

GILMAR SILVÉRIO DA ROCHA

**CAUSAS DE CORRELAÇÃO ENTRE CARACTERES E EFEITO DE
AMBIENTES NA PREDIÇÃO DO POTENCIAL DE POPULAÇÕES
SEGREGANTES NO MELHORAMENTO DO FEIJOEIRO**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2012

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

T

R672c
2012

Rocha, Gilmar Silvério da, 1981-

Causas de correlação entre caracteres e efeito de ambientes
na predição do potencial de populações segregantes no
melhoramento do feijoeiro / Gilmar Silvério da Rocha.

– Viçosa, MG, 2012.

x, 68f. : il. ; 29cm.

Orientador: José Eustáquio de Souza Carneiro.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Genética quantitativa. 2. Feijão-Populações.
3. *Phaseolus vulgaris*. I. Universidade Federal de Viçosa.
- II. Título.

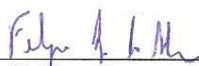
CDD 22. ed. 635.6522

GILMAR SILVÉRIO DA ROCHA

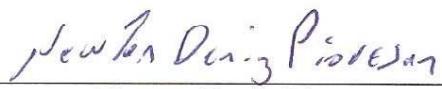
**CAUSAS DE CORRELAÇÃO ENTRE CARACTERES E EFEITO DE
AMBIENTES NA PREDIÇÃO DO POTENCIAL DE POPULAÇÕES
SEGREGANTES NO MELHORAMENTO DO FEIJOEIRO**

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

APROVADA: 17 de julho de 2012.



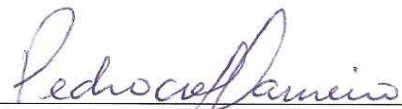
Felipe Lopes da Silva



Newton Deniz Piovesan



Paulo Roberto Cecon
(Coorientador)



Pedro Crescêncio Souza Carneiro
(Coorientador)



José Eustáquio de Souza Carneiro
(Orientador)

Aos meus pais, Paulo e Sueli.
Aos meus irmãos, Paulo Júnior e Gilson.
Ao meu sobrinho, João Gabriel.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre me atender nos momentos mais difíceis e por mais esta etapa vencida.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, pela oportunidade concedida para a realização deste trabalho.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor José Eustáquio de Souza Carneiro, pela orientação, imprescindível na realização deste trabalho, pela amizade, pela confiança depositada em mim e pela constante disponibilidade.

Ao professor Pedro Crescêncio Souza Carneiro, pela coorientação, pela amizade, pela disponibilidade e pelas importantes sugestões e críticas, que muito contribuíram para melhoria deste trabalho.

Aos membros da banca, professor Paulo Roberto Cecon, Dr. Felipe Lopes da Silva e Dr. Newton Deniz Piovesan, pelas valiosas sugestões e pelas contribuições.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, em especial àqueles que contribuíram de alguma forma para minha formação acadêmica.

Aos meus pais, Paulo e Sueli, pelo constante apoio, pelo amor e pela dedicação.

Aos meus irmãos, Paulo Júnior e Gilson, pelo companheirismo, pela compreensão e pela amizade.

Aos amigos do Programa Feijão, pela grande colaboração na condução e avaliação dos experimentos e pelos momentos de alegria e descontração.

Aos funcionários da Estação Experimental de Coimbra e da Agronomia, em especial ao Gilberto, pelo auxílio na condução dos experimentos e pela agradável convivência.

Às secretárias do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, Edna, Rita e Rosemeire (ex-secretária), pela atenção e pelo auxílio.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para o meu crescimento profissional e para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

GILMAR SILVÉRIO DA ROCHA, filho de Paulo Antônio da Rocha e Sueli Aparecida da Silva Rocha, nasceu em Bueno Brandão, Minas Gerais, em 20 de novembro de 1981.

De 1989 a 1993, cursou o primário na Escola Estadual “Secretário Olinto Orsini”; e de 1994 a 2000, completou os ensinos fundamental e médio, em Bueno Brandão, Minas Gerais

Em março de 2001, ingressou na Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais, colando grau em maio de 2006 como Engenheiro-Agrônomo.

Em outubro de 2006, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento na Universidade Federal de Viçosa, em nível de mestrado, obtendo o título de mestre em julho de 2008.

Em agosto de 2008, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento na Universidade Federal de Viçosa, em nível de doutorado, submetendo-se à defesa de tese em julho de 2012.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	vii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1. Correlações entre alguns caracteres de importância no feijoeiro.....	3
2.2. Metodologias utilizadas na escolha de populações segregantes	6
2.3. Melhoramento do feijoeiro para produtividade de grãos e arquitetura de planta	12
2.4. Interação genótipos por ambientes.....	14
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16
CAPÍTULO 1	22
CAUSAS DE CORRELAÇÃO ENTRE CARACTERES RELACIONA- DOS À ARQUITETURA DE PLANTA E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E IMPLICAÇÕES NO MELHORAMENTO DO FEJJOEIRO ...	22
RESUMO	22
ABSTRACT.....	23
1. INTRODUÇÃO	24
2. MATERIAL E MÉTODOS	25
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4. CONCLUSÕES	35
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36
CAPÍTULO 2	39
EFEITO DE AMBIENTES NA PREDIÇÃO DO POTENCIAL DE POPU- LAÇÕES SEGREGANTES DE FEIJÃO PELA METODOLOGIA DE JINKS E POONI (1976)	39
RESUMO	39
ABSTRACT.....	40
1. INTRODUÇÃO	40
2. MATERIAL E MÉTODOS	42
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4. CONCLUSÕES	50
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

	Página
CAPÍTULO 3.....	53
ESTRATÉGIAS DE PREDIÇÃO E EFEITOS DE AMBIENTES NA AVALIAÇÃO DE POPULAÇÕES SEGREGANTES DE FEIJÃO.....	53
RESUMO	53
ABSTRACT	54
1. INTRODUÇÃO	55
2. MATERIAL E MÉTODOS	56
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4. CONCLUSÕES	65
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
4. CONCLUSÕES GERAIS	68

RESUMO

ROCHA, Gilmar Silvério da, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2012. **Causas de correlação entre caracteres e efeito de ambientes na predição do potencial de populações segregantes no melhoramento do feijoeiro.** Orientador: José Eustáquio de Souza Carneiro. Coorientadores: Paulo Roberto Cecon, Pedro Crescêncio Souza Carneiro e Rogério Faria Vieira.

Os objetivos deste trabalho foram determinar as causas das associações entre caracteres relacionados à arquitetura de planta e à produtividade de grãos e suas implicações no melhoramento do feijoeiro; verificar o efeito de ambientes na predição do potencial genético de populações de feijoeiro para diâmetro do hipocótilo e produtividade de grãos, pelo método de Jinks e Pooni; e averiguar a consistência da predição do potencial dessas populações nas safras de inverno e seca, pelas metodologias de Jinks e Pooni e $m+a'$ e d . Foram avaliadas 48 populações nas safras de inverno de 2009 (gerações F_2 e F_3 , simultaneamente) e seca de 2010 (gerações F_3 e F_4 , simultaneamente). Como testemunhas foram utilizadas 14 genitores, além das cultivares Pérola e BRSMG Talismã. Os experimentos foram conduzidos no campo experimental da Universidade Federal de Viçosa, em Coimbra, MG. Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso, com três repetições e parcelas constituídas de quatro linhas de 4 m, espaçadas de 0,5 m. Para determinar as causas de associações entre caracteres do feijoeiro, as populações e testemunhas foram avaliadas quanto ao diâmetro do hipocótilo, arquitetura de planta, altura média de planta, massa de 100 grãos e produtividade de grãos e obtidas correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais entre esses cinco caracteres. A predição do potencial das populações segregantes foi realizada pela metodologia de Jinks e Pooni e pelas estimativas da contribuição dos locos em homozigose ($m+a'$) e em heterozigose (d), utilizando-se dos dados de produtividade de grãos e diâmetro do hipocótilo. Este último caráter foi medido em 20 plantas retiradas de forma aleatória nas parcelas. Em relação à associação entre os caracteres relacionados à arquitetura de planta e à produtividade de grãos observaram-se correlações fenotípicas e genotípicas altas e significativas entre os caracteres diâmetro do hipocótilo, arquitetura de planta e altura média de planta, tanto nas linhagens, como nas populações nas diferentes gerações, indicando que estas associações são devidas aos genes pleiotrópicos de efeitos aditivos. Já as correlações dos caracteres diâmetro do

hipocótilo, altura média de planta e arquitetura de planta com os caracteres produtividade e massa de 100 grãos são devidas aos diferentes genes ligados, uma vez que estas associações foram suplantadas com o avanço das gerações. O diâmetro do hipocótilo e a altura média de planta destacaram-se como indicadores efetivos da arquitetura de plantas do feijoeiro. Pelas magnitudes e pelos sinais das correlações obtidas nas populações constatou-se que a avaliação de famílias derivadas de gerações mais avançadas, em experimentos com repetições, é estratégia promissora para o desenvolvimento de linhagens de feijão produtivas, eretas e com grãos de tamanho aceitáveis comercialmente. As probabilidades das populações originarem linhagens que superem a linhagem A805 em 10%, considerando o diâmetro do hipocótilo e a cultivar Pérola em 35% para produtividade de grãos, foram inconsistentes quando comparadas nas diferentes gerações, avaliadas em diferentes safras, para maioria das populações. Em razão da baixa coincidência entre as melhores e entre as piores populações nas duas safras e nas diferentes gerações para os dois caracteres, ficou evidenciado que o efeito de ambientes interfere na escolha das populações de feijoeiro, quando se utiliza o método de Jinks e Pooni. Dessa maneira, ao utilizar essa metodologia, recomenda-se avaliar as populações no maior número possível de ambientes. A correlação entre as médias das populações nas safras de inverno e seca foi significativa e de magnitude razoável para os caracteres diâmetro do hipocótilo e produtividade de grãos, enquanto a correlação entre as variâncias dessas populações para as duas safras foi inexpressiva, indicando maior influência dos efeitos ambientais nas estimativas de variância do que das médias. Constatou-se baixa correlação entre os pares $m+a'$ (inverno) x $m+a'$ (seca) e d (inverno) x d (seca) para diâmetro do hipocótilo e produtividade de grãos, evidenciando que essas estimativas também sofrem grande efeito de ambientes.

ABSTRACT

ROCHA, Gilmar Silvério da, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2012. **Causes of correlation between characters and effect of environments in the prediction of the potential of segregating populations on the common bean plant breeding.** Adviser: José Eustáquio de Souza Carneiro. Co-advisers: Paulo Roberto Cecon, Pedro Crescêncio Souza Carneiro and Rogério Faria Vieira.

The objectives of this work were to determine the causes of the associations between characters related to plant architecture and grain yield and their implications in the common bean plant breeding; to verify the effect of environments on the prediction of the genetic potential of the common bean plant populations regarding hypocotyl diameter and grain yield by the Jinks and Pooni method; and to verify the consistency of predicting the potential of these populations during the winter and dry seasons, using the methodologies of Jinks and Pooni and $m+a'$ and d . Forty-eight populations were evaluated in the 2009 winter season (F_2 and F_3 generations, simultaneously) and 2010 dry season (generations F_3 and F_4 , simultaneously). As controls, 14 parents were used, besides the cultivars Pérola and BRSMG Talismã. The experiments were conducted at the experimental field of the Universidade Federal de Viçosa in Coimbra, MG, and was arranged in a randomized block design with three repetitions, with the plots being constituted of four 4 m long, 0.5 spaced lines. To determine the causes of associations between characters of the common bean plant, the following characters of the populations and controls were evaluated: hypocotyl diameter, plant architecture, plant mean height, 100-grain mass, and grain yield; phenotypic, genotypic and environmental correlations between these five characters were also obtained. A prediction of the potential of the segregating populations was made by the Jinks and Pooni methodology and by the estimates of the loci contribution in homozygosis ($m+a'$) and heterozygosis (d), using the grain yield and hypocotyl diameter data. This last character was measured in 20 plants randomly taken from the plots. Regarding the associations related to the characters plant architecture and grain yield, high and significant phenotypic and genotypic correlations between the characters hypocotyl diameter, plant architecture, and plant mean height were observed, both in the lines and populations of different generations, indicating that these associations are caused by pleiotropic genes of additive effect. As for the correlations of the characters hypocotyl diameter, plant

mean height, and plant architecture with the characters grain yield and 100-grain mass, these are caused by the different linked genes, since these associations were surpassed as generations advanced. The characters hypocotyl diameter and plant mean height were found to be effective indicators of the common bean plant architecture. Based on the magnitude and signals of the correlations obtained in the populations, it can be confirmed that the evaluation of families derived from more advanced generations, in experiments with repetitions, is a promising strategy for the development of productive and erect bean plant lines, with commercially acceptable grain size. The probability of the populations to originate lines superior to line A805 in 10%, considering the hypocotyl diameter and cultivar Perola in 35% for grain yield, were inconsistent when comparing the different generations, evaluated in different seasons, for most of the populations. Due to the low coincidence between the best and worst populations, in the two crop seasons and different generations for the two characters, it became evident that the effect of environments interferes in the choice of common bean plant populations, when applying the Jinks and Pooni method. Thus, when using this methodology, it is recommended to evaluate populations in as many types of environment as possible. The correlation among the population means in the winter and dry season crops was significant and of a reasonable magnitude for the characters hypocotyl diameter and grain yield, while the correlation between the variances of these populations for the two season crops was inexpressive, indicating greater influence of the environmental effects on the variance estimates than on the mean estimates. A low correlation between the pairs $m+a'$ (winter season) x $m+a'$ (dry season) and d (winter season) x d (dry season) for hypocotyl diameter and grain yield was confirmed, evidencing that these estimates are also influenced by the environments.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Estudos sobre a associação entre caracteres envolvendo produtividade de grãos e arquitetura de planta do feijoeiro são de grande importância em programas de melhoramento. Esses estudos podem revelar a existência de correlações favoráveis entre o caráter desejado e os caracteres secundários, mais acurados e fáceis de serem avaliados (SANTOS; VENCOVSKY, 1986a). Apesar do grande número de trabalhos sobre correlações entre caracteres de importância no melhoramento do feijoeiro, a maioria deles utilizou linhagens ou cultivares (FURTADO *et al.*, 2002; MOURA, 2011; SILVA, 2011). Nesses genótipos homozigóticos não é possível identificar as causas da correlação genética, que podem ser atribuídas aos efeitos pleiotrópicos dos genes ou à ligação fatorial. São escassas informações sobre estimativas obtidas em gerações segregantes, em que a dominância e a ligação gênica podem afetar a correlação (SANTOS; VENCOVSKY, 1986a).

Dessa forma, de acordo com a magnitude das estimativas de correlação obtidas nos genitores e nas populações ao longo das gerações de endogamia, pode-se definir uma estratégia mais eficiente para o melhoramento do feijoeiro visando à arquitetura de planta e à produtividade de grãos.

Na condução de um programa de melhoramento por hibridação em plantas autóгамas, a escolha dos genitores, a obtenção das populações segregantes, a condução das mesmas à homozigose e as estratégias de seleção, visando à extração de potenciais linhagens, são as etapas cruciais que definem o sucesso do programa. Embora muitas populações sejam obtidas e avaliadas anualmente pelos melhoristas, nem todas possuem potencial produtivo suficiente para que genótipos com

desempenho superior sejam selecionados e recomendados como cultivares. Assim, o conhecimento prévio do comportamento das populações pode aumentar a eficiência dos programas de melhoramento.

Várias metodologias foram desenvolvidas com o objetivo de auxiliar os melhoristas na escolha dos genitores e, ou, das populações segregantes. Nesse sentido, os cruzamentos dialélicos são frequentemente utilizados. No feijoeiro, além do dialelo, também tem sido utilizadas as estimativas dos parâmetros $m+a'$ e d (VENCOVSKY, 1987) e o método proposto por Jinks e Pooni (1976). Vários estudos já foram realizados demonstrando a eficiência dessas metodologias (OLIVEIRA *et al.*, 1996; OTUBO *et al.*, 1996; ABREU *et al.*, 2002; CARNEIRO *et al.*, 2002). Contudo, não há informações sobre o efeito de ambientes na predição do potencial genético das populações de feijoeiro, quando se utilizam essas metodologias, pois, de modo geral as populações são avaliadas em uma única geração.

A escolha das populações mais promissoras baseia-se, principalmente, na produtividade de grãos. Entretanto, outros caracteres agronômicos devem ser levados em consideração. Um destes e de grande importância é a arquitetura ereta das plantas. Uma melhor arquitetura facilita os tratos culturais e possibilita a colheita mecânica. Por isso, tem recebido grande atenção dos melhoristas (COLLICCHIO *et al.*, 1997; CUNHA *et al.*, 2005; MENEZES JÚNIOR *et al.*, 2008). Porém, o efeito de ambientes, aliado à avaliação visual da arquitetura de planta por meio de notas atribuídas em campo, pode dificultar a escolha de populações com plantas eretas. Acquaah *et al.* (1991), Moura (2011) e Silva (2011) relatam a eficácia do diâmetro do hipocótilo na definição da arquitetura do feijoeiro. Assim, esta característica apresenta potencial para ser utilizada na identificação de populações de melhor porte.

Diante do exposto, os objetivos deste trabalho foram determinar as causas das associações entre caracteres relacionados à arquitetura de planta e à produtividade de grãos e suas implicações no melhoramento do feijoeiro; verificar o efeito de ambientes na predição do potencial genético de populações de feijoeiro para diâmetro do hipocótilo e produtividade de grãos, pelo método de Jinks e Pooni; e averiguar a consistência da predição do potencial dessas populações nas safras de inverno e seca pelas metodologias de Jinks e Pooni e $m+a'$ e d .

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Correlações entre alguns caracteres de importância no feijoeiro

O conhecimento da associação entre caracteres é de grande importância nos trabalhos de melhoramento, principalmente se a seleção em um deles apresenta dificuldades, em razão da baixa herdabilidade e, ou, tenha problemas de avaliação e medição (CRUZ *et al.*, 2004). Estudos dessa natureza podem revelar a existência de correlações favoráveis entre o caráter desejado e caracteres secundários, mais acurados e fáceis de serem avaliados (SANTOS; VENCOVSKY, 1986a, CARVALHO *et al.*, 2004).

As correlações entre os caracteres de interesse para o melhoramento são avaliadas por meio de correlações fenotípicas, genéticas e ambientais. A correlação fenotípica pode ser obtida diretamente de medidas ou avaliações de dois caracteres em certo número de indivíduos da população. Esta correlação apresenta causas genéticas e ambientais, porém somente as genéticas são herdáveis, podendo, assim, ser utilizada na orientação de programas de melhoramento. As causas da correlação genética podem ser atribuídas aos efeitos pleiotrópicos dos genes ou à ligação fatorial. No caso da ligação fatorial, a correlação genética é temporária e manifesta-se especialmente nas primeiras gerações de populações obtidas do cruzamento de genitores geneticamente divergentes (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992). A correlação genética em virtude da ligação gênica será maior quanto mais próximos estiverem os genes no cromossomo, aumentando a possibilidade de permanecerem

juntos mesmo após a autofecundação, mantendo-se assim a correlação entre eles (RAMALHO *et al.*, 1993; FALCONER; MACKAY, 1996).

O ambiente torna-se causa de correlações quando dois caracteres são influenciados pelas mesmas variações nas condições ambientais. Valores negativos desta correlação indicam que o ambiente favorece um caráter em detrimento do outro, e valores positivos indicam que os dois caracteres são beneficiados ou prejudicados pelas mesmas causas de variações ambientais (CRUZ *et al.*, 2004). Geralmente as correlações genéticas e ambientais apresentam o mesmo sinal; entretanto, nos casos em que isso não ocorre, Falconer e Mackay (1996) citam que essa diferença de sinal pode ser atribuída às causas de variação herdável e de ambiente que afetam dois caracteres através de diferentes mecanismos fisiológicos. Eventualmente, os sinais dos coeficientes de correlação fenotípica e genotípica podem ser diferentes, sendo este fato, em geral, em virtude de erros de amostragem.

A maioria dos programas de melhoramento do feijoeiro tem como objetivo a obtenção de plantas de arquitetura ereta, com grãos comerciais e elevada produtividade. Assim, estudos sobre a associação entre caracteres que envolvam a produtividade de grãos e a arquitetura de planta do feijoeiro são de grande importância e podem facilitar a identificação de genótipos desejáveis, visto que a seleção indireta, por meio de caracteres secundários, muitas vezes é mais efetiva.

O tamanho dos grãos é uma característica importante em relação à aceitação comercial de uma nova cultivar e tem sido associado à arquitetura da planta. Tem sido constatado que as cultivares de porte mais ereto, normalmente, possuem grãos menores (KELLY; ADAMS, 1987). Porém, estudos mais recentes mostram ser possível a obtenção de plantas eretas com qualquer tamanho de sementes. Brothers e Kelly (1993) e Collicchio *et al.* (1997), por exemplo, constataram que não existe associação entre nota de porte e massa de 100 sementes, sugerindo que a ligação entre esses caracteres não é completa. As cultivares BRS Horizonte e BRS Estilo, recomendadas recentemente, também confirmam a possibilidade de obter plantas de arquitetura ereta com sementes de tamanho comercial.

Outro caráter importante no feijoeiro, sobretudo em cultivares de porte ereto é o *stay green*, que é a senescência tardia do caule e das folhas em relação às vagens. Segundo Aguiar *et al.* (2000), que avaliaram plantas individuais e famílias resultantes do cruzamento de duas cultivares contrastantes para *stay green*, as correlações entre *stay green* e produtividade de grãos foram de pequena magnitude.

Alves *et al.* (2001) e Dawo *et al.* (2007) afirmaram que há correlação negativa entre produtividade e porte ereto. Entretanto, nesses trabalhos foram utilizadas cultivares de diferentes origens e grupos genéticos, sendo impossível isolar os efeitos do potencial produtivo das linhagens dos efeitos relativos à morfologia das plantas. Dessa forma, Silva *et al.* (2009) avaliaram se progênies de feijoeiro de porte ereto e prostrado de um mesmo grupo gênico apresentam o mesmo potencial produtivo. Foi verificado que as estimativas de correlação entre o porte e a produtividade de grãos foram, na maioria dos casos, não significativas. Os autores concluíram que é possível identificar progênies mais produtivas e com melhor nota de porte ao mesmo tempo. Mendes *et al.* (2009) também constataram ser possível a seleção de populações segregantes superiores, considerando-se simultaneamente a produtividade de grãos e as notas de porte e de acamamento por meio de um índice de seleção.

Os componentes primários da produtividade de grãos por planta do feijoeiro são número de vagens por planta, número de grãos por vagem e peso de grãos. Segundo Ramalho *et al.* (1993), as estimativas de correlação entre esses caracteres, relacionados na literatura, variam amplamente. Em alguns trabalhos tem-se verificado que o número de vagens por planta é o caráter que mais contribui para o rendimento de grãos do feijoeiro, uma vez que apresenta as maiores correlações com a produção de grãos (PETERNELLI *et al.*, 1994; COELHO *et al.*, 2002; FURTADO *et al.*, 2002).

Com o objetivo de analisar a associação entre alguns caracteres do feijoeiro avaliados em condições de baixa temperatura, Ferrão *et al.* (2001) avaliaram sete genitores e 12 combinações híbridas nas gerações F₁, F₂ e F₃ provenientes de um dialelo parcial. As estimativas de correlação genotípica entre produtividade de grãos e massa de 100 sementes foram positivas e consistentes nas três gerações, demonstrando ser uma associação determinada predominantemente por genes de efeitos pleiotrópicos. Os autores também observaram que a correlação entre o número de vagens por planta e a produtividade de grãos foi positiva na geração F₂ em condições de temperaturas mais amenas e negativa em condições mais frias. Adams (1967) relata ser comum a ocorrência de correlações negativas entre os componentes primários de produção, principalmente em condições de estresse ambiental, as quais podem ou não permitir a máxima expressão dos genes que controlam estes componentes.

Silva (2011) avaliou a geração F_1 de 48 populações de feijão e seus 14 genitores para caracteres relacionados à arquitetura da planta. Foi constatado que o diâmetro do hipocótilo e a altura média de planta apresentaram as estimativas de correlação genotípica mais elevadas e significativas (aproximadamente 0,80) com a nota de arquitetura. Também foi observada predominância de efeitos aditivos para nota de arquitetura e diâmetro do hipocótilo, com a vantagem deste apresentar maior acurácia e precisão em sua avaliação do que as notas de arquitetura. Na avaliação de 36 linhagens de feijoeiro para identificar indicadores efetivos da arquitetura de plantas, Moura (2011) concluiu que os caracteres diâmetro do hipocótilo, ângulo de inserção dos ramos e altura média de planta na colheita são os principais determinantes da arquitetura, com destaque para o diâmetro do hipocótilo que apresentou elevada acurácia e precisão em sua avaliação.

Diante dessas informações e dependendo da magnitude das estimativas de correlação obtidas para os mais diversos caracteres relacionados com a produtividade de grãos e arquitetura de planta em um programa de melhoramento do feijoeiro, pode-se definir uma estratégia mais eficiente para a obtenção de cultivares mais produtivas e de arquitetura ereta.

2.2. Metodologias utilizadas na escolha de populações segregantes

Nos programas de melhoramento de espécies autógamas, como o feijoeiro, a seleção é normalmente realizada em populações endogâmicas, obtidas por meio de hibridação artificial seguida de alguns ciclos de autofecundação. Uma decisão importante, da qual depende o sucesso da seleção, é a escolha das populações segregantes mais promissoras, com potencial para produzir progênies superiores.

O conhecimento prévio do potencial das populações segregantes pode levar a uma significativa redução de custos e tempo, uma vez que os materiais com combinações gênicas desfavoráveis seriam precocemente descartados. Além disso, os melhoristas poderiam concentrar esforços apenas em populações promissoras, visando à seleção de plantas ou famílias que contenham as combinações gênicas desejáveis.

Na escolha de uma população segregante ideal, além das médias adequadas para o caráter sob seleção, a variabilidade existente é fundamental, pois a população segregante obtida pode expressar pequena variabilidade genética, em função dos

genitores cruzados apresentarem constituições genéticas semelhantes para o caráter em apreço (RAMALHO *et al.*, 1993). Em algumas situações não é possível conciliar esses dois parâmetros, sendo que médias altas podem coincidir com variâncias genéticas baixas (SANTOS *et al.*, 2001).

A variância genética constitui-se no principal parâmetro para diferenciar as populações, quando estas apresentam médias semelhantes. Assim, os métodos preditivos devem identificar populações com maior variância genética. À medida que as médias entre populações vão se diferenciando, a variância genética tem a importância diminuída e a média passa a ser mais importante na determinação do potencial das populações (BARROSO; HOFFMANN, 2003).

Várias metodologias foram desenvolvidas com o objetivo de auxiliar os melhoristas na escolha das populações segregantes. Algumas dessas metodologias se baseiam apenas em informações dos genitores, como o desempenho médio, o coeficiente de parentesco e a diversidade genética, enquanto outras utilizam o comportamento das progênes oriundas dos cruzamentos, como a análise dialélica, o método proposto por Jinks e Pooni (1976) e as estimativas de $m+a'$ e d (VENCOVSKY, 1987).

A metodologia de Jinks e Pooni (1976) permite prever o potencial de uma dada população em gerar linhagens superiores a um determinado padrão de referência na geração F_{∞} , utilizando, para isso, estimativas de média e variância nas gerações iniciais. Dessa forma, essa metodologia torna possível o descarte de populações segregantes menos promissoras, logo no início do programa. Na maioria dos casos, tem sido utilizado como padrão de referência os próprios genitores, uma linhagem de desempenho conhecido ou cultivar adaptada à região de interesse do melhorista, sem qualquer alteração do método (POONI; JINKS, 1978).

Essa metodologia baseia-se no fato de que, para características quantitativas, controladas por no mínimo seis genes, os valores médios fenotípicos das linhagens F_{∞} extraídas sem seleção de um cruzamento entre duas linhagens homozigóticas, seguem uma distribuição normal. Assim, usando as propriedades dessa distribuição é possível estimar a probabilidade de ocorrência de linhagens com valor médio fenotípico que supere um determinado padrão.

Para a aplicação da metodologia de Jinks e Pooni (1976) considera-se que a média da geração F_2 , F_3 ou qualquer outra geração é igual à média da geração F_{∞} , e que a variância genética dessa geração contém duas vezes a variância genética

aditiva presente na F_2 , cabendo ressaltar que esta pressuposição é válida quando não se observa a ocorrência de efeitos de dominância na determinação do caráter de interesse. Como estimativa da variância ambiental pode ser usada a média das variâncias observadas nas cultivares utilizadas como testemunhas ou o método proposto por Melo *et al.* (1997), que estima a variância ambiental de cada população segregante a partir da média dos coeficientes de variação ambiental das testemunhas. Vale salientar que, para a estimativa da variância fenotípica das gerações F_2 , F_3 ou qualquer outra geração, há a necessidade de avaliação de plantas individuais.

A utilização de plantas individuais como unidade básica de avaliação constitui-se na grande limitação da metodologia proposta por Jinks e Pooni (1976). Normalmente, pode haver ocorrência de erros associados às estimativas da variância genética (VELLO; VENCOSKY, 1974), principalmente para variância no âmbito de indivíduo. Entretanto, é necessário que o melhorista considere essas estimativas, pois elas podem contribuir para maior eficiência do processo de seleção (OLIVEIRA *et al.*, 1996; MENDONÇA *et al.*, 2002).

No feijoeiro, Otubo *et al.* (1996) empregaram a metodologia de Jinks e Pooni (1976) para avaliar o índice de velocidade de germinação, utilizando a geração F_2 . Essa metodologia mostrou-se como uma boa alternativa na escolha de genitores, complementando as informações fornecidas pelos cruzamentos dialélicos. Abreu *et al.* (2002) avaliaram quatro populações segregantes de feijão nas gerações F_1 e F_2 quanto à produtividade de grãos, obtendo estimativas dos componentes de média e de variância. Observaram boa concordância da porcentagem de linhagens superiores a um determinado padrão, na geração $F_{5;7}$ e a probabilidade estimada pela metodologia proposta por Jinks e Pooni (1976), evidenciando o potencial deste método na predição precoce de populações segregantes de feijão. Os resultados também foram coerentes com as estimativas da capacidade específica de combinação e com as estimativas de $m+a'$, preditas para estas mesmas populações.

Ainda no feijoeiro, Carneiro *et al.* (2002) obtiveram estimativas de probabilidade pela metodologia de Jinks e Pooni (1976), na geração F_2 , coerentes com as estimativas dos componentes $m+a'$ e d , obtidos na avaliação simultânea das gerações F_2 e F_3 , e a avaliação das famílias $F_{2;4}$, $F_{2;5}$ e $F_{2;6}$ em dois locais no Estado de Minas Gerais. Entretanto, Mendonça *et al.* (2002) não encontraram resultados similares quando, utilizando a porcentagem de linhas superiores à cultivar Pérola, compararam a probabilidade estimada em populações F_2 com a porcentagem de

famílias derivadas dessas populações e concluíram que a metodologia não foi eficiente para avaliar o potencial das populações para a extração de linhagens superiores.

Santos *et al.* (2001) avaliaram 23 populações segregantes de arroz, em dois locais em Minas Gerais, em três épocas de semeadura. Os autores observaram alta correlação entre a probabilidade de extração de linhagens superiores e a média de rendimento de grãos das populações, o que constitui vantagem para seleção de populações na cultura do arroz, uma vez que a análise individual de plantas é dificultada pelo intenso perfilhamento. Já a variância genética de cada população correlacionou-se negativamente com a média geral das populações, dificultando a seleção que busca conciliar elevada variância genética com média alta. Também foi constatado que as melhores famílias foram originadas das melhores populações segregantes indicadas pela metodologia de Jinks e Pooni (1976), comprovando a eficiência da seleção precoce por este método (SANTOS *et al.*, 2002).

Em algodão, Machado *et al.* (2009) também verificaram que as populações selecionadas utilizando a metodologia de Jinks e Pooni (1976), originaram as famílias com maiores médias de produtividade. Diferente dos resultados encontrados por Santos *et al.* (2001), nesse trabalho a variância genética mostrou-se como boa preditora do potencial genético das populações, assim como a herdabilidade.

Em soja, a metodologia de Jinks e Pooni (1976) foi aplicada por Triller e Toledo (1996). Os autores verificaram que a predição do potencial genético de cruzamentos para a extração de linhas puras transgressivas por meio da média e variância dos pais e da geração F_3 foi de alta eficiência, independentemente da herdabilidade e da complexidade do controle genético do caráter. Todavia, na presença de interação entre genótipos e ambientes, os autores recomendam a utilização de mais de uma cultivar como padrão e avaliação em mais de um ambiente para aumentar a precisão das estimativas. Ribeiro *et al.* (2009) avaliaram o método de Jinks e Pooni (1976) e outras estratégias para selecionar as combinações parentais mais promissoras e obter linhas com bom grau de resistência à ferrugem-asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*). Os dados obtidos indicaram que os anos e as épocas de avaliação não influenciaram significativamente as estimativas dos parâmetros genéticos obtidos. Todos os procedimentos utilizados na seleção de populações mais promissoras para geração de linhagens superiores quanto à resistência a *P. pachyrhizi* apresentaram resultados similares.

Pimentel (2010) constatou que a aplicação da metodologia de Jinks e Pooni (1976) em trigo, a partir de estimativas obtidas em plantas espaçadas, apresenta limitação de ordem prática, uma vez que a semeadura deve ser realizada em menores densidades resultando na condução de experimentos específicos para estes fins. E na densidade de semeadura recomendada não é possível a individualização de plantas.

Outro procedimento que pode ser utilizado na escolha de populações segregantes é a estimativa de $m+a'$ e d (VENCOVSKY, 1987), em que $m+a'$ corresponde ao desempenho esperado das linhagens na geração F_{∞} e d representa a divergência entre estas linhagens. Neste caso, uma população com maior estimativa de $m+a'$ possui, em relação à outra, maior frequência de locos com os alelos favoráveis em homozigose e quanto maior for a estimativa de d , maior a frequência de locos em heterozigose e, por conseguinte, maior a liberação de variabilidade entre as linhagens. Para aplicação dessa metodologia basta avaliar as populações segregantes em duas gerações, simultaneamente, podendo ser, por exemplo, F_1 e F_2 ou F_2 e F_3 . Quanto mais precoces forem as gerações avaliadas, mais cedo poderão ser descartadas as combinações inferiores (RAMALHO *et al.*, 1993).

Essa metodologia baseia-se no fato de que a média da geração F_1 , de uma população i , proveniente de um cruzamento simples, é $m+a'+d$. Para $\bar{F}_{2_i}$ tem-se $m+a'+\frac{1}{2}d$ e $\bar{F}_{3_i}$, $m+a'+\frac{1}{4}d$. Assim, $m+a'$ pode ser estimado pela expressão $2\bar{F}_{2_i} - \bar{F}_{1_i}$ ou $2\bar{F}_{3_i} - \bar{F}_{2_i}$. O contraste $4(\bar{F}_{2_i} - \bar{F}_{3_i})$ é o estimador de d , considerando as gerações F_2 e F_3 . Dessa forma, uma população será boa fonte de linhagens, se apresentar elevada estimativa de $m+a'$, associada à elevada estimativa de d .

Oliveira *et al.* (1996) avaliaram populações segregantes de feijão nas gerações F_2 e F_3 visando comparar metodologias de escolha de parentais. Os autores constataram que houve coerência nos resultados obtidos pela análise dialélica e pela estimativa do parâmetro $m+a'$ das populações. Entretanto, salientam que os locos que estão segregando, isto é, aqueles em que um genitor complementa o outro, não são detectados pela estimativa de $m+a'$, sendo necessário associar esta estimativa com a variância genética dentro da população.

Abreu *et al.* (2002) avaliaram alternativas de escolha de genitores e predição do potencial genético de populações segregantes do feijoeiro. Foi verificado que a estimativa de $m+a'$ apresentou correlação positiva e elevada com a média das famílias na geração $F_{5;7}$, confirmando a eficiência dessa estimativa na predição da

média das linhagens em gerações mais avançadas. A correlação entre a estimativa de d e a herdabilidade das famílias $F_{5:7}$ também foi elevada e positiva, indicando que d foi um bom preditor da variância entre as famílias na geração F_{∞} . As estimativas de $m+a'$ e d também já foram utilizadas em outras oportunidades na avaliação do potencial de populações de feijoeiro visando à extração de linhagens (CARNEIRO *et al.*, 2002; MENDONÇA *et al.*, 2002).

Em milho, Bison *et al.* (2003) utilizaram a estimativa de $m+a'$ e a metodologia proposta por Jinks e Pooni (1976) para avaliar o potencial de populações derivadas de dois híbridos simples para extração de linhagens superiores. Foi verificado que ambas as populações apresentaram praticamente a mesma estimativa de $m+a'$, ou seja, a média das n linhagens na geração F_{∞} deve ser semelhante. Já a metodologia de Jinks e Pooni (1976) mostrou-se mais informativa para a escolha de populações. Contudo, os autores alertam que, quando possível, as duas metodologias podem ser utilizadas simultaneamente para auxiliar na decisão dos melhoristas.

Também em milho, Lima *et al.* (2000) constataram uma alta correlação ($r = 0,81$) entre a estimativa de $m+a'$ e a média de famílias $S_{0:1}$ de cada população, indicando que $m+a'$ representa adequadamente a média das famílias $S_{0:1}$. A correlação entre as estimativas de d e a herdabilidade foi baixa, indicando que a estimativa da contribuição dos locos em heterozigose não se caracterizou como bom preditor da variabilidade potencial da população. Viana *et al.* (2009), ao utilizarem gerações F_1 e F_2 de híbridos simples de milho, verificaram que as correlações entre o desempenho da geração F_1 e $m+a'$ e F_1 e d foram não significativas e concluíram que o desempenho do híbrido *per se* não é um bom parâmetro para a escolha de populações visando à extração de linhagens.

Na avaliação de diferentes estratégias de seleção de populações de soja para resistência à ferrugem-asiática, Ribeiro *et al.* (2009) enfatizaram a necessidade de identificar populações que apresentem as melhores médias associadas à maior variabilidade possível. Dessa forma, a obtenção de estimativas de $m+a'$ adequadas, associadas às estimativas de herdabilidade restrita elevadas, permitem a identificação de populações com maiores probabilidades de originarem linhagens promissoras. Entre dez populações avaliadas foi possível identificar uma que atendesse esses parâmetros.

2.3. Melhoramento do feijoeiro para produtividade de grãos e arquitetura de planta

As informações quanto à determinação do controle genético da produtividade de grãos do feijoeiro têm sido discordantes. Segundo Rodrigues *et al.* (1998) e Gonçalves-Vidigal *et al.* (2008), há predominância de efeitos de dominância para este caráter. Silva (2011) também constatou maior contribuição dos efeitos de dominância na determinação da produtividade de grãos do feijoeiro e sugeriu que a seleção seja realizada em gerações avançadas, em virtude da redução dos desvios de dominância. Já Santos *et al.* (1985) e Kurek *et al.* (2001) demonstraram que o controle genético da produção de grãos e seus componentes primários (número de vagens por planta, número de sementes por vagem e peso de sementes) sofrem ação gênica predominantemente aditiva em relação à dominância. Moreto *et al.* (2007) também constataram predomínio de efeitos aditivos no controle genético da produtividade de grãos.

Quando se avalia a correlação entre a produção de grãos e seus componentes primários, o número de vagens por planta é o componente com maior participação na produção de grãos, visto que as correlações entre estes caracteres geralmente são altas e positivas (PETERNELLI *et al.*, 1994; COELHO *et al.*, 2002; FURTADO *et al.*, 2002). Entretanto, a competição entre os componentes primários de produção pode limitar o progresso a ser obtido na seleção direcionada apenas pelo número de vagens.

A seleção em gerações iniciais para produtividade de grãos tem sido de baixa eficiência quando é realizada com base na seleção visual (SILVA *et al.*, 1994; CUTRIM *et al.*, 1997). No trabalho realizado por Silva *et al.* (1994) foi possível identificar pela seleção visual apenas 7,8% e 18,4% das famílias com melhor desempenho de dois cruzamentos em feijoeiro. Dessa forma, os melhoristas devem dar maior atenção às avaliações nos experimentos com repetições e utilizar a seleção visual em outros caracteres de maior herdabilidade, como aspecto de grãos e resistência a doenças.

A arquitetura da planta é outro caráter que tem recebido grande atenção nos programas de melhoramento do feijoeiro (MENDES *et al.*, 2009, SILVA *et al.*, 2009, ROCHA *et al.*, 2012). Uma melhor arquitetura apresenta muitas vantagens, entre elas: menor acamamento, facilitando os tratos culturais; obtenção de grãos de melhor

qualidade, pois reduz o contato das vagens com o solo; possibilidade de colheita mecanizada; e redução da incidência de algumas doenças, principalmente o mofo-branco.

A arquitetura do feijoeiro é determinada por vários caracteres morfológicos que contribuem para que a planta seja ereta ou prostrada. Alguns destes caracteres são: hábito de crescimento (determinado ou indeterminado); altura da planta; diâmetro e comprimento de entrenós na haste principal; altura de inserção da primeira vagem; número de ramos; diâmetro e comprimento do hypocótilo; ângulo de ramificações; e distribuição de vagens na planta (TEIXEIRA *et al.*, 1999). De acordo com Teixeira *et al.* (1999), que avaliaram alguns desses caracteres em plantas individuais, o comprimento de entrenós foi o que explicou a maior parte da variação na arquitetura da planta, sendo predominante o efeito gênico aditivo para esse caráter. A predominância do efeito aditivo também foi observada para altura da planta e comprimento da haste principal (NIENHUIS; SINGH, 1986; SANTOS; VENCOVSKY, 1986b); número de ramificações (NIENHUIS; SINGH, 1986); e notas de arquitetura de planta e diâmetro do hypocótilo (SILVA, 2011).

Fatores ambientais exercem grande influência na expressão da arquitetura da planta de feijão, o que tem dificultado a seleção de plantas com porte ereto e menor acamamento. Collicchio *et al.* (1997), avaliando progênies de feijoeiro em diferentes safras, verificaram que nas safras de inverno e da seca as plantas apresentaram arquitetura mais ereta em relação à safra das águas. Isto é esperado, pois o feijoeiro apresenta maior desenvolvimento vegetativo nessa safra. Além disso, plantas de parcelas vizinhas, quando mais prostradas, formam um emaranhado, dificultando, inclusive, a circulação do avaliador (MENDES, 2009).

Em virtude das notas de arquitetura de planta, atribuídas em campo, estarem associadas às condições ambientais que podem dificultar a escolha de genótipos de arquitetura favorável, a utilização de outra característica que possibilite a identificação de plantas de melhor arquitetura torna-se importante. O diâmetro do hypocótilo, que é facilmente mensurável nas plantas com o uso de um paquímetro digital, poderia ser utilizado na seleção das populações de melhor arquitetura, com a vantagem de apresentar maior precisão que as notas de porte e acamamento. Há evidências de que plantas com maior diâmetro do hypocótilo sejam mais eretas (ACQUAAH *et al.*, 1991, 1992; MOURA, 2011; SILVA, 2011).

Por sua vez, a escolha de populações de feijão com maior diâmetro do hipocótilo poderia ser realizada pelo método de Jinks e Pooni (1976) ou pelas estimativas de $m+a'$ e d (VENCOVSKY, 1987). Contudo, não foram encontrados estudos que avaliem a eficiência dessas metodologias como estratégias de escolha de populações segregantes para o diâmetro do hipocótilo.

2.4. Interação genótipos por ambientes

Nos programas de melhoramento do feijoeiro os genótipos normalmente são avaliados em diferentes ambientes, sendo estes representados por anos, locais, safras ou gerações. Na presença de dois ou mais ambientes tem-se, além dos efeitos genéticos e ambientais, um efeito proporcionado pela interação dos mesmos (CRUZ *et al.*, 2004). Segundo Robertson (1959), essa interação genótipos por ambientes pode ser classificada em simples e complexa.

A interação simples é proporcionada pela diferença de variabilidade entre genótipos, de forma que a posição relativa dos genótipos não é alterada de ambiente para ambiente. Já a interação complexa ocorre pela falta de correlação entre medidas de um mesmo genótipo em ambientes distintos, indicando haver inconsistência na superioridade de genótipos com a variação ambiental. Somente quando ocorre interação complexa, haverá dificuldade no melhoramento (CRUZ *et al.*, 2004). Nos experimentos de avaliação de cultivares ou progênies de feijoeiro, conduzidos em mais de um local e na presença de interação, a contribuição relativa da parte simples ou complexa é variável, mas a parte da interação complexa é expressiva em várias situações (ROSAL *et al.*, 2000; MELO *et al.*, 2007; PEREIRA *et al.*, 2011).

A ocorrência de interação genótipos x ambientes tanto para notas de arquitetura (MORETO *et al.*, 2007; MENDES *et al.*, 2009, ROCHA *et al.*, 2012) como produtividade de grãos tem sido comum em trabalhos realizados com a cultura do feijoeiro. Carneiro (2002), por exemplo, observou comportamento inconsistente no desempenho médio de famílias avaliadas em diferentes safras. Segundo o autor, a ocorrência de diferentes patógenos nas safras, aliada à divergência das famílias quanto à sua reação, teria sido a principal causa da interação. Ramalho *et al.* (1998) estudaram a importância de alguns fatores da interação genótipos x ambientes para produtividade de grãos e constataram que as interações mais expressivas, nas safras da seca e inverno em Minas Gerais, foram genótipos x safras e genótipos x anos,

mostrando que a avaliação dos genótipos em vários anos e diferentes safras é mais importante que a avaliação em vários locais.

Pereira *et al.* (2011), em avaliações realizadas em Goiás e Distrito Federal, também verificaram que a interação genótipos x safras apresentou maior importância quando comparada às outras interações duplas com genótipos. Já nos estados do Paraná e Santa Catarina, Pereira *et al.* (2010) apontaram a interação genótipos x safras como a de menor importância. Ribeiro *et al.* (2003) observaram a ocorrência de interação significativa para genótipos x anos, o que alterou a classificação relativa dos genótipos de feijão em cada ano avaliado no Rio Grande do Sul. Para o diâmetro do hipocótilo não foram encontradas informações na literatura sobre a ocorrência de interação genótipos por ambientes. Diante dessas informações e considerando que os melhoristas geralmente avaliam suas populações em um único local, sugere-se que os genótipos sejam avaliados, pelo menos, nas safras representativas da região de cultivo e em alguns anos para obtenção de estimativas mais precisas e úteis.

Na cultura da soja, sob presença de interação genótipos por ambientes, Triller e Toledo (1996) testaram a metodologia de Jinks e Pooni (1976) para a produtividade de grãos. Constataram que o uso de mais de uma cultivar como padrão e, principalmente, de dados de dois ambientes foi útil para aumentar a precisão das estimativas. Contudo, não foram encontradas informações sobre o efeito de ambientes na predição do potencial de populações de feijoeiro pela metodologia de Jinks e Pooni (1976).

Quando se utilizam metodologias de escolha de populações segregantes, que levam em consideração tanto as médias como as variâncias, a exemplo do método de Jinks e Pooni (1976), pode-se, mesmo na ausência da interação genótipos x ambientes, ocorrer um efeito de ambientes sobre as estimativas de variância, o que acarreta alteração na classificação dos genótipos. Jinks e Pooni (1980), ao avaliarem altura de planta e dias para florescimento em tabaco, ressaltaram a importância da obtenção de estimativas de variâncias livre de efeitos de interação, visto que para um desses caracteres a interação com o ambiente proporcionou desvio nas predições.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. F. B.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. Prediction of seed-yield potential of common bean populations. *Genetics and Molecular Biology*, Ribeirão Preto, v. 25, n. 3, p. 323-327, 2002.

ACQUAAH, G.; ADAMS, M. W.; KELLY, J. D. A factor analysis of plant variables associated with architecture and seed in dry bean. *Euphytica*, Wageningen, v. 60, n. 1, p. 171-177, 1992.

ACQUAAH, G.; ADAMS, M. W.; KELLY, J. D. Identification of effective indicators of erect plant architecture in dry bean. *Crop Science*, Madison, v. 31, n. 2, p. 261-264, 1991.

ADAMS, M. W. Basis of yield component compensation in crop plants with special reference to the field bean, *Phaseolus vulgaris*. *Crop Science*, Madison, v. 7, n. 5, p. 505-510, 1967.

AGUIAR, A. M.; RAMALHO, M. A. P.; MARQUES JÚNIOR, O. G. Controle genético do *stay green* no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Ceres*, Viçosa, v. 47, n. 270, p. 155-167, 2000.

ALVES, G. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Desempenho de cultivares antigas e modernas de feijão avaliadas em diferentes condições ambientais. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 25, n. 4, p. 863-870, 2001.

BARROSO, P. A. V.; HOFFMANN, L. *Métodos de predição do comportamento de populações em melhoramento*. Campina Grande, 2003. 38 p. (Embrapa Algodão – Documentos, 108).

BISON, O.; RAMALHO, M. A. P.; RAPOSO, F. V. Potencial de híbridos simples de milho para extração de linhagens. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 27, n. 2, p. 348-355, 2003.

BROTHERS, M. E.; KELLY, J. D. Interrelationship of plant architecture and yield components in the pinto bean ideotype. *Crop Science*, Madison, v. 33, n. 6, p. 1234-1238, 1993.

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

CARNEIRO, J. E. S.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; GONÇALVES, F. M. A. Breeding potential of single, double and multiple crosses in common bean. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 2, n. 4, p. 515-524, 2002.

CARVALHO, F. I. F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G. *Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal*. Pelotas: UFPel, 2004. 142 p.

COELHO, A. D. F.; CARDOSO, A. A.; CRUZ, C. D.; ARAÚJO, G. A. A.; FURTADO, M. R.; AMARAL, C. L. F. Herdabilidades e correlações da produção do feijão e dos seus componentes primários, nas épocas de cultivo da primavera-verão e do verão-outono. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 32, n. 2, p. 211-216, 2002.

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*, Brasília, v. 32, n. 3, p. 297-304, 1997.

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

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

CUTRIM, V. A.; RAMALHO, M. A. P.; CARVALHO, A. M. Eficiência da seleção visual na produtividade de grãos de arroz (*Oriza sativa* L.) irrigado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 32, n. 6, p. 601-606, 1997.

DAWO, M. I.; SANDERS, F. E.; PILBEAM, D. J. Yield, yield components and plant architecture in the F3 generation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) derived from a cross between the determinate cultivar 'Prelude' and an indeterminate landrace. *Euphytica*, Wageningen, v. 156, p. 77-87, 2007.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. *Introduction to quantitative genetics*. 4. ed. London: Longman, 1996. 463 p.

FERRÃO, M. A. G.; VIEIRA, C.; CRUZ, C. D.; CARDOSO, A. A. Causas genéticas das correlações entre caracteres do feijoeiro avaliados no inverno. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 48, n. 279, p. 573-582, 2001.

FURTADO, M. R.; CRUZ, C. D.; CARDOSO, A. A.; COELHO, A. D. F.; PETERNELLI, L. A. Análise de trilha do rendimento do feijoeiro e seus componentes primários em monocultivo e em consórcio com a cultura do milho. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 32, n. 2, p. 217-220, 2002.

GONÇALVES-VIDIGAL, M. C.; SILVÉRIO, L.; ELIAS, H. T.; VIDIGAL FILHO, P. S.; KVITSCHAL, M. V.; RETUCI, V. S.; SILVA, C. R. Combining ability and heterosis in common bean cultivars. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 43, n. 9, p. 1143-1150, 2008.

JINKS, J. L.; POONI, H. S. Comparing predictions of mean performance and environmental sensitivity of recombinant inbred lines based upon F₃ and triple test cross families. *Heredity*, Edinburgh, v. 45, n. 3, p. 305-312, 1980.

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

KELLY, J. D.; ADAMS, M. W. Phenotypic recurrent selection in ideotype breeding of pinto beans. *Euphytica*, Wageningen, v. 36, n. 1, p. 69-80, 1987.

KUREK, A. J.; CARVALHO, F. I. F.; ASSMANN, I. C.; CRUZ, P. J. Capacidade combinatória como critério de eficiência na seleção de genitores em feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 4, p. 645-651, 2001.

LIMA, M. P.; SOUZA, E. A.; RAMALHO, M. A. P. Procedimento para escolha de populações de milho promissoras para extração de linhagens. *Bragantia*, Campinas, v. 59, n. 2, p. 153-158, 2000.

MACHADO, J. R. A.; PENNA, J. C. V.; MELO, P. G. S.; BERGER, P. G.; JULIATTI, F. C.; SANTOS, C. M. Predição de desempenho de populações segregantes de algodoeiro em gerações precoces. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 7., 2009, Foz do Iguaçu. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2009. p. 1523-1530.

MELO, L. C.; SANTOS, J. B.; RAMALHO, M. A. P. Choice of parents to obtain common bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars tolerant to low temperatures at the adult stage. *Brazilian Journal of Genetics*, Ribeirão Preto, v. 20, n. 2, p. 283-292, 1997.

MELO, L. C.; SANTOS, P. G.; 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*, Brasília, v. 42, n. 5, p. 715-723, 2007.

MENDES, F. F. *Estratégia de seleção de plantas eretas de feijão tipo carioca*. 2009. 92 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2009.

MENDES, F. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Índice de seleção para escolha de populações segregantes de feijoeiro-comum. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1312-1318, 2009.

MENDONÇA, H. A.; SANTOS, J. B.; RAMALHO, M. A. P. Selection of common bean segregating populations using genetic and phenotypic parameters and RAPD markers. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 2, n. 2, p. 219-226, 2002.

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

MORETO, A.; RAMALHO, M. A. P.; NUNES, J. A. R.; ABREU, A. F. B. Estimação dos componentes da variância fenotípica em feijoeiro utilizando o método genealógico. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1035-1042, 2007.

MOURA, M. M. *Potencial de caracteres para avaliação da arquitetura de plantas de feijão*. 2011. 57 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

NIENHUIS, J.; SINGH, S. P. Combining ability analyses and relationships among yield, yield components and architectural traits in dry bean. *Crop Science*, Madison, v. 26, n. 1, p. 21-27, 1986.

OLIVEIRA, L. B.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; FERREIRA, D. F. Alternative procedures for parent choice in a breeding program for the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Brazilian Journal of Genetics*, Ribeirão Preto, v. 19, n. 4, p. 611-615, 1996.

OTUBO, S. T.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B. Genetic control of low temperature tolerance in germination of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Euphytica*, Wageningen, v. 89, n. 3, p. 313-317, 1996.

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.

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*, Brasília, v. 45, n. 6, p. 571-578, 2010.

PETERNELLI, L. A.; CARDOSO, A. A.; CRUZ, C. D.; VIEIRA, C.; FURTADO, M. R. Herdabilidades e correlações do rendimento do feijão e seus componentes primários no monocultivo e no consórcio com o milho. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 41, n. 235, p. 306-316, 1994.

PIMENTEL, A. J. B. *Seleção de genitores e predição do potencial genético de populações segregantes de trigo*. 2010. 34 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

POONI, H. S.; JINKS, J. L. Predicting the properties of recombinant inbred lines derived by single seed descent for two or more characters simultaneously. *Heredity*, Edinburgh, v. 40, n. 3, p. 349-361, 1978.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, P. S. J. Interações genótipos x épocas de semeadura, anos e locais na avaliação de cultivares de feijão nas regiões sul e alto Paranaíba em Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 22, n. 2, p. 176-181, 1998.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. O. *Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro*. Goiânia: UFG, 1993. 271 p.

RIBEIRO, A. S.; TOLEDO, J. F. F.; RAMALHO, M. A. P. Selection strategies of segregant soybean populations for resistance to Asian rust. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 44, n. 11, p. 1452-1459, 2009.

RIBEIRO, N. D.; HOFFMANN JÚNIOR, L.; STROSCHEIN, M. R. D.; POSSEBON, S. B. Genotype x environment interaction in common bean yield and yield components. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 3, n. 1, p. 27-34, 2003.

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

ROCHA, G. S.; PEREIRA, L. P. L.; CARNEIRO, P. C. S.; PAULA JÚNIOR, T. J.; CARNEIRO, J. E. S. Common bean breeding for resistance to anthracnose and angular leaf spot assisted by SCAR molecular markers. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 12, n. 1, p. 34-42, 2012.

RODRIGUES, R.; LEAL, N. R.; PEREIRA, M. G. Análise dialélica de seis características agronômicas em *Phaseolus vulgaris* L. *Bragantia*, Campinas, v. 57, n. 2, p. 241-250, 1998.

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

SANTOS, J. B.; VENCOVSKY, R. Controle genético de alguns componentes do porte da planta em feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 21, n. 9, p. 957-963, 1986b.

SANTOS, J. B.; VENCOVSKY, R. Correlação fenotípica e genética entre alguns caracteres agronômicos do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ciência e Prática*, Lavras, v. 10, n. 3, p. 265-272, 1986a.

SANTOS, J. B.; VENCOVSKY, R.; RAMALHO, M. A. P. Controle genético da produção de grãos e de seus componentes primários em feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 20, n. 10, p. 1203-1211, 1985.

SANTOS, P. G.; SOARES, A. A.; RAMALHO, M. A. P. Performance of upland rice families selected from segregant populations. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 2, n. 2, p. 237-246, 2002.

SANTOS, P. G.; SOARES, A. A.; RAMALHO, M. A. P. Predição do potencial genético de populações segregantes de arroz de terras altas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 4, p. 659-670, 2001.

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*, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1647-1652, 2009.

SILVA, H. D.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; MARTINS, L. A. Efeito da seleção visual para a produtividade de grãos em populações segregantes do feijoeiro. II seleção entre famílias. *Ciência e Prática*, Lavras, v. 18, n. 2, p. 181-185, 1994.

SILVA, V. M. P. *Melhoramento genético do porte do feijoeiro*. 2011. 60 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

TEIXEIRA, F. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Genetic control of plant architecture in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Genetics and Molecular Biology*, Ribeirão Preto, v. 22, n. 4, p. 577-582, 1999.

TRILLER, C.; TOLEDO, J. F. F. Using the F₃ generation for predicting the breeding potential of soybean crosses. *Revista Brasileira de Genética*, Ribeirão Preto, v. 19, n. 2, p. 289-294, 1996.

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

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

VENCOSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. (Ed.). *Melhoramento e produção de milho*. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 137-209.

VIANA, L. F.; SOUZA, J. C.; MACHADO, J. C.; LIMA, J. L. Predição de médias de linhagens obtidas de híbridos simples de milho (*Zea mays* L.). *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 33, p. 1999-2004, 2009. (Edição especial)

CAPÍTULO 1

CAUSAS DE CORRELAÇÃO ENTRE CARACTERES RELACIONADOS À ARQUITETURA DE PLANTA E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E IMPLICAÇÕES NO MELHORAMENTO DO FEIJOEIRO

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi determinar as causas das associações entre caracteres relacionados à arquitetura de planta e à produtividade de grãos e suas implicações no melhoramento do feijoeiro. Na safra de inverno de 2009 foram avaliadas 48 populações nas gerações F₂ e F₃, juntamente com 14 genitores e duas cultivares comerciais, totalizando 112 tratamentos. Na safra da seca de 2010 foi utilizado o mesmo número de tratamentos, com a diferença das populações estarem nas gerações F₃ e F₄. Os caracteres avaliados foram diâmetro do hipocótilo (DH); arquitetura de planta (ARQ); altura média de planta (AMP); massa de 100 grãos (MCG); e produtividade de grãos (PROD). Pelas correlações fenotípicas e genotípicas altas e significativas, observadas entre os caracteres DH, ARQ e AMP, tanto nas linhagens como em suas populações nas diferentes gerações, pode-se afirmar que estas associações são devidas aos genes pleiotrópicos de efeitos aditivos. Já as correlações dos caracteres DH, AMP e ARQ com os caracteres MCG e PROD são devidas aos diferentes genes ligados, uma vez que estas associações foram suplantadas com o avanço das gerações. O DH e a AMP são indicadores efetivos da arquitetura de plantas do feijoeiro. Pelas magnitudes e pelos sinais das correlações obtidas nas populações constata-se que a avaliação de famílias derivadas de gerações

mais avançadas, em experimentos com repetições, é estratégia promissora para o desenvolvimento de linhagens de feijão produtivas, eretas e com grãos de tamanho aceitáveis comercialmente.

ABSTRACT

This work aimed to determine the causes of the associations between the characters related to plant architecture and grain yield and their implications in the common bean plant breeding. In the 2009 winter season, 48 populations in the generations F_2 and F_3 were evaluated, together with 14 parents and two commercial cultivars, totaling 112 treatments. In the 2010 dry season, the same number of treatments was used, but with populations in the generations F_3 and F_4 . The characters evaluated were hypocotyl diameter (HD), plant architecture (ARC), plant mean height (PMH), 100-grain mass (HGM) and grain yield (GY). Based on the high and significant phenotypic and genotypic correlations observed between the characters HD, ARC and PMH, both in the lines and in their populations in the different generations, it can be stated that these associations are due to pleiotropic genes of additive effects. On the other hand, the correlations of the characters HD, PMH and ARC with the characters HGM and GY are due to different linked genes, since these associations were surpassed as the generations advanced. HD and PMH are effective indicators of the architecture of the common bean plants. Based on the magnitudes and signals of the correlations obtained in the populations, it can be confirmed that the evaluation of families derived from more advanced generations, in experiments with repetitions, is a promising strategy for the development of productive, and erect common bean plant lines, with commercially acceptable grain sizes.

1. INTRODUÇÃO

A obtenção de cultivares de feijão que associem alta produtividade de grãos e melhor arquitetura de planta tem sido um dos principais objetivos dos programas de melhoramento dessa espécie no Brasil. Neste sentido, plantas com o porte mais ereto, além de possibilitar a colheita mecanizada facilitam os demais tratos culturais, como adubação em cobertura e aplicação de defensivos. Além dessas vantagens, cultivares eretas de feijão podem reduzir a incidência de doenças, como o mofo-branco, e favorecer a obtenção de grãos de melhor qualidade, principalmente se ocorrerem chuvas prolongadas na colheita.

Atualmente, a arquitetura é avaliada por meio de uma escala de notas atribuídas às plantas na parcela (CUNHA *et al.*, 2005; MENEZES JÚNIOR *et al.*, 2008; MENDES *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2009). Porém, o efeito de ambientes aliado à avaliação visual da arquitetura de planta do feijoeiro pode dificultar a escolha de populações com plantas eretas. Além disso, a atribuição de notas de arquitetura exige avaliadores com grande experiência, principalmente quando se avaliam populações segregantes.

Estudos sobre a associação entre caracteres, que envolvam a produtividade de grãos e a arquitetura de planta do feijoeiro, são de grande importância em programas de melhoramento, que visem suprir a demanda por cultivares mais modernas. Estes estudos podem revelar a existência de correlações favoráveis entre o caráter desejado e os caracteres secundários, mais acurados, precisos e fáceis de medir, levando a progressos genéticos mais rápidos (SANTOS; VENCOVSKY, 1986a; CARVALHO *et al.*, 2004). Neste contexto, destacam-se o diâmetro do hipocótilo e a altura média de planta, como caracteres auxiliares na seleção de plantas eretas (ACQUAAH *et al.*, 1991; MOURA, 2011; SILVA, 2011).

Apesar do grande número de trabalhos envolvendo correlações entre caracteres de importância no melhoramento do feijoeiro, a maioria deles utilizou linhagens ou cultivares (RIBEIRO *et al.*, 2001; FURTADO *et al.*, 2002; MOURA, 2011; SILVA, 2011). Nesses genótipos homozigóticos não é possível identificar as causas da correlação genética, que podem ser atribuídas aos efeitos pleiotrópicos dos genes ou à ligação fatorial. No caso da ligação fatorial, a correlação genética é temporária e manifesta-se especialmente nas primeiras gerações de populações obtidas do cruzamento de genitores geneticamente divergentes (VENCOVSKY;

BARRIGA, 1992). No entanto, são escassas informações sobre estimativas obtidas nas primeiras gerações de populações segregantes, em que os efeitos de dominância também podem contribuir para a correlação (SANTOS; VENCOSKY, 1986a).

Dependendo da magnitude das estimativas de correlação obtidas nos genitores e nas populações ao longo das gerações de endogamia pode-se definir uma estratégia mais eficiente para o melhoramento do feijoeiro visando à seleção para arquitetura de planta e produtividade de grãos. Assim, o objetivo do trabalho foi determinar as causas das associações entre caracteres relacionados à arquitetura de planta e à produtividade de grãos e suas implicações no melhoramento do feijoeiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliadas 48 populações segregantes, provenientes do cruzamento entre 14 genitores, num esquema de dialelo parcial, em que os cruzamentos foram realizados em 2008. O grupo 1 foi composto de três genitores de feijão de grãos pretos, três de grãos carioca e dois mulatinho. Já o grupo 2 foi formado por seis genitores de grãos do tipo carioca, sendo os dois grupos divergentes quanto ao porte e tipo de planta (Tabela 1).

As 48 populações segregantes foram avaliadas nas gerações F_2 e F_3 , juntamente com os 14 genitores e duas cultivares comerciais (Pérola e BRSMG Talismã), totalizando 112 tratamentos, na safra do inverno (semeadura na 1ª quinzena de agosto de 2009). Na safra da seca (semeadura em fevereiro de 2010), estes mesmos tratamentos foram avaliados com as populações nas gerações F_3 e F_4 . O delineamento experimental em ambos os experimentos foi o de blocos casualizados com três repetições, sendo as parcelas constituídas de quatro linhas de 4 m, espaçadas de 0,5 m com 15 sementes por metro.

Os experimentos foram conduzidos na estação experimental de Coimbra, Coimbra, MG (690 m de altitude, 20° 45' S de latitude e 42° 51' W de longitude), pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV). A adubação de plantio constou de 350 kg/ha do formulado 8-28-16 de N, P_2O_5 e K_2O , respectivamente, e aos 25 dias após a emergência das plantas procedeu-se a adubação de cobertura com 30 kg/ha de N. Os demais tratos culturais foram os recomendados para a cultura do feijoeiro na região.

Tabela 1 – Origem e características agronômicas das 14 linhagens de feijão utilizadas nos cruzamentos para obtenção das populações segregantes

Genitor	Origem	Grupo	Tipo de Grão	Tipo de Planta	Porte
BRS Valente	Embrapa	1	preto	II	Ereto
BRS Supremo	Embrapa	1	preto	II	Ereto
IPR Uirapuru	IAPAR	1	preto	II	Ereto
BRS Horizonte	Embrapa	1	carioca	II	Ereto
CNFC 9466	Embrapa	1	carioca	II	Ereto
A805	CIAT	1	carioca	II	Ereto
A170	CIAT	1	mulatinho	II	Ereto
A525	CIAT	1	mulatinho	II	Ereto
BRSMG Majestoso	Convênio*	2	carioca	II/III	Semiprostrado
VC6	UFV	2	carioca	II/III	Semiprostrado
BRSMG Madrepérola	Convênio*	2	carioca	III	Prostrado
L1	UFV	2	carioca	II/III	Semiprostrado
L2	UFV	2	carioca	III	Prostrado
L3	UFV	2	carioca	III	Prostrado

* Convênio UFLA/UFV/Epamig/Embrapa.

Os caracteres avaliados nas linhagens e suas populações foram diâmetro do hipocótilo (DH); arquitetura de planta (ARQ); altura média de planta na parcela (AMP); massa de 100 grãos (MCG); e produtividade de grãos (PROD). A avaliação da arquitetura de planta foi realizada por meio de uma escala de notas de 1 a 5, similar à proposta por Collicchio *et al.* (1997), em que nota 1 refere-se à planta do tipo II, ereta, com uma haste e com inserção alta das primeiras vagens; nota 2, à planta do tipo II, ereta e com algumas ramificações; nota 3, à planta do tipo II ou III, ereta, com muitas ramificações e tendência a prostrar-se; nota 4, à planta do tipo III, semiereta e medianamente prostrada; e nota 5, à planta do tipo III, com entrenós longos e muito prostrada. A AMP, em centímetros, foi medida em quatro pontos aleatórios na parcela, do nível do solo ao ápice da haste principal.

A produtividade de grãos (PROD) foi avaliada, em kg/ha, com base em uma das linhas centrais. As avaliações do DH foram realizadas em 20 plantas retiradas aleatoriamente da outra linha central, ignorando-se 0,5 m de cada extremidade. Utilizou-se um paquímetro digital na mensuração do DH, medido em centímetros.

Procedeu-se a análise de variância individual para cada caráter, considerando os efeitos de tratamentos como fixos, conforme o modelo estatístico:

$$Y_{ij} = m + t_i + b_j + e_{ij},$$

em que Y_{ij} é a observação referente ao tratamento i da repetição j ; m , a média geral; t_i , o efeito do tratamento i ($i = 1, 2, \dots, 112$); b_j , o efeito do bloco j ($j = 1, 2, 3$); e e_{ij} , o erro aleatório associado à observação Y_{ij} , assumindo $e_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

O coeficiente de determinação genotípico (H^2) foi estimado empregando-se a expressão:

$$H^2 = \left[\hat{\phi}_g / (QMT / r) \times 100 \right]$$

em que

$\hat{\phi}_g$ = componente quadrático genotípico;

QMT = quadrado médio de tratamento; e

r = número de repetições.

As correlações fenotípicas (r_f), genotípicas (r_g) e ambientais (r_e) entre os cinco caracteres foram estimadas por geração para populações e por safra para linhagens (genitores acrescidos de duas cultivares comerciais). As estimativas dessas correlações foram obtidas com base nas expressões apresentadas por Cruz *et al.* (2004):

$$\text{- Correlação fenotípica: } r_f = (PTM_{xy} / \sqrt{QMT_x QMT_y})$$

$$\text{- Correlação genotípica: } r_g = (\hat{\Phi}_{gxy} / \sqrt{\hat{\Phi}_{gx} \hat{\Phi}_{gy}})$$

$$\text{- Correlação ambiental: } r_e = (PMR_{xy} / \sqrt{QMR_x QMR_y})$$

em que PMT e QMT são o produto médio entre os caracteres X e Y e o quadrado médio do caráter X ou Y, respectivamente, associados aos tratamentos; PMR e QMR são o produto médio entre os caracteres X e Y e o quadrado médio do caráter X ou Y, respectivamente, associados a resíduo; e $\hat{\Phi}_{gxy}$, $\hat{\Phi}_{gx}$ e $\hat{\Phi}_{gy}$ são os estimadores da covariância genotípica entre os caracteres X e Y, do componente quadrático genotípico de X e de Y, respectivamente.

Para avaliar a significância do coeficiente de correlação fenotípica utilizou-se o teste t, a 5% de probabilidade, e para os coeficientes de correlação genotípica e

ambiental, o procedimento de *bootstrap*, conforme descrito por Cruz (2006). As análises de variância e de correlações foram realizadas com auxílio do programa GENES (CRUZ, 2006).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A menor precisão experimental ($CV = 18,02\%$) na avaliação da arquitetura de planta (ARQ) em relação aos outros caracteres já era esperada (Tabela 2), visto que essa característica foi avaliada por meio de notas atribuídas em campo, que além de serem visuais, são muito influenciadas pelo ambiente. Ainda para ARQ, as notas são atribuídas na parcela, o que pode resultar em menor precisão, principalmente quando se avaliam populações segregantes, visto que cada planta na parcela pode apresentar um genótipo diferente.

Nas duas safras foram observadas diferenças significativas ($P < 0,01$) para populações e linhagens, indicando a existência de variabilidade tanto nas populações segregantes quanto nos materiais homozigóticos, para todos os caracteres avaliados (Tabela 2). Também foram observados efeitos significativos para todas as características avaliadas nas gerações F_2 , F_3 e F_4 , exceto para produtividade de grãos (PROD) em F_3 , na safra da seca.

Houve efeito significativo do contraste F_2 vs F_3 , revelando diferenças entre as médias das duas gerações, para todos os caracteres avaliados, exceto para AMP (Tabela 2). Diferença significativa para este contraste indica a existência de heterose. Cabe ressaltar que, para o caráter DH, o contraste F_2 vs F_3 foi significativo, com probabilidade de 4,67%. A diferença entre as médias para DH das gerações F_2 e F_3 foi de apenas 0,007 cm (Tabela 3), o que evidencia predominância de efeito aditivo no controle deste caráter. Já para produtividade de grãos, a diferença foi de 145 kg/ha, indicando a presença de heterose com desvios de dominância positivos. Entretanto, o contraste F_3 vs F_4 foi não significativo para todas as características (Tabela 2). Estes resultados sugerem que os efeitos de heterose detectados em F_2 , são de pequena magnitude. Silva (2011), estudando a capacidade geral e específica de combinação dos genitores destas populações, constatou predominância dos efeitos aditivos para DH e não aditivos para PROD e AMP. A predominância de efeitos de dominância, associados à produtividade de grãos e à altura da planta em feijão, também foi verificada por Rodrigues *et al.* (1998) e por Gonçalves Vidigal *et al.*

Tabela 2 – Resumo das análises de variância individuais referentes aos caracteres diâmetro do hypocótilo (DH), arquitetura de planta (ARQ), altura média de planta (AMP), massa de 100 grãos (MCG) e produtividade de grãos (PROD), avaliadas em linhagens de feijão e suas populações segregantes, nas safras de inverno de 2009 e seca de 2010. Coimbra, MG

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios				
		DH (cm)	ARQ	AMP (cm)	MCG (g)	PROD (kg ha ⁻¹)
INVERNO DE 2009						
Repetições	2	0,0089	0,939	245,474	7,339	485150,82
Tratamentos	111	0,0056**	0,902**	95,020**	6,702**	272967,17**
Populações (P)	95	0,0035**	0,602**	51,956**	5,009**	237045,28**
Geração F ₂	47	0,0026**	0,482**	43,102**	4,327**	220253,73*
Geração F ₃	47	0,0043**	0,680**	61,859**	4,415**	226681,08*
F ₂ vs F ₃	1	0,0036*	2,531**	2,607 ^{ns}	64,971**	1513365,03**
Linhagens (L)	15	0,0174**	2,786**	341,459**	15,639**	457164,42**
P vs L	1	0,0283**	1,191*	489,506**	33,483**	922588,36*
Resíduo	222	0,0009	0,248	15,557	1,032	149924,36
CV(%)		5,21	18,02	8,88	4,07	12,26
SECA DE 2010						
Repetições	2	0,00064	4,586	98,766	7,134	657386,61
Tratamentos	111	0,0068**	0,948**	54,605**	5,814**	345733,15**
Populações (P)	95	0,0046**	0,712**	41,238**	4,155**	249662,05**
Geração F ₃	47	0,0041**	0,714**	40,727**	4,488**	215994,00 ^{ns}
Geração F ₄	47	0,0053**	0,725**	42,619**	3,804**	283622,02**
F ₃ vs F ₄	1	0,00000056 ^{ns}	0,014 ^{ns}	0,420 ^{ns}	5,014 ^{ns}	235942,14 ^{ns}
Linhagens (L)	15	0,0207**	2,222**	138,600**	15,662**	938225,53**
P vs L	1	0,0005 ^{ns}	4,290**	64,464*	15,752**	585101,15 ^{ns}
Resíduo	222	0,00095	0,245	13,346	1,380	154063,68
CV(%)		5,23	16,83	7,85	5,25	13,30

^{ns} Não significativo; ** e * Significativos, pelo teste F, a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 3 – Média geral (MG), limites inferior (LI) e superior (LS), amplitude de variação (AV) e coeficiente de determinação genotípico (H^2) dos caracteres diâmetro do hipocótilo (DH), arquitetura de planta (ARQ), altura média de planta (AMP), massa de 100 grãos (MCG) e produtividade de grãos (PROD), avaliados nas populações de feijão nas gerações F₂, F₃ e F₄

Caracteres	Gerações/Ano	MG	LI	LS	AV	H ² (%)
DH	F ₂ /2009	0,572	0,489	0,644	0,155	62,290
	F ₃ /2009	0,579	0,507	0,671	0,164	79,510
	F ₃ /2010	0,588	0,500	0,669	0,169	76,290
	F ₄ /2010	0,588	0,511	0,716	0,205	84,970
ARQ	F ₂ /2009	2,690	2,000	3,670	1,670	37,090
	F ₃ /2009	2,880	2,000	3,670	1,670	69,460
	F ₃ /2010	2,980	2,000	4,000	2,000	63,880
	F ₄ /2010	3,000	1,670	3,670	2,000	63,420
AMP	F ₂ /2009	44,000	37,700	50,700	13,000	58,720
	F ₃ /2009	43,800	37,400	54,800	17,400	79,970
	F ₃ /2010	46,400	39,300	54,400	15,100	73,460
	F ₄ /2010	46,300	41,100	58,600	17,500	69,540
MCG	F ₂ /2009	25,540	23,1100	28,250	5,140	82,650
	F ₃ /2009	24,590	21,9800	27,340	5,360	68,670
	F ₃ /2010	22,590	20,1000	25,070	4,970	66,870
	F ₄ /2010	22,320	20,3300	25,870	5,540	69,240
PROD	F ₂ /2009	3252,300	2698,300	3752,700	1054,400	35,170
	F ₃ /2009	3107,300	2624,700	3745,300	1120,600	31,840
	F ₃ /2010	2938,500	2249,900	3425,100	1175,200	12,740
	F ₄ /2010	2995,800	1801,200	3510,500	1709,300	63,620

(2008). Já outros trabalhos relatam predominância de efeitos aditivos para produtividade de grãos (SANTOS *et al.*, 1985; KUREK *et al.*, 2001) e altura da planta do feijoeiro (NIENHUIS; SINGH, 1986; SANTOS; VENCOSKY, 1986b).

Além de menores valores de CVs, os caracteres DH e AMP apresentaram coeficientes de determinação genotípico (H^2) mais elevados que ARQ, quando comparados na mesma geração de endogamia (Tabela 3). Esses resultados implicam maiores ganhos com a seleção, tornando o programa de melhoramento mais eficiente. Cabe ressaltar que muitos caracteres, como hábito de crescimento, número e comprimento de entrenós, diâmetro do hipocótilo, altura de inserção da primeira vagem, número de ramificações, altura da planta, ângulo de inserção de ramificações, distribuição das vagens e presença de *stay green*, afetam a arquitetura da planta de

feijoeiro (ACQUAAH *et al.*, 1991; BROTHERS; KELLY, 1993; TEIXEIRA *et al.*, 1999; AGUIAR *et al.*, 2000). Para produtividade de grãos (PROD) observou-se menores valores de H^2 (Tabela 3), evidenciando maior complexidade desta característica.

Nas linhagens, os pares de caracteres relacionados à arquitetura de plantas do feijoeiro (DH, ARQ e AMP) apresentaram elevadas e significativas estimativas de correlação fenotípica e genotípica, tanto na safra do inverno de 2009 quanto na seca de 2010 (Tabela 4). Conforme Santos e Vencovsky (1986a), correlação genotípica entre pares de caracteres avaliados em linhagens é de natureza genética aditiva e tem causa em virtude de genes com efeitos pleiotrópicos ou a diferentes genes ligados. Nesse último caso, a correlação genética é transitória, manifestando-se especialmente nas primeiras gerações de populações, obtidas do intercruzamento de genitores geneticamente divergentes (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992). Além disso, sua magnitude é diminuída com o avanço de gerações, em razão da ocorrência de recombinações gênicas. Por outro lado, as associações determinadas por genes de efeitos pleiotrópicos se mantêm ao longo destas gerações com diferentes graus de endogamia.

As estimativas de correlação fenotípica e genotípica entre MCG e PROD foram em geral de baixa magnitude e não significativas (Tabela 4), indicando a ocorrência de linhagens, dentre as avaliadas, com produtividade elevada e de qualquer tamanho de grãos. Resultados similares foram obtidos por Ferrão *et al.* (2001) ao avaliarem genitores e híbridos F_1 de feijão.

Na associação entre caracteres relacionados à produtividade e arquitetura de planta, observou-se que MCG e PROD apresentaram correlação fenotípica e genotípica de magnitude elevada e significativa com os caracteres DH, ARQ e AMP nas duas safras (Tabela 4). Cabe ressaltar que as estimativas de correlações foram em sentido e magnitude desfavoráveis, uma vez que se busca cultivares produtivas, de grãos maiores e plantas eretas. Correlações desfavoráveis entre produtividade de grãos e arquitetura de planta em linhagens de feijoeiro foram observadas por Alves *et al.* (2001). Estas associações nas linhagens também podem ocorrer em virtude de genes com efeitos pleiotrópicos ou à ligação fatorial (FERRÃO *et al.*, 2001; LOPES *et al.*, 2002).

Correlações ambientais de efeitos significativos foram observadas entre as combinações AMP x DH, PROD x ARQ, PROD x AMP e PROD x MCG, na safra

Tabela 4 – Estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica (r_f), genotípica (r_g) e ambiental (r_e) entre os caracteres diâmetro do hipocótilo (DH), arquitetura de planta (ARQ), altura média de planta (AMP), massa de 100 grãos (MCG) e produtividade de grãos (PROD), envolvendo 16 linhagens (14 genitores e duas cultivares comerciais), avaliadas nas safras do inverno de 2009 (acima da diagonal) e da seca de 2010 (abaixo da diagonal)

Caracteres		DH	ARQ	AMP	MCG	PROD
DH	r_f		-0,691**	0,820**	-0,549*	-0,568*
	r_g		-0,733 ⁺⁺	0,856 ⁺⁺	-0,573 ⁺	-0,712 ⁺
	r_e		0,108	0,056	-0,080	-0,029
ARQ	r_f	-0,878**		-0,896**	0,763**	0,657**
	r_g	-0,934 ⁺⁺		-0,916 ⁺⁺	0,805 ⁺⁺	0,846 ⁺⁺
	r_e	-0,128		-0,477 ⁺⁺	-0,029	-0,108
AMP	r_f	0,901**	-0,931**		-0,717**	-0,719**
	r_g	0,966 ⁺⁺	-1,000 ⁺⁺		-0,745 ⁺⁺	-0,946 ⁺⁺
	r_e	0,460 ⁺⁺	-0,456 ⁺⁺		-0,138	0,300
MCG	r_f	-0,648**	0,716**	-0,719**		0,344
	r_g	-0,733 ⁺⁺	0,811 ⁺⁺	-0,883 ⁺⁺		0,403
	r_e	0,227	-0,202	0,281		0,181
PROD	r_f	-0,502*	0,573*	-0,579*	0,481	
	r_g	-0,605 ⁺	0,733 ⁺⁺	-0,823 ⁺⁺	0,492 ⁺	
	r_e	0,123	-0,379 ⁺	0,430 ⁺	0,458 ⁺⁺	

** * Significativos, a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t; ⁺⁺, ⁺ Significativos, a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo método de *bootstrap*, com 5.000 simulações.

da seca e entre ARQ x AMP nas duas safras (Tabela 4), indicando que esses pares de caracteres foram prejudicados ou beneficiados pelas mesmas variações ambientais, principalmente na safra da seca. As correlações ambientais envolvendo PROD x ARQ e PROD x AMP apresentaram sinais contrários aos das correlações fenotípicas e genotípicas. Segundo Falconer e Mackay (1996), a diferença de sinal entre as correlações genotípicas e de ambiente pode ser atribuída às causas de variação herdável e de ambiente que afetam dois caracteres por meio de diferentes mecanismos fisiológicos.

Assim como nas linhagens (Tabela 4), nas gerações F₂ e F₃ (Tabela 5) e gerações F₃ e F₄ (Tabela 6) também foram observadas correlações fenotípicas e genotípicas altas e significativas nas combinações envolvendo os caracteres de arquitetura de planta, DH, ARQ e AMP. É importante salientar que as magnitudes e os sinais das correlações fenotípicas e genotípicas permaneceram praticamente inalterados nas gerações com diferentes graus de endogamia, evidenciando que estas

Tabela 5 – Estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica (r_f), genotípica (r_g) e ambiental (r_e) entre os caracteres diâmetro do hipocótilo (DH), arquitetura de planta (ARQ), altura média de planta (AMP), massa de 100 grãos (MCG) e produtividade de grãos (PROD), para 48 populações de feijão em F₂ (acima da diagonal) e em F₃ (abaixo da diagonal), avaliados na safra do inverno de 2009

Caracteres		DH	ARQ	AMP	MCG	PROD
DH	r_f		-0,350*	0,543**	-0,282*	-0,210
	r_g		-1,000 ⁺⁺	1,000 ⁺⁺	-0,409 ⁺	-0,472
	r_e		0,359 ⁺⁺	-0,163	0,046	0,023
ARQ	r_f	-0,503**		-0,814**	0,198	0,255
	r_g	-0,744 ⁺⁺		-0,966 ⁺⁺	0,394	0,670
	r_e	0,198 ⁺		-0,713 ⁺⁺	-0,062	0,020
AMP	r_f	0,720**	-0,769**		-0,311*	-0,235
	r_g	0,971 ⁺⁺	-0,853 ⁺⁺		-0,452 ⁺	-0,556 ⁺
	r_e	-0,265 ⁺⁺	-0,540 ⁺⁺		0,014	0,034
MCG	r_f	-0,233	-0,014	-0,144		0,063
	r_g	-0,340	0,036	-0,241		-0,006
	r_e	0,069	-0,126	0,139		0,198 ⁺
PROD	r_f	0,070	0,104	-0,097	0,153	
	r_g	0,204	0,449	-0,401	0,058	
	r_e	-0,088	-0,235 ⁺	0,297 ⁺⁺	0,273 ⁺⁺	

** * Significativos, a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t; ⁺⁺, ⁺ Significativos, a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo método de *bootstrap*, com 5.000 simulações.

associações são estabelecidas predominantemente por genes pleiotrópicos com efeitos aditivos. Estes resultados sugerem que no melhoramento visando apenas plantas mais eretas, a abertura de famílias pode ser realizada em gerações precoces como F₂.

As correlações fenotípicas e genotípicas negativas e elevadas, envolvendo DH x ARQ e ARQ x AMP, indicam que plantas de feijão com maiores DH e AMP possuem melhor arquitetura (Tabelas 5 e 6). Essas associações são importantes no melhoramento visando à arquitetura ereta do feijoeiro, uma vez que as avaliações de DH e AMP são mais precisas e acuradas que as notas de arquitetura (Tabelas 2 e 3). Estes resultados indicam maior eficiência da seleção para arquitetura de planta com base no diâmetro do hipocótilo e altura média de planta. Acquaaah *et al.* (1991), Moura (2011) e Silva (2011) também constataram que diâmetro do hipocótilo e altura de planta foram indicadores efetivos na determinação da arquitetura.

Tabela 6 – Estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica (r_f), genotípica (r_g) e ambiental (r_e) entre os caracteres diâmetro do hipocótilo (DH), arquitetura de planta (ARQ), altura média de planta (AMP), massa de 100 grãos (MCG) e produtividade de grãos (PROD), para 48 populações de feijão em F₃ (acima da diagonal) e em F₄ (abaixo da diagonal), avaliadas na safra da seca de 2010

Caracteres ¹		DH	ARQ	AMP	MCG
DH	r_f		-0,529**	0,670**	-0,042
	r_g		-0,743 ⁺⁺	0,828 ⁺⁺	-0,044
	r_e		-0,035	0,201 ⁺	-0,038
ARQ	r_f	-0,480**		-0,760**	0,041
	r_g	-0,692 ⁺⁺		-0,902 ⁺⁺	0,038
	r_e	0,119		-0,459 ⁺⁺	0,046
AMP	r_f	0,705**	-0,743**		-0,113
	r_g	0,864 ⁺⁺	-0,894 ⁺⁺		-0,174
	r_e	0,192 ⁺	-0,446 ⁺⁺		0,031
MCG	r_f	-0,267	0,033	-0,252	
	r_g	-0,347 ⁺	-0,046	-0,331	
	r_e	-0,004	0,188 ⁺	-0,072	
PROD	r_f	-0,303*	0,252	-0,269	0,047
	r_g	-0,401 ⁺	0,331	-0,342	-0,180
	r_e	-0,019	0,115	-0,127	0,498 ⁺⁺

¹ Não foram estimadas correlações de PROD na geração F₃ com os demais caracteres em razão de sua não significância; **, * Significativos, a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t; ⁺⁺, ⁺ Significativos, a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo método de *bootstrap*, com 5.000 simulações.

De modo geral, os coeficientes de correlação fenotípica foram mais elevados nas linhagens (Tabela 4), quando comparados aos das gerações com diferentes graus de endogamia (Tabelas 5 e 6). Cabe ressaltar que a estimativa do coeficiente de correlação fenotípica é obtida a partir da média de plantas na parcela, e que no caso das linhagens compostas por genótipos homozigóticos, os efeitos ambientais tendem a se cancelar. Assim, as estimativas de correlação fenotípica para as linhagens são superestimadas. Considerando as gerações com diferentes graus de endogamia, foram observadas estimativas de correlação fenotípicas de magnitudes inferiores às genotípicas (Tabela 5 e 6). Isto sinaliza elevada influência do ambiente no controle destes caracteres, indicando que a seleção será efetiva se for com base nas informações de famílias em experimentos com repetições.

Os caracteres MCG e PROD apresentaram correlação fenotípica e genotípica com os caracteres DH, ARQ e AMP de elevada magnitude nas linhagens (Tabela 4);

magnitude intermediária na geração F₂ (Tabela 5); e valores decrescentes nas gerações seguintes de endogamia (Tabelas 5 e 6). Este resultado permite concluir que essas associações devem-se aos diferentes genes ligados. Segundo Lopes *et al.* (2002), a ligação entre genes que controlam dois caracteres é difícil de ser quebrada quando estes genes estão muito próximos, podendo até impedir o aparecimento de recombinantes desejáveis em populações segregantes. Visto que as correlações entre MCG e PROD com os caracteres DH, ARQ e AMP foram inexpressivas em F₄, pode-se admitir que a associação destes caracteres foi suplantada com o avanço das gerações, o que permite a identificação de plantas com fenótipos desejáveis quanto ao porte, à produtividade e ao tamanho de grãos. Silva *et al.* (2009) também encontraram estimativas de correlação pouco expressivas entre produtividade de grãos e nota de arquitetura em progênies de feijoeiro.

É possível a obtenção de linhagens de feijão produtivas, eretas e com grãos de tamanho aceitáveis comercialmente. Para isto, a estratégia de seleção de famílias derivadas de gerações mais avançadas é promissora. Cabe ressaltar que estas famílias devem ser avaliadas em experimentos com repetições e a seleção feita com base em um índice com os caracteres DH, MCG e PROD, sendo também adequada a seleção com base em níveis independentes de eliminação.

4. CONCLUSÕES

As associações observadas entre os caracteres diâmetro do hipocótilo, altura média de planta e arquitetura de planta ocorre em virtude dos genes pleiotrópicos de efeitos aditivos.

As correlações dos caracteres diâmetro do hipocótilo, altura média de planta e arquitetura de planta com os caracteres produtividade e massa de 100 grãos ocorre em virtude dos diferentes genes ligados.

O diâmetro do hipocótilo e a altura média de planta são indicadores efetivos da arquitetura de plantas do feijoeiro.

A avaliação de famílias derivadas de gerações mais avançadas, em experimentos com repetições, é estratégia promissora para o desenvolvimento de linhagens de feijão produtivas, eretas e com grãos de tamanho aceitáveis comercialmente.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACQUAAH, G.; ADAMS, M. W.; KELLY, J. D. Identification of effective indicators of erect plant architecture in dry bean. *Crop Science*, Madison, v. 31, n. 2, p. 261-264, 1991.
- AGUIAR, A. M.; RAMALHO, M. A. P.; MARQUES JÚNIOR, O. G. Controle genético do stay green no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Ceres*, Viçosa, v. 47, n. 270, p. 155-167, 2000.
- ALVES, G. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Desempenho de cultivares antigas e modernas de feijão avaliadas em diferentes condições ambientais. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 25, n. 4, p. 863-870, 2001.
- BROTHERS, M. E.; KELLY, J. D. Interrelationship of plant architecture and yield components in the pinto bean ideotype. *Crop Science*, Madison, v. 33, n. 6, p. 1234-1238, 1993.
- CARVALHO, F. I. F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G. *Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal*. Pelotas: UFPel, 2004. 142 p.
- 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*, Brasília, v. 32, n. 3, p. 297-304, 1997.
- CRUZ, C. D. *Programa Genes – Biometria*. Viçosa: UFV. 2006. 382 p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. de S. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 3. ed. v. 1, Viçosa: UFV, 2004. 480 p.
- CUNHA, W. G.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Selection aiming at upright growth habit common bean with carioca type grains. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 5, n. 4, p. 379-386, 2005.
- FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. *Introduction to quantitative genetics*. 4. ed. London: Longman, 1996. 463 p.
- FERRÃO, M. A. G.; VIEIRA, C.; CRUZ, C. D.; CARDOSO, A. A. Causas genéticas das correlações entre caracteres do feijoeiro avaliados no inverno. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 48, n. 279, p. 573-582, 2001.
- FURTADO, M. R.; CRUZ, C. D.; CARDOSO, A. A.; COELHO, A. D. F.; PETERNELLI, L. A. Análise de trilha do rendimento do feijoeiro e seus componentes primários em monocultivo e em consórcio com a cultura do milho. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 32, n. 2, p. 217-220, 2002.
- GONÇALVES-VIDIGAL, M. C.; SILVÉRIO, L.; ELIAS, H. T.; VIDIGAL FILHO, P. S.; KVITSCHAL, M. V.; RETUCI, V. S.; SILVA, C. R. Combining ability and heterosis in common bean cultivars. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 43, n. 9, p. 1143-1150, 2008.

KUREK, A. J.; CARVALHO, F. I. F.; ASSMANN, I. C.; CRUZ, P. J. Capacidade combinatória como critério de eficiência na seleção de genitores em feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 4, p. 645-651, 2001.

LOPES, A. C. A.; VELLO, N. A.; PANDINI, F.; ROCHA, M. M.; TSUTSUMI, C. Y. Variabilidade e correlações entre caracteres em cruzamentos de soja. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 341-348, 2002.

MENDES, F. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Índice de seleção para escolha de populações segregantes de feijoeiro-comum. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1312-1318, 2009.

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

MOURA, M. M. *Potencial de caracteres para avaliação da arquitetura de plantas de feijão*. 2011. 57 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011

NIENHUIS, J.; SINGH, S. P. Combining ability analyses and relationships among yield, yield components and architectural traits in dry bean. *Crop Science*, Madison, v. 26, n. 1, p. 21-27, 1986.

RIBEIRO, N. D.; MELLO, R. M.; DALLA, C. R.; SLUSZZ, T. Correlações genéticas de caracteres agromorfológicos e suas implicações na seleção de genótipos de feijão carioca. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v. 7, n. 2, p. 93-99, 2001.

RODRIGUES, R.; LEAL, N. R.; PEREIRA, M. G. Análise dialélica de seis características agronômicas em *Phaseolus vulgaris* L. *Bragantia*, Campinas, v. 57, n. 2, p. 241-250, 1998.

SANTOS, J. B.; VENCOVSKY, R. Controle genético de alguns componentes do porte da planta em feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 21, n. 9, p. 957-963, 1986b.

SANTOS, J. B.; VENCOVSKY, R. Correlação fenotípica e genética entre alguns caracteres agronômicos do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ciência e Prática*, Lavras, v. 10, n. 3, p. 265-272, 1986a.

SANTOS, J. B.; VENCOVSKY, R.; RAMALHO, M. A. P. Controle genético da produção de grãos e de seus componentes primários em feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 20, n. 10, p. 1203-1211, 1985.

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*, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1647-1652, 2009.

SILVA, V. M. P. *Melhoramento genético do porte do feijoeiro*. 2011. 60 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011

TEIXEIRA, F. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Genetic control of plant architecture in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Genetics and Molecular Biology*, Ribeirão Preto, v. 22, n. 4, p. 577-582, 1999.

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

CAPÍTULO 2

EFEITO DE AMBIENTES NA PREDIÇÃO DO POTENCIAL DE POPULAÇÕES SEGREGANTES DE FEIJÃO PELA METODOLOGIA DE JINKS E POONI (1976)

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito de ambientes na predição do potencial genético de populações de feijoeiro quanto ao diâmetro do hipocótilo e à produtividade de grãos. Foram avaliadas 48 populações segregantes de feijão nas safras de inverno de 2009 (gerações F_2 e F_3 , simultaneamente) e seca de 2010 (gerações F_3 e F_4 , simultaneamente), além de 16 testemunhas. A predição do potencial genético das populações foi feita utilizando a metodologia de Jinks e Pooni (1976). Verificou-se baixa coincidência entre as melhores e entre as piores populações nas duas safras e nas diferentes gerações para os dois caracteres, evidenciando que o efeito de ambientes interfere na escolha das populações de feijoeiro, quando se utiliza o método de Jinks e Pooni (1976). Assim, é recomendável que a predição do potencial de populações de feijoeiro seja realizada com base no maior número possível de ambientes.

ABSTRACT

The objective of this work was to verify the effect of environments in predicting the genetic potential of bean plant populations regarding hypocotyl diameter and grain yield. Forty-eight segregating bean plant populations in the 2009 winter season crop (generations F_2 and F_3 , simultaneously) and 2010 dry season crop (generations F_3 and F_4 , simultaneously) were evaluated, besides 16 controls. Prediction of the genetic potential of the populations was made using the Jinks and Pooni methodology. A low coincidence between the best and worst populations was verified in the two seasons and different generations for the two characters, showing that the effect of environments interferes in the choice of bean plant populations, when the Jinks and Pooni method is used. Thus, the prediction of the potential of bean plant populations should be based on as many environments as possible.

1. INTRODUÇÃO

Em geral, nos programas de melhoramento do feijoeiro a seleção é realizada em populações segregantes, obtidas por meio de hibridação artificial, seguida de alguns ciclos de autofecundação. Uma decisão importante, da qual depende o sucesso da seleção, é a escolha daquelas populações com maior potencial para produzir linhagens superiores. O conhecimento prévio do potencial dessas populações pode levar a uma significativa redução de custos e tempo, uma vez que o melhorista pode concentrar esforços nas mais promissoras.

Na escolha de uma população segregante, além da média, a variabilidade existente é fundamental, pois a população pode expressar pequena variabilidade genética, em função dos genitores apresentarem constituições genéticas semelhantes para o caráter em apreço (RAMALHO *et al.*, 1993a). Em algumas situações não é possível conciliar esses dois parâmetros (SANTOS *et al.*, 2001).

Entre os procedimentos utilizados pelos melhoristas na escolha das populações segregantes tem-se o método de Jinks e Pooni (1976). Esse método permite prever o potencial de uma dada população em gerar linhagens superiores a um determinado padrão de referência, na geração F_∞ . Para isso, são utilizadas estimativas de média e variância de gerações iniciais. Alguns estudos têm demonstrado o

potencial desse método na predição de populações segregantes de feijão (OTUBO *et al.*, 1996; ABREU *et al.*, 2002; CARNEIRO *et al.*, 2002).

A escolha das populações mais promissoras baseia-se, principalmente, na produtividade de grãos. Entretanto, outros caracteres agronômicos devem ser levados em consideração. No melhoramento do feijoeiro, uma característica de grande importância é a arquitetura ereta das plantas. Por isso, tem recebido grande atenção dos melhoristas (COLLICCHIO *et al.*, 1997; CUNHA *et al.*, 2005; MENEZES JÚNIOR *et al.*, 2008). Uma melhor arquitetura facilita os tratos culturais e possibilita a colheita mecânica. Porém, o efeito de ambientes, aliado à avaliação visual da arquitetura de planta, por meio de notas atribuídas em campo, pode dificultar a escolha de populações com plantas mais eretas. Acquaaah *et al.* (1991), Moura (2011) e Silva (2011) relatam a eficácia do diâmetro do hypocótilo na definição da arquitetura do feijoeiro. Assim, esta característica apresenta potencial para ser utilizada na identificação de populações de melhor porte.

De modo geral, os caracteres produtividade de grãos e arquitetura de planta em feijoeiro sofrem grande influência ambiental, seja oriunda, por exemplo, do efeito de anos e safras (RAMALHO *et al.*, 1993b; RAMALHO *et al.*, 1998; MENDES *et al.*, 2009). Contudo, não há informações sobre o efeito de ambientes na predição do potencial de populações de feijoeiro, pela metodologia de Jinks e Pooni (1976). Triller e Toledo (1996) verificaram, em soja, que a presença de interação entre genótipo e ambiente interferiu no processo de predição. Os autores concluíram que, na presença de interação, o uso de mais de uma cultivar de referência e, principalmente, de dados de dois ambientes, aumentaram a precisão das estimativas para produtividade de grãos. Jinks e Pooni (1980) também ressaltaram a importância da obtenção de estimativas de variâncias livre de efeitos de interação, uma vez que a interação com o ambiente proporcionou desvio nas predições para o caráter época de florescimento, em tabaco.

Este trabalho teve como objetivo verificar o efeito de ambientes na predição do potencial genético de populações de feijoeiro, para diâmetro do hypocótilo e produtividade de grãos, pelo método de Jinks e Pooni (1976).

2. MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho, as 48 populações segregantes utilizadas foram obtidas por Silva (2011). Estas populações são provenientes do cruzamento entre 14 genitores, em um esquema de dialelo parcial (Tabela 1). O grupo 1 foi composto de três genitores de feijão de grãos pretos, três de grãos carioca e dois mulatinho, e o grupo 2 formado por seis genitores de grãos do tipo carioca.

Tabela 1 – Origem e características agronômicas das 14 linhagens de feijão utilizadas nos cruzamentos para obtenção das populações segregantes

Genitor	Origem	Grupo	Tipo de Grão	Tipo de Planta	Porte
BRS Valente	Embrapa	1	preto	II	Ereto
BRS Supremo	Embrapa	1	preto	II	Ereto
IPR Uirapuru	IAPAR	1	preto	II	Ereto
BRS Horizonte	Embrapa	1	carioca	II	Ereto
CNFC 9466	Embrapa	1	carioca	II	Ereto
A805	CIAT	1	carioca	II	Ereto
A170	CIAT	1	mulatinho	II	Ereto
A525	CIAT	1	mulatinho	II	Ereto
BRSMG Majestoso	Convênio*	2	carioca	II/III	Semiprostrado
VC6	UFV	2	carioca	II/III	Semiprostrado
BRSMG Madrepérola	Convênio*	2	carioca	III	Prostrado
L1	UFV	2	carioca	II/III	Semiprostrado
L2	UFV	2	carioca	III	Prostrado
L3	UFV	2	carioca	III	Prostrado

* Convênio UFLA/UFV/Epamig/Embrapa

As populações segregantes foram avaliadas nas safras de inverno de 2009 (gerações F₂ e F₃, simultaneamente) e seca de 2010 (gerações F₃ e F₄, simultaneamente). Como testemunhas foram utilizados 14 genitores, além das cultivares Pérola e BRSMG Talismã. Os experimentos foram conduzidos no campo experimental da Universidade Federal de Viçosa, em Coimbra, MG (690 m de altitude, 20° 45' S de latitude e 42° 51' W de longitude). Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso, com três repetições. As parcelas foram constituídas de quatro linhas de 4 m, espaçadas de 0,5 m, com 15 sementes por metro.

As populações e testemunhas foram avaliadas quanto à produtividade de grãos e ao diâmetro do hipocótilo, medido em 20 plantas retiradas de forma aleatória

nas parcelas. A adubação de plantio constou de 350 kg ha⁻¹ do formulado 8-28-16 de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, e aos 25 dias após a emergência das plântulas foi realizada a adubação de cobertura, com 30 kg ha⁻¹ de N. Os demais tratos culturais foram os recomendados para a cultura do feijoeiro na região.

As análises de variância individuais foram realizadas considerando todos os efeitos como fixos, exceto o erro e o bloco. A predição do potencial das populações segregantes, realizada por geração em cada safra, foi feita pela metodologia de Jinks e Pooni (1976), que estima a probabilidade de cada população originar linhagens que superem um determinado padrão (PSP). Essa probabilidade corresponde à área à direita de um determinado valor de x na abscissa da distribuição normal, calculada utilizando as propriedades de uma distribuição normal padronizada, estimando-se a variável Z pela expressão $Z = (x - m)/s$, em que: x = média da linhagem padrão ($\bar{L}$) que, para produtividade de grãos, foi a da cultivar Pérola, acrescida de 35%, e para diâmetro do hipocótilo foi a média da linhagem A805, acrescida de 10%; m = média das linhagens na geração F_∞ que, em um modelo sem dominância, corresponde à média da geração em estudo ($\bar{F}_{n_i}$); e s = desvio-padrão fenotípico entre as linhagens ($s = \sqrt{\hat{\sigma}_{F_L}^2}$).

A variância genética entre as linhagens ($\hat{\sigma}_{G_L}^2$) equivale a duas vezes a variância genética aditiva ($\hat{\sigma}_A^2$) presente na F₂. Para um modelo sem dominância, a variância fenotípica da geração F₂ ($\hat{\sigma}_{F_2}^2$) contém $\hat{\sigma}_A^2 + \hat{\sigma}_E^2$. Logo, $2\hat{\sigma}_A^2 = 2\hat{\sigma}_{F_2}^2 - 2\hat{\sigma}_E^2$. Considerando que a variância ambiental da geração F₂ possa ser estimada pela variância das linhagens (testemunhas), tem-se que $s = \sqrt{\hat{\sigma}_{F_L}^2} = \sqrt{2\hat{\sigma}_A^2 + \hat{\sigma}_E^2} = \sqrt{2\hat{\sigma}_{F_2}^2 - \hat{\sigma}_E^2}$. Portanto, para uma dada população i, $Z_i = (\bar{L} - \bar{F}_{2i}) / \sqrt{(2\hat{\sigma}_{F_{2i}}^2 - \hat{\sigma}_{Ei}^2)}$. Para populações avaliadas na geração F₃, a variância fenotípica e a estimativa da variável Z_i foram respectivamente:

$$\hat{\sigma}_{F_3}^2 = 1,5\hat{\sigma}_A^2 + \hat{\sigma}_E^2 \text{ e } Z_i = (\bar{L} - \bar{F}_{3i}) / \sqrt{(1,332\hat{\sigma}_{F_{3i}}^2 - 0,332\hat{\sigma}_{Ei}^2)}$$

Para a geração F₄ utilizou-se as seguintes expressões:

$$\hat{\sigma}_{F_4}^2 = 1,75\hat{\sigma}_A^2 + \hat{\sigma}_E^2 \text{ e } Z_i = (\bar{L} - \bar{F}_{4i}) / \sqrt{(1,143\hat{\sigma}_{F_{4i}}^2 - 0,143\hat{\sigma}_{Ei}^2)}.$$

A variância fenotípica de cada uma das populações ($\sigma_{F_i}^2$) foi estimada, por repetição, de 20 plantas amostradas de uma das linhas centrais, ignorando-se 0,5 m de cada extremidade. Posteriormente, foi obtida a média dessas variâncias nas diferentes repetições. Como estimativa da variância ambiental para as populações foi utilizada a média das variâncias ambientais de cada uma das 16 testemunhas. A variância ambiental de cada testemunha correspondeu à estimativa da variância fenotípica destas, estimadas da mesma forma que para as populações.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas duas safras foram detectadas diferenças significativas ($P < 0,01$) para tratamentos e para seu desdobramento em efeito de populações (Pop.) e de testemunhas (Test.), tanto para o diâmetro do hipocótilo (DH) quanto para produtividade de grãos (PROD), indicando variabilidade entre os genótipos (Tabela 2). Também foram observados efeitos significativos de populações nas gerações F_2 , F_3 e F_4 , exceto para PROD em F_3 , na safra da seca. Na safra do inverno, efeitos significativos para os contrastes F_2 vs F_3 e Pop. vs Test. revelaram a existência de heterose para os caracteres DH e PROD. Entretanto, na safra da seca, os contrastes F_3 vs F_4 e Pop. vs Test. foram não significativos para ambos os caracteres. Estes resultados sugerem que os efeitos de heterose, detectados em F_2 , são de pequena magnitude. Silva (2011), estudando a capacidade geral e específica de combinação dos genitores destas populações, constatou predominância dos efeitos aditivos para DH e não aditivos para PROD. A predominância de efeitos de dominância associados à produtividade de grãos em feijão também foi verificada por Rodrigues *et al.* (1998) e por Gonçalves-Vidigal *et al.* (2008). Já outros trabalhos relatam predominância de efeitos aditivos para PROD (SANTOS *et al.*, 1985; KUREK *et al.*, 2001).

As probabilidades das populações originarem linhagens que superem a linhagem A805 em 10% (PSP), considerando o diâmetro do hipocótilo e a cultivar Pérola em 35% para produtividade de grãos (Tabelas 3 e 4), foram inconsistentes quando comparadas nas diferentes gerações, avaliadas em diferentes safras, para maioria das populações. As estimativas de herdabilidades em nível de indivíduo para cada uma das populações foram, em geral, de baixa magnitude.

Tabela 2 – Resumo das análises de variância individuais para os caracteres diâmetro do hipocótilo (DH) e produtividade de grãos (PROD), avaliados nas safras de inverno de 2009 (gerações F₂ e F₃) e seca de 2010 (gerações F₃ e F₄) em feijoeiro-comum

Fonte de Variação	GL	Inverno de 2009		Seca de 2010	
		Quadrados Médios			
		DH	PROD	DH	PROD
Repetições	2	0,0089	485150,82	0,00064	657386,61
Tratamentos	111	0,0056**	272967,17**	0,0068**	345733,15**
Populações	95	0,0035**	237045,28**	0,0046**	249662,05**
Geração F ₂ (F ₃) ¹	47	0,0026**	220253,73*	0,0041**	215994,00 ^{ns}
Geração F ₃ (F ₄)	47	0,0043**	226681,08*	0,0053**	283622,02**
F ₂ vs F ₃ (F ₃ vs F ₄)	1	0,0036*	1513365,03**	0,00000056 ^{ns}	235942,14 ^{ns}
Testemunhas	15	0,0174**	457164,42**	0,0207**	938225,53**
Pop. vs Test.	1	0,0283**	922588,36*	0,0005 ^{ns}	585101,15 ^{ns}
Resíduo	222	0,0009	149924,36	0,00095	154063,68
CV(%)		5,21	12,26	5,23	13,30
Médias F ₂ (F ₃)		0,572	3252	0,588	2939
Médias F ₃ (F ₄)		0,579	3107	0,588	2996
Médias populações		0,576	3180	0,588	2967
Médias testemunhas		0,602	3030	0,592	2848

¹ Fonte de variação entre parênteses refere-se ao experimento da safra da seca de 2010; ^{ns} não significativo; ** e * e significativos, a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Considerando a escolha das 12 melhores populações (25%), pela metodologia de Jinks e Pooni (1976), com base no diâmetro do hipocótilo e na produtividade de grãos, observou-se que o número de populações coincidentes nos seis diferentes ambientes, dados pela combinação de diferentes safras e, ou, pelas gerações, variou de dois a seis (Figura 1). Analisando-se os pares de ambientes destas coincidências, verifica-se que houve menor variação para o diâmetro do hipocótilo quando comparada à produtividade de grãos, revelando que o caráter DH sofreu menor influência ambiental.

Quando foram escolhidas as 12 piores populações também se observou baixa coincidência da predição nos seis ambientes (Figura 2). Assim, tanto na escolha das melhores como no descarte das piores populações, houve elevado efeito de ambientes na predição do potencial das populações pela metodologia de Jinks e Pooni (1976). Triller e Toledo (1996) verificaram em soja que, embora a predição por essa metodologia não tenha sido influenciada pela herdabilidade e complexidade do controle genético do caráter, a presença de interação genótipos x ambientes interferiu no processo de predição. Esses autores constataram que a utilização de duas cultivares como referência e, principalmente, de dados de dois ambientes, aumentaram a precisão das estimativas para o caráter produtividade de grãos.

Tabela 3 – Probabilidade de obtenção de linhagens que superam a linhagem A805 em 10% (PSP, em %) e herdabilidade (h^2 , em %) do diâmetro do hipocótilo, para 48 populações de feijoeiro, avaliadas nas safras de inverno de 2009 e seca de 2010

População	Inverno de 2009				Seca de 2010			
	Geração F ₂		Geração F ₃		Geração F ₃		Geração F ₄	
	PSP	h^2	PSP	h^2	PSP	h^2	PSP	h^2
1 (1 x 9)*	7,93	13,25	0,94	0,00**	14,69	30,37	11,9	15,82
2 (1 x 10)	12,10	33,46	16,11	50,51	6,55	26,31	0,73	0,00
3 (1 x 11)	5,16	21,74	1,16	7,51	4,09	0,00	9,01	37,09
4 (1 x 12)	1,13	0,00	7,64	7,41	12,1	31,77	11,12	16,88
5 (1 x 13)	0,23	0,00	0,89	0,00	0,19	0,00	0,80	0,00
6 (1 x 14)	0,38	0,00	13,79	28,10	11,31	25,44	5,16	0,00
7 (2 x 9)	8,69	13,24	5,82	0,00	10,75	0,00	2,07	0,00
8 (2 x 10)	8,85	10,09	9,68	33,09	10,20	31,84	5,48	0,00
9 (2 x 11)	2,39	0,00	3,22	23,86	7,21	21,19	1,70	0,00
10 (2 x 12)	6,81	0,00	6,94	0,00	3,36	0,00	9,01	0,00
11 (2 x 13)	7,93	21,58	10,38	29,06	0,96	0,00	3,75	11,22
12 (2 x 14)	1,32	0,00	16,85	37,60	14,46	43,66	5,37	0,00
13 (3 x 9)	17,36	21,96	13,14	8,68	14,69	0,00	6,30	0,00
14 (3 x 10)	7,35	7,65	10,56	7,91	5,71	0,00	11,12	0,00
15 (3 x 11)	2,12	0,00	8,08	21,22	9,85	28,92	5,71	27,63
16 (3 x 12)	9,85	8,58	5,94	0,00	16,11	0,00	15,15	19,87
17 (3 x 13)	12,71	33,20	7,08	26,98	8,69	8,16	4,09	5,66
18 (3 x 14)	5,59	0,00	11,90	42,31	14,46	6,25	23,58	29,27
19 (4 x 9)	5,26	0,00	9,68	25,13	12,71	18,53	18,41	52,48
20 (4 x 10)	5,26	14,19	0,59	0,00	1,29	0,00	0,96	0,00
21 (4 x 11)	5,37	11,36	0,26	0,00	5,05	23,74	8,69	45,19
22 (4 x 12)	0,78	0,00	10,56	31,32	14,46	24,84	0,57	0,00
23 (4 x 13)	0,02	0,00	0,12	0,00	7,08	42,92	2,68	10,81
24 (4 x 14)	10,03	22,38	0,55	0,00	11,90	23,75	13,14	29,86
25 (5 x 9)	14,23	19,93	20,90	27,89	11,90	17,26	22,96	40,56
26 (5 x 10)	1,79	0,00	2,56	0,00	0,96	0,00	0,84	0,00
27 (5 x 11)	1,58	0,00	2,62	16,15	0,39	0,00	3,36	7,79
28 (5 x 12)	9,85	25,55	16,60	41,63	12,51	36,44	14,01	21,53
29 (5 x 13)	10,75	45,15	17,62	43,84	2,68	7,14	4,95	9,31
30 (5 x 14)	0,01	0,00	15,15	28,06	9,01	18,92	4,27	11,32
31 (6 x 9)	8,38	0,00	14,01	22,62	24,51	45,94	7,64	0,00
32 (6 x 10)	14,01	30,72	1,10	0,00	2,22	0,00	0,99	0,00
33 (6 x 11)	3,67	5,40	2,94	5,57	4,01	22,28	6,68	43,87
34 (6 x 12)	6,55	18,94	7,64	23,09	23,27	33,57	6,30	7,52
35 (6 x 13)	0,87	0,00	3,22	9,95	1,02	0,00	0,84	0,00
36 (6 x 14)	14,69	34,24	6,94	12,26	15,62	28,75	7,35	0,00
37 (7 x 9)	2,33	0,00	0,87	0,00	15,15	17,74	17,62	18,68
38 (7 x 10)	4,36	0,00	5,26	5,91	0,09	0,00	3,75	0,00
39 (7 x 11)	1,16	0,00	1,50	8,63	1,54	0,00	4,27	0,00
40 (7 x 12)	2,56	0,00	16,35	32,52	3,67	0,00	8,23	0,00
41 (7 x 13)	3,51	0,00	0,64	0,00	0,68	0,00	7,35	25,52
42 (7 x 14)	0,00	0,00	2,81	0,00	10,75	9,39	22,36	37,48
43 (8 x 9)	23,89	28,21	14,01	0,00	31,92	47,60	44,04	37,04
44 (8 x 10)	2,44	0,00	16,85	28,45	23,27	39,68	12,71	27,32
45 (8 x 11)	4,46	17,64	3,36	0,00	7,93	35,16	2,28	0,00
46 (8 x 12)	16,11	21,23	19,49	18,90	12,51	14,40	15,15	41,00
47 (8 x 13)	5,05	9,53	11,90	36,11	9,68	31,46	14,92	43,45
48 (8 x 14)	9,34	12,06	31,92	42,57	20,90	38,40	44,04	54,65

* Números entre parênteses referem-se aos seguintes genitores: 1 = BRS Valente; 2 = BRS Supremo; 3 = IPR Uirapuru; 4 = BRS Horizonte; 5 = CNFC 9466; 6 = A805; 7 = A170; 8 = A525; 9: VC6; 10 = BRS MG Majestoso; 11 = BRS MG Madrepérola; 12 = L1; 13 = L2; e 14 = L3. ** A herdabilidade foi considerada nula, em função dos valores negativos ou nulos estimados para a variância genética.

Tabela 4 – Probabilidade de obtenção de linhagens que superam a cultivar Pérola em 35% (PSP, em %) e herdabilidade (h^2 , em %) da produtividade de grãos, para 48 populações de feijoeiro, avaliadas nas safras de inverno de 2009 e seca de 2010

População	Inverno de 2009				Seca de 2010			
	Geração F ₂		Geração F ₃		Geração F ₃		Geração F ₄	
	PSP	h^2	PSP	h^2	PSP	h^2	PSP	h^2
1 (1 x 9)*	44,83	39,29	21,18	0,00**	41,29	26,70	37,07	0,00
2 (1 x 10)	45,22	70,31	48,80	65,16	39,74	41,69	39,74	0,00
3 (1 x 11)	45,22	18,50	37,07	51,27	41,29	48,50	46,02	47,75
4 (1 x 12)	43,64	9,52	32,27	18,58	40,52	36,13	35,94	0,00
5 (1 x 13)	42,47	0,00	35,94	33,48	31,21	0,00	42,07	0,00
6 (1 x 14)	39,36	0,00	45,62	30,24	39,36	44,71	40,52	13,70
7 (2 x 9)	46,02	0,19	29,80	13,52	30,50	0,00	28,77	0,00
8 (2 x 10)	38,21	22,93	33,36	29,26	38,97	9,95	36,32	27,61
9 (2 x 11)	41,68	42,70	37,07	40,59	39,36	43,67	43,64	17,74
10 (2 x 12)	41,68	21,01	41,29	0,00	38,97	0,00	45,62	36,48
11 (2 x 13)	34,46	16,73	34,83	64,98	35,94	0,00	37,07	0,00
12 (2 x 14)	35,20	0,00	43,25	49,61	40,13	58,08	43,64	4,43
13 (3 x 9)	39,36	33,75	33,36	0,00	40,13	13,18	48,40	0,00
14 (3 x 10)	37,07	26,06	35,20	17,38	33,36	0,00	46,02	22,88
15 (3 x 11)	37,07	21,51	39,36	50,58	42,07	27,03	38,59	36,05
16 (3 x 12)	40,13	26,05	29,80	24,41	46,41	0,00	41,29	37,70
17 (3 x 13)	38,59	34,78	32,27	0,00	36,32	15,61	40,52	16,73
18 (3 x 14)	40,90	0,00	38,59	20,84	30,85	0,00	44,43	32,96
19 (4 x 9)	38,21	0,00	36,32	22,27	39,36	22,74	41,29	34,94
20 (4 x 10)	35,20	49,01	38,21	0,00	25,14	0,00	35,94	0,00
21 (4 x 11)	39,36	41,24	37,07	27,57	43,64	21,98	34,46	26,86
22 (4 x 12)	38,21	0,00	32,27	51,43	42,47	35,57	44,83	2,53
23 (4 x 13)	23,58	0,00	16,85	0,00	44,83	59,96	34,83	1,14
24 (4 x 14)	40,52	37,19	28,77	0,00	44,43	40,31	34,09	27,04
25 (5 x 9)	42,86	0,00	38,21	0,00	40,13	12,58	44,83	34,84
26 (5 x 10)	40,13	39,60	43,25	8,15	42,47	0,00	49,20	0,00
27 (5 x 11)	48,4	36,35	46,81	36,41	41,29	0,00	40,52	0,00
28 (5 x 12)	36,32	20,36	38,97	41,30	38,21	28,64	45,62	35,52
29 (5 x 13)	47,61	44,93	43,25	50,32	43,25	29,78	47,61	0,00
30 (5 x 14)	41,29	0,00	39,36	9,05	40,13	5,54	34,09	17,20
31 (6 x 9)	14,46	0,00	30,85	0,00	33,72	17,25	28,43	12,12
32 (6 x 10)	37,45	28,84	22,66	0,00	37,83	0,55	36,32	14,17
33 (6 x 11)	44,04	29,19	25,14	0,00	48,40	52,80	39,36	48,33
34 (6 x 12)	22,36	0,00	33,00	16,98	42,47	35,02	37,45	0,00
35 (6 x 13)	26,76	0,00	26,43	0,61	37,07	0,00	36,32	0,00
36 (6 x 14)	17,36	0,00	26,76	0,00	34,46	28,70	41,29	12,46
37 (7 x 9)	14,46	0,00	18,94	0,00	32,64	2,99	43,64	28,28
38 (7 x 10)	33,00	6,80	34,83	2,98	45,22	0,00	42,86	1,98
39 (7 x 11)	33,72	0,00	34,09	0,00	40,52	0,00	31,92	0,00
40 (7 x 12)	26,76	0,00	31,92	9,06	39,74	0,00	32,27	0,00
41 (7 x 13)	39,74	36,76	14,23	0,00	39,74	0,00	41,68	0,29
42 (7 x 14)	32,27	0,00	31,21	0,00	41,68	22,48	41,68	11,28
43 (8 x 9)	15,15	0,00	18,94	0,00	22,36	0,00	18,14	11,24
44 (8 x 10)	0,00	0,00	27,76	28,02	38,21	44,25	40,13	39,54
45 (8 x 11)	25,14	0,00	27,09	10,66	28,10	0,00	34,46	0,00
46 (8 x 12)	36,69	40,04	21,18	0,00	28,77	0,00	35,94	30,25
47 (8 x 13)	26,43	0,00	20,04	0,00	21,48	0,00	27,09	0,00
48 (8 x 14)	14,01	0,00	39,36	30,80	28,43	22,94	33,72	41,16

* Números entre parênteses referem-se aos seguintes genitores: 1 = BRS Valente; 2 = BRS Supremo; 3 = IPR Uirapuru; 4 = BRS Horizonte; 5 = CNFC 9466; 6 = A805; 7 = A170; 8 = A525; 9 = VC6; 10 = BRS MG Majestoso; 11 = BRS MG Madrepérola; 12 = L1; 13 = L2; e 14 = L3; ** A herdabilidade foi considerada nula, em função dos valores negativos ou nulos estimados para a variância genética.,

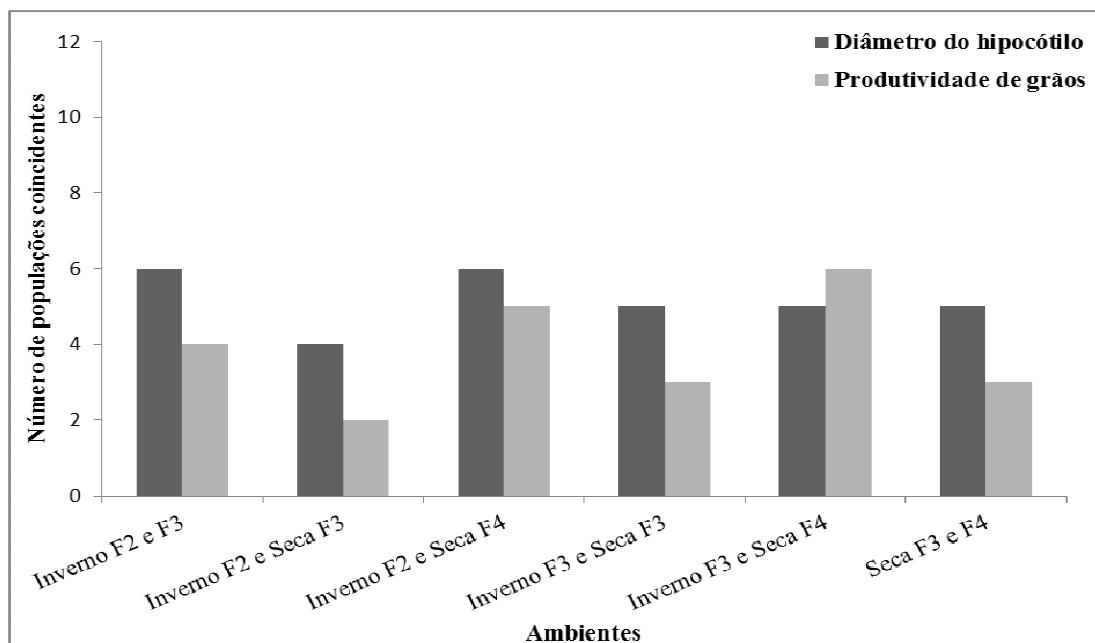


Figura 1 – Número de populações coincidentes entre as 12 melhores, considerando os efeitos de gerações e safras, para os caracteres diâmetro do hipocótilo e produtividade de grãos em seis ambientes.

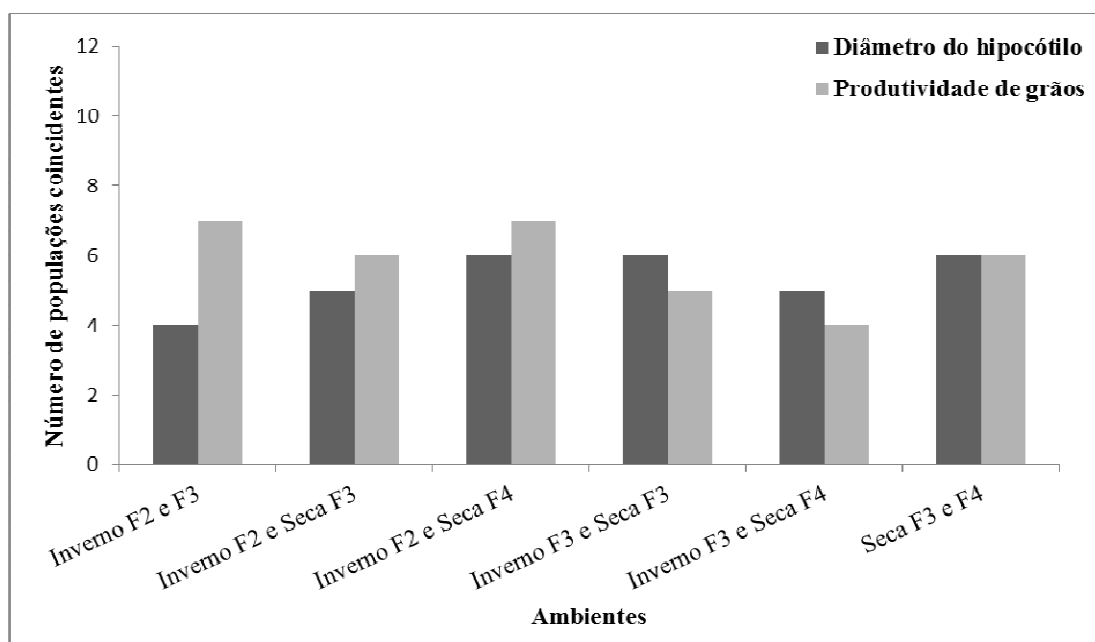


Figura 2 – Número de populações coincidentes entre as 12 piores, considerando os efeitos de gerações e safras, para os caracteres diâmetro do hipocótilo e produtividade de grãos em seis ambientes.

A utilização de plantas individuais como unidade básica de avaliação constitui-se em outra limitação da metodologia de Jinks e Pooni (1976), pois as estimativas da variância genética no âmbito de indivíduo, normalmente estão associadas aos grandes erros (VELLO; VENCOVSKY, 1974). Para várias populações foram estimados valores negativos de variância genética, indicando que a estimativa da variância ambiental, com base nas testemunhas, pode não representar a real variação das populações avaliadas nesse estudo. Nestes casos, a herdabilidade (h^2) para essas populações foi considerada igual a zero (Tabelas 3 e 4). É importante destacar que uma mesma população apresentou diferentes estimativas de herdabilidade nos diferentes ambientes, inclusive nula. Exemplo dessa situação é observado para a população 1 (BRS Valente x VC6), para os dois caracteres (Tabelas 3 e 4). Jinks e Pooni (1980), ao avaliarem altura de planta e dias para florescimento em tabaco, ressaltaram a importância da obtenção de estimativas de variâncias livre de efeitos de interação, visto que para um desses caracteres a interação com o ambiente proporcionou desvio nas predições.

Com base nas probabilidades de obtenção de linhagens que superam a cultivar de referência (PSP) foi realizada a classificação das 48 populações nos quatro ambientes, visando à escolha das seis populações mais promissoras ou descarte das seis piores (Tabela 5). Esta escolha foi feita com base na soma dos *ranks*, sendo as melhores populações identificadas pelos menores valores desta soma e as piores pelos valores mais elevados.

As linhagens A525 e VC6 destacaram-se na formação das melhores populações para diâmetro do hipocótilo (Tabela 5). Silva (2011), estudando a capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação dos genitores utilizados na composição dessas populações, observou que as linhagens A525 e VC6 apresentaram as maiores estimativas de CGC para DH, altura média de planta e nota de arquitetura de planta, indicando que estas linhagens possuem maior frequência de alelos favoráveis para essas características.

Considerando a produtividade de grãos, merece destaque o genitor CNFC 9466, presente em quatro populações das seis melhores classificadas (Tabela 5). A população 25 (CNFC 9466 x VC6) mostrou-se a mais promissora para DH e PROD simultaneamente, com a vantagem dos genitores possuírem grãos do tipo carioca. É interessante observar que quatro populações entre as seis melhores para DH também estão entre as piores para produtividade de grãos; duas populações entre as piores

Tabela 5 – Classificação das seis melhores populações de feijão e das seis piores para diâmetro do hipocótilo (DH) e produtividade de grãos (PROD) em quatro ambientes

População	Classificação (Seis melhores – DH)				Soma de ranks
	INV/F2	INV/F3	SEC/F3	SEC/F4	
A525 x VC6	1	12	1	1	15
A525 x L3	13	1	5	2	21
CNFC 9466 x VC6	5	2	19	4	30
A525 x L1	3	3	16	9	31
CNFC 9466 x L1	12	7	15	11	45
A805 x VC6	16	11	2	21	50
Classificação (Seis piores – DH)					
BRS Horizonte x BRS MG Majestoso	25	45	41	43	154
CNFC 9466 x BRS MG Madrepérola	38	36	46	37	157
BRS Horizonte x L2	46	48	30	38	162
CNFC 9466 x BRS MG Majestoso	37	37	44	44	162
A805 x L2	42	33	42	45	162
BRS Valente x L2	45	42	47	46	180
Classificação (Seis melhores – PROD)					
CNFC 9466 x L2	2	6	7	3	18
CNFC 9466 x BRS MG Majestoso	17	5	9	1	32
BRS Valente x BRS MG Madrepérola	5	15	14	4	38
CNFC 9466 x BRS MG Madrepérola	1	2	15	23	41
BRS Valente x BRS MG Majestoso	4	1	22	25	52
CNFC 9466 x VC6	9	14	20	9	52
Classificação (Seis piores – PROD)					
A525 x L3	47	10	44	42	143
A525 x L1	29	43	43	36	151
A805 x VC6	45	32	37	46	160
A525 x BRS MG Madrepérola	40	37	45	39	161
A525 x L2	39	44	48	47	178
A525 x VC6	44	46	47	48	185

para DH foram classificadas como promissoras para produtividade de grãos. Este resultado evidencia que a eliminação das piores populações, principalmente com base na PROD, resulta no descarte de populações promissoras para extração de linhagens visando porte ereto. Assim, uma estratégia visando melhoria simultânea do porte e da produtividade de grãos seria o estabelecimento de um programa de seleção recorrente a partir das seis populações mais promissoras para cada um desses caracteres.

4. CONCLUSÕES

O efeito de ambientes interfere na escolha das populações de feijoeiro quando se utiliza o método de Jinks e Pooni (1965), tanto para diâmetro do hipocótilo como para produtividade de grãos.

Para maior segurança na escolha de populações segregantes de feijoeiro, pela metodologia de Jinks e Pooni (1976), recomenda-se avaliar as populações no maior número possível de ambientes.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. F. B.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. Prediction of seed-yield potential of common bean populations. *Genetics and Molecular Biology*, Ribeirão Preto, v. 25, n. 3, p. 323-327, 2002.

ACQUAAH, G.; ADAMS, M. W.; KELLY, J. D. Identification of effective indicators of erect plant architecture in dry bean. *Crop Science*, Madison, v. 31, n. 2, p. 261-264, 1991.

CARNEIRO, J. E. S.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; GONÇALVES, F. M. A. Breeding potential of single, double and multiple crosses in common bean. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 2, n. 4, p. 515-524, 2002.

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*, Brasília, v. 32, n. 3, p. 297-304, 1997.

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

GONÇALVES-VIDIGAL, M. C.; SILVÉRIO, L.; ELIAS, H. T.; VIDIGAL FILHO, P. S.; KVITSCHAL, M. V.; RETUCI, V. S.; SILVA, C. R. Combining ability and heterosis in common bean cultivars. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 43, n. 9, p. 1143-1150, 2008.

JINKS, J. L.; POONI, H. S. Comparing predictions of mean performance and environmental sensitivity of recombinant inbred lines based upon F₃ and triple test cross families. *Heredity*, Edinburgh, v. 45, n. 3, p. 305-312, 1980.

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

KUREK, A. J.; CARVALHO, F. I. F.; ASSMANN, I. C.; CRUZ, P. J. Capacidade combinatória como critério de eficiência na seleção de genitores em feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 4, p. 645-651, 2001.

MENDES, F. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Índice de seleção para escolha de populações segregantes de feijoeiro-comum. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1312-1318, 2009.

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

MOURA, M. M. *Potencial de caracteres para avaliação da arquitetura de plantas de feijão*. 2011. 57 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011

OTUBO, S. T.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B. Genetic control of low temperature tolerance in germination of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Euphytica*, Wageningen, v. 89, n. 3, p. 313-317, 1996.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; RIGHETTO, G. U. Interação de cultivares de feijão por épocas de semeadura em diferentes localidades do estado de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 28, n. 10, p. 1183-1189, 1993b.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, P. S. J. Interações genótipos x épocas de semeadura, anos e locais na avaliação de cultivares de feijão nas regiões sul e alto Paranaíba em Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 22, n. 2, p. 176-181, 1998.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. O. *Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro*. Goiânia: UFG, 1993a. 271 p.

RODRIGUES, R.; LEAL, N. R.; PEREIRA, M. G. Análise dialélica de seis características agrônômicas em *Phaseolus vulgaris* L. *Bragantia*, Campinas, v. 57, n. 2, p. 241-250, 1998.

SANTOS, J. B.; VENCOVSKY, R.; RAMALHO, M. A. P. Controle genético da produção de grãos e de seus componentes primários em feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 20, n. 10, p. 1203-1211, 1985.

SANTOS, P. G.; SOARES, A. A.; RAMALHO, M. A. P. Predição do potencial genético de populações segregantes de arroz de terras altas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 4, p. 659-670, 2001.

SILVA, V. M. P. *Melhoramento genético do porte do feijoeiro*. 2011. 60 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

TRILLER, C.; TOLEDO, J. F. F. Using the F₃ generation for predicting the breeding potential of soybean crosses. *Revista Brasileira de Genética*, Ribeirão Preto, v. 19, n. 2, p. 289-294, 1996.

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

CAPÍTULO 3

ESTRATÉGIAS DE PREDIÇÃO E EFEITOS DE AMBIENTES NA AVALIAÇÃO DE POPULAÇÕES SEGREGANTES DE FEIJÃO

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi verificar a consistência da predição do potencial de populações de feijão quanto ao diâmetro do hipocótilo (DH) e à produtividade de grãos (PROD), em duas safras, pelas metodologias de Jinks e Pooni (1976) e $m+a'$ e d . Para isso foram avaliadas 48 populações segregantes nas safras de inverno de 2009 (gerações F_2 e F_3 , simultaneamente) e seca de 2010 (gerações F_3 e F_4 , simultaneamente), além de 16 testemunhas. Pela metodologia de Jinks e Pooni, verificou-se que apenas quatro e duas populações foram coincidentes entre as 12 melhores nas duas safras, para DH e PROD, respectivamente. A correlação entre $\bar{F}_n$ (inverno) x $\bar{F}_n$ (seca) foi significativa e de magnitude razoável para os dois caracteres, enquanto para σ_G^2 (inverno) x σ_G^2 (seca) foi inexpressiva, indicando maior influência dos efeitos ambientais nas estimativas de variância do que das médias. Constatou-se baixa correlação entre os pares $m+a'$ (inverno) x $m+a'$ (seca) e d (inverno) x d (seca) em ambos os caracteres, evidenciando que essas estimativas também sofrem grande efeito de ambientes. As populações mais promissoras, considerando o DH e a PROD, simultaneamente, foram IPR Uirapuru x L1, BRS Valente x VC6 e CNFC 9466 x VC6, pela metodologia de Jinks e Pooni (1976) e CNFC 9466 x L3, BRS Horizonte x VC6 e IPR Uirapuru x BRSMG Madrepérola, pelo método de $m+a'$ e d . Assim,

essas metodologias são complementares na predição do potencial de populações segregantes de feijoeiro.

ABSTRACT

The objective of this work was to verify the consistency in predicting the potential of bean plant populations regarding the hypocotyl diameter (HD) and grain yield (GY) in two seasons applying the methodologies Jinks and Pooni and $m+a'$ and d . Thus, 48 segregating populations were evaluated in the 2009 winter season (generations F_2 and F_3 , simultaneously) and 2010 dry season (generations F_3 and F_4 , simultaneously), besides 16 controls. Based on the Jinks and Pooni methodology, it was verified that only four and two populations coincided among the twelve best in the two crops, for HD and GY, respectively. The correlation between $\bar{F}_n$ (winter season) x $\bar{F}_n$ (dry season) was significant and of reasonable magnitude for the two characters, while for σ_G^2 (winter season) x σ_G^2 (dry season) it was inexpressive, indicating greater influence of the environmental effects on the variance estimates than on the mean estimates. A low correlation between the pairs $m+a'$ (winter season) x $m+a'$ (dry season) and d (winter season) x d (dry season) in both the characters was verified, showing that these estimates are also highly influenced by the environments. The most promising populations, considering HD and GY, simultaneously, were IPR Uirapuru x L1, BRS Valente x VC6, and CNFC 9466 x VC6, according to the Jinks and Pooni methodology ; and CNFC 9466 x L3, BRS Horizonte x VC6, and IPR Uirapuru x BRSMG Madreperola, by the method $m+a'$ and d . Thus, these methodologies are complementary in predicting the potential of segregating bean plant populations.

1. INTRODUÇÃO

Na condução de um programa de melhoramento por hibridação em plantas autógamas, a escolha das populações segregantes com maior potencial para extração de linhagens superiores é uma etapa de extrema importância. Embora muitas populações sejam obtidas e avaliadas anualmente pelos melhoristas, nem todas possuem potencial para que genótipos com desempenho superior aos genitores sejam selecionados e recomendados como cultivares. Assim, a avaliação do potencial das populações segregantes pode aumentar a eficiência dos programas de melhoramento.

Entre os procedimentos que auxiliam os melhoristas na escolha das populações segregantes destacam-se o método proposto por Jinks e Pooni (1976) e as estimativas dos parâmetros $m+a'$ e d (VENCOVSKY, 1987). O procedimento de Jinks e Pooni (1976) estima a probabilidade de se obter linhagens que superem um determinado padrão na geração F_{∞} , considerando a média e a variância das gerações iniciais. Alguns estudos relatam a eficiência do método de Jinks e Pooni (1976) em feijão (OTUBO *et al.*, 1996; ABREU *et al.*, 2002; CARNEIRO *et al.*, 2002); soja (TRILLER; TOLEDO, 1996; RIBEIRO *et al.*, 2009); e arroz (SANTOS *et al.*, 2001).

A estimativa de $m+a'$ representa a contribuição dos locos em homozigose, fixados nas linhagens parentais; portanto, depende do desempenho das linhagens *per se*. Já a estimativa de d corresponde ao desvio dos heterozigotos em relação à média e depende da divergência entre as linhagens e da existência de dominância do caráter. Assim, uma população será boa fonte de linhagens, caso apresente elevada estimativa de $m+a'$, associada aos elevados valores de d . Também há relatos da eficiência desta metodologia na predição do potencial de populações de feijoeiro para a extração de linhagens (ABREU *et al.*, 2002; CARNEIRO *et al.*, 2002; MENDONÇA *et al.*, 2002).

Apesar do uso dessas metodologias na cultura do feijoeiro, não foram encontradas informações sobre o efeito de ambientes na predição do potencial, pois, em geral, as populações foram avaliadas em uma única safra. Triller e Toledo (1996) verificaram em soja que a presença de interação genótipos x ambientes interferiu no processo de predição quando utilizaram a metodologia de Jinks e Pooni (1976). Segundo esses autores, na presença dessa interação, a utilização de mais de uma cultivar de referência e, principalmente, de dados de dois ambientes, foi útil para aumentar a precisão das estimativas para o caráter produtividade de grãos.

No melhoramento do feijoeiro, a escolha das populações segregantes mais promissoras tem sido feita com base, principalmente, na produtividade de grãos. Entretanto, outros caracteres, como arquitetura de planta devem ser considerados, já que têm recebido grande atenção dos melhoristas (MENEZES JÚNIOR *et al.*, 2008; MENDES *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2009). Porém, fatores ambientais aliados à avaliação visual por meio de notas atribuídas em campo, diminuem a precisão da avaliação da arquitetura de planta, resultando em menor acurácia na predição do potencial das populações quanto à arquitetura. Acquaah *et al.* (1991), Moura (2011) e Silva (2011) relatam a eficácia do diâmetro do hipocótilo na determinação da arquitetura do feijoeiro. Assim, esta característica apresenta potencial para ser utilizada na identificação de populações de melhor porte.

Do exposto, esse trabalho foi realizado com o objetivo de verificar a consistência da predição do potencial de populações de feijão quanto ao diâmetro do hipocótilo e à produtividade de grãos, nas safras de inverno e seca, pelas metodologias de Jinks e Pooni (1976) e $m+a'$ e d .

2. MATERIAL E MÉTODOS

Quarenta e oito populações de feijão foram derivadas de cruzamentos entre 14 genitores em um esquema de dialelo parcial. Essas populações foram avaliadas simultaneamente nas gerações F_2 e F_3 com os 14 genitores e duas cultivares comerciais (Pérola e BRSMG Talismã), totalizando 112 tratamentos, na safra do inverno (semeadura na 1ª quinzena de agosto de 2009). Em 2010, na safra da seca (semeadura na 2ª quinzena de fevereiro), foi avaliado o mesmo número de tratamentos, sendo as populações constituídas pelas gerações F_3 e F_4 . Os dois experimentos foram conduzidos no campo experimental da Universidade Federal de Viçosa (UFV), no município de Coimbra, MG. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com três repetições, sendo as parcelas constituídas de quatro linhas de 4 m, espaçadas de 0,5 m, com 15 sementes por metro.

As populações e testemunhas foram avaliadas quanto à produtividade de grãos e ao diâmetro do hipocótilo, que foi medido com paquímetro digital em 20 plantas retiradas de forma aleatória de cada parcela. A adubação de plantio constou de 350 kg ha⁻¹ do formulado 8-28-16 de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, e aos 25 dias após a emergência das plântulas foi realizada a adubação de cobertura

com 30 kg ha⁻¹ de N. Os demais tratos culturais foram os recomendados para a cultura do feijoeiro na região.

A predição do potencial das populações F₂ (2009) e F₃ (2010) foi realizada pela metodologia de Jinks e Pooni (1976), que estima a probabilidade de cada população originar linhagens que superam um determinado padrão (PSP). Essa probabilidade corresponde à área à direita de um determinado valor de x na abscissa da distribuição normal, calculada utilizando as propriedades de uma distribuição normal padronizada, estimando-se a variável Z pela expressão $Z = (x - m)/s$, em que:

x = média da linhagem-padrão ($\bar{L}$) que, para produtividade de grãos, foi a da cultivar Pérola, acrescida de 35% e para diâmetro do hipocótilo foi a média da linhagem A805, acrescida de 10%;

m = média das linhagens na geração F_∞ que, em um modelo sem dominância, corresponde à média da geração em estudo ($\bar{F}_{n_i}$); e

$$s = \text{desvio-padrão fenotípico entre as linhagens} \left(s = \sqrt{\hat{\sigma}_{F_L}^2} \right).$$

A variância genética entre as linhagens ($\hat{\sigma}_{G_L}^2$) equivale a duas vezes a variância genética aditiva ($\hat{\sigma}_A^2$) presente na F₂. Para um modelo sem dominância, a variância fenotípica da geração F₂ ($\hat{\sigma}_{F_2}^2$) contém $\hat{\sigma}_A^2 + \hat{\sigma}_E^2$. Logo, $2\hat{\sigma}_A^2 = 2\hat{\sigma}_{F_2}^2 - 2\hat{\sigma}_E^2$. Considerando que a variância ambiental da geração F₂ possa ser estimada pela variância das linhagens (testemunhas), tem-se que $s = \sqrt{\hat{\sigma}_{F_L}^2} = \sqrt{2\hat{\sigma}_A^2 + \hat{\sigma}_E^2} = \sqrt{2\hat{\sigma}_{F_2}^2 - \hat{\sigma}_E^2}$. Portanto, para uma dada população i, $Z_i = (\bar{L} - \bar{F}_{2i}) / \sqrt{(2\hat{\sigma}_{F_2}^2 - \hat{\sigma}_{Ei}^2)}$. Para populações, avaliadas na geração F₃, a probabilidade de uma dada população i gerar linhagens que superem um determinado padrão foi estimada pela expressão:

$$Z_i = (\bar{L} - \bar{F}_{3i}) / \sqrt{(1,332\hat{\sigma}_{F_3i}^2 - 0,332\hat{\sigma}_{Ei}^2)}$$

A variância fenotípica de cada uma das populações ($\hat{\sigma}_{F_i}^2$) foi estimada, por repetição, de 20 plantas amostradas de uma das linhas centrais, ignorando-se 0,5 m de cada extremidade. Posteriormente, foi obtida a média dessas variâncias nas diferentes repetições. Como estimativa da variância ambiental para as populações foi utilizada a média das variâncias ambientais de cada uma das 16 testemunhas. A

variância ambiental de cada testemunha correspondeu à estimativa da variância fenotípica destas, estimadas da mesma forma que para as populações.

A partir das médias das gerações avaliadas foram obtidas estimativas da contribuição dos locos em homozigose ($m+a'$) e em heterozigose (d). As expressões para obtenção das estimativas de $m+a'$ e d foram:

$$\text{Gerações } F_2 \text{ e } F_3: \quad m + a' = 2\bar{F}_{3_i} - \bar{F}_{2_i}; d = 4(\bar{F}_{2_i} - \bar{F}_{3_i})$$

$$\text{Gerações } F_3 \text{ e } F_4: \quad m + a = 2\bar{F}_{4_i} - \bar{F}_{3_i}; d = 8(\bar{F}_{3_i} - \bar{F}_{4_i})$$

Na quantificação da consistência da predição foi determinado o número de populações coincidentes entre as 12 de maior potencial, considerando cada metodologia nas safras do inverno e seca.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação ao diâmetro do hipocótilo (DH), verificou-se que a população 23 apresentou a menor média por planta, enquanto a população 43 a maior média, nas duas safras (Tabela 1). Foram estimados vários valores negativos para a variância genética das populações, em cerca de 30% delas. Este resultado indica que a variância ambiental, estimada com base nas testemunhas, apresentou valores superestimados. Nessas populações, a herdabilidade foi considerada nula. De modo geral, as estimativas de herdabilidade, em nível de indivíduos, foram relativamente de baixa magnitude, com o maior valor de 47,60%. Segundo Vello e Vencovsky (1974), pode haver a ocorrência de erros associados às estimativas da variância genética, principalmente para variância no âmbito de indivíduo.

Pela metodologia de Jinks e Pooni (1976), observou-se que das 12 populações segregantes mais promissoras em relação ao DH, com probabilidade (PSP) de produzir linhagens que superem a cultivar A805 em 10%, apenas quatro populações (43, 13, 16 e 36) foram coincidentes nas duas safras (Tabela 1).

Considerando a produção de grãos, também foram estimados valores negativos de variância genética para várias populações e herdabilidade, em nível de indivíduo, de baixa magnitude (Tabela 2). Entre as 12 populações com maior potencial para extração de linhagens que superam a cultivar Pérola em 35%, destacaram-se apenas as populações 29 e 33, considerando as duas safras simultaneamente. Estes resultados, associados às predições para o caráter DH, indicam que

Tabela 1 – Média por planta ($\bar{F}_n$, cm) do diâmetro do hipocótilo, variância genética (σ_G^2), herdabilidade (h^2) e probabilidade de obtenção de linhagens que superam a linhagem A805 em 10% (PSP, %), para 48 populações de feijão avaliadas no inverno de 2009 e seca de 2010

População	Diâmetro do Hipocótilo							
	Inverno de 2009 (Geração F ₂)				Seca de 2010 (Geração F ₃)			
	$\bar{F}_n$	σ_G^2	h^2 (%)	PSP	$\bar{F}_n$	σ_G^2	h^2 (%)	PSP
1 (1 x 9)*	0,581	0,001	13,25	7,93	0,610	0,004	30,37	14,69
2 (1 x 10)	0,576	0,005	33,46	12,10	0,561	0,003	26,31	6,55
3 (1 x 11)	0,542	0,002	21,74	5,16	0,564	0,000	0,00	4,09
4 (1 x 12)	0,558	-0,002	0,00**	1,13	0,594	0,004	31,77	12,10
5 (1 x 13)	0,498	-0,001	0,00	0,23	0,500	-0,002	0,00	0,19
6 (1 x 14)	0,583	-0,003	0,00	0,38	0,597	0,003	25,44	11,31
7 (2 x 9)	0,587	0,001	13,24	8,69	0,615	0,000	0,00	10,75
8 (2 x 10)	0,592	0,001	10,09	8,85	0,582	0,004	31,84	10,20
9 (2 x 11)	0,546	0,000	0,00	2,39	0,574	0,002	21,19	7,21
10 (2 x 12)	0,587	0,000	0,00	6,81	0,582	-0,002	0,00	3,36
11 (2 x 13)	0,568	0,002	21,58	7,93	0,552	-0,002	0,00	0,96
12 (2 x 14)	0,567	-0,002	0,00	1,32	0,592	0,007	43,66	14,46
13 (3 x 9)	0,622	0,003	21,96	17,36	0,645	-0,001	0,00	14,69
14 (3 x 10)	0,586	0,001	7,65	7,35	0,601	-0,001	0,00	5,71
15 (3 x 11)	0,556	-0,001	0,00	2,12	0,583	0,004	28,92	9,85
16 (3 x 12)	0,601	0,001	8,58	9,85	0,643	0,000	0,00	16,11
17 (3 x 13)	0,582	0,004	33,20	12,71	0,599	0,001	8,16	8,69
18 (3 x 14)	0,582	0,000	0,00	5,59	0,630	0,001	6,25	14,46
19 (4 x 9)	0,590	-0,001	0,00	5,26	0,612	0,002	18,53	12,71
20 (4 x 10)	0,557	0,001	14,19	5,26	0,561	-0,002	0,00	1,29
21 (4 x 11)	0,562	0,001	11,36	5,37	0,550	0,003	23,74	5,05
22 (4 x 12)	0,568	-0,002	0,00	0,78	0,615	0,003	24,84	14,46
23 (4 x 13)	0,489	-0,002	0,00	0,02	0,538	0,007	42,92	7,08
24 (4 x 14)	0,581	0,003	22,38	10,03	0,601	0,003	23,75	11,90
25 (5 x 9)	0,610	0,002	19,93	14,23	0,609	0,002	17,26	11,90
26 (5 x 10)	0,552	-0,001	0,00	1,79	0,559	-0,003	0,00	0,96
27 (5 x 11)	0,525	0,000	0,00	1,58	0,551	-0,003	0,00	0,39
28 (5 x 12)	0,575	0,003	25,55	9,85	0,590	0,005	36,44	12,51
29 (5 x 13)	0,543	0,007	45,15	10,75	0,543	0,001	7,14	2,68
30 (5 x 14)	0,567	-0,003	0,00	0,01	0,590	0,002	18,92	9,01
31 (6 x 9)	0,602	0,000	0,00	8,38	0,640	0,008	45,94	24,51
32 (6 x 10)	0,594	0,004	30,72	14,01	0,553	-0,001	0,00	2,22
33 (6 x 11)	0,555	0,001	5,40	3,67	0,540	0,003	22,28	4,01
34 (6 x 12)	0,560	0,002	18,94	6,55	0,645	0,005	33,57	23,27
35 (6 x 13)	0,529	-0,001	0,00	0,87	0,543	-0,002	0,00	1,02
36 (6 x 14)	0,592	0,005	34,24	14,69	0,616	0,004	28,75	15,62
37 (7 x 9)	0,589	-0,002	0,00	2,33	0,624	0,002	17,74	15,15
38 (7 x 10)	0,570	0,000	0,00	4,36	0,541	-0,004	0,00	0,09
39 (7 x 11)	0,540	-0,001	0,00	1,16	0,542	-0,001	0,00	1,54
40 (7 x 12)	0,587	-0,002	0,00	2,56	0,606	-0,003	0,00	3,67
41 (7 x 13)	0,556	0,000	0,00	3,51	0,546	-0,002	0,00	0,68
42 (7 x 14)	0,602	-0,005	0,00	0,00	0,610	0,001	9,39	10,75
43 (8 x 9)	0,644	0,004	28,21	23,89	0,669	0,008	47,60	31,92
44 (8 x 10)	0,585	-0,002	0,00	2,44	0,640	0,006	39,68	23,27
45 (8 x 11)	0,542	0,002	17,64	4,46	0,559	0,005	35,16	7,93
46 (8 x 12)	0,617	0,002	21,23	16,11	0,614	0,002	14,40	12,51
47 (8 x 13)	0,563	0,001	9,53	5,05	0,579	0,004	31,46	9,68
48 (8 x 14)	0,592	0,001	12,06	9,34	0,631	0,006	38,40	20,90

* Números entre parênteses referem-se aos seguintes genitores: 1 = BRS Valente; 2 = BRS Supremo; 3 = IPR Uirapuru; 4 = BRS Horizonte; 5 = CNFC 9466; 6 = A805; 7 = A170; 8 = A525; 9 = VC6; 10 = BRS MG Majestoso; 11 = BRS MG Madrepérola; e 12 = L1; 13: L2 e 14: L3. ** A herdabilidade foi considerada nula, em função dos valores negativos ou nulos estimados para a variância genética.

Tabela 2 – Média da produção de grãos por planta ($\bar{F}_n$), variância genética (σ_G^2), herdabilidade (h^2) e probabilidade de obtenção de linhagens que superam a cultivar Pérola em 35% (PSP, em %), para 48 populações de feijoeiro no inverno de 2009 e seca de 2010

População	Produtividade de Grãos							
	Inverno de 2009 (Geração F ₂)				Seca de 2010 (Geração F ₃)			
	$\bar{F}_n$ (g)	σ_G^2	h^2 (%)	PSP	$\bar{F}_n$ (g)	σ_G^2	h^2 (%)	PSP
1 (1 x 9)*	14,68	31,58	39,29	44,83	12,79	19,85	26,70	41,29
2 (1 x 10)	13,98	115,59	70,31	45,22	12,10	38,97	41,69	39,74
3 (1 x 11)	14,99	11,07	18,50	45,22	12,31	51,32	48,50	41,29
4 (1 x 12)	14,80	5,13	9,52	43,64	12,41	30,83	36,13	40,52
5 (1 x 13)	14,73	-1,81	0,00**	42,47	11,74	-13,27	0,00	31,21
6 (1 x 14)	14,26	-2,87	0,00	39,36	11,83	44,07	44,71	39,36
7 (2 x 9)	15,33	0,09	0,19	46,02	11,08	-2,89	0,00	30,50
8 (2 x 10)	13,38	14,52	22,93	38,21	12,49	6,03	9,95	38,97
9 (2 x 11)	13,68	36,36	42,70	41,68	11,90	42,26	43,67	39,36
10 (2 x 12)	14,26	12,98	21,01	41,68	12,86	-7,16	0,00	38,97
11 (2 x 13)	12,69	9,81	16,73	34,46	12,13	-2,42	0,00	35,94
12 (2 x 14)	14,39	-14,90	0,00	35,2	11,59	75,53	58,08	40,13
13 (3 x 9)	13,33	24,86	33,75	39,36	12,73	8,28	13,18	40,13
14 (3 x 10)	13,01	17,20	26,06	37,07	11,62	-1,27	0,00	33,36
15 (3 x 11)	13,17	13,37	21,51	37,07	12,89	20,19	27,03	42,07
16 (3 x 12)	13,73	17,19	26,05	40,13	14,08	-1,55	0,00	46,41
17 (3 x 13)	13,12	26,02	34,78	38,59	11,81	10,08	15,61	36,32
18 (3 x 14)	14,75	-8,68	0,00	40,90	11,27	-5,20	0,00	30,85
19 (4 x 9)	14,62	-13,14	0,00	38,21	12,37	16,05	22,74	39,36
20 (4 x 10)	11,53	46,91	49,01	35,20	9,82	-0,14	0,00	25,14
21 (4 x 11)	13,10	34,25	41,24	39,36	13,35	15,36	21,98	43,64
22 (4 x 12)	13,98	-1,09	0,00	38,21	12,84	30,09	35,57	42,47
23 (4 x 13)	13,42	-17,69	0,00	23,58	13,13	81,62	59,96	44,83
24 (4 x 14)	13,61	28,90	37,19	40,52	13,35	36,80	40,31	44,43
25 (5 x 9)	14,95	-5,94	0,00	42,86	12,70	7,85	12,58	40,13
26 (5 x 10)	13,43	32,00	39,60	40,13	13,49	-7,66	0,00	42,47
27 (5 x 11)	15,64	27,86	36,35	48,40	13,19	-5,41	0,00	41,29
28 (5 x 12)	13,07	12,47	20,36	36,32	12,02	21,88	28,64	38,21
29 (5 x 13)	15,40	39,82	44,93	47,61	13,19	23,12	29,78	43,25
30 (5 x 14)	15,16	-16,66	0,00	41,29	12,78	3,19	5,54	40,13
31 (6 x 9)	12,41	-18,48	0,00	14,46	11,24	11,36	17,25	33,72
32 (6 x 10)	13,03	19,77	28,84	37,45	12,41	0,30	0,55	37,83
33 (6 x 11)	14,59	20,12	29,19	44,04	14,27	60,99	52,80	48,40
34 (6 x 12)	12,29	-12,16	0,00	22,36	12,86	29,38	35,02	42,47
35 (6 x 13)	12,18	-4,87	0,00	26,76	12,94	-18,32	0,00	37,07
36 (6 x 14)	12,17	-16,00	0,00	17,36	11,09	21,95	28,70	34,46
37 (7 x 9)	13,50	-21,53	0,00	14,46	11,32	1,68	2,99	32,64
38 (7 x 10)	12,75	3,56	6,80	33,00	13,93	-8,99	0,00	45,22
39 (7 x 11)	13,64	-8,47	0,00	33,72	13,32	-15,43	0,00	40,52
40 (7 x 12)	14,09	-19,55	0,00	26,76	13,02	-7,62	0,00	39,74
41 (7 x 13)	13,39	28,36	36,76	39,74	13,30	-18,96	0,00	39,74
42 (7 x 14)	13,53	-9,75	0,00	32,27	12,89	15,81	22,48	41,68
43 (8 x 9)	11,24	-13,60	0,00	15,15	9,37	-3,43	0,00	22,36
44 (8 x 10)	14,21	-25,59	0,00	0,00	11,56	43,27	44,25	38,21
45 (8 x 11)	11,67	-3,11	0,00	25,14	11,22	-13,29	0,00	28,10
46 (8 x 12)	12,46	32,59	40,04	36,69	11,50	-15,77	0,00	28,77
47 (8 x 13)	11,67	-0,48	0,00	26,43	9,82	-12,12	0,00	21,48
48 (8 x 14)	11,46	-15,45	0,00	14,01	9,76	16,23	22,94	28,43

* Números entre parênteses referem-se aos seguintes genitores: 1 = BRS Valente; 2 = BRS Supremo; 3 = IPR Uirapuru; 4 = BRS Horizonte; 5 = CNFC 9466; 6 = A805; 7 = A170; 8 = A525; 9 = VC6; 10 = BRS MG Majestoso; 11 = BRS MG Madrepérola; e 12 = L1; 13: L2 e 14: L3. ** A herdabilidade foi considerada nula, em função dos valores negativos ou nulos estimados para a variância genética.

a metodologia de Jinks e Pooni (1976) é bastante influenciada pelos efeitos de ambiente, o que pode levar a escolha de populações pouco promissoras, se realizada com base em uma só geração. De modo geral, a metodologia de Jinks e Pooni (1976) tem sido utilizada no feijoeiro como alternativa para escolha de populações segregantes (ABREU *et al.*, 2002; CARNEIRO *et al.*, 2002; MENDONÇA *et al.*, 2002), com base na predição em apenas uma geração de avaliação. Entretanto, em soja, Triller e Toledo (1996) verificaram que, embora a predição por essa metodologia não tenha sido influenciada pela herdabilidade e complexidade do controle genético do caráter, a presença de interação genótipos x ambientes interferiu no processo de predição.

As estimativas do coeficiente de correlação entre os parâmetros $\bar{F}_n$ x PSP e σ_G^2 x PSP foram significativas e, em sua maioria, de alta magnitude, tanto para diâmetro do hipocótilo quanto para produtividade de grãos (Tabela 3). Estes resultados corroboram o preconizado pela metodologia de Jinks e Pooni (1976), que procura conciliar na mesma população elevados valores de média e variância genética. Cabe ressaltar que as correlações entre $\bar{F}_n$ x σ_G^2 para os dois caracteres em ambas as safras foram pouco expressivas, indicando que a seleção de populações com base em apenas um destes parâmetros seria de baixa eficiência. Santos *et al.* (2001) constataram que médias altas coincidiram com variâncias genéticas baixas em populações de arroz, o que dificulta a seleção de populações que conciliem os dois parâmetros.

Tabela 3 – Estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros média ($\bar{F}_n$), variância genética (σ_G^2) e probabilidade de obtenção de linhagens que superam a cultivar-padrão (PSP) para diâmetro do hipocótilo e produtividade de grãos do feijoeiro nas safras de inverno de 2009 e seca de 2010

Parâmetros	Diâmetro do Hipocótilo		Produtividade de Grãos	
	Inverno	Seca	Inverno	Seca
$\bar{F}_n$ x PSP	0,67**	0,88**	0,60**	0,92**
σ_G^2 x PSP	0,80**	0,76**	0,59**	0,45**
$\bar{F}_n$ x σ_G^2	0,22	0,44**	0,07	0,12
$\bar{F}_n$ (Inverno) x $\bar{F}_n$ (Seca)	0,78**		0,47**	
σ_G^2 (Inverno) x σ_G^2 (Seca)	0,05		0,01	
PSP (Inverno) x PSP (Seca)	0,40**		0,38**	

** Significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste t.

As estimativas do coeficiente de correlação entre o desempenho das populações nas duas safras, $\bar{F}_n$ (inverno) x $\bar{F}_n$ (seca), foram significativas e de magnitude razoável, enquanto para σ_G^2 (inverno) x σ_G^2 (seca) foram inexpressivas (Tabela 3), indicando maior influência dos efeitos ambientais nas estimativas de variância do que das médias. A correlação entre as predições para a safra do inverno e para a seca, PSP (inverno) x PSP (seca), embora significativas, foram de baixa magnitude, tanto para diâmetro do hipocótilo quanto para produtividade de grãos. Assim, maior acurácia na predição do potencial de populações segregantes pode ser obtida a partir da avaliação dessas populações em dois ou mais ambientes, utilizando a média das PSP. Jinks e Pooni (1980), ao avaliarem altura de planta e dias para florescimento em tabaco, ressaltaram a importância da obtenção de estimativas de variâncias livre de efeitos de interação, visto que para um desses caracteres a interação com o ambiente proporcionou desvio nas predições.

Com base nas médias de PSP das duas safras foram escolhidas as 12 melhores populações para diâmetro do hipocótilo e as 12 melhores para produtividade de grãos (Tabela 4). Em relação ao diâmetro do hipocótilo, os genitores VC6, A525 e L1 foram os que mais contribuíram para formação das populações mais promissoras. Silva (2011), estudando a capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação dos genitores destas populações, observou que as linhagens VC6 e A525 apresentaram as maiores estimativas de CGC para DH, altura média de planta e nota de arquitetura de planta, indicando que estas linhagens possuem maior frequência de alelos favoráveis para essas características. Os genitores CNFC 9466, BRS Valente e BRS MG Madrepérola sobressaíram quanto à formação de populações com maior potencial produtivo. Foi possível a obtenção de três populações promissoras para os dois caracteres simultaneamente (IPR Uirapuru x L1, BRS Valente x VC6 e CNFC 9466 x VC6). De acordo com Silva (2011), a população CNFC 9466 x VC6 também se destacou em relação à arquitetura de planta e à produtividade de grãos.

Outra estratégia utilizada para predizer o potencial de populações segregantes refere-se às estimativas de $m+a'$ e d . A estimativa de $m+a'$ corresponde à média de todas possíveis linhagens de um cruzamento na geração F_∞ e a estimativa de d indica a variabilidade entre essas linhagens (VENCOVSKY, 1987). Dessa forma, a população segregante de maior potencial possui elevados valores de $m+a'$ e d

Tabela 4 – Probabilidade média de obtenção de linhagens que superem a cultivar-padrão (PSP, em %) das 12 melhores populações para diâmetro do hipocótilo e das 12 melhores para produtividade de grãos do feijoeiro

Diâmetro do Hipocótilo		Produtividade de Grãos	
População	PSP	População	PSP
A525 x VC6	27,91	A805 x BRS MG Madrepérola	46,22
A805 x VC6	16,45	CNFC 9466 x L2	45,43
IPR Uirapuru x VC6	16,03	CNFC 9466 x BRS MG Madrepérola	44,85
A805 x L3	15,16	IPR Uirapuru x L1	43,27
A525 x L3	15,12	BRS Valente x BRS MG Madrepérola	43,26
A805 x L1	14,91	BRS Valente x VC6	43,06
A525 x L1	14,31	BRS Valente x BRS MG Majestoso	42,48
CNFC 9466 x VC6	13,07	BRS Horizonte x L3	42,48
IPR Uirapuru x L1	12,98	BRS Valente x L1	42,08
A525 x BRS MG Majestoso	12,86	BRS Horizonte x BRS MG Madrepérola	41,50
BRS Valente x VC6	11,31	CNFC 9466 x VC6	41,50
CNFC 9466 x L1	11,18	CNFC 9466 x BRS MG Majestoso	41,30

(ABREU *et al.*, 2002). As correlações de Pearson de alta magnitude e negativas entre as estimativas de $m+a'$ e d para diâmetro do hipocótilo e produtividade de grãos, nas duas safras, sugerem que populações com altos valores de $m+a'$ apresentam baixas estimativas de d e vice-versa (Tabela 5). A baixa correlação entre as combinações $m+a'$ (Inverno) x $m+a'$ (Seca) e d (Inverno) x d (Seca), para os dois caracteres, revelam que essas estimativas também sofrem grande efeito de ambientes. Portanto, a escolha de populações com base nas estimativas de $m+a'$ e d , obtidas em uma única safra, nem sempre é garantia de sucesso no programa de melhoramento.

Tabela 5 – Estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson relativas às estimativas de $m+a'$ e d , dentro e entre as safras do inverno de 2009 e seca de 2010, para diâmetro do hipocótilo e produtividade de grãos do feijoeiro

Correlação de Pearson	Diâmetro do Hipocótilo	Produtividade de Grãos
$m+a'$ (inverno) x d (inverno)	-0,87**	-0,91**
$m+a'$ (seca) x d (seca)	-0,83**	-0,90**
$m+a'$ (inverno) x $m+a'$ (seca)	0,39**	0,13
d (inverno) x d (seca)	0,14	0,14

** Significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste t.

As estimativas médias, considerando as safras de inverno e seca, de $m+a'$ e d , das 12 melhores populações para diâmetro do hipocótilo e produtividade de grãos,

são apresentadas na Tabela 6. A escolha dessas 12 populações para cada caráter foi feita de modo que tanto os valores de $m+a'$ como os de d fossem os mais elevados simultaneamente. Da mesma forma que para a metodologia de Jinks e Pooni (1976), o genitor VC6 se destacou na formação de cinco populações entre as 12 mais promissoras para diâmetro do hipocótilo pelas estimativas de $m+a'$ e d . Em relação à produtividade de grãos, a cultivar BRS MG Madrepérula foi a que mais contribuiu para composição de populações, com maiores valores de $m+a'$ e d , o que novamente confirmou o potencial desta cultivar na obtenção de populações mais promissoras. As populações 30, 19 e 15 figuraram entre as 12 melhores para as duas características simultaneamente, embora não sejam as mesmas identificadas pela metodologia de Jinks e Pooni (1976).

Tabela 6 – Estimativas médias de $m+a'$ e d das 12 melhores populações para diâmetro do hipocótilo e das 12 melhores para produtividade de grãos do feijoeiro

Diâmetro do Hipocótilo			Produtividade de Grãos		
População	$m+a'$	d	População	$m+a'$	d
44 (8 x 10)*	0,615	0,065	27 (5 x 11)	3390	108
16 (3 x 12)	0,601	0,077	38 (7 x 10)	3196	259
30 (5 x 14)	0,595	0,025	42 (7 x 14)	3073	117
19 (4 x 9)	0,590	0,033	34 (6 x 12)	3010	155
31 (6 x 9)	0,589	0,149	19 (4 x 9)	2964	405
13 (3 x 9)	0,582	0,204	39 (7 x 11)	2952	1370
36 (6 x 14)	0,574	0,101	15 (3 x 11)	2901	909
1 (1 x 9)	0,574	0,040	32 (6 x 10)	2874	597
7 (2 x 9)	0,570	0,126	30 (5 x 14)	2748	1877
24 (4 x 14)	0,569	0,038	22 (4 x 12)	2746	488
15 (3 x 11)	0,566	0,061	35 (6 x 13)	2719	919
2 (1 x 10)	0,565	0,039	21 (4 x 11)	2693	1984

* Números entre parênteses referem-se aos seguintes genitores: 1 = BRS Valente; 2 = BRS Supremo; 3 = IPR Uirapuru; 4 = BRS Horizonte; 5 = CNFC 9466; 6 = A805; 7 = A170; 8 = A525; 9 = VC6; 10 = BRS MG Majestoso; 11 = BRS MG Madrepérula; e 12 = L1; 13: L2 e 14: L3.

É importante ressaltar que, para aplicação da metodologia de Jinks e Pooni (1976), é necessária a obtenção de médias e variâncias de gerações iniciais e os efeitos de dominância não são considerados. Já na metodologia de $m+a'$ e d , não há restrição quanto ao grau de dominância. Assim, locos contrastantes nos genitores com alelos que exibem desvios de dominância são computados na variabilidade das

populações estimadas pelo parâmetro d , enquanto locos com ausência de dominância, a variabilidade nas populações é estimada pela metodologia de Jinks e Pooni (1976) e não por $m + a'$ e d . Conforme proposto por Oliveira *et al.* (1996), a associação dessas duas metodologias permite ao melhorista acessar o potencial das populações segregantes, com as vantagens de cada uma delas. Desta forma, as populações mais promissoras, considerando o diâmetro do hipocótilo e a produtividade de grãos, simultaneamente, foram IPR Uirapuru x L1, BRS Valente x VC6 e CNFC 9466 x VC6, pela metodologia de Jinks e Pooni (1976) e CNFC 9466 x L3, BRS Horizonte x VC6 e IPR Uirapuru x BRS MG Madrepérola, pelo método de $m+a'$ e d . Dessas seis populações, destacam-se CNFC 9466 x VC6, CNFC 9466 x L3 e BRS Horizonte x VC6, por apresentarem maior probabilidade de produzir linhagens de grãos do tipo carioca, uma vez que seus genitores são de grãos tipo carioca.

4. CONCLUSÕES

O efeito de safras influencia as predições do potencial de populações de feijoeiro, tanto na metodologia de Jinks e Pooni como nas estimativas de $m+a'$ e d .

As metodologias de Jinks e Pooni (1976) e $m+a'$ e d são complementares na predição do potencial de populações segregantes de feijoeiro.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. F. B.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. Prediction of seed-yield potential of common bean populations. *Genetics and Molecular Biology*, Ribeirão Preto, v. 25, n. 3, p. 323-327, 2002.

ACQUAAH, G.; ADAMS, M. W.; KELLY, J. D. Identification of effective indicators of erect plant architecture in dry bean. *Crop Science*, Madison, v. 31, n. 2, p. 261-264, 1991.

CARNEIRO, J. E. S.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; GONÇALVES, F. M. A. Breeding potential of single, double and multiple crosses in common bean. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 2, n. 4, p. 515-524, 2002.

JINKS, J. L.; POONI, H. S. Comparing predictions of mean performance and environmental sensitivity of recombinant inbred lines based upon F_3 and triple test cross families. *Heredity*, Edinburgh, v. 45, n. 3, p. 305-312, 1980.

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

MENDES, F. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Índice de seleção para escolha de populações segregantes de feijoeiro-comum. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1312-1318, 2009.

MENDONÇA, H. A.; SANTOS, J. B.; RAMALHO, M. A. P. Selection of common bean segregating populations using genetic and phenotypic parameters and RAPD markers. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 2, n. 2, p. 219-226, 2002.

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

MOURA, M. M. *Potencial de caracteres para avaliação da arquitetura de plantas de feijão*. 2011. 57 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

OLIVEIRA, L. B.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; FERREIRA, D. F. Alternative procedures for parent choice in a breeding program for the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Brazilian Journal of Genetics*, Ribeirão Preto, v. 19, n. 4, p. 611-615, 1996.

OTUBO, S. T.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B. Genetic control of low temperature tolerance in germination of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Euphytica*, Wageningen, v. 89, n. 3, p. 313-317, 1996.

RIBEIRO, A. S.; TOLEDO, J. F. F.; RAMALHO, M. A. P. Selection strategies of segregant soybean populations for resistance to Asian rust. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 44, n. 11, p. 1452-1459, 2009.

SANTOS, P. G.; SOARES, A. A.; RAMALHO, M. A. P. Predição do potencial genético de populações segregantes de arroz de terras altas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 4, p. 659-670, 2001.

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*, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1647-1652, 2009.

SILVA, V. M. P. *Melhoramento genético do porte do feijoeiro*. 2011. 60 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

TRILLER, C.; TOLEDO, J. F. F. Using the F₃ generation for predicting the breeding potential of soybean crosses. *Revista Brasileira de Genética*, Ribeirão Preto, v. 19, n. 2, p. 289-294, 1996.

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

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. (Ed.). *Melhoramento e produção de milho*. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 137-209.

4. CONCLUSÕES GERAIS

As associações observadas entre os caracteres diâmetro do hipocótilo, altura média de planta e arquitetura de planta ocorrem em virtude dos genes pleiotrópicos de efeitos aditivos.

As correlações dos caracteres diâmetro do hipocótilo, altura média de planta e arquitetura de planta com os caracteres produtividade e massa de 100 grãos ocorrem em virtude de diferentes genes ligados.

O diâmetro do hipocótilo e a altura média de planta são indicadores efetivos da arquitetura de plantas do feijoeiro.

A avaliação de famílias derivadas de gerações mais avançadas, em experimentos com repetições, é estratégia promissora para o desenvolvimento de linhagens de feijão produtivas, eretas e com grãos de tamanho aceitáveis comercialmente.

O efeito de ambientes interfere na escolha das populações de feijoeiro quando se utilizam o método de Jinks e Pooni (1976) e as estimativas de $m+a'$ e d , tanto para diâmetro do hipocótilo como para produtividade de grãos.

Para maior segurança na escolha de populações segregantes de feijoeiro, pelas metodologias de Jinks e Pooni (1976) e de $m+a'$ e d , recomenda-se avaliar as populações no maior número possível de ambientes.

As metodologias de Jinks e Pooni (1976) e $m+a'$ e d são complementares na predição do potencial de populações segregantes de feijoeiro.