56,00	0,67**	71,66	0,22	46,48	0,78**	102,59	-0,19	95,70	-0,22*	92,77	-0,04	54,35	0,70**
1	7	48,17	0,77**	76,64	0,70	46,14	0,77**	109,40	-0,20	103,68	-0,20	82,79	0,12	52,25	0,73**
2	3	56,62	0,67**	36,23	0,84**	25,81	0,89**	39,44	0,84**	31,96	0,90**	33,68	0,88**	44,14	0,80**
2	4	66,58	0,53**	37,44	0,86**	23,96	0,90**	42,20	0,82**	30,61	0,90**	34,37	0,88**	44,95	0,80**
2	5	61,20	0,57**	100,57	-0,12	57,64	0,67**	111,78	-0,26*	107,59	-0,37**	96,28	-0,06	49,03	0,70**
2	6	68,11	0,51**	96,02	0,02	63,32	0,60**	105,66	-0,23	96,04	-0,25*	92,58	-0,10	49,67	0,75**
2	7	62,52	0,61**	91,59	0,06	54,40	0,67**	108,49	-0,18	101,43	-0,16	82,60	0,07	54,02	0,70**
3	4	45,73	0,73**	17,23	0,93**	8,86	0,94**	34,03	0,88**	25,12	0,93**	31,03	0,90**	28,63	0,91**
3	5	67,96	0,44**	103,27	-0,10	53,50	0,66**	112,08	-0,26*	102,47	-0,30**	93,63	-0,06	39,92	0,77**
3	6	75,34	0,37**	84,30	0,13	55,50	0,63**	105,40	-0,21	92,17	-0,21	88,38	-0,07	43,54	0,80**
3	7	71,54	0,47**	85,96	0,03	60,17	0,63**	108,77	-0,18	97,20	-0,11	75,55	0,14	50,97	0,72**
4	5	94,14	0,11**	103,14	-0,07	51,24	0,69**	112,30	-0,27*	104,23	-0,30**	88,78	0,02	40,11	0,80**
4	6	94,67	0,10	92,89	0,10	55,75	0,64**	102,22	-0,17	92,07	-0,17	86,10	-0,04	46,20	0,79**
4	7	89,80	0,17	94,23	0,04	45,85	0,66**	106,54	-0,13	96,85	-0,07	72,84	0,17	51,21	0,74**
5	6	49,51	0,75**	98,12	-0,01	35,10	0,88**	68,84	0,47**	67,93	0,52**	64,65	0,56**	38,10	0,82**
5	7	54,33	0,66**	65,56	0,48**	43,37	0,78**	73,35	0,45**	74,32	0,44**	63,93	0,56**	47,38	0,75**
6	7	50,02	0,73**	93,21	0,12	46,45	0,74**	70,03	0,40**	72,28	0,42**	62,75	0,61**	49,15	0,76**

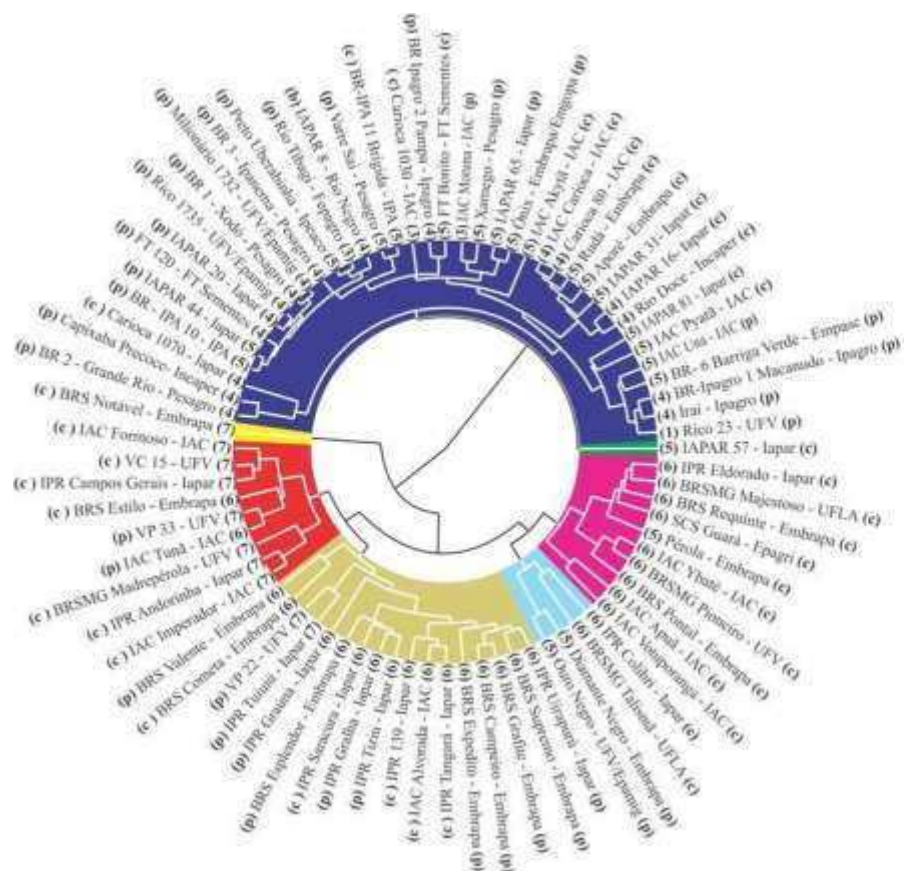
**,* Significativo pelo teste t em nível de 1 e 5% de probabilidade. ¹Referentes aos ambientes de avaliação: ambiente 1 = seca 2013, local = Coimbra; ambiente 2 = seca 2013, local = Viçosa; ambiente 3 = inverno 2013, local = Coimbra, ambiente 4 = inverno 2013, local = Viçosa; ambiente 5 = seca 2016, local: Coimbra; ambiente 6 = seca 2016, local: Viçosa e ambiente 7 = inverno 2016, local: Coimbra.

Tabela S4. Contribuição relativa de cada ambiente para a interação GxA, dado por θ (%) médio, baseado na metodologia de Plaisted e Peterson, dado pelos caracteres dias para o florescimento (DF, dias), maturação fisiológica (R9, dias), ciclo (dias), arquitetura de planta (ARQ, nota), stay-green (SG, nota), altura média do dossel (AMD, cm), altura de inserção de primeira vagem (AIIV, cm), altura de planta (AP, cm), diâmetro do hipocótilo (DH, cm), produtividade de grãos (PROD, Kg ha⁻¹), massa de 100 grãos (M100G, g), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), número de grãos por vagem (NGV) e aspecto de grão (AG, nota) de 80 linhagens de feijão avaliadas nos anos de 2013 e 2016, nas épocas de seca e inverno, nos municípios de Coimbra e Viçosa, no estado de Minas Gerais

Ambiente ¹	DF	R9	Ciclo	ARQ	SG	AMD	AIIV	AP	DH	PROD	M100G	NVP	NGP	NGV	AG	θ (%) médio
6	30,00	11,23	11,04	9,54	8,05	21,10	21,80	13,97	10,54	15,08	15,39	20,62	17,54	13,53	17,37	15,98
7	14,61	10,82	8,40	11,70	8,84	14,77	23,07	37,21	15,79	16,48	18,02	14,52	15,56	17,07	14,15	15,92
5	10,14	7,89	10,37	12,53	20,16	14,93	40,24	23,82	17,23	22,60	15,16	19,43	18,83	19,16	13,04	17,49
2	10,71	26,89	21,03	16,49	11,39	13,04	3,45	10,98	9,39	9,93	12,91	11,65	12,27	12,09	17,80	13,53
4	9,29	18,11	11,09	19,51	14,73	15,08	3,51	3,53	28,51	7,93	19,87	11,21	11,29	13,06	10,71	12,91
1	8,55	15,62	23,77	16,45	23,79	6,76	3,40	6,18	8,69	16,00	8,05	12,17	12,12	11,75	14,72	12,64
3	16,69	9,44	14,30	13,78	13,04	14,31	4,54	4,30	9,86	11,97	10,61	10,40	12,39	13,33	12,20	11,52

¹Referentes aos ambientes de avaliação: ambiente 1 = seca 2013, local = Coimbra; ambiente 2 = seca 2013, local = Viçosa; ambiente 3 = inverno 2013, local = Coimbra, ambiente 4 = inverno 2013, local = Viçosa; ambiente 5 = seca 2016, local: Coimbra; ambiente 6 = seca 2016, local: Viçosa e ambiente 7 = inverno 2016, local: Coimbra.

(a)



(b)

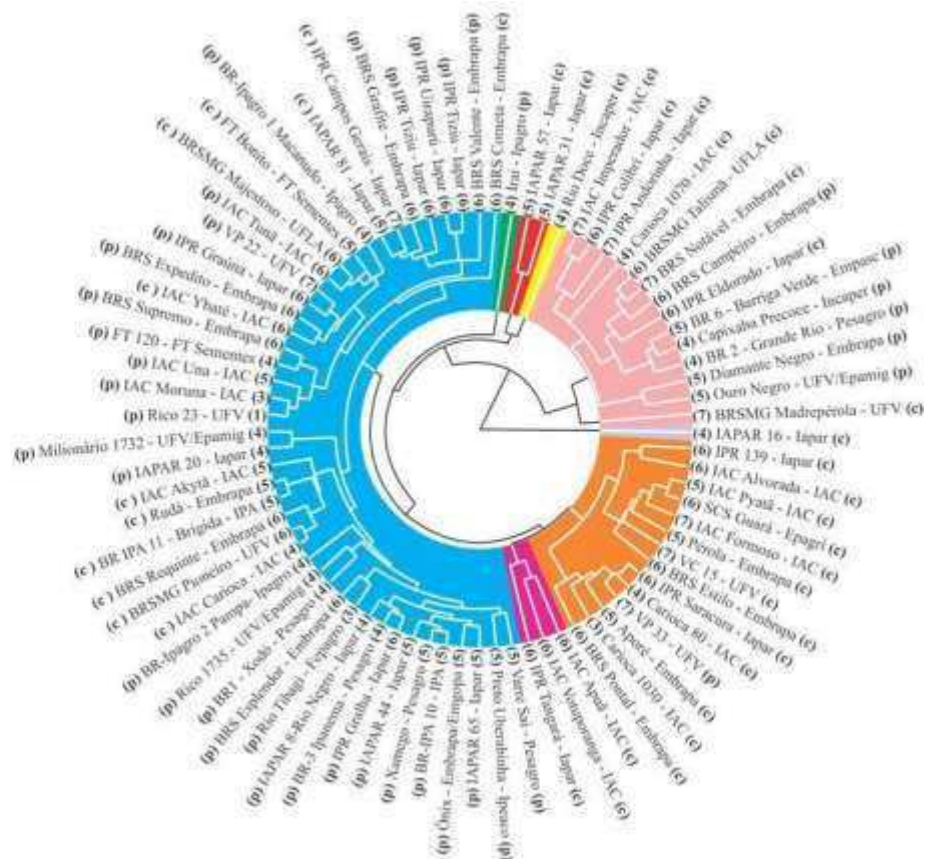


Figura S1. Dendrograma representativo da dissimilaridade genética entre 80 genótipos de feijão comum, obtido pelo método UPGMA para o ambiente 4 (a) e o ambiente 5 (b). A letra representa o grupo comercial, carioca (c) e preto (p), seguida do nome da cultivar, instituição responsável e década de recomendação, variando de (1) à (7), sendo: (1), (2), (3), (4), (5), (6) e (7) correspondentes ao período de 1950 à 1959; 1960 à 1969; 1970 à 1979; 1980 à 1989; 1990 à 1999; 2000 à 2009 e de 2010 à 2013, respectivamente.

ARTIGO 2

RANKING DE LINHAGENS DE FEIJÃO PRETO E “CARIOCA” RECOMENDADAS NO BRASIL NOS ÚLTIMOS 50 ANOS, VISANDO O MELHORAMENTO DA CULTURA

RANKING DE LINHAGENS DE FEIJÃO PRETO E “CARIOCA” RECOMENDADAS NO BRASIL NOS ÚLTIMOS 50 ANOS, VISANDO O MELHORAMENTO DA CULTURA

Resumo

O objetivo deste trabalho foi ranquear as 10 linhagens de feijão preto e “carioca”, recomendadas no Brasil nos últimos 50 anos, visando o melhoramento da cultura para arquitetura de plantas, produtividade e aspecto comercial de grãos. Foram avaliadas oitenta linhagens de feijão, recomendadas no Brasil nos últimos 50 anos. Os experimentos foram conduzidos nos municípios de Viçosa e Coimbra-MG, no período de 2013 e 2016, totalizando sete experimentos, com a avaliação de oito caracteres morfoagronômicos. Para a seleção das linhagens de maior potencial, visando o melhoramento do feijoeiro quanto aos caracteres de arquitetura de plantas, produtividade e aspecto comercial dos grãos, foi utilizado o Factor Analysis Index (FAI), o qual se baseia na análise de fatores. Cada caráter avaliado em cada um dos sete ambientes foi considerado como um novo caráter, totalizando 56 caracteres analisadas. As melhores linhagens, independente de grupo comercial, para compor blocos de cruzamentos que visam o aumento de rendimento de grãos são: IPR Campos Gerais, IPR Tiziu, BRS Exedito, IAC Ybaté, Iapar 65, IPR Uirapurú, BRSMG Majestoso, IPR Andorinha, VC 15 e IPR Tuiuiú. As linhagens BRS Valente, IPR Graúna, IPR Uirapurú, BRS Supremo, BRS Esplendor, IPR Tuiuiú, IPR Tiziu, VP 22, IPR Gralha (grupo comercial preto) e BRS Cometa (grupo comercial “carioca”) devem ser consideradas em blocos de cruzamento quando o objetivo for melhorar a arquitetura de planta. As linhagens do grupo comercial “carioca”: VC 15, IAC Alvorada, IPR 139, IAC Formoso, Pérola, IPR Tangará, BRS Estilo, IPR Campos Gerais, IPR Andorinha e IAC Imperador devem ser consideradas em blocos de cruzamento quando o objetivo for melhorar aspectos de grão. O desempenho de linhagens em ambientes favoráveis e desfavoráveis contribui para a escolha de genitores divergentes e deve ser considerada na formação dos blocos de cruzamentos.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., factor analysis index (FAI), variabilidade genética, blocos de cruzamentos.

RANKING OF BLACK AND "CARIOCA" COMMON BEANS LINES RECOMMENDED IN BRAZIL IN THE LAST 50 YEARS, AIMING AT THE IMPROVEMENT OF CULTURE

Abstract

The objective of this work was to rank the 10 lines of black common beans and "carioca", recommended in Brazil in the last 50 years, aiming the improvement of the culture for plant architecture, productivity and commercial aspect of grains. Eighty common bean lines commended in Brazil in the last 50 years were evaluated. The experiments were conducted in municipalities of Viçosa and Coimbra-MG in the period of 2013 and 2016, totaling seven experiments, with the evaluation of eight morphoagronomic characters. For the selection of the 10 lines of greatest potential, aiming at the improvement of the bean in relation to the characteristics of plant architecture, productivity and commercial aspect of the grains, the Factor Analysis Index (FAI) was used, which is based on factor analysis. Each variable evaluated in each of the seven environments was considered as a new variable, totaling 56 analyzed variables. The best lines, independent of commercial group, to compose crossing blocks that aim to increase yield of grains are: IPR Campos Gerais, IPR Tiziu, BRS Expedito, IAC Ybaté, Iapar 65, IPR Uirapurú, BRSMG Majestoso, IPR Andorinha, VC 15 e IPR Tuiuiú. The lines BRS Valente, IPR Graúna, IPR Uirapurú, BRS Supremo, BRS Esplendor, IPR Tuiuiú, IPR Tiziu, VP 22, IPR Gralha (black commercial group) and BRS Cometa ("carioca" commercial group) should be considered in crossing blocks when the aim is to improve plant architecture. The lines of the "carioca" commercial group: VC 15, IAC Alvorada, IPR 139, IAC Formoso, Pérola, IPR Tangará, BRS Estilo, IPR Campos Gerais, IPR Formoso and IAC Imperador should be considered in crossing blocks when the objective is to improve aspects of grain. The performance of lines in favorable and unfavorable environments contributes to the choice of divergent parents and should be considered as the formation of crossing blocks.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L., factor analysis index (FAI), genetic variability, crossing blocks.

Introdução

A hibridação tem sido o principal método de melhoramento utilizado na cultura do feijoeiro visando o desenvolvimento de novas linhagens. Na condução de um programa de melhoramento por hibridação, a escolha acertada dos genitores a serem cruzados é de fundamental importância, visto que o sucesso das etapas subsequentes é dependente da eficácia desta escolha (RAMALHO et al., 2012). Populações segregantes com potencial para a extração de linhagens superiores devem possuir elevada variabilidade e média favorável quanto aos caracteres de interesse, sendo, portanto, oriundas do cruzamento entre genitores com elevada frequência de alelos favoráveis e divergentes em relação aos alelos que determinam esses caracteres.

A escolha de genitores pode basear-se na experiência do melhorista ou ser auxiliada por metodologias que consideram o comportamento *per se* dos genitores (análise de diversidade genética), ou com base no desempenho dos híbridos (análise dialélica) ou das próprias populações segregantes (metodologia de Jinks e Pooni 1976) e análise de gerações - m + a e d (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Na escolha de genitores os dialelos têm-se destacado. Por este método quantifica-se o valor genético e a diversidade dos parentais por meio da avaliação de um conjunto de $p(p-1)/2$ híbridos resultantes do cruzamento de p genitores, podendo ainda incluir os respectivos genitores, híbridos recíprocos e/ou outras gerações (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). Na análise de dialelos se obtêm estimativas da capacidade geral de combinação (CGC), as quais proporcionam informações sobre a concentração de alelos favoráveis nos genitores, e da capacidade específica de combinação (CEC), que evidenciam a diversidade dos genitores cruzados para os locos em que os alelos exibem dominância. Entretanto, um número elevado de genitores pode limitar o uso de dialelos devido a necessidade de avaliar várias combinações híbridas e, ainda, de modo geral são análises univariadas.

A diversidade genética baseada em métodos preditivos (multivariados) tem sido considerada por dispensar a obtenção prévia das combinações híbridas. São considerados métodos preditivos aqueles que tomam por base as diferenças morfológicas, por exemplo, apresentadas pelos genitores na determinação da divergência que é geralmente quantificada por uma medida de dissimilaridade

(CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). A seleção de genitores pela performance *per se* evita que grande número de cruzamentos sejam realizados.

A utilização da divergência genética como critério de seleção de genitores visando cruzamentos, tem sido relatada na cultura do feijoeiro por alguns autores: Ceolin (2007); Barili et al. (2011); Correa; Gonçalves (2012); Silva et al. (2017); Sulzbacher et al. (2017). Entretanto, raros são os trabalhos de diversidade com o objetivo de orientar cruzamentos que consideram de forma adequada, as informações da interação genótipos x ambientes (GxA).

Em razão do feijoeiro-comum ser cultivado em diferentes épocas de semeadura e, portanto, submetido a diferentes níveis de precipitação, luminosidade e temperatura, é necessário a condução dos experimentos em diferentes condições de cultivo (safra, anos e/ou locais) a fim de quantificar a interação GxA. A presença de interação GxA implica na expressão diferencial dos genes de acordo com o ambiente de avaliação (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). Isto influencia a diversidade genética manifestada pelos genótipos nos diferentes ambientes em que são desenvolvidos, fazendo com que linhagens geneticamente divergentes em um ambiente possam vir a ser similares em outras condições ambientais, ou vice e versa.

Nos últimos anos, alguns programas de melhoramento de autógamias têm utilizado a seleção recorrente, em especial no melhoramento do feijoeiro (MENEZES JÚNIOR et al., 2013; ALVES et al., 2015; PEREIRA et al., 2017). Esta estratégia permite alteração na média para um ou mais caracteres sob seleção, sem esgotar a variabilidade genética da população (HALLAUER, 1986). O processo de seleção recorrente envolve três etapas: a obtenção da população base, avaliação e recombinação das melhores, sendo a escolha dos genitores a etapa decisiva do sucesso do programa. O que se deseja é obter uma população que associe média favorável aos caracteres de interesse e maior variabilidade genética possível. A média depende dos genitores serem bem adaptados e apresentarem elevada frequência de alelos favoráveis e, alta variância, implica que os genitores sejam complementares, ou seja, divergentes quanto aos alelos envolvidos na determinação dos caracteres de interesse (RAMALHO et al., 2012).

O número de genitores que devem constar em um processo de seleção recorrente deve ser de 10 a 20, pois com muitos genitores envolvidos há pouca contribuição de alelos individuais e, com poucos genitores, há reduzida chance de associar os alelos favoráveis para os caracteres desejáveis (RAMALHO et al., 2012).

A forma como os genitores são inter cruzados tem sido conforme o esquema de Bearzoti (1997), em que cada genitor é cruzado com dois outros e a melhor progênie de cada população é recombinada para obter o ciclo seguinte. O processo é repetido até que todos os genitores sejam representados em cada população (RAMALHO et al., 2012).

Os objetivos dos programas de melhoramento visam, em geral, múltiplos caracteres. Assim, a escolha dos genitores também deve se basear em um conjunto de caracteres, ou seja, basear-se em métodos multivariados. Neste caso, os métodos baseados em índices de seleção podem ser uma alternativa. Os índices de seleção permitem reunir múltiplas informações contidas na unidade experimental, visando à seleção com base em um conjunto de caracteres que reúna vários atributos de interesse (CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014).

Ao longo de anos de pesquisa, inúmeros foram os índices de seleção desenvolvidos a fim de maximizar os ganhos para múltiplos caracteres. Entre eles, pode-se mencionar o índice clássico, proposto por Smith (1936) e Hazel (1943), o índice base (WILLIAMS, 1962), o índice de Pesek e Baker (1969), o índice baseado em soma de ranks (Mulamba e Mock, 1978) e o índice da distância genótipo-ideótipo (CARVALHO, 2002), entre outros.

No entanto, os índices de seleção conhecidos apresentam problemas como multicolinearidade e atribuição de pesos econômicos, o que interfere na precisão dos resultados. Diante disso, Rocha et al. (2017) desenvolveram o índice FAI (Factor Analysis Index), o qual baseia-se na análise de fatores e na seleção com base no ideótipo. A técnica, além de amenizar os problemas de multicolinearidade e a falta de atribuição de peso, leva em consideração a estrutura de correlação obtida a partir dos dados e, auxilia na seleção de genótipos mais próximos do ideótipo de interesse.

A análise de fatores é uma técnica multivariada, na qual muitos caracteres inicialmente avaliados são substituídos por um número menor de caracteres latentes, chamadas fatores (CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014). Os caracteres latentes apresentam um padrão de relacionamento devido a um fator comum que pode ser denominado de acordo com o conhecimento do pesquisador. Cada fator corresponde a um grupo de caracteres iniciais que estejam fortemente correlacionadas entre si, mas fracamente correlacionadas com outros caracteres em outros fatores (GRANATE, 2001). O uso de análise de fatores para o estudo de caracteres morfoagronômicos tem sido utilizada em trabalhos com a cultura do feijoeiro

(SADEGHI; CHEGHAMIRZA; DORRI, 2011; AKHSHI et al., 2015; ABDOLLAHI; TAHMASEBPOUR; DEGHANIAN, 2016).

O índice da distância genótipo-ideótipo proposto por Carvalho (2002), consiste em fixar um valor ideal para cada caráter. A partir disso, obtém-se a diferença entre a média de cada caráter e o valor atribuído ao ideótipo e calcula-se, para cada genótipo, uma distância em relação a esse ideótipo, a distância será o índice (CARVALHO, 2002). Quanto menor a distância de um genótipo a um ideótipo, melhor a classificação do genótipo. Nesse contexto, a análise FAI considera a correlação entre os caracteres de forma a selecionar os genótipos mais próximos do ideótipo de interesse.

Nas últimas décadas, dezenas de cultivares de feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) foram recomendadas no Brasil, principalmente dos grupos comerciais preto e “carioca”. Essas cultivares vêm sendo utilizadas como genitores nos programas de melhoramento de diferentes instituições de pesquisa, que buscam obter linhagens com melhor fenótipo para arquitetura, produtividade e aspecto comercial de grão.

O objetivo deste trabalho foi ranquear as linhagens de feijão preto e carioca, recomendadas no Brasil nos últimos 50 anos, visando o melhoramento da cultura quanto aos caracteres de arquitetura de plantas, produtividade e aspecto comercial de grãos.

Material e Métodos

Material genético

No desenvolvimento deste trabalho foram utilizados oitenta linhagens de feijão, 40 do grupo comercial preto e 40 do grupo carioca, recomendadas no Brasil nos últimos 50 anos. Essas linhagens foram obtidas a partir dos principais programas de melhoramento de feijoeiro do país: Embrapa Arroz e Feijão (EMBRAPA), Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), Universidade Federal de Lavras (UFLA) e Universidade Federal de Viçosa (UFV) (Tabela S1).

Avaliação das linhagens

A avaliação das 80 linhagens se baseou nos seguintes caracteres:

1 - arquitetura de plantas - ARQ (avaliação realizada por meio de escala de notas, variando de 1 - planta ereta a 5 - planta prostrada, conforme Collicchio, 1997);

2 - altura média do dossel - AMD (em cm, baseada em três medições realizadas na parcela, desde o nível do solo até a inserção da última folha);

3 - diâmetro do hipocótilo - DH (em cm, medida um centímetro abaixo do nó cotiledonar, por meio de paquímetro digital);

4 - produtividade de grãos - PROD (em Kg ha⁻¹, baseado no peso da parcela);

5 - massa de 100 grãos - M100G (em gramas, obtida por amostra aleatória e realizada a contagem de 100 grãos de cada parcela);

6 - número de vagens por planta - NVP;

7 - número de grãos por vagem - NGV;

8 - aspecto de grão - AG (avaliada por escala de notas variando de 1 - cor, formato e tamanho com bom padrão comercial até 5 - grãos fora do padrão comercial, de acordo com Ramalho et al., 1998).

Os experimentos foram conduzidos nos municípios de Viçosa - MG (latitude: 20° 45' 14" S, longitude: 42° 52' 55" W, altitude: 648m) nas safras de seca e inverno de 2013 e seca de 2016 e Coimbra - MG (latitude: 20°49'44" S, longitude: 42°45'56" W, altitude: 713 m) nas safras de seca e inverno de 2013 e de 2016, totalizando sete diferentes ambientes de avaliação. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com três repetições e parcelas experimentais constituídas de quatro linhas de dois metros, espaçadas de 0,5 metros. Os tratos culturais empregados foram de acordo com o recomendado para a cultura na região.

Análise dos dados

Análises de variância individuais e conjunta

Para quantificar a variabilidade entre as linhagens, os dados obtidos a partir dos experimentos conduzidos em cada ambiente foram submetidos à análise de variância individual e, a análise de variância conjunta foi utilizada para quantificar a interação GxA.

Para a análise de variância conjunta, consideraram-se genótipos de efeito fixo e ambientes de efeito aleatório, conforme modelo: $Y_{ijk} = m + G_i + B/A_{jk} + A_k + GA_{ik} + \epsilon_{ijk}$ em que: Y_{ijk} = o valor observado da característica no genótipo i no bloco j ($j = 1, 2, 3$) e dentro do ambiente k ; m = a média geral; G_i = o efeito fixo do genótipo i ($i = 1, 2, 3, \dots, 80$); B/A_{jk} = efeito aleatório do bloco j dentro do ambiente k ; A_k = o efeito aleatório do ambiente k ($k = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$); GA_{ik} = o efeito aleatório da interação do genótipo i com o ambiente k ; ϵ_{ijk} = o erro experimental.

Análise de fatores para linhagens de feijão preto e “carioca” visando o melhoramento da cultura

Para a seleção das linhagens de maior potencial, visando o melhoramento do feijoeiro quanto aos caracteres arquitetura de plantas, produtividade e aspecto comercial dos grãos, foi utilizado o índice FAI (Rocha et al., 2017) que se baseia na análise de fatores.

Para a análise de fatores (índice FAI), cada caráter (NVP, NGV, M100G, PROD, ARQ, AMD, DH e AG) avaliado em cada um dos sete ambientes foi considerado como um novo caráter, totalizando 56 caracteres analisadas. Ressalta-se que o interesse é escolher linhagens para uso como genitores, os quais sejam divergentes e complementares para arquitetura de plantas, rendimento e aspecto comercial de grãos. Assim, a análise de fatores foi feita separadamente para cada um destes três grupos de caracteres.

Para compor o grupo rendimento de grãos foram utilizados os dados de número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), massa de 100 grãos (M100G) e produtividade de grãos (PROD). Para arquitetura de plantas foram usados os dados de nota de arquitetura (ARQ), altura média do dossel (AMD) e diâmetro do hipocótilo (DH), enquanto que para aspecto comercial dos grãos os dados de nota de grão (AG) e massa de 100 grãos (M100G) foram considerados.

Considerando que a interação GxA é devida à expressão diferencial de genes envolvidos no controle de uma dada característica em análise e, assim, genótipos que exibem interação com ambientes são divergentes entre si, particularizou-se a análise de fatores para cada um dos grupos de ambientes favoráveis e desfavoráveis. Os ambientes foram assim classificados (favoráveis e desfavoráveis) conforme metodologia de Finlay e Wilkinson (1963), em que ambientes com média igual ou

superior à média de todos os ambientes (média geral) são considerados favoráveis e ambientes com média inferior à média geral, desfavoráveis. Com isto espera-se que genótipos com desempenhos diferentes nessas condições sejam divergentes quanto aos alelos que determinam o caráter sob análise. Por fim, as linhagens foram ranqueadas para os três grupos de caracteres (arquitetura de plantas, rendimento e aspectos de grãos) em cada um dos grupos de ambientes favoráveis e desfavoráveis utilizando o índice FAI.

Visto que o índice FAI baseia-se na distância genótipo-ideótipo, deve-se atribuir a cada caráter um valor “ótimo” e um “péssimo” para a construção dos ideótipos desejável e indesejável, respectivamente. Nesse sentido, consideraram-se os valores de máximo, mínimo, ou um determinado valor para cada caractere em cada ambiente de avaliação, fixados de acordo com o objetivo do melhoramento de cada característica, conforme segue abaixo:

- Para ARQ, AMD, DH, PROD, NVP, NGV, M100G e AG foram considerados os valores máximos e mínimos observados para estes caracteres nos diferentes ambientes, independente do grupo comercial, na construção dos ideótipos desejável e indesejável, respectivamente.

O número de ideótipos foi definido com base na combinação de fatores desejáveis e indesejáveis para o objetivo da seleção. O número de ideótipos é dado pelo seguinte algoritmo:

NI = 2n, em que:

NI = número de ideótipos; n = Número de fatores.

O número de fatores (n) utilizados para projetar os ideótipos deve ser igual ao número de autovalores (variância de componentes principais), maior ou igual a um (KAISER, 1958).

Após estabelecer os ideótipos, as distâncias de cada genótipo aos ideótipos foram estimadas e convertidas em probabilidade espacial, permitindo a classificação de cada cultivar. O seguinte algoritmo foi utilizado:

$$P_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sum_{i=1; j=1}^n \frac{1}{d_{ij}}}$$

em que: P_{ij} = Probabilidade do i^{th} genótipo ($i = 1, 2, \dots, n$) ser semelhante ao j^{th} ideótipo ($j = 1, 2, \dots, m$); D_{ij} = distância do genótipo-ideótipo de i^{th} genótipo para j^{th} ideótipo - com base na distância euclidiana média padronizada.

As análises foram realizadas considerando as linhagens do grupo comercial preto e “carioca”, separadamente e em conjunto, além de particularizar as análises para ambientes favoráveis e desfavoráveis.

As análises foram realizadas com o auxílio do aplicativo Genes (CRUZ, 2013) e do software R (R CORE TEAM, 2015).

Resultados e Discussão

Análise de variância conjunta

Na análise de variância conjunta, observou-se interação genótipos x ambientes (GxA) significativa ($P < 0,01$) (Tabela 1) para todos os caracteres, indicando a presença de resposta diferencial das linhagens de feijoeiro, recomendadas no Brasil nos últimos 50 anos, frente as variações ambientais. Essas linhagens foram expostas, durante as fases de seu desenvolvimento, às mais diferentes condições bióticas e abióticas, como variações de temperatura, diferente disponibilidade hídrica e de nutrientes, ocorrência de pragas e doenças, o que de fato contribui para a ocorrência da interação GxA. Nesse contexto, a avaliação de linhagens em vários ambientes garante maior precisão na seleção e/ou recomendação de cultivares (RAMALHO et al., 2012).

O caráter arquitetura de plantas (ARQ) tem apresentado interação GxA relatada em alguns trabalhos (MOURA et al., 2013; BARILI et al., 2016a; BARILI et al., 2016b). Para Collicchio et al. (1997), a influência do meio prejudica os estudos envolvendo a arquitetura de plantas do feijoeiro, pois a alta umidade, temperaturas elevadas e fertilidade abundante, são condições que permitem que as plantas tenham um maior desenvolvimento vegetativo, o que faz com que as cultivares que se mostrem eretas em um ambiente possam se mostrar prostradas em outro.

Plantas de feijoeiro eretas e com maior altura média do dossel são desejadas, pois além de facilitar os tratos culturais, auxilia na redução da incidência de patógenos, na melhor qualidade dos grãos colhidos e, principalmente, contribui para a colheita mecanizada e menores perdas (PIRES et al., 2014). Para o caráter diâmetro

do hipocótilo (DH), interação GxA também tem sido verificada na literatura (MOURA et al., 2013). Considerando a maior dificuldade em avaliar arquitetura por escala de notas, o DH pode ser uma alternativa na seleção indireta em programas de melhoramento que visam obter linhagens de feijão mais eretas. A associação entre DH e ARQ tem sido observada na cultura do feijoeiro (SILVA et al., 2013; MOURA et al., 2013).

Para produtividade de grãos (PROD), número de vagens por planta (NVP) e número de grãos por vagem (NGV), também foram observados efeitos significativos da interação GxA (Tabela 1). A presença de interação GxA para PROD na cultura do feijoeiro, também foi verificada por Pereira et al. (2011), Domingues et al. (2013) e Barili et al. (2016ab). Em seus estudos, Barili et al. (2016ab) verificaram interação GxA para NVP e para NVG. Elevadas produtividades estão associadas com um maior NVP e NGV, porém, a contribuição desses caracteres na produção de grãos é diferenciada, dependendo do local de cultivo (ZILIO et al., 2011).

Para massa de 100 grãos (M100G), interação GxA também foi constatada. A M100G varia de acordo com a cultivar, sendo uma característica muito influenciada pelo ambiente (PEREIRA et al., 2012; BARILI et al. 2016ab) e de grande importância para o mercado consumidor.

O aspecto de grão (AG), caracterizado pela coloração, aparência, tamanho e formato, também, apresentou interação GxA, a exemplo de outros trabalhos (PEREIRA et al., 2012; BARILI et al., 2016ab). O tamanho dos grãos, assim como a coloração, é um requisito de grande importância para a aceitação de uma cultivar, a exemplo dos grãos do tipo carioca em que são preferidos os de coloração clara e com massa acima de 25g/100 sementes (PEREIRA et al., 2012). O mercado consumidor tem preferência por grãos de feijão com formato semi-achatado e elíptico, enquanto que grãos com formas esféricas ou reniformes e com perfil achatado são considerados fora do padrão comercial (CARBONELL et al., 2010). Grãos “carioca” de coloração clara e grãos preto sem brilho são fenótipos mais apreciados pelos consumidores.

Devido à ampla diversidade genética de cultivares e, também, às diferentes condições ambientais em que o feijão é cultivado no Brasil, a avaliação das linhagens em diferentes locais, anos e épocas de semeadura deve, sempre que possível, ser considerada em todas as fases de um programa de melhoramento.

Tabela 1. Resumo da análise de variância conjunta para os caracteres de arquitetura de planta (ARQ, nota), altura média do dossel (AMD, cm), diâmetro do hipocótilo (DH, cm), produtividade de grãos (PROD, Kg ha⁻¹), massa de 100 grãos (M100G, g), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV) e aspecto de grão (AG, nota) de 80 linhagens de feijão avaliadas nos anos de 2013 e 2016, nas épocas de seca e inverno, nos municípios de Coimbra e Viçosa, no estado de Minas Gerais

FV	GL	ARQ	AMD	DH	PROD	NVP	NGV	M100G	AG
Blocos/Ambientes	14	2,48	182,32	0,81	1372911,91	6,89	1,05	21,81	0,68
Genótipos (G)	79	5,45 **	599,72 **	3,00 **	2704212,62 **	38,49 **	3,96 **	124,71 **	11,65 **
Ambientes (A)	6	84,72 **	14540,20 **	2,03 ns	58818661,37 **	929,77 **	15,55 **	1409,66 **	4,64 **
GxA	474	0,47 **	43,58 **	0,36 **	598250,26 **	13,99 **	0,77 **	5,92 **	0,49 **
Resíduo	1106	0,20	22,25	0,15	143796,62	4,42	0,25	1,81	0,19
Total	1679								
Média		3,23	28,98	4,80	2825,11	12,14	4,77	22,88	2,79
CV (%)		13,72	16,28	8,20	13,42	17,33	10,51	5,88	15,42

**Significativo pelo teste F em nível de 1% de probabilidade; ns = não significativo.

Análise de fatores de linhagens de feijão preto e “carioca” visando o melhoramento da cultura

Os resultados da análise FAI basearam-se no número de fatores formados, comunalidades e ranqueamento das linhagens. Os valores apresentados na Tabela 2, denominados de cargas fatoriais, indicam a contribuição de cada caráter para os fatores. Para interpretar o resultado, apenas são consideradas as cargas de fatores com os maiores valores (destacados em negrito).

Para rendimento de grãos em linhagens do grupo preto e “carioca” (Tabela 2), os cinco primeiros fatores comuns representaram 81,59% de toda a variabilidade. O número de fatores é referente ao número de componentes principais que apresentam autovalores superiores a um, ou seja, permite a redução dimensional dos dados (KAISER, 1958), de acordo com a correlação existente entre os caracteres.

O autovalor mede a variância em todos os caracteres que são devidos ao fator. O fator 1 (FA1) representou 53,24% da variância total, sendo fortemente associado as caracteres massa de 100 grãos (M100G), produtividade de grãos (PROD), número de vagens por planta (NVP) e número de grãos por vagem (NGV) dos ambientes 1, 2, 3 e 4. Estes caracteres apresentaram cargas negativas, o que indica a direção da relação entre o fator e a caráter.

O fator 2 (FA2) foi composto pelos caracteres M100G dos ambientes 5, 6 e 7 e NVP dos ambientes 6 e 7. M100G5, M100G6 e M100G7 apresentaram associação positiva entre eles e associação negativa com NVP6 e NVP7, o que representou 13,1% da variação total. Os demais fatores (FA3, FA4 e FA5), para rendimento de grãos, foram formados pelos caracteres NGV, NVP e PROD dos ambientes 5, 6 e 7. No FA3, os caracteres NGV5, NGV6 e NGV7 apresentaram associação positiva. Já no FA4, NVP5, PROD5 e PROD6 apresentaram cargas negativas e similar a PROD7 apresentado no FA5.

De forma geral, para rendimento de grãos, a correlação genética entre os fatores ficaram separadas em dois grupos, um grupo composto, predominantemente, por caracteres avaliadas nos ambientes 1 ao 4 (ano 2013) e outro grupo constituído por caracteres avaliadas nos ambientes 5 ao 7 (ano 2016). Na análise de fatores, caracteres reunidos dentro do mesmo fator, são fortemente correlacionados entre si, mas fracamente correlacionadas com as dos demais fatores. Os resultados demonstraram a contribuição do fator ano para as diferenças entre as correlações.

Para Torga et al. (2013), ano e safra foram os componentes que mais contribuíram para a interação GxA o que se deve às diferentes variações das condições bióticas e abióticas que a cultura do feijoeiro fica submetida.

As comunalidades dos fatores relacionadas a rendimento de grãos ficaram entre 0,58 a 0,94. De acordo com Schawb (2007), as comunalidades representam a proporção da variância explicada pelo fator, ou seja, elas indicam o peso/importância de cada caráter sobre a construção do índice. As comunalidades podem variar de 0 a 1, sendo que valores próximos de zero (0) indicam que os fatores comuns não explicam a variância e, valores próximos de um (1) indicam que todas as variâncias são explicadas pelos fatores comuns. Usualmente o valor mínimo aceitável é de 0,50, sendo que, caso o pesquisador encontre alguma comunalidade abaixo desse patamar a caráter deve ser excluída e a análise fatorial deve ser realizada novamente (SCHAWB, 2007).

Para arquitetura de planta (Tabela 2), composta pelos caracteres, nota de arquitetura (ARQ), altura média do dossel (AMD) e diâmetro de hipocótilo (DH), foram necessários três fatores para explicar esse componente. ARQ dos ambientes 1 ao 7 (cargas positivas) e AMD dos ambientes 1 ao 4 (cargas negativas) apresentaram alta correlação (FA1) o que demonstra que para ARQ, as linhagens, independente do ambiente avaliado não apresentam mudança de comportamento, tal qual, AMD nos ambientes 1, 2, 3 e 4. O FA1 apresentou autovalor de 12,60 e 60% de variância acumulada. No FA2, o DH dos ambientes 2 ao 4 apresentaram correlação genética, pois foram expressos no mesmo fator. DH e AMD dos ambientes 5, 6 e 7 (FA3) também apresentaram correlação genética, uma vez que ocorreram, conjuntamente, no mesmo fator. As comunalidades relacionadas à arquitetura de plantas ficaram entre 0,58 e 0,86.

Para grão, os fatores ficaram divididos, sendo o FA1 composto por nota de grão (AG) de todos os ambientes avaliados (1 ao 7) e FA2 por M100G, também, de todos os ambientes. Isso demonstra que tanto AG como M100G não se alteraram com ambiente de avaliação. Os valores de comunalidades foram de 0,72 a 0,92.

Tabela 2. Cargas fatoriais e comunalidades dos caracteres avaliadas em linhagens do grupo comercial preto e “carioca”, considerando rendimento, arquitetura e grão, baseado em dados obtidos a partir da avaliação de 80 linhagens de feijão avaliadas nos anos de 2013 e 2016, nas épocas de seca e inverno, nos municípios de Coimbra e Viçosa, no estado de Minas Gerais

¹ Caráter	Rendimento						Comunalidades	Caráter	Arquitetura				Comunalidades	Caráter	Grão		
	Fatores					Fatores				Fatores							
	FA1	FA2	FA3	FA4	FA5			FA1	FA2	FA3			FA1	FA2	Comunalidades		
M100G1	-0,71	0,56	-0,19	0,13	-0,04	0,87	ARQ1	0,80	-0,23	0,30	0,79	AG1	0,82	0,42	0,84		
PROD1	-0,92	0,20	-0,07	0,01	-0,16	0,91	AMD1	-0,72	0,20	-0,53	0,83	M100G1	-0,32	-0,90	0,92		
NVP1	-0,84	0,01	-0,22	0,10	-0,14	0,78	DH1	-0,34	0,33	-0,74	0,77	AG2	0,89	0,06	0,79		
NGV1	-0,87	0,23	0,08	0,02	-0,17	0,85	ARQ2	0,77	-0,29	0,41	0,85	M100G2	-0,32	-0,84	0,81		
M100G2	-0,84	0,35	-0,09	0,08	-0,03	0,85	AMD2	-0,79	0,29	-0,37	0,84	AG3	0,91	0,25	0,88		
PROD2	-0,84	0,23	0,01	0,00	0,04	0,76	DH2	-0,30	0,61	-0,52	0,73	M100G3	-0,33	-0,84	0,82		
NVP2	-0,84	0,11	-0,16	0,02	-0,04	0,75	ARQ3	0,82	-0,06	0,37	0,82	AG4	0,89	0,30	0,88		
NGV2	-0,91	0,15	0,05	-0,02	0,06	0,86	AMD3	-0,79	0,14	-0,39	0,79	M100G4	-0,36	-0,85	0,85		
M100G3	-0,89	0,34	-0,07	0,06	-0,01	0,91	DH3	-0,17	0,82	-0,39	0,85	AG5	0,87	0,17	0,78		
PROD3	-0,92	0,19	-0,05	0,08	-0,07	0,90	ARQ4	0,63	-0,55	-0,03	0,70	M100G5	-0,07	-0,89	0,79		
NVP3	-0,92	0,08	-0,16	0,04	-0,12	0,90	AMD4	-0,60	0,50	-0,33	0,71	AG7	0,90	0,09	0,81		
NGV3	-0,92	0,01	0,07	-0,10	0,03	0,86	DH4	-0,07	0,92	0,02	0,86	M100G7	-0,02	-0,87	0,76		
M100G4	-0,89	0,33	-0,15	0,06	-0,01	0,93	ARQ5	0,51	-0,35	0,45	0,58	AG6	0,82	0,24	0,72		
PROD4	-0,94	0,23	-0,08	0,05	-0,02	0,94	AMD5	-0,36	0,24	-0,69	0,67	M100G6	-0,12	-0,84	0,72		
NVP4	-0,94	0,09	0,02	-0,01	-0,05	0,89	DH5	-0,21	0,12	-0,82	0,74						
NGV4	-0,90	0,09	0,13	-0,11	0,04	0,85	ARQ7	0,69	0,00	0,41	0,65						
M100G5	-0,45	0,74	-0,29	-0,01	-0,08	0,84	AMD7	-0,41	0,07	-0,69	0,65						
PROD5	-0,01	-0,11	0,12	-0,86	0,18	0,80	DH7	-0,28	0,06	-0,83	0,76						
NVP5	0,24	-0,50	-0,13	-0,64	0,00	0,73	ARQ6	0,61	-0,19	0,58	0,74						
NGV5	0,16	0,02	0,84	-0,15	0,06	0,75	AMD6	-0,52	0,11	-0,72	0,80						
M100G7	-0,40	0,68	-0,47	0,13	-0,14	0,87	DH6	-0,35	0,17	-0,76	0,73						
PROD7	-0,12	-0,08	-0,10	-0,05	-0,90	0,84											
NVP7	0,11	-0,73	0,17	-0,03	-0,24	0,63											
NGV7	0,07	-0,27	0,82	0,07	-0,02	0,75											
M100G6	-0,45	0,69	-0,15	0,13	-0,33	0,83											
PROD6	-0,10	-0,05	0,21	-0,76	-0,25	0,70											

Continuação...

NVP6	0,10	-0,63	0,00	-0,39	-0,14	0,58						
NGV6	-0,12	-0,21	0,79	-0,15	0,07	0,72						
² Autovalor	14,91	3,69	1,88	1,31	1,05		12,60	1,86	1,39		8,31	3,07
³ % Acum.	53,24	66,42	73,15	77,83	81,59		60,00	68,86	75,45		59,34	81,28

¹A caráter seguida pelo número refere-se ao ambientes de avaliação: (1) - ambiente 1 = seca 2013, local = Coimbra; (2) - ambiente 2 = seca 2013, local = Viçosa; (3) - ambiente 3 = inverno 2013, local = Coimbra, (4) - ambiente 4 = inverno 2013, local = Viçosa; (5) - ambiente 5 = seca 2016, local: Coimbra; (6) - ambiente 6 = seca 2016, local: Viçosa e (7) - ambiente 7 = inverno 2016, local: Coimbra. ²Autovalor: mede a variância em todos os caracteres que é devida ao fator. ³% Acum.: porcentagem da variância acumulada por cada fator.

Nos programas de melhoramento, vários caracteres são avaliados para auxiliar na escolha de genótipos superiores. No entanto, inúmeros caracteres apresentam correlação de diferente magnitude e sentido, de forma que a seleção de um ou mais caracteres pode provocar mudanças em outros (CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014). O índice de seleção permite estabelecer uma combinação de vários caracteres a fim de identificar as melhores linhagens.

As melhores linhagens, independente de grupo comercial (preto ou “carioca”), com os melhores resultados para o grupo de rendimento de grãos (NVP, NGV, M100G e PROD), em ordem de classificação, foram: IPR Campos Gerais, IPR Tiziu, BRS Expedito, IAC Ybaté, Iapar 65, IPR Uirapurú, BRSMG Majestoso, IPR Andorinha, VC 15 e IPR Tuiuiú (Tabela 3), ou seja, cinco linhagens do grupo comercial preto e cinco “carioca”, o que demonstra que os dois grupos comerciais apresentam linhagens altamente produtivas para compor blocos de cruzamentos.

Os valores médios das linhagens do grupo comercial preto e “carioca” para cada uma dos caracteres que compõe rendimento de grãos (Tabela 4) foram superiores a média geral apresentadas na tabela 1. O NVP médio foi de 11,99 (Iapar 65) a 15,47 (IPR Campos Gerais), o NGV de 4,84 (BRSMG Majestoso) a 5,64 (IPR Tiziu), M100G de 19,98 (Iapar 65) a 27,02 (IPR Andorinha) e PROD de 2808 Kg ha⁻¹ (Iapar 65) a 3556 Kg ha⁻¹ (IPR Tuiuiú). Todas as melhores linhagens apresentadas foram recomendadas a partir do ano 2000, exceto a cultivar Iapar 65, isso demonstra a contribuição dos programas de melhoramento para o aumento no rendimento de grãos. Progresso genético para produtividade de grãos de 2,42%/ano em feijão preto e de 6,74%/ano em feijão “carioca” tem sido observado em cultivares recomendadas a partir de 1988 (BARILI et al., 2016ab).

Já para arquitetura (ARQ, AMD e DH), destacaram-se: BRS Valente, BRS Cometa, IPR Graúna, IPR Uirapurú, BRS Supremo, BRS Esplendor, IPR Tuiuiú, IPR Tiziu, VP 22 e IPR Galha (Tabela 3). A cultivar BRS Valente apresentou o menor valor médio de ARQ (2,07) e também, a maior AMD (40,30 cm) (Tabela 4). A IPR Uirapurú apresentou maior valor de DH (5,61 cm). Com exceção da cultivar BRS Cometa, todas as melhores linhagens para arquitetura foram do grupo comercial preto.

Tabela 3. Ranking de linhagens do grupo comercial preto e “carioca” recomendadas para cruzamento, considerando rendimento, arquitetura e grão, baseado em dados obtidos a partir da avaliação de 80 linhagens de feijão avaliadas nos anos de 2013 e 2016, nas épocas de seca e inverno, nos municípios de Coimbra e Viçosa, no estado de Minas Gerais

Linhagens	GC	Instituição	Ano	Rendimento¹	Arquitetura²	Grão³
IPR Andorinha	C	IAPAR	2013	8°		3°
VP 22	P	UFV	2013		9°	
IAC Imperador	C	IAC	2013			7°
VC 15	C	UFV	2013	9°		8°
IPR Campos Gerais	C	IAPAR	2011	1°		10°
IAC Formoso	C	IAC	2011			2°
IPR Tuiuiú	P	IAPAR	2010	10°	1°	
BRS Estilo	C	EMBRAPA	2009			5°
IPR Tangará	C	IAPAR	2008			1°
BRS Expedito	P	EMBRAPA	2007	3°		
IPR Gralha	P	IAPAR	2007		8°	
IAC Alvorada	C	IAC	2007			6°
IPR 139	C	IAPAR	2007			9°
IPR Tiziu	P	IAPAR	2006	2°	5°	
BRS Cometa	C	EMBRAPA	2006		4°	
BRS Esplendor	P	EMBRAPA	2006		7°	
IAC Ybaté	C	IAC	2005	4°		
BRSMG Majestoso	C	UFLA	2004	7°		
BRS Supremo	P	EMBRAPA	2004		3°	
IPR Graúna	P	IAPAR	2002		6°	
BRS Valente	P	EMBRAPA	2001		10°	
IPR Uirapurú	P	IAPAR	2000	6°	2°	
Pérola	C	EMBRAPA	1994			4°
Iapar 65	P	IAPAR	1993	5°		

¹Rendimento, classificação obtida a partir dos dados de: número de vagens por planta; número de grãos por vagem; massa de 100 grãos e produtividade de grãos. ²Arquitetura, classificação obtida a partir dos dados de: nota de arquitetura; altura média do dossel e diâmetro do hipocótilo. ³Grãos, classificação obtida a partir dos dados de: nota de de grão e massa de 100 grãos.

Para grão (AG e M100G), as melhores linhagens, foram: VC 15, IAC Alvorada, IPR 139, IAC Formoso, Pérola, IPR Tangará, BRS Estilo, IPR Campos Gerais, IPR Andorinha e IAC Imperador, todas do grupo “carioca” (Tabela 3). Para AG, a linhagem VC 15 apresentou a menor nota (1,80), ou seja, o melhor AG e IPR Tangará a maior M100G (27,59 g) (Tabela 4). Todas as melhores linhagens para grão foram do grupo “carioca” e recomendadas a partir de 2007, exceto a cultivar Pérola, recomendada no ano de 1994. A descoberta do feijão carioca na década de 70 impulsionou muitos programas de melhoramento a desenvolverem linhagens de feijão “carioca” com grãos maiores e mais claros, característica fundamental para maior aceitação comercial. A Embrapa obteve um progresso de 2,3% ao ano para aspecto de grão em feijão “carioca” em 22 anos de pesquisa (FARIA et al., 2013).

Os resultados acima sugerem que, quando o objetivo for melhorar a arquitetura de plantas, os cruzamentos devem considerar as linhagens do grupo comercial preto e, para aspecto comercial de grãos, linhagens do grupo “carioca” devem ser consideradas. Sendo assim, uma possível recomendação de cruzamentos seria a formação de dois grupos: um grupo composto por linhagens mais produtivas *versus* o grupo de linhagens de melhor arquitetura (linhagens de grão preto). Já para grão, sugere-se o cruzamento entre linhagens produtivas *versus* linhagens com melhor característica de grão (linhagens de grão “carioca”). Em relação ao número de genitores envolvidos em um bloco de cruzamentos, em um dialelo, por exemplo, deve ser de 10 a 20 a fim de maximizar a contribuição individual dos genitores envolvidos (RAMALHO et al., 2012).

Tabela 4. Ranking de linhagens do grupo comercial preto e “carioca”, com os valores médios de número de vagens por planta (NVP), número grãos por vagem (NGV), massa de 100 grãos (M100G) e produtividade de grãos em Kg ha⁻¹ (PROD), que compõe rendimento de grãos, nota de arquitetura (ARQ), altura média do dossel (AMD) e diâmetro do hipocótilo (DH), que compõe arquitetura de planta, nota de grão (AG) e M100G que compõe grão, baseado em dados obtidos nos anos de 2013 e 2016, nas épocas de seca e inverno, nos municípios de Coimbra e Viçosa, no estado de Minas Gerais

Linhagens	GC ¹	Instituição ²	Ano ³	Rendimento de grãos			
				NVP	NGV	M100G	PROD
IPR Campos Gerais	C	IAPAR	2011	15,47	5,44	25,08	3546,07
IPR Andorinha	C	IAPAR	2013	14,88	5,12	27,02	3428,88
VC 15	C	UFV	2013	14,13	5,44	26,98	3413,99
IPR Tuiuiú	P	IAPAR	2010	13,91	5,60	25,52	3556,40
BRSMG Majestoso	C	UFLA	2004	13,37	4,84	25,25	3168,07
IPR Uirapurú	P	IAPAR	2000	13,02	5,46	24,06	3081,00
IPR Tiziu	P	IAPAR	2006	12,52	5,64	24,49	3388,96
BRS Expedito	P	EMBRAPA	2007	12,45	5,37	24,87	3221,05
IAC Ybaté	C	IAC	2005	12,16	4,94	24,26	3335,88
Iapar 65	P	IAPAR	1993	11,99	5,07	19,98	2808,06

Linhagens	GC	Instituição	Ano	Arquitetura de planta		
				ARQ	AMD	DH
BRS Valente	P	EMBRAPA	2001	2,07	40,30	5,19
BRS Cometa	C	EMBRAPA	2006	2,24	37,91	5,31
IPR Graúna	P	IAPAR	2002	2,24	35,62	5,23
IPR Uirapurú	P	IAPAR	2000	2,29	39,48	5,61
BRS Supremo	P	EMBRAPA	2004	2,29	37,29	5,49
BRS Esplendor	P	EMBRAPA	2006	2,33	37,64	5,02
IPR Tuiuiú	P	IAPAR	2013	2,43	39,04	5,42
IPR Tiziu	P	IAPAR	2006	2,50	38,54	5,31
VP 22	P	UFV	2013	2,60	33,26	5,41
IPR Gralha	P	IAPAR	2007	2,90	35,07	5,31

Linhagens	GC	Instituição	Ano	Grão	
				AG	M100G
VC 15	C	UFV	2013	1,80	26,98
IAC Alvorada	C	IAC	2013	1,84	27,20
IPR 139	C	IAPAR	2007	2,14	25,95
IAC Formoso	C	IAC	2011	2,18	27,32
Pérola	C	EMBRAPA	1994	2,19	26,74
IPR Tangará	C	IAPAR	2008	2,21	27,59
BRS Estilo	C	EMBRAPA	2009	2,32	26,20
IPR Campos Gerais	C	IAPAR	2011	2,50	25,08
IPR Andorinha	C	IAPAR	2013	2,70	27,02
IAC Imperador	C	IAC	2007	2,70	25,98

¹Grupo comercial; ²Instituição obtentora da linhagem; ³Ano de recomendação.

A presença de interação GxA para todos os caracteres avaliados (Tabela 1), demonstrou a divergência entre as linhagens e assim, a análise de fatores para os grupos de caracteres em ambientes favoráveis e desfavoráveis foi considerada.

Para produtividade e aspecto de grãos em ambiente favorável, destacaram-se os caracteres avaliadas nos ambientes 1, 2, 3 e 5, enquanto que os caracteres avaliadas nos ambientes 4, 6 e 7 foram os melhores em ambiente desfavorável (Tabela 5). Tanto em ambiente favorável como desfavorável foram necessário três fatores para explicar o componente rendimento de grãos. Para Burgueño (2008), as respostas genotípicas diferenciais ocorrem devido à mudança na escala de um caráter avaliada em diferentes ambientes, caracterizados pela heterogeneidade das variações genéticas em diferentes ambientes.

Para arquitetura em ambiente favorável os dois fatores reuniram ARQ e AMD dos ambientes 1 ao 3 no FA1 e DH1, DH2, DH3 e DH5 no FA2. Neste caso, em que os caracteres ocorrem no mesmo fator, significa que elas apresentam correlação ente si. Sendo assim, ARQ e AMD dos três primeiros ambientes foram correlacionadas, o mesmo correu para DH dos ambientes 1, 2, 3 e 5. Já em ambiente desfavorável os dois fatores reuniram os caracteres ARQ, AMD e DH dos ambientes 6 e 7 (FA1) e ARQ, AMD e DH do ambiente 4 (FA2). As comunalidades para arquitetura de planta ficaram entre 0,56 e 0,87.

Para rendimento de grãos, as linhagens IPR Campos Gerais, IPR Tuiuiú, VP 22, BRS Notável, IPR Tiziu e VP 33 foram as melhores tanto em ambiente favorável como desfavorável (Tabela 6).

Para arquitetura, as cultivares BRS Supremo, IPR Uirapurú, IPR Tiziu, IPR Graúna, BRS Cometa, IPR Tuiuiú, BRS Esplendor e BRS Valente se destacaram, enquanto que para grãos, as linhagens com melhor desempenho tanto em ambiente favorável como desfavorável, foram: IPR Tangará, IAC Formoso, IPR Andorinha, IAC Alvorada, IAC Imperador, Pérola, BRS Estilo e VC 15 (Tabela 6). Os resultados mostram a diversidade de linhagens quanto ao desempenho, de acordo com o grupo de caracteres avaliados.

Tabela 5. Cargas fatoriais e comunalidades dos caracteres avaliadas em linhagens do grupo comercial preto e “carioca”, considerando rendimento, arquitetura e grão para ambientes favoráveis e desfavoráveis, baseado em dados obtidos a partir da avaliação de 80 linhagens de feijão avaliadas nos anos de 2013 e 2016, nas épocas de seca e inverno, nos municípios de Coimbra e Viçosa, no estado de Minas Gerais

Rendimento em ambiente favorável					Rendimento em ambiente desfavorável				
¹ Caráter	Fatores			Comunalidades	Caráter	Fatores			Comunalidades
	FA1	FA2	FA3			FA1	FA2	FA3	
M100G1	-0,79	0,40	-0,20	0,83	M100G4	-0,93	0,20	0,11	0,91
PROD1	-0,94	0,10	-0,09	0,90	PROD4	-0,95	0,10	0,06	0,92
NVP1	-0,83	0,01	-0,25	0,74	NVP4	-0,94	-0,03	-0,08	0,88
NGV1	-0,89	0,14	-0,02	0,82	NGV4	-0,91	-0,12	-0,09	0,84
M100G2	-0,89	0,21	-0,15	0,85	M100G7	-0,54	0,66	0,29	0,82
PROD2	-0,86	0,10	-0,03	0,75	PROD7	-0,12	0,43	-0,65	0,62
NVP2	-0,84	0,04	-0,22	0,75	NVP7	0,28	-0,38	-0,54	0,51
NGV2	-0,92	0,06	0,10	0,86	NGV7	0,08	-0,81	-0,08	0,67
M100G3	-0,92	0,23	-0,10	0,91	M100G6	-0,64	0,47	0,17	0,66
PROD3	-0,93	0,16	-0,07	0,89	PROD6	-0,18	-0,20	-0,61	0,44
NVP3	-0,92	0,02	-0,16	0,88	NVP6	0,23	-0,24	-0,71	0,61
NGV3	-0,91	-0,07	0,11	0,84	NGV6	-0,13	-0,82	-0,16	0,71
M100G5	-0,58	0,36	-0,32	0,57					
PROD5	-0,09	-0,81	0,24	0,72					
NVP5	0,26	-0,87	-0,12	0,84					
NGV5	0,11	-0,10	0,95	0,93					
² Autovalor	10,34	1,71	1,04			4,88	2,41	1,30	
³ % Acum.	64,62	75,29	81,81			40,70	60,81	71,64	
Arquitetura em ambiente favorável					Arquitetura em ambiente desfavorável				
¹ Caráter	Fatores		Comunalidades	Caráter	Fatores		Comunalidades		
	FA1	FA2			FA1	FA2			
ARQ1	0,81	0,34	0,78	ARQ4	0,27	0,80	0,72		
AMD1	-0,78	-0,47	0,82	AMD4	-0,54	-0,67	0,74		

Continuação...								
DH1	-0,42	-0,76	0,75		DH4	0,04	-0,87	0,76
ARQ2	0,82	0,44	0,86		ARQ7	0,76	0,21	0,63
AMD2	-0,82	-0,42	0,84		AMD7	-0,83	-0,16	0,72
DH2	-0,34	-0,79	0,73		DH7	-0,83	-0,07	0,69
ARQ3	0,90	0,22	0,87		ARQ6	0,82	0,28	0,76
AMD3	-0,86	-0,30	0,83		AMD6	-0,88	-0,15	0,80
DH3	-0,15	-0,84	0,73		DH6	-0,80	-0,16	0,67
ARQ5	0,52	0,56	0,58					
AMD5	-0,47	-0,65	0,65					
DH5	-0,34	-0,67	0,56					
² Autovalor	7,88	1,12				5,06	56,27	
³ % Acum.	65,65	74,95				1,41	71,96	
Grão em ambiente favorável				Grão em ambiente desfavorável				
¹ Caráter	Fatores		Comunalidades	Caráter	Fatores		Comunalidades	
	FA1	FA2			FA1	FA2		
AG1	0,45	-0,82	0,88	AG4	0,89	0,27	0,86	
M100G1	-0,92	0,29	0,92	M100G4	-0,38	-0,78	0,76	
AG2	0,08	-0,91	0,83	AG7	0,93	0,06	0,87	
M100G2	-0,89	0,28	0,87	M100G7	-0,06	-0,91	0,84	
AG3	0,28	-0,90	0,89	AG6	0,87	0,23	0,81	
M100G3	-0,89	0,30	0,88	M100G6	-0,17	-0,89	0,83	
AG5	0,18	-0,86	0,78					
M100G5	-0,86	0,04	0,74					
² Autovalor	5,07	1,72			3,49	1,47		
³ % Acum.	63,40	84,91			58,09	82,67		

¹A caráter seguida pelo número refere-se ao ambientes de avaliação: (1) - ambiente 1 = seca 2013, local = Coimbra; (2) - ambiente 2 = seca 2013, local = Viçosa; (3) - ambiente 3 = inverno 2013, local = Coimbra, (4) - ambiente 4 = inverno 2013, local = Viçosa; (5) - ambiente 5 = seca 2016, local: Coimbra; (6) - ambiente 6 = seca 2016, local: Viçosa e (7) - ambiente 7 = inverno 2016, local: Coimbra. ²Autovalor: mede a variância em todos os caracteres que é devida ao fator. ³% Acum.: percentagem da variância acumulada por cada fator.

Tabela 6. Ranking de linhagens do grupo comercial preto e “carioca” recomendadas para cruzamento, considerando rendimento, arquitetura e grão para ambientes favoráveis e desfavoráveis, baseado em dados obtidos a partir da avaliação de 80 linhagens de feijão avaliadas nos anos de 2013 e 2016, nas épocas de seca e inverno, nos municípios de Coimbra e Viçosa, no estado de Minas Gerais

Linhagens	GC	Instituição	Ano	Rendimento ¹		Arquitetura ²		Grão ³	
				Fav.	Desfav.	Fav.	Desfav.	Fav.	Desfav.
VP 22	P	UFV	2013	3°	3°	9°			
IAC Imperador	C	IAC	2013					5°	9°
IPR Andorinha	C	IAPAR	2013		5°			3°	3°
VC 15	C	UFV	2013					9°	5°
VP 33	P	UFV	2013	8°	8°				
BRS Notável	P	EMBRAPA	2011	5°	7°				
IPR Campos Gerais	C	IAPAR	2011	1°	1°		4°	8°	
IAC Formoso	C	IAC	2011					2°	4°
IPR Tuiuiú	P	IAPAR	2010	2°	6°	6°	2°		
BRS Estilo	C	EMBRAPA	2009		10°			7°	6°
IPR Tangará	C	IAPAR	2008					1°	1°
BRS Expedito	P	EMBRAPA	2007		4°	10°			
IPR Gralha	P	IAPAR	2007		9°				
IPR 139	C	IAPAR	2007						7°
IAC Alvorada	C	IAC	2007					4°	8°
BRS Cometa	C	EMBRAPA	2006			5°	7°	10°	
BRS Esplendor	P	EMBRAPA	2006	4°		7°	8°		
IPR Tiziu	P	IAPAR	2006	6°	2°	3°	9°		
IAC Votuporanga	C	IAC	2005	10°					
IAC Tunã	P	IAC	2005	9°					
BRS Supremo	P	EMBRAPA	2004			1°	5°		
IPR Grafite	P	EMBRAPA	2003				10°		
IPR Graúna	P	IAPAR	2002			4°	6°		
BRS Valente	P	EMBRAPA	2001			8°	3°		
IPR Uirapurú	P	IAPAR	2000	7°		2°	1°		
Iapar 81	C	IAPAR	1997						10°
Pérola	C	EMBRAPA	1994					6°	2°

¹Rendimento, classificação obtida a partir dos dados de: número de vagens por planta; número de grãos por vagem; massa de 100 grãos e produtividade de grãos. ²Arquitetura, classificação obtida a partir dos dados de: nota de arquitetura; altura média do dossel e diâmetro do hipocótilo. ³Grão, classificação obtida a partir dos dados de: nota de grão e massa de 100 grãos.

Considerando que cada grupo comercial de grãos de feijão apresenta características específicas, uma análise realizada separadamente para cada um dos grupos, preto e “carioca”, foi considerada.

Em relação os caracteres que compõe rendimento de grãos para o grupo comercial preto, observou-se que os ambientes 1, 2 e 3 destacaram-se como ambientes favoráveis, havendo a formação de quatro fatores. O FA1 absorveu 63,49% da variabilidade, sendo composto pelos caracteres: M100G, PROD, NVP e NGV. Já para ambiente desfavorável, os ambientes 4, 6 e 7 se sobressaíram, porém com os caracteres mais dispersas entre os três fatores, exceto para o ambiente 4 em que todas os caracteres desse ambiente se apresentaram correlacionadas (FA1) (Tabela 7).

Para arquitetura, em ambiente favorável, houve predomínio de ARQ e AMD dos ambientes 1, 2 e 3 no FA1, de ARQ5, AMD5 e DH5 no FA2 e DH1, DH2 e DH3 no FA 3. Isto demonstra a correlação entre ARQ e AMD, porém a ausência de correlação destes com o DH do ambiente 1, 2 e 3. No entanto, estas informações sugerem que, entre DH1, DH2 e DH3 não ocorreu interação, uma vez que a formação de fatores é orientada pela inter-relação dos caracteres e, quando estas forem agrupadas em um mesmo fator, poder ser devido a ausência de interação. Para ambiente desfavorável os fatores agruparam ARQ, AMD e DH nos mesmos fatores (FA1 com os ambientes 6 e 7 e FA2 com o ambiente 4).

A exemplo de rendimento de grãos, para aspecto de grão em ambiente favorável, os ambientes 1, 2 e 3 ficaram no mesmo fator com os caracteres M100G e AG (FA1) e no FA2 com os mesmos caracteres, porém para o ambiente 5. Para ambiente desfavorável houve a formação de apenas um fator, formado por M100G e AG dos ambientes 6 e 7. O melhorista busca linhagens com maior valor genotípico em relação aos valores de ambiente e da interação GxA, ou aqueles que agreguem todos os componentes fenotípicos positivos (PEREIRA et al., 2015) e, para isso o uso de índices de seleção deve ser considerado.

Tabela 7. Cargas fatoriais e comunalidades dos caracteres avaliadas em linhagens do grupo comercial preto, considerando rendimento, arquitetura e grão para ambientes favoráveis e desfavoráveis, baseado em dados obtidos a partir da avaliação de 80 linhagens de feijão avaliadas nos anos de 2013 e 2016, nas épocas de seca e inverno, nos municípios de Coimbra e Viçosa, no estado de Minas Gerais

Rendimento em ambiente favorável						Rendimento em ambiente desfavorável				
¹ Caráter	Fatores				Comunalidades	Caráter	Fatores			Comunalidades
	FA1	FA2	FA3	FA4			FA1	FA2	FA3	
M100G1	-0,87	-0,14	-0,13	-0,03	0,79	M100G4	-0,91	0,23	-0,09	0,89
PROD1	-0,93	-0,20	0,08	0,04	0,91	PROD4	-0,94	0,07	-0,09	0,90
NVP1	-0,92	-0,06	0,09	-0,19	0,90	NVP4	-0,93	-0,04	0,01	0,88
NGV1	-0,89	-0,18	0,24	0,02	0,89	NGV4	-0,94	0,07	0,01	0,89
M100G2	-0,90	0,00	-0,02	-0,05	0,81	M100G7	-0,52	0,67	-0,17	0,74
PROD2	-0,86	0,06	-0,11	0,09	0,76	PROD7	-0,27	0,32	0,70	0,66
NVP2	-0,85	0,02	0,24	0,00	0,78	NVP7	0,32	-0,31	0,72	0,72
NGV2	-0,92	0,05	0,15	0,04	0,88	NGV7	0,06	-0,83	0,24	0,75
M100G3	-0,95	-0,10	0,07	0,06	0,92	M100G6	-0,58	0,55	-0,14	0,66
PROD3	-0,93	-0,17	0,03	0,08	0,91	PROD6	-0,44	-0,25	0,30	0,35
NVP3	-0,94	-0,03	0,09	-0,01	0,90	NVP6	0,07	-0,19	0,66	0,47
NGV3	-0,93	-0,07	0,18	0,03	0,91	NGV6	-0,17	-0,87	-0,07	0,79
M100G5	-0,17	0,05	0,93	0,06	0,90					
PROD5	-0,05	-0,94	0,18	-0,09	0,92					
NVP5	-0,15	-0,83	-0,37	0,19	0,88					
NGV5	0,01	0,04	-0,05	-0,99	0,98					
² Autovalor	10,16	1,72	1,13				4,95	2,36	1,38	
³ % Acum.	63,49	74,22	81,28				41,28	60,96	72,43	
Arquitetura em ambiente favorável					Arquitetura em ambiente desfavorável					
¹ Caráter	Fatores			Comunalidades	Caráter	Fatores		Comunalidades		
	FA1	FA2	FA3			FA1	FA2			
ARQ1	0,81	0,14	-0,36	0,81	ARQ4	0,31	0,84	0,80		
AMD1	-0,80	0,03	0,39	0,80	AMD4	-0,52	-0,72	0,78		

Continuação...

DH1	-0,48	-0,09	0,66	0,67	DH4	0,02	-0,91	0,82
ARQ2	0,82	0,18	-0,37	0,84	ARQ7	0,73	0,31	0,62
AMD2	-0,80	-0,16	0,36	0,80	AMD7	-0,77	-0,20	0,64
DH2	-0,34	-0,02	0,84	0,82	DH7	-0,80	-0,02	0,64
ARQ3	0,93	0,11	-0,11	0,89	ARQ6	0,83	0,23	0,74
AMD3	-0,91	-0,03	0,16	0,86	AMD6	-0,88	-0,13	0,79
DH3	-0,26	-0,11	0,84	0,79	DH6	-0,76	-0,31	0,67
ARQ5	0,11	0,72	-0,32	0,64				
AMD5	0,00	-0,93	0,08	0,86				
DH5	-0,15	-0,79	-0,14	0,67				
² Autovalor	6,42	1,91	1,12			5,05	1,46	0,68
³ % Acum.	53,47	69,40	78,73			56,11	72,38	79,89

Grão em ambiente favorável

Grão em ambiente desfavorável

¹ Caráter	Fatores			Comunalidades	Caráter	Fatores		Comunalidades
	FA1	FA2				FA1		
AG1	0,91	-0,09		0,84	AG4	0,92		0,85
M100G1	-0,94	0,08		0,89	M100G4	-0,79		0,62
AG2	0,74	-0,11		0,57	AG7	0,82		0,67
M100G2	-0,87	0,14		0,77	M100G7	-0,92		0,85
AG3	0,91	-0,01		0,83	AG6	0,88		0,78
M100G3	-0,88	0,26		0,84	M100G6	-0,85		0,72
AG5	0,27	-0,78		0,68				
M100G5	0,02	0,89		0,79				
² Autovalor	4,88	1,33				4,50		0,53
³ % Acum.	60,96	77,55				75,01		83,82

¹A caráter seguida pelo número refere-se ao ambientes de avaliação: (1) - ambiente 1 = seca 2013, local = Coimbra; (2) - ambiente 2 = seca 2013, local = Viçosa; (3) - ambiente 3 = inverno 2013, local = Coimbra, (4) - ambiente 4 = inverno 2013, local = Viçosa; (5) - ambiente 5 = seca 2016, local: Coimbra; (6) - ambiente 6 = seca 2016, local: Viçosa e (7) - ambiente 7 = inverno 2016, local: Coimbra. ²Autovalor: mede a variância em todos os caracteres que é devida ao fator. ³% Acum.: percentagem da variância acumulada por cada fator.

Para as linhagens do grupo comercial preto em ambiente favorável e desfavorável (Tabela 8), quanto ao grupo de caracteres relacionados ao rendimento, as linhagens IPR Uirapurú, VP 22, IPR Gralha e BRS Expedito foram as melhores ranqueadas.

Para arquitetura, IAC Supremo, IPR Uirapurú, IPR Graúna, BRS Esplendor, IPR Tuiuí e IPR Tiziu foram as melhores. Para grãos, destacaram-se: IPR Tuiuí, VP 22, IPR Tiziu, BRS Campeiro, BRS Expedito e IAC Tunã.

Quando considerado as linhagens comuns a todos os grupos de caracteres, destacam-se: IPR Uirapurú (rendimento, arquitetura e grão para ambiente favorável), BRS Expedito (rendimento, arquitetura e grão para ambiente desfavorável) e IPR Tiziu (rendimento, arquitetura e grão para ambiente favorável e desfavorável).

Para rendimento e grão, as linhagens com melhor desempenho tanto em ambientes favorável como desfavorável, foram: VP 22, BRS Expedito, IPR Tiziu e IAC Tunã. VP 33, BRS Campeiro e Diamante Negro, melhores para ambientes desfavoráveis. A cultivar BRS Campeiro se destacou para ambiente favorável.

Considerando os fatores formados (Tabela 7) juntamente com o ranqueamento das linhagens do grupo comercial preto (Tabela 8), uma possível recomendação de cruzamentos seria entre as melhores linhagens que foram comuns para rendimento de grãos e qualidade de grão *versus* arquitetura de planta. Essa recomendação é condizente com o progresso genético que as linhagens de feijão preto vêm apresentando. De acordo com Barili et al. (2016a), ao longo de cinco décadas de melhoramento de feijão preto houve ganho anual de 2,42% para produtividade de grãos e de 2,36%, 2,24% e 1,42% para os componentes de produção NVP, NGV e M1000G, respectivamente. Segundo os mesmos autores, melhorias também ocorreram para aparência de grãos (1,85%) e arquitetura de planta (1,35%) em feijão preto nas cultivares recomendadas a partir de 1989.

Tabela 8. Ranking de linhagens do grupo comercial preto recomendadas para cruzamento, considerando rendimento, arquitetura e grão para ambientes favoráveis e desfavoráveis, baseado em dados obtidos a partir da avaliação de 80 linhagens de feijão avaliadas nos anos de 2013 e 2016, nas épocas de seca e inverno, nos municípios de Coimbra e Viçosa, no estado de Minas Gerais

Linhagens	Instituição	Ano	Rendimento ¹		Arquitetura ²		Grão ³	
			Fav.	Desfav.	Fav.	Desfav.	Fav.	Desfav.
VP 22	UFV	2013	2°	2°			2°	2°
VP 33	UFV	2013		1°			4°	
IPR Tuiuiú	IAPAR	2010		10°	7°	2°	1°	4°
BRS Exedito	EMBRAPA	2007	9°	3°		10°	7°	6°
IPR Galha	IAPAR	2007	3°	6°		9°		
IPR Tiziu	IAPAR	2006		4°	9°	8°	3°	8°
BRS Esplendor	EMBRAPA	2006		9°	4°	6°		
IAC Tunã	IAC	2005					8°	5°
IAC Supremo	EMBRAPA	2004	8°		1°	4°	6°	
BRS Campeiro	EMBRAPA	2003	5°				5°	10°
BRS Grafite	EMBRAPA	2003				7°		1°
IPR Graúna	IAPAR	2002	6°		3°	5°		9°
IPR Uirapurú	IAPAR	2000	1°	5°	2°	1°	9°	
BRS Valente	EMBRAPA	2001	4°			3°	10°	
Iapar 65	IAPAR	1993		7°				
Ouro Negro	UFV/EPAMIG	1992						7°
Diamante Negro	EMBRAPA	1991						3°
Varre Sai	PESAGRO	1991				8°		
Iapar 44	IAPAR	1990				10°		
Iapar 20	IAPAR	1987				6°		
Xamego	PESAGRO	1993	7°					
Milionário 1732	UFV/EPAMIG	1983		8°				
Iapar 8 Rio Negro	IAPAR	1983	10°			5°		

¹Rendimento, classificação obtida a partir dos dados de: número de vagens por planta; número de grãos por vagem; massa de 100 grãos e produtividade de grãos de linhagens de feijão preto em ambientes favoráveis e desfavoráveis. ²Arquitetura, classificação obtida a partir dos dados de: nota de arquitetura; altura média do dossel e diâmetro do hipocótilo de linhagens de feijão preto em ambientes favoráveis e desfavoráveis. ³Grãos, classificação obtida a partir dos dados de: nota de grão e massa de 100 grãos de linhagens de feijão preto em ambientes favoráveis e desfavoráveis.

Quanto ao grupo comercial “carioca”, para os caracteres que compõe rendimento de grãos, arquitetura e grão, observou-se que os ambientes 1, 2, 3 e 5 destacaram-se em relação a ambiente favorável. Enquanto que para ambiente desfavorável, os ambientes que mais se destacaram foram o 4, 6 e 7 (Tabela 9).

Para os caracteres que compõe rendimento de grãos em ambientes favoráveis como desfavoráveis, houve a formação de quatro fatores. O FA1 absorveu 62,07% (favorável) e 38,73% (desfavorável) da variabilidade.

Para arquitetura, dois fatores explicaram a variabilidade. Em ambiente favorável, houve predomínio de ARQ e AMD dos ambientes 1, 2, 3 e 5 e de ARQ e AMD dos ambientes 4, 6 e 7 em ambiente desfavorável. Já para grão ocorreu a formação de apenas um fator, tanto em ambiente favorável como desfavorável, formados pelas cargas fatoriais de M100G (negativas) e AG (positiva), com valores entre -0,67 e 0,93. Segundo Hair et al. (2006), uma carga fatorial é dita significativa quando seu valor, em módulo, é superior a 0,60.

Tabela 9. Cargas fatoriais e comunalidades dos caracteres avaliadas em linhagens do grupo comercial “carioca”, considerando rendimento, arquitetura e grão para ambientes favoráveis e desfavoráveis, baseado em dados obtidos a partir da avaliação de 80 linhagens de feijão avaliadas nos anos de 2013 e 2016, nas épocas de seca e inverno, nos municípios de Coimbra e Viçosa, no estado de Minas Gerais

Rendimento em ambiente favorável						Rendimento em ambiente desfavorável					
¹ Caráter	Fatores				Comunalidades	Caráter	Fatores				Comunalidades
	FA1	FA2	FA3	FA4			FA1	FA2	FA3	FA4	
M100G1	-0,49	-0,20	0,81	0,02	0,93	M100G4	-0,92	0,08	0,10	-0,28	0,94
PROD1	-0,85	-0,14	0,41	-0,02	0,91	PROD4	-0,96	0,01	0,02	-0,15	0,95
NVP1	-0,91	0,01	-0,15	0,03	0,86	NVP4	-0,95	-0,11	-0,09	0,00	0,92
NGV1	-0,74	-0,24	0,42	0,01	0,78	NGV4	-0,96	-0,05	0,03	-0,09	0,93
M100G2	-0,71	-0,09	0,63	0,00	0,91	M100G7	-0,44	0,44	0,03	-0,68	0,84
PROD2	-0,75	-0,04	0,49	-0,10	0,81	PROD7	0,04	0,06	-0,72	0,11	0,54
NVP2	-0,85	0,12	0,22	0,06	0,78	NVP7	-0,04	-0,26	-0,10	0,72	0,60
NGV2	-0,86	-0,12	0,34	-0,15	0,89	NGV7	0,08	-0,90	0,17	0,14	0,87
M100G3	-0,73	-0,16	0,60	0,10	0,92	M100G6	-0,50	-0,14	-0,14	-0,72	0,81
PROD3	-0,82	-0,17	0,45	-0,04	0,90	PROD6	-0,07	-0,14	-0,81	-0,15	0,70
NVP3	-0,95	0,00	0,16	0,03	0,94	NVP6	0,13	0,05	-0,62	0,56	0,72
NGV3	-0,92	-0,05	0,26	0,05	0,92	NGV6	-0,18	-0,79	-0,21	0,10	0,72
M100G5	-0,14	0,00	0,92	0,04	0,87						
PROD5	0,05	0,94	0,07	-0,09	0,90						
NVP5	0,06	0,83	-0,27	0,18	0,79						
NGV5	0,01	-0,05	-0,05	-0,99	0,98						
² Autovalor	9,93	1,80	1,32	1,04		4,65	2,27	1,59	1,01		
³ % Acum.	62,07	73,30	81,54	88,02		38,73	57,68	70,97	79,37		
Arquitetura em ambiente favorável						Arquitetura em ambiente desfavorável					
¹ Caráter	Fatores		Comunalidades	Caráter	Fatores		Comunalidades				
	FA1	FA2			FA1	FA2					
ARQ1	0,81	0,14	0,67	ARQ4	0,67	0,10	0,46				
AMD1	-0,75	-0,47	0,78	AMD4	-0,52	-0,55	0,58				
DH1	-0,31	-0,83	0,78	DH4	0,13	0,89	0,81				
ARQ2	0,87	0,30	0,86	ARQ7	0,78	-0,08	0,62				
AMD2	-0,90	-0,24	0,88	AMD7	-0,82	-0,07	0,68				
DH2	-0,54	-0,63	0,70	DH7	-0,07	0,92	0,85				

Continuação...

ARQ3	0,86	0,11	0,76	ARQ6	0,87	0,09	0,76
AMD3	-0,77	-0,29	0,69	AMD6	-0,83	-0,14	0,71
DH3	-0,16	-0,89	0,81	DH6	0,07	0,90	0,82
ARQ5	0,59	0,44	0,54				
AMD5	-0,56	-0,66	0,75				
DH5	-0,11	-0,88	0,78				
² Autovalor	7,32	1,65			3,89	2,41	
³ % Acum.	61,06	74,85			43,24	69,98	

Grão em ambiente favorável

Grão em ambiente desfavorável

¹ Caráter	Fatores		Caráter	Fatores	
	FA1	Comunalidades		FA1	Comunalidades
AG1	0,93	0,86	AG4	0,89	0,80
M100G1	-0,93	0,87	M100G4	-0,84	0,71
AG2	0,82	0,68	AG7	0,83	0,69
M100G2	-0,90	0,82	M100G7	-0,67	0,45
AG3	0,92	0,85	AG6	0,81	0,66
M100G3	-0,90	0,81	M100G6	-0,78	0,60
AG5	0,82	0,67			
M100G5	-0,72	0,51			
² Autovalor	6,06	0,77		3,91	0,94
³ % Acum.	75,73	85,34		65,21	80,92

¹A caráter seguida pelo número refere-se ao ambientes de avaliação: (1) - ambiente 1 = seca 2013, local = Coimbra; (2) - ambiente 2 = seca 2013, local = Viçosa; (3) - ambiente 3 = inverno 2013, local = Coimbra; (4) - ambiente 4 = inverno 2013, local = Viçosa; (5) - ambiente 5 = seca 2016, local: Coimbra; (6) - ambiente 6 = seca 2016, local: Viçosa e (7) - ambiente 7 = inverno 2016, local: Coimbra. ²Autovalor: mede a variância em todos os caracteres que é devida ao fator. ³% Acum.: percentagem da variância acumulada por cada fator.

Ao avaliar o desempenho das linhagens do grupo comercial “carioca” para ambiente favorável e desfavorável (Tabela 10), quanto ao grupo de caracteres relacionados ao rendimento, as linhagens IPR Campos Gerais, IAC Ybaté, BRS Pontal, BRSMG Majestoso, BRS Notável e IPR Tangará se destacaram.

Para arquitetura, BRS Cometa, IPR Tangará, IPR 139, BRS Estilo, IPR Campos Gerais, Iapar 81 e IAC Pyatã foram as cultivares com melhor desempenho. Já, para grão destacaram-se: BRSMG Madrepérola, IAC Alvorada, IAC Formoso, IPR Tangará, VC 15, Pérola, BRS Estilo, IPR Andorinha e IPR 139. Cultivares de feijão com arquitetura mais ereta promove menores perdas na colheita mecanizada, reduz a incidência de doenças, além de evitar o contato das vagens com o solo, o que possibilita obter grãos de melhor qualidade (PIRES et al., 2014).

Quando considerado as linhagens comuns a mais de um grupo de caracteres, destacaram-se: IPR Campos Gerais e IPR Tangará (rendimento e arquitetura para ambiente favorável e desfavorável); BRS Notável e BRS Estilo (rendimento e arquitetura para ambiente desfavorável); IPR Andorinha, VC 15 e BRS Estilo (rendimento e grão para ambiente desfavorável); BRS Estilo, IPR Tangará e IPR 139 (arquitetura e grão tanto para ambiente favorável e desfavorável). De forma geral os programas de melhoramento de feijão carioca têm buscado desenvolver cultivares que associem elevada produtividade, arquitetura ereta de plantas e grãos dentro dos padrões comerciais (MENEZES JÚNIOR; RAMALHO; ABREU, 2008; SILVA et al., 2009). A partir dos anos 90 ganhos anuais de 6,74% para produtividade de grãos, 5,62% para NVP, 4,59% para NGV, 2,08% para M1000G e de 1,36% para aspecto de grão tem sido observados para o feijão “carioca” (BARILI et al., 2016b).

Tabela 10. Ranking de linhagens do grupo comercial “carioca” recomendadas para cruzamento, considerando rendimento, arquitetura e grão para ambientes favoráveis e desfavoráveis, baseado em dados obtidos a partir da avaliação de 80 linhagens de feijão avaliadas nos anos de 2013 e 2016, nas épocas de seca e inverno, nos municípios de Coimbra e Viçosa, no estado de Minas Gerais

Linhagens	Instituição	Ano	Rendimento ¹		Arquitetura ²		Grão ³	
			Fav.	Desfav.	Fav.	Desfav.	Fav.	Desfav.
IPR Andorinha	IAPAR	2013		4°			8°	9°
IAC Imperador	IAC	2013					10°	
VC 15	UFV	2013		3°			5°	2°
BRSMG Madrepérola	UFV	2012					1°	1°
IPR Campos Gerais	IAPAR	2011	1°	1°	5°	1°		
BRS Notável	EMBRAPA	2011	7°	2°		9°		
IAC Formoso	IAC	2011					3°	7°
BRS Estilo	EMBRAPA	2009		5°	4°	4°	7°	8°
IPR Tangará	IAPAR	2008	9°	10°	2°	3°	4°	3°
IPR 139	IAPAR	2007			3°	2°	9°	6°
IAC Alvorada	IAC	2007				5°	2°	4°
BRS Cometa	EMBRAPA	2006			1°	6°		
IAC Votuporanga	IAC	2005	2°		9°			
IAC Ybaté	IAC	2005	3°	7°	8°			
BRS Pontal	EMBRAPA	2004	4°	6°				
IPR Saracura	IAPAR	2004	5°					
BRSMG Majestoso	UFLA	2004	6°	9°				
BRSMG Talismã	UFLA	2002	10°					
Iapar 81	IAPAR	1997			7°	10°		10°
IAC Akytã	IAC	1996		8°				
IAC Pyatã	IAC	1994			10°	7°		
Pérola	EMBRAPA	1994				8°	6°	5°
Iapar 57	IAPAR	1992			6°			
Aporé	EMBRAPA	1992	8°					

¹Rendimento, classificação obtida a partir dos dados de: número de vagens por planta; número de grãos por vagem; massa de 100 grãos e produtividade de grãos de linhagens de feijão carioca em ambientes favoráveis e desfavoráveis. ²Arquitetura, classificação obtida a partir dos dados de: nota de arquitetura; altura média do dossel e diâmetro do hipocótilo de linhagens de feijão carioca em ambientes favoráveis e desfavoráveis. ³Grãos, classificação obtida a partir dos dados de: nota de grão e massa de 100 grãos de linhagens de feijão carioca em ambientes favoráveis e desfavoráveis.

Conclusões

As melhores linhagens, independente de grupo comercial, para compor blocos de cruzamentos que visam o aumento de rendimento de grãos são: IPR Campos Gerais, IPR Tiziu, BRS Expedito, IAC Ybaté, Iapar 65, IPR Uirapurú, BRSMG Majestoso, IPR Andorinha, VC 15 e IPR Tuiuiú.

As linhagens BRS Valente, IPR Graúna, IPR Uirapurú, BRS Supremo, BRS Esplendor, IPR Tuiuiú, IPR Tiziu, VP 22, IPR Gralha (grupo comercial preto) e BRS Cometa (grupo comercial “carioca”) devem ser consideradas em blocos de cruzamento quando o objetivo for melhorar a arquitetura de planta.

As linhagens do grupo comercial “carioca”: VC 15, IAC Alvorada, IPR 139, IAC Formoso, Pérola, IPR Tangará, BRS Estilo, IPR Campos Gerais, IPR Andorinha e IAC Imperador devem ser consideradas em blocos de cruzamento quando o objetivo for melhorar aspectos de grão.

O desempenho de linhagens em ambientes favoráveis e desfavoráveis contribui para a escolha de genitores divergentes e deve ser considerada na formação dos blocos de cruzamentos.

Referências

ABDOLLAHI, A; TAHMASEBPOUR, B; DEGHANIAN, H. Factor analysis of Phonological and Morphological Traits in Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Biological Forum**, v. 8, n. 1, p. 132-134, 2016.

AKHSHI, N., FIROUZABADI, F., CHEGHAMIRZA, K. Coefficient Analysis and Association between Morpho-Agronomical Characters in Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Cercetari Agronomice in Moldova**, v. 48, n. 4, p. 29-37, 2015. doi: 10.1515/cerce-2015-0050

ALVES, A. F.; MENEZES JÚNIOR, J. A. N. de.; MENEZES, V. M. P. S.; CARNEIRO, J. E. de S.; CARNEIRO, P. C. S.; ALVES, A. F. Genetic progress and potential of common bean families obtained by recurrent selection. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 15, n. 4, p. 218-226, 2015. doi: 10.1590/1984-70332015v15n4a38

BARILI, L. D.; VALE, N. M.; ARRUDA, B.; TOALDO, D.; ROCHA, F.; COIMBRA, J. L. M.; BERTOLDO, J. G.; Y GUIDOLIN, A. F. Escolha de genitores contrastantes para compor o bloco de cruzamentos de genótipos de feijão. **Revista Brasileira de Agrocência**, v. 17, n. 3-4, p.303-310, 2011. doi: 10.18539/CAST.V17I3.2063

BARILI, L. D.; VALE, N. M.; CARNEIRO, J. E. S.; SILVA, F. F.; SILVA, F. L. Five decades of black common bean genetic breeding in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46, n. 3, p. 259-266, 2016a. doi: 10.1590/1983-40632016v46a1371

BARILI, L. D.; VALE, N. M.; MOURA, L. M.; PAULA, R. G.; SILVA, F. F.; CARNEIRO, J. E. S. Genetic progress resulting from forty-three years of breeding of the carioca common bean in Brasil. **Genetic Molecular Research**, v. 15, n. 3, p. 1-11, 2016b. doi: 10.4238/gmr.15038523

BEARZOTI, E. **Simulação de seleção recorrente assistida por marcadores moleculares em espécies autógamas**. 1997. 230p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

BURGUEÑO, J.; CROSSA, J.; CORNELIUS, P. L.; YANG, R.C. Using factor analytic models for joining environments and genotypes without crossover genotype x environment interaction. **Crop Science**, v. 48, n.4, p. 1291-1305, 2008. doi: 10.2135/cropsci2007.11.0632

CARBONELL, S. A. M, CHIORATO, A. F, GONÇALVES, J. G. R, PERINA, E. F, CARVALHO, C. R. Tamanho de grão comercial em cultivares de feijoeiro. **Ciência Rural**, v. 40, n. 4, p. 2067-2073, 2010. doi: 10.1590/S0103-84782010005000159

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. doi: 10.12702/1984-7033.v02n02a02

CEOLIN, A. C. G.; GONÇALVES-VIDIGAL, M. C.; VIDIGAL FILHO, P. S.; KVITSCHAL, M. V.; GONELA, A.; SCAPIM, C. A. Genetic divergence of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) group Carioca using morpho-agronomic traits by multivariate analysis. **Hereditas**, v. 144, n. 1, p. 1-9, 2007. doi: 10.1111/j.2006.0018-0661.01943.x

COLLICCHIO, E.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Associação entre o porte da planta do feijoeiro e o tamanho dos grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 3, p. 297-304, 1977.

CORREA, A. G.; GONÇALVES, M. C. Divergência genética em genótipos de feijão comum cultivados em Mato Grosso do Sul. **Revista Ceres**, v. 59, n. 2, p. 206-212, 2012. doi: 10.1590/S0034-737X2012000200009

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2014. 668p.

CRUZ, C. D. **Programa GENES: Biometria**. 1ed. Editora UFV, Viçosa, 2006. 382p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2012. 514p.

DOMINGUES, L. S.; RIBEIRO, N. D.; MINETTO, C.; SOUZA, J. F.; ANTUNES, I. F. Metodologias de análise de adaptabilidade e de estabilidade para a identificação de linhagens de feijão promissoras para o cultivo no Rio Grande do Sul. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 3, p. 1065-1076, 2013. doi: 10.5433/1679-0359.2013v34n3p1065

FARIA, L. C.; MELO, P. G. S.; PEREIRA, H. S.; DEL PELOSO, M. J.; BRÁS, A. J. B. P.; MOREIRA, J. A. A.; CARVALHO, H. W. L.; MELO, L. C. Genetic progress during 22 years of improvement of carioca-type common bean in Brazil. **Field Crops Research**, v. 142: 68-74, 2013. doi: 10.1016/j.fcr.2012.11.016

FINLAY, K. W.; WILKINSON, G. N. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 14, p. 742-754, 1963.

GRANATE, M. J.; CRUZ, C. D.; CECON, P. R.; PACHECO, C. A. P. A análise de fatores na predição de ganhos por seleção em milho (*Zea mays* L.). **Acta Scientiarum**, v. 23, n. 5, p. 1271-1279, 2001. doi: 10.4025/actasciagron.v23i0.2631

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Multivariate Data Analysis with Readings**. 6^a ed., Prentice Hall, Engle Wood Cliffs, 2006.

HALLAUER, A. R. Compendium of recurrent selection methods and their applications. **CRC. Review in Plant Science**, v. 3, n. 1, p. 1-33, 1986. doi: 10.1080/07352688509382202

HAZEL, L. N. The genetic basis for constructing selection indexes. **Genetics**, v. 28, n. 6, p. 476-490, 1943.

JINKS, J. L.; POONI, H. S. Predicting the properties of recombinant inbred lines derived by single seed descent. **Heredity**, v. 36, p. 253-266, 1976. doi:10.1038/hdy.1976.30

KAISER, H. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v. 23, n. 3, p. 187-200, 1958.

MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Seleção recorrente para três caracteres do feijoeiro. **Bragantia**, v. 67, n. 4, p. 833-838, 2008. doi: 10.1590/S0006-87052008000400004

MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; REZENDE JÚNIOR, L. S.; ROCHA, G. S.; SILVA, V. M. P.; PEREIRA, A. C.; CARNEIRO, P. C. S.; PETERNELLI, L. A.; CARNEIRO, J. E. S. Two cycles of recurrent selection in red bean breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 13, n. 1, p. 41-48, 2013. doi: 10.1590/S1984-70332013000100005

MOURA, M. M.; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. E. S.; CRUZ, C. D. Potencial de caracteres na avaliação da arquitetura de plantas de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 4, p. 417-425, 2013. doi: 10.1590/S0100-204X2013000400010

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**, v. 7, n. 1, p. 40-51, 1978.

PEREIRA, H. S.; ALMEIDA, V. M.; MELO, L. C.; WENDLAND, A.; FARIA, L. C.; DEL PELOSO, M. J.; MAGALDI, M. C. S. Influência do ambiente em cultivares de feijoeiro-comum em cerrado com baixa altitude. **Bragantia**, v. 71, n. 2, p. 165-172, 2012. doi: 10.1590/S0006-87052012005000024

PEREIRA, H. S.; MELO, L. C.; DEL PELOSO, M. J.; FARIA, L. C.; WENDLAND, A. Complex interaction between genotypes and growing seasons of carioca common bean in Goiás/Distrito Federal. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 11, n.3, p. 207-215, 2011. doi: 10.1590/S1984-70332011000300002

PEREIRA, L. A.; ABREU, A. F. B.; VIEIRA JÚNIOR, I. C.; PIRES, L. P. M.; RAMALHO, M. A. P. Genetic progress estimation strategy for upright common bean plants using recurrent selection. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 1, p. 1-9, 2017. doi: 10.4238/gmr16019494

PEREIRA, T. C. V.; SCHMIT, R. H.; HAVEROTH, E. J.; MELO, R. C.; COIMBRA, J. L. M.; GUIDOLIN, A. F.; BACKES, R. L. Reflexo da interação genótipo x ambiente sobre o melhoramento genético de feijão. **Ciência Rural**, v. 46, n. 3, p. 411-417, 2015. doi: 10.1590/0103-8478cr20130998

PESEK, J.; BAKER, R. J. Desired improvement in relation to selected indices. **Canadian Journal Plant Science**, v. 49, n. 6, p. 803-804, 1969. doi: 10.4141/cpis69-137

PIRES, L. P. M.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; FERREIRA, M. C. Recurrent mass selection for upright plant architecture in common bean. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 3, p. 240-243, 2014. doi: 10.1590/S0103-90162014000300009

R Development Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Áustria: R Foundation for Statistical Computing, 2015.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B.; NUNES, J. A. R. N. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. 1.ed. Lavras: UFLA, 2012. 522p.

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

ROCHA, J. R. A. S. C.; MACHADO, J. C.; CARNEIRO, P. C. S. Multitrait index based on factor analysis and ideotype-design: proposal and application on elephant grass breeding for bioenergy. **Global Change Biology Bioenergy**, v. 10, p. 52-60, 2017. doi: 10.1111/gcbb.12443

SADEGHI, A; CHEGHAMIRZA, K; DORRI, H. R. The study of morpho-agronomic traits relationship in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Biharean Biologist**, v. 5, n. 2, p. 102-108, 2011.

SCHAWB, A. J. Eletronic Classroom. **[Online]** Disponível em: <http://socialwork.utexas.edu/eclassroom/schwab.html>. Acesso em: 14 jan. 2018.

SILVA, C. A.; ABREU, A. F. B.; 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. doi: 10.1590/S0100-204X2009001200013

SILVA, F. A. da.; CORRÊA, A. M.; TEODORO, P. E.; LOPES, K. V.; CORRÊA, C. C. G. Genetic divergence in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in the Cerrado-Pantanal ecotone. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 1, p. 1-11, 2017. doi: 10.4238/gmr16019570

SILVA, V. M. P.; MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. E. S.; CRUZ, C. D. Genetic improvement of plant architecture in the common bean. **Genetics and Molecular Research**, v. 12, n. 3, p. 3093-3102, 2013. doi: 10.4238/2013

SMITH, H. F. A discriminant function for plant selection. **Annals of Human Genetics**, v. 7, n. 3, p. 240-250, 1936. doi: 10.1111/j.1469-1809.1936.tb02143.x

SULZBACHER, L. J.; SILVA, V. P. da.; ZAGO, B. W.; CORRÊA, C. L.; DUARTE, A. V. M.; BARELLI, M. A. A. Análise da divergência genética através de caracteres agronômicos em genótipos de feijão comum. **Revista Espacios**, v. 38, n. 23, p. 26, 2017.

TORGA, P. P.; MELO, P. G. S.; PEREIRA, H. S.; FARIA, L. C.; DEL PELOSO, M. J.; MELO, L. C. Interaction of common bean cultivars of the black group with years, locations and sowing seasons. **Euphytica**, v. 189, n. 2, p. 239-248, 2013. doi: 10.1007/s10681-012-0793-y

WILLIAMS, J. S. The evaluation of a selection index. **Biometrics**, v.18, n. 3, p. 375-393, 1962. doi: 10.2307/2527479

ZILIO, M.; COELHO, C. M. M.; SOUZA, C. A.; SANTOS, J. C. P.; MIQUELLUTI, D. J. Contribuição dos componentes de rendimento na produtividade de genótipos crioulos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 429-438, 2011. doi: 10.1590/S1806-66902011000200024

MATERIAL SUPLEMENTAR

Tabela S1. Nome da linhagem, instituição de pesquisa obtentora e ano de recomendação das 80 linhagens de feijão utilizadas neste estudo

	Linhagem - Grupo comercial Carioca	Instituição	Ano
1	Carioca 1030	IAC	1970
2	Carioca 80	IAC	1980
3	IAPAR 16	IAPAR	1986
4	Rio doce	INCAPER	1987
5	IAC Carioca	IAC	1987
6	Carioca 1070	IAC	1989
7	IAPAR 31	IAPAR	1991
8	Aporé	EMBRAPA	1992
9	FT bonito	FT- Sementes	1992
10	IAPAR 57	IAPAR	1992
11	Pérola	EMBRAPA	1994
12	Rudá	EMBRAPA	1994
13	IAC Pyatã	IAC	1994
14	BR- IPA 11 Brígida	IPA	1994
15	IAC Akytã	IAC	1996
16	IAPAR 81	IAPAR	1997
17	BRSMG Talismã	UFLA	2002
18	BRS Requite	EMBRAPA	2003
19	BRS Pontal	EMBRAPA	2004
20	BRSMG Majestoso	UFLA	2004
21	SCS Guará	EPAGRI	2004
22	IPR Colibri	IAPAR	2004
23	IPR Saracura	IAPAR	2004
24	BRSMG Pioneiro	UFV	2005
25	IAC Votuporanga	IAC	2005
26	IAC Ybaté	IAC	2005
27	IAC Apuã	IAC	2005
28	BRS Cometa	EMBRAPA	2006
29	IPR Eldorado	IAPAR	2006
30	IAC Alvorada	IAC	2007

31	IPR 139	IAPAR	2007
32	IPR Tangará	IAPAR	2008
33	BRS Estilo	EMBRAPA	2009
34	BRS Notável	EMBRAPA	2011
35	IAC Formoso	IAC	2011
36	IPR Campos Gerais	IAPAR	2011
37	BRSMG Madrepérola	UFV	2012
38	IAC Imperador	IAC	2013
39	IPR Andorinha	IAPAR	2013
40	VC 15	UFV	2013
<hr/>			
	Linhagem - Grupo comercial Preto	Instituição	Ano
41	Rico 23	UFV	1959
42	Rio Tibagi	FEPAGRO	1971
43	IAC Moruna	IAC	1978
44	Capixaba Precoce	INCAPER	1980
45	Iraí	IPAGRO	1981
46	Milionário 1732	UFV/EPAMIG	1983
47	Rico 1735	UFV/EPAMIG	1983
48	IAPAR 8-Rio Negro	IAPAR	1983
49	BR-2 Grande Rio	PESAGRO	1985
50	BR-3 Ipanema	PESAGRO	1985
51	BR 1- Xodó	PESAGRO	1985
52	FT 120	FT- Sementes	1986
53	IAPAR 20	IAPAR	1987
54	BR-IPAGRO 2-Pampa	IPAGRO	1989
55	BR-IPAGRO 1- Macanudo	IPAGRO	1989
56	BR 6-Barriga verde	EMPASC	1990
57	IAPAR 44	IAPAR	1990
58	Preto Uberabinha	IPEACO	1990
59	Varre-Sai	PESAGRO	1991
60	Diamante Negro	EMBRAPA	1991
61	Ouro Negro	UFV/EPAMIG	1992
62	Ônix	EMBRAPA/EMGOPA	1992
63	BR- IPA 10	IPA	1992
64	IAPAR 65	IAPAR	1993

65	Xamego	PESAGRO	1993
66	IAC Una	IAC	1994
67	IPR Uirapurú	IAPAR	2000
68	BRS Valente	EMBRAPA	2001
69	IPR Graúna	IAPAR	2002
70	BRS Campeiro	EMBRAPA	2003
71	BRS Grafite	EMBRAPA	2003
72	BRS Supremo	EMBRAPA	2004
73	IAC Tunã	IAC	2005
74	BRS Esplendor	EMBRAPA	2006
75	IPR Tiziu	IAPAR	2006
76	BRS Expedito	EMBRAPA	2007
77	IPR Gralha	IAPAR	2007
78	IPR Tuiuiú	IAPAR	2010
79	VP 22	UFV	2013
80	VP 33	UFV	2013

3. CONCLUSÕES GERAIS

A partir dos caracteres analisados neste trabalho é possível inferir sobre a variabilidade genética existente entre as linhagens dos dois grupos comerciais (preto e “carioca”), bem como entre as linhagens oriundas de diferentes instituições de pesquisa e décadas de recomendação. As diferentes metodologias empregadas mostram que a interação GxA deve ser considerada em estudos de diversidade genética. As linhagens recomendadas após a década de 90 apresentam melhor aspecto de grão e maior produtividade. As linhagens de feijão preto apresentam arquitetura de planta mais ereta e maior diâmetro do hipocótilo comparadas às de grãos carioca e, linhagens do grupo comercial “carioca” apresentam melhor aspecto de grão. O uso do índice FAI permite identificar as linhagens de feijão com maior potencial para arquitetura de plantas, produtividade e aspecto comercial de grãos. Os caracteres analisados por diferentes técnicas estatísticas promovem a identificação de linhagens mais promissoras para compor blocos de cruzamentos, de acordo com o objetivo de cada programa de melhoramento.