



RITA DE KÁSSIA SIQUEIRA TEIXEIRA

**IMPLICAÇÕES DA SELEÇÃO PRECOCE PARA
COR DE GRÃO DO FEIJÃO NO TEOR DE
FERRO E ZINCO E NA PRODUTIVIDADE**

LAVRAS – MG

2014

RITA DE KÁSSIA SIQUEIRA TEIXEIRA

**IMPLICAÇÕES DA SELEÇÃO PRECOCE PARA COR DE GRÃO DO
FEIJÃO NO TEOR DE FERRO E ZINCO E NA PRODUTIVIDADE**

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

Orientadora

Dra. Ângela de Fátima Barbosa Abreu

Coorientador

Dr. Magno Antonio Patto Ramalho

LAVRAS - MG

2014

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Teixeira, Rita de Kássia Siqueira.

Implicações da seleção precoce para cor de grão do feijão no teor de ferro e zinco e na produtividade / Rita de Kássia Siqueira Teixeira. – Lavras : UFLA, 2014.

75 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador: Ângela de Fátima Barbosa Abreu.

Bibliografia.

1. *Phaseolus vulgaris* L. 2. Feijão - Qualidade nutricional. 3. Minerais. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 635.6523

RITA DE KÁSSIA SIQUEIRA TEIXEIRA

**IMPLICAÇÕES DA SELEÇÃO PRECOCE PARA COR DE GRÃO DO
FEIJÃO NO TEOR DE FERRO E ZINCO E NA PRODUTIVIDADE**

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

APROVADA em 25 de fevereiro de 2014.

Dr. Magno Antonio Patto Ramalho

UFLA

Dra. Camila Andrade Silva

FARO/RO

Dra. Ângela de Fátima Barbosa Abreu
Orientadora

LAVRAS - MG

2014

A Deus.

OFEREÇO

Aos meus pais, Leonardo e Soraia;

Ao meu irmão Leozinho;

Aos meus avós Terezinha, Ari (In Memoriam), Doquinha e Waldir;

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus e minha mãezinha Maria, por sempre me proteger, iluminar meu caminho, conceder-me sabedoria nas incertezas, força para não desistir.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pela oportunidade concedida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao CNPq, pela bolsa de Produtividade em Pesquisa e auxílio financeiro ao Projeto.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pelo apoio na realização do trabalho.

À minha orientadora Ângela de Fátima Barbosa Abreu, pelo seu exemplo de dedicação e perseverança, pelos ensinamentos, paciência, por acreditar em mim.

Aos meus pais, Leonardo e Soraia, por estarem sempre ao meu lado, pelo amor incondicional, por me mostrarem a direção correta, ensinarem a mim a ter fé, confiança e pelo incentivo.

Ao meu irmão Leozinho, pela amizade e companheirismo.

Aos meus avós que sempre rezaram por mim, pela alegria que sempre me proporcionaram e pelos bons conselhos.

A toda minha família, pelo apoio, amizade e carinho. Em especial ao Lucas, Dudu e Lelê que são meus “companheirinhos” e minha diversão.

Aos amigos de Lavras, pelo apoio, amizade, bons momentos compartilhados, os amigos de todas as horas.

Ao professor Magno Antonio Patto Ramalho, pelo exemplo profissional, ensinamentos e pela orientação.

À professora Angelita Duarte Corrêa, pelos ensinamentos, atenção e colaboração.

Aos professores do programa, pelos inúmeros ensinamentos.

Aos funcionários da Biologia, pela ajuda no campo e no dia a dia, pelas horas de prosa e pela amizade.

Ao Departamento de Agricultura e Química, pela disponibilização de equipamentos e auxílio na realização das análises.

Ao grupo do Feijão, por todo apoio na condução dos experimentos, amizade e ótimo convívio.

Aos amigos e colegas feitos durante esses dois anos de trabalho. Muito obrigada pelas conversas, risadas, ajudas e companheirismo.

A Dayane Lima, pela amizade, conselhos, boa vontade e por nunca ter me negado ajuda.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

RESUMO

Em Minas Gerais e na maioria das regiões do Brasil, a preferência é pelo feijão de grãos tipo carioca. Dessa forma, no melhoramento para qualquer característica, é importante que as progênies avaliadas sejam desse tipo de grão. Contudo, é questionável se a seleção precoce realizada para tipo de grão carioca pode interferir no sucesso com a seleção para outras características de interesse. Assim, os objetivos, neste trabalho, foram: verificar se a seleção precoce para tipo de grão afeta o teor de ferro e zinco e a produtividade de grãos; verificar se existe correlação entre essas características; e obter linhagens de feijão com grãos tipo carioca, com altos teores de ferro e zinco e boa produtividade de grãos. Foi utilizada a população proveniente do cruzamento entre as linhagens P-180 (grãos tipo carioca) x Paraná (grãos pardos), identificada anteriormente como promissora para a obtenção de linhagens com altos teores de ferro e zinco. Essa população foi avançada em bulk até a geração F_3 . Nessa geração, foi aberto o bulk, selecionando-se 96 plantas individuais da população, dando origem às progênies $F_{3,4}$. Dessas 96 progênies, 48 foram selecionadas pelo tipo de grão carioca e as outras 48 foram de qualquer tipo de grão. As progênies $F_{3,4}$ foram avaliadas em Lavras, MG e as progênies $F_{3,5}$ e $F_{3,6}$ em Lavras e Patos de Minas quanto ao teor de ferro e zinco nos grãos e produtividade dos grãos. Foram realizadas análises de variância individuais e conjuntas e estimados para cada característica e tipo de progênies a herdabilidade, ganhos esperados com a seleção e correlação fenotípica entre as características. Constatou-se que: a seleção precoce para tipo de grão de feijão não afeta o teor de zinco e a produtividade das progênies obtidas; existe associação positiva e alta entre o teor de ferro e zinco nos grãos de feijão, porém esses minerais apresentam correlação negativa, embora de baixa magnitude, com a produtividade de grãos; é possível obter linhagens de feijão aliando altos teores de ferro e zinco e boa produtividade de grãos, desde que se utilize um índice de seleção.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L. Qualidade nutricional. Minerais.

ABSTRACT

In Minas Gerais, and in most regions in Brazil, the preference is for the carioca type bean. Thus, for the improvement of any characteristic, it is important that the evaluated progenies be of this type of grain. However, it is questionable whether the early selection for the carioca grain type can interfere with the successful selection for other traits of interest. The objectives of this study were: to determine if early selection for grain type affects iron and zinc content, as well as grain productivity; verify whether a correlation exists between these features; and obtain carioca type bean lines with high iron and zinc content and grain productivity. We used a population derived from a cross between P - 180 (carioca grain type) x Paraná (brown beans) lines, previously identified as promising for obtaining lines with high iron and zinc content. This population was advanced in bulk up to the F₃ generation. In this generation we opened the bulk, selecting 96 individual plants, originating progeny F_{3:4}. Of the 96 progenies, 48 were selected by the carioca grain type and the other 48 by any kind of grain. The F_{3:4} progenies were evaluated in Lavras, MG, and progenies F_{3:5} and F_{3:6} in Lavras and Patos de Minas, in regard to iron and zinc content in grains, as well as grain productivity. We performed individual and combined variance analyses, estimated for each trait and type of progeny heritability, expected gains with selection and phenotypic correlation between traits. We concluded that: early selection for bean grain type does not affect zinc content or grain productivity of the obtained progenies; there is a positive correlation between iron and zinc content in the bean grains, however, these minerals present negative correlation, although in low magnitude, with grain productivity; it is possible to obtain bean lines combining high iron and zinc contents and productivity, as long as we use a selection index.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L. Nutritional quality. Minerals.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Partes constituintes do grão de feijão	17
Figura 2	Distribuição de frequência do teor de ferro nos grãos (mg kg^{-1}) de feijão das progênes selecionadas e não selecionadas, avaliadas em cinco ambientes	47
Figura 3	Distribuição de frequência do teor de zinco nos grãos (mg kg^{-1}) de feijão das progênes selecionadas e não selecionadas, avaliadas em cinco ambientes	48
Figura 4	Distribuição de frequência da produtividade média de grãos (kg ha^{-1}) das progênes selecionadas e não selecionadas, avaliadas em cinco ambientes	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Varição na composição química dos grãos de feijão comum em base seca	23
Tabela 2	Resumo da análise de variância conjunta de ferro (mg kg^{-1}) obtida na avaliação das progênies $F_{3:4}$, $F_{3:5}$ e $F_{3:6}$ de feijoeiro, selecionadas e não selecionadas para tipo de grão na geração F_3 , Lavras e Patos de Minas, 2012/2013.....	44
Tabela 3	Resumo da análise de variância conjunta de zinco (mg kg^{-1}) obtida na avaliação das progênies $F_{3:4}$, $F_{3:5}$ e $F_{3:6}$ de feijoeiro selecionadas e não selecionadas para tipo de grão na geração F_3 , Lavras e Patos de Minas, 2012/2013.....	45
Tabela 4	Resumo da análise de variância conjunta da produtividade de grãos (kg ha^{-1}) obtida na avaliação das progênies $F_{3:4}$, $F_{3:5}$ e $F_{3:6}$ de feijoeiro selecionadas e não selecionadas para tipo de grão na geração F_3 , Lavras e Patos de Minas, 2012/2013.....	46
Tabela 5	Estimativa da herdabilidade no sentido amplo (h^2) e ganho com a seleção de 10% das melhores progênies para o ferro (Fe), zinco (Zn) e produtividade (Prod) de grãos obtida na avaliação das progênies $F_{3:4}$, $F_{3:5}$ e $F_{3:6}$ de feijoeiro, selecionadas e não selecionadas para tipo de grão na geração F_3 , Lavras e Patos de Minas, 2012/2013.....	50
Tabela 6	Médias das dez melhores e piores progênies para o teor de ferro (mg kg^{-1}), zinco (mg kg^{-1}), produtividade de grãos (kg ha^{-1}), e o índice do ΣZ , Lavras e Patos de Minas, safras das “águas”, da “seca” e de “inverno” do ano de 2013.....	51

Tabela 7	Estimativas da correlação fenotípica entre os teores de ferro, zinco e produtividade de grãos de feijão. Dados obtidos utilizando dados de todas as progênes em todos os ambientes	52
Tabela 8	Estimativas da correlação genética (acima da diagonal) e ambiental (abaixo da diagonal) entre os teores de ferro, zinco e produtividade de grãos de feijão, utilizando média de todas as progênes em todos os ambientes.....	52
Tabela 9	Estimativa do ganho esperado com a seleção em porcentagem (GS) e a resposta correlacionada (RC) no outro caráter, considerando os caracteres teor de ferro, zinco e produtividade de grãos. Estimativa envolvendo todas as progênes na média geral de todos os ambientes	53

APÊNDICES

Tabela 1	Resumo da análise de variância do teor de ferro (mg kg^{-1}) obtida na avaliação das progênes $F_{3,4}$ de feijão em Lavras, durante a safra das “águas” do ano de 2012/2013.....	68
Tabela 2	Resumo da análise de variância do teor de zinco (mg kg^{-1}) obtida na avaliação das progênes $F_{3,4}$ de feijão em Lavras, durante a safra das “águas” do ano de 2012/2013.....	69
Tabela 3	Resumo da análise de variância da produtividade de grãos (kg ha^{-1}) obtida na avaliação das progênes $F_{3,4}$ de feijão em Lavras, durante a safra das “águas” do ano de 2012/2013.....	69
Tabela 4	Resumo da análise de variância do teor de ferro (mg kg^{-1}) obtida na avaliação das progênes $F_{3,5}$ de feijão em Lavras, durante a safra da “seca” do ano de 2013	70

Tabela 5	Resumo da análise de variância do teor de ferro (mg kg^{-1}) obtida na avaliação das progênies $F_{3,5}$ de feijão em Patos de Minas, durante a safra da “seca” do ano de 2013	70
Tabela 6	Resumo da análise de variância do teor de zinco (mg kg^{-1}) obtida na avaliação das progênies $F_{3,5}$ de feijão em Lavras, durante a safra da “seca” do ano de 2013	71
Tabela 7	Resumo da análise de variância do teor de zinco (mg kg^{-1}) obtida na avaliação das progênies $F_{3,5}$ de feijão em Patos de Minas, durante a safra da “seca” do ano de 2013	71
Tabela 8	Resumo da análise de variância da produtividade de grãos (kg ha^{-1}) obtida na avaliação das progênies $F_{3,5}$ de feijão em Lavras, durante a safra da “seca” do ano de 2013	72
Tabela 9	Resumo da análise de variância da produtividade de grãos (kg ha^{-1}) obtida na avaliação das progênies $F_{3,5}$ de feijão em Patos de Minas, durante a safra da “seca” do ano de 2013.....	72
Tabela 10	Resumo da análise de variância do teor de ferro (mg kg^{-1}) obtida na avaliação das progênies $F_{3,6}$ de feijão em Lavras, durante a safra de “inverno” do ano de 2013.....	73
Tabela 11	Resumo da análise de variância do teor de ferro (mg kg^{-1}) obtida na avaliação das progênies $F_{3,6}$ de feijão em Patos de Minas, durante a safra de “inverno” do ano de 2013	73
Tabela 12	Resumo da análise de variância do teor de zinco (mg kg^{-1}) obtida na avaliação das progênies $F_{3,6}$ de feijão em Lavras, durante a safra de “inverno” do ano de 2013.....	74
Tabela 13	Resumo da análise de variância do teor de zinco (mg kg^{-1}) obtida na avaliação das progênies $F_{3,6}$ de feijão em Patos de Minas, durante a safra de “inverno” do ano de 2013.....	74

Tabela 14	Resumo da análise de variância da produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) 1) obtida na avaliação das progênies F _{3:6} de feijão em Lavras, durante a safra de “inverno” do ano de 2013.....	75
Tabela 15	Resumo da análise de variância da produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) 1) obtida na avaliação das progênies F _{3:6} de feijão em Patos de Minas, durante a safra de “inverno” do ano de 2013.....	75

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	O grão de feijão	17
2.2	Qualidade nutricional do feijão	22
2.3	Biofortificação para redução da desnutrição	25
2.4	Melhoramento visando a aumentar o teor de ferro	26
2.5	Melhoramento visando a aumentar o teor de zinco	28
2.6	Influência do ambiente e interação genótipos x ambiente no teor de ferro e zinco	30
2.7	Seleção precoce efetuada em caráter de alta herdabilidade e sua consequência em outros caracteres em gerações avançadas de endogamia	32
3	MATERIAL E MÉTODOS	35
4	RESULTADOS	42
5	DISCUSSÃO	54
6	CONCLUSÕES	58
	REFERÊNCIAS	59
	APÊNDICES	68

1 INTRODUÇÃO

O feijão, juntamente com o arroz, é um dos alimentos mais consumidos pela população brasileira, não só pelas classes sociais de menor poder aquisitivo, mas também pelas classes mais favorecidas, que tem se preocupado, cada vez mais, em ter uma dieta saudável. Juntos, esses alimentos se complementam, por ser o feijão pobre em aminoácidos sulfurados, que estão presentes no arroz. Por outro lado, o feijão apresenta alto conteúdo de lisina, aminoácido para o qual o arroz é deficiente. Sendo assim, o hábito do povo brasileiro de ingerir arroz com feijão torna o valor biológico da proteína da dieta próximo ao das proteínas de origem animal (BENINGER; HOSFIELD, 2003; BLAIR et al., 2009).

Além de ser uma excelente fonte proteica, o feijão também é rico em minerais. Entre os minerais constituintes do grão de feijão, o ferro e zinco podem ser considerados como os mais importantes. O ferro, por ser essencial na prevenção de anemia e no funcionamento de vários processos metabólicos, e o zinco, por ser importante no desenvolvimento e maturação sexual e contribuir para resistência a infecções respiratórias e gastrointestinais (BOUIS, 2003).

Alguns estudos foram realizados sobre o controle genético do teor de ferro e zinco nos grãos de feijão, indicando que parte desses minerais se encontra no tegumento, ou seja, apresenta efeito materno (BLAIR et al., 2009; JOST et al., 2009a; JOST et al., 2009b; MORAGHAN; ETCHEVERS; PADILHA, 2006; ROSA et al., 2010; SILVA; ABREU; RAMALHO, 2013). Também tem sido verificado que existe relação entre o teor de minerais e a cor do tegumento do grão (LOMBARDI-BOCCIA et al., 1998; MORAGHAN et al., 2002; SILVA et al., 2012). Na avaliação de 100 linhagens de feijão do banco de germoplasma da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Silva et al. (2012) verificaram que, em média, as linhagens de grãos pretos se destacaram para os teores de proteína, ferro e zinco. Entretanto, foram identificadas linhagens com

outras cores de tegumentos que também apresentaram teor tão elevado desses nutrientes quanto os de grãos de cor preta.

Em Minas Gerais e na maioria das regiões do Brasil, a preferência é pelo feijão de grãos tipo carioca, ou seja, aqueles que apresentam cor bege com rajadas marrons. Dessa forma, no melhoramento para qualquer característica, seja produtividade de grãos, resistência a doenças ou mesmo a qualidade nutricional, é importante que as linhagens obtidas apresentem grãos tipo carioca. Assim, Silva, Abreu e Ramalho (2013) realizaram cruzamento dialélico entre linhagens de grãos tipo carioca com outras escolhidas pelo alto teor de ferro e zinco nos grãos por Silva et al. (2012). Entre as combinações promissoras, foi identificada a população oriunda do cruzamento entre as linhagens P-180 (grãos tipo carioca) e Paraná (grãos pardos).

Assim, utilizando progênies de feijão oriundas do cruzamento entre as linhagens P-180 e Paraná, conduziu-se este trabalho, com os objetivos de: verificar se a seleção precoce para tipo de grão afeta o teor de ferro, zinco e a produtividade de grãos; verificar se existe correlação entre essas características; e obter linhagens de feijão com grãos tipo carioca, com altos teores de ferro, zinco e boa produtividade de grãos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O grão de feijão

O grão de feijão é constituído de duas partes, a externa, composta de uma casca (tegumento), hilo (cicatriz no tegumento), micrópila (pequena abertura no tegumento) e rafe (cicatriz da soldadura dos óvulos com as paredes do ovário); e a interna, composta de um embrião formado pela plúmula (pequeno botão do caule), duas folhas primárias, o hipocótilo, dois cotilédones e uma pequena raiz denominada radícula (Figura 1). O tegumento apresenta cerca de 9% da matéria seca contida no grão, os cotilédones, 90%, e o eixo embrionário, apenas 1% (DEBOUCK; HIDALGO, 1985).

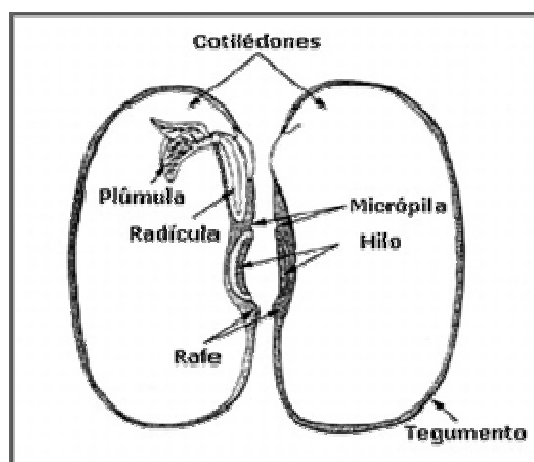


Figura 1 Partes constituintes do grão de feijão

O tegumento é uma camada externa que desempenha a função de proteção, preservando a integridade dos grãos, além de proteger o embrião contra danos mecânicos e ataques de pragas e doenças, ainda participa da regulação das trocas gasosas entre o embrião e o ambiente externo (SOUZA;

MARCOS FILHO, 2001). O tegumento dos grãos de feijão é formado a partir da diferenciação do integumento do óvulo que circunda o saco embrionário. Assim, os genes expressos no tegumento apresentam herança materna (SHUURMANS et al., 2003). A herança materna é quando o genótipo da planta usada como genitor feminino influencia no fenótipo dos seus descendentes. Quando ocorre efeito materno, o tegumento do grão é expressão fenotípica do genótipo do genitor feminino e o embrião é resultado da fecundação (RAMALHO; SANTOS; PINTO, 2012). Dessa forma, em caracteres com efeito materno, o genótipo da F_1 , se expressará em F_2 .

O grão de feijão pode apresentar várias formas: arredondada, elíptica, reniforme ou oblonga, e tamanhos que variam de muito pequenas (menor que 20 g/100 grãos) a grandes (maior que 40 g/100 grãos) e apresentar ampla variabilidade de cores, variando do preto, bege, roxo, róseo, vermelho, marrom, amarelo, até o branco. O tegumento pode ter uma cor uniforme, ou, mais de uma, normalmente expressa em forma de rajadas, manchas ou pontuações e pode ter brilho ou ser opaca (SILVA; COSTA, 2003; SILVA et al., 2010).

Para que uma cultivar seja aceita no mercado, o melhorista deve estar atento à preferência do consumidor, desenvolvendo cultivares com tipo de grão exigido pelo mercado. Essa preferência é regionalizada e difere principalmente quanto à cor do tegumento e ao tipo de grão (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2010). No Brasil, são cultivados feijões principalmente dos tipos preto, carioca, roxo, mulatinho, rosinha, vermelho e manteigão. O preferido na maioria das regiões é o tipo carioca, ou seja, aquele que apresenta os grãos de cor bege com rajadas marrons e sem halo amarelo. Por esse motivo, entre as características a serem observadas no melhoramento do feijão, a cor do grão tem merecido muita atenção (ARAÚJO; RAMALHO; ABREU, 2012; SILVA et al., 2008).

Selecionar para o tipo de grão desejado é uma tarefa que exige grande cuidado, pois o feijoeiro apresenta variabilidade muito grande para a cor dos grãos. Tal variabilidade deve-se à complexa herança do caráter, em que estão envolvidos muitos genes com presença de interações epistáticas, de efeitos pleiotrópicos, alelismo múltiplo e de ligação gênica (BASSET, 1994). Os trabalhos desenvolvidos por Basset (1994) permitiram concluir que a expressão da cor é completamente dependente dos alelos múltiplos do loco *P*. Sendo que a presença do alelo dominante *P* permite a formação de flores ou tegumentos com coloração, enquanto que indivíduos com os alelos recessivos (*pp*) apresentam esses tecidos brancos ou sem pigmentação. Esse gene apresenta efeito pleiotrópico para a cor do hipocótilo e da flor. Possui três alelos e a ordem de dominância é $P > pgri > p$.

O gene *V* também determina a cor do tegumento, sendo que os genótipos *V*₋ contêm antocianinas, enquanto que em genótipos *vv* estão presentes os flavonoides (BENINGER; HOSFIELD; BASSETT, 1999; BENINGER et al., 2000). Dessa forma o alelo *V* é responsável pela cor preta. Tem efeito pleiotrópico na cor das flores e hipocótilo. Possui três alelos $V > vlae > v$. O alelo *vlae* confere a cor rosa da flor e interage com *P C J G B*, produzindo o tegumento marrom mineral sem halo (BASSET, 2004).

Existem ainda outros genes controlando a cor do tegumento, de acordo com Porch (2010) e Bassett (2004):

- a) *T* – possui três alelos, sendo que o dominante *T* é responsável pela coloração completa do tegumento. O alelo *t* apresenta efeito pleiotrópico para flores brancas e hipocótilo verde e determina tegumento parcialmente colorido (padrão de tegumento); o alelo *tcf* permite a expressão da coloração parcial do tegumento;

- b) *Am* - interage com *Sal*, produzindo cor nas flores. A cor do estandarte é expressa por *Sal Am Vwf* (ou *v*), e *Sal am v* produz tegumento vermelho (marrom mineral).
- c) *Ane* - produz padrão mosqueado ao tegumento;
- d) *Arc* - interagindo com o alelo *Bip*, fornece o padrão *virgacus* ao tegumento;
- e) *Asp* - gene responsável pela produção de brilho no tegumento, quando recessivo o tegumento é opaco;
- f) *B* - responsável pela cor marron-esverdeada;
- g) *Bip* - combinado com o gene *Arc*, é responsável por manchas coloridas nas proximidades do hilo, cujos desenhos dependem da maneira como são combinados. Esse gene relaciona-se à extensão de cores em grãos parcialmente coloridas. Esse gene está ligado a *J*;
- h) *C* - esse gene interage com *P* para produzir tegumento amarelo enxofre-claro, quando em homozigose e coloração marmórea, quando em heterozigose. É considerado um loco complexo por possuir uma série alélica, cuja expressão depende de interações com outros genes;
- i) *diff* - interagindo com o alelo *exp* resulta na coloração completa do tegumento, com exceção de uma das extremidades do grão;
- j) *Exp* - interagindo com o alelo *diff*, produz coloração estável ao tegumento, exceto na extremidade do grão;
- k) *G* - responsável pela cor amarelo-amarronzada;
- l) *iw* - na presença de *p* produz tegumento branco, quando imaturo;
- m) *Sal* - produz flor vermelho-salmão e listras avermelhadas no tegumento;
- n) *Z* - conhecido como fator zonal para tegumentos parcialmente coloridos. Com *t*, *Z* interage para formar uma série de padrões de

tegumentos parcialmente coloridos. Com *T,Z* não expressa padrões parcialmente coloridos;

- o) *Fib* – *fíbula* - exhibe também padrões específicos de tegumento, dependendo dos genes com que interage. Ao interagir com o alelo *t* produz arcos brancos na região do halo;
- p) [*Cr*] – *C* não expressa padrão de tegumento; *r* não expressa a cor vermelho-amarronzado, enquanto que *R* a expressa;
- q) *D* – está relacionado fundamentalmente à formação de anel pardo ao redor do hilo, na presença do genótipo *jj*;
- r) *Gy* – na forma recessiva, *gygy*, é expressa a coloração amarelo-esverdeada;
- s) *B* – com *P C J G B v* se expressa um tom marrom mineral, já com *P C J g B v* é expressa a cor marrom acinzentada;
- t) *Rk* – gene responsável pela produção de tegumento vermelho arroxeado, na presença *Rk* não expressa cores vermelhas. Dependendo das interações da forma recessiva com os demais genes, diversas cores diferentes são determinadas, pode ser responsável pela coloração rosa do tegumento;
- u) *J* – responsável pela formação de um anel em volta do hilo e tegumento de coloração brilhante, sempre que o genótipo for *J-*, e tegumento fosco quando *jj* o que resulta numa desuniformidade de coloração no tegumento, com coloração ‘pálida’ e de tegumento imaturo (BASSET, 1996) e não apresentam escurecimento com o tempo de armazenamento, pois não produzem proantocianidinas ou taninos condensados (KONZEY, 2011; LEAKEY, 1988).

No caso do feijão carioca, entre outros, o genótipo deve conter: *P_* necessário para cor; *vv* para tegumento colorido, não preto e flor branca; algum

gene de cor propriamente dito, entre eles o gene *C*; o *jj* para a não ocorrência de halo colorido e *asp* para ausência de brilho. Depreende-se que, para se obter uma linhagem com grãos dentro do padrão carioca, na descendência estarão segregando muitos genes (BASSET, 2004).

2.2 Qualidade nutricional do feijão

O feijão está presente na alimentação de grande parte da população e o consumo desses grãos proporciona diversos benefícios à saúde por tratar-se de um excelente alimento que apresenta diferentes nutrientes para a saúde humana. Apresenta na sua constituição proteína e minerais como o ferro, cálcio, magnésio, zinco, além de vitaminas (principalmente do complexo B), carboidratos, fibras, e compostos fenólicos com ação antioxidante que podem reduzir a incidência de diversas doenças (BENINGER; HOSFIELD, 2003). A variação já encontrada nesses constituintes químicos é apresentada na Tabela 1. Em princípio, o que merece destaque nessa tabela é a amplitude de variação dos diferentes nutrientes, indicando que é possível a seleção visando ao aumento ou diminuição da expressão do caráter.

A maior parte da proteína encontrada nos grãos de feijão é composta pela faseolina, que é uma proteína de reserva (MA; BLISS, 1978). O feijão é rico em aminoácidos essenciais, como a lisina, e deficiente em aminoácidos sulfurados, como a metionina, cisteína e cistina (BASSINELLO, 2012). Entretanto, o arroz e outros cereais suprem essa deficiência, sendo que para tornar uma dieta equilibrada é necessário o consumo combinado de arroz e feijão (cereal e leguminosa) na proporção de 2:1 (BORÉM; CARNEIRO, 1998; BRESSANI, 1983).

Os grãos de feijão são, também, ricos em fibra alimentar e apresentam a proporção de três partes de fibra insolúvel para uma parte de fibra solúvel

(LONDERO; RIBEIRO; CARGNELUTTI FILHO, 2008). A fibra insolúvel é importante na prevenção de doenças intestinais, câncer de cólon e diverticulose, já a fibra solúvel, contribui na redução do colesterol no sangue e em 20% o risco de doenças do coração (PENNINGTON, 1998). Além disso, possui baixo teor de gordura e de sódio (HOSFIELD, 1991; MORROW, 1991), reforçando o alto valor nutricional, proteico e funcional do feijão.

Tabela 1 Variação na composição química dos grãos de feijão comum em base seca

Composição química	Teores	Autores
Proteína bruta (g 100g ⁻¹) ¹	16,36 a 36,28	Maldonado e Sammám (2000); Mesquita et al. (2007); Silva et al. (2010).
Fibra bruta (g 100g ⁻¹)	1,30 a 5,01	Elias et al. (2007); Londero; Ribeiro; Cargnelutti (2008).
Carboidratos totais (g 100g ⁻¹)	68,92 a 76,75	Pires et al. (2005).
Lipídeos (g 100g ⁻¹)	0,98 a 1,43	Pires et al. (2005).
Fósforo (g 100 g ⁻¹)	0,34 a 0,61	Rosa (2009); Silva et al. (2010).
Potássio (g 100 g ⁻¹)	1,17 a 2,06	Pires et al. (2005); Silva et al. (2010).
Cálcio (g 100 g ⁻¹)	0,25 a 2,80	Jost et al. (2009a); Mesquita et al. (2007); Pereira et al. (2011); Silva et al. (2010).
Magnésio (g 100 g ⁻¹)	0,18 a 1,11	Akond et al. (2011); Mesquita et al. (2007); Silva et al. (2010).
Ferro (mg kg ⁻¹)	54,20 a 179,50	Pereira et al. (2011); Ribeiro et al. (2013); Silva et al. (2010).
Zinco (mg kg ⁻¹)	21,76 a 68,00	Pereira et al (2011); Ribeiro et al. (2008); Rosa et al. (2010);
Manganês (mg kg ⁻¹)	1,31 a 36,78	Pires et al. (2005); Silva et al. (2010).
Cobre (mg kg ⁻¹)	5,76 a 15,60	Ribeiro et al. (2008); Silva et al. (2010).
Cinzas (g 100 g ⁻¹)	3,36 a 4,17	Pires et al. (2005).

Os minerais constituem um grupo de elementos amplamente distribuídos na natureza e que desempenham importantes funções no organismo humano (CUNHA; CUNHA, 1998). Como já mencionado, os minerais apresentam ampla variabilidade (Tabela 1). Destaque deve ser dado para o ferro, cujo teor encontrado no feijão é semelhante ao da carne de bovinos, apesar de apresentar menor biodisponibilidade (AKOND et al., 2011; MOURA; CANNIATTI-BRAZACA, 2006). O ferro é essencial à formação da hemoglobina e sua deficiência provoca anemia (MAHAN; ESCOTT-STUMP, 1998), que ocorre em dois bilhões de pessoas em todo mundo (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2007). Assim, a ingestão diária de feijão é importante na prevenção da anemia, auxilia na recuperação de crianças com baixo peso, prevenindo a evolução negativa dos índices de risco nutricional quando oferecidos na alimentação escolar, em creches e em programas de distribuição do produto para consumo nas residências (ALMEIDA, 2010).

O zinco também merece destaque por participar de muitas reações do metabolismo celular, incluindo processos fisiológicos, tais como: função imune, defesa antioxidante, crescimento e desenvolvimento, e ainda exercer função regulatória de insulina (BENNET, 2002; PENNINGTON, 1998; SZCKUREK; BJORNSSON; TAYLOR, 2001). A deficiência de zinco no organismo humano pode causar anorexia, atraso no crescimento, intolerância à glicose, hipogonadismo, restrição na utilização de vitamina A, disfunções imunológicas, desordens de comportamento, aprendizado e memória e dermatite entre outros sintomas (PRASAD, 1996). Aproximadamente 49% da população mundial têm risco de apresentar deficiência de zinco devido à baixa ingestão desse mineral na alimentação (BROWN; WUEHLER; PEERSON, 2001).

2.3 Biofortificação para redução da desnutrição

Muitos países sofrem com um sério problema público ocasionado pela má nutrição proveniente de micronutrientes e várias intervenções estão sendo feitas no intuito de solucionar esse problema. Programas como de suplementação, fortificação alimentar e diversificação da dieta têm contribuído na redução da má nutrição em algumas situações. Os nutricionistas afirmam que para solucionar parte da deficiência dos micronutrientes deve-se convencer a população a fazer dietas mais nutritivas (KHUSH et al., 2012).

A biofortificação é a estratégia de custo mais eficaz para abordar a desnutrição global (GÓMEZ-GALERA et al., 2010). Essa estratégia de suplementação de micronutrientes em países em desenvolvimento consiste em fornecer alimentos mais nutritivos, que são obtidos por meio do melhoramento genético para o consumo da população. As plantas mostram variação genética do conteúdo de micronutrientes básicos e, dessa forma, permitem que programas de melhoramento incrementem o nível desses minerais nas culturas, aumentando tanto o conteúdo dos micronutrientes como sua biodisponibilidade (HIRSCHI, 2009).

A maioria dos programas de melhoramentos tem como objetivos o aumento de produtividade e resistência a estresses bióticos e abióticos. Recentemente, pelos motivos expostos acima, alguns programas também têm tido como objetivo a melhoria da qualidade nutricional (KHUSH et al., 2012). Existem dois grandes programas internacionais que apresentam atividades de pesquisa em Biofortificação: o “HarvestPlus” que conta como apoio da Fundação Bill e Melinda Gates, Banco Mundial e outras instituições; e o programa AgroSalud que conta com o apoio da Agência Canadense para o Desenvolvimento Internacional (CIDA) (MORAES et al., 2009).

No Brasil, a Embrapa Arroz e Feijão está inserida no Programa “Harvest Plus” e vem desenvolvendo atividades de melhoramento voltadas à biofortificação do feijoeiro (NUTTI, 2010; NUTTI, 2011). Outras instituições tais como, o Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e as Universidades Federais de Lavras (UFPA) e de Santa Maria (UFSM) também atuam no melhoramento genético para a qualidade nutricional do feijão (BURATTO, 2012; RIBEIRO, 2008).

2.4 Melhoramento visando a aumentar o teor de ferro

No melhoramento de qualquer característica que se expresse no grão de feijão, é preciso estar atento à possibilidade de existência de efeito materno no controle da característica. Isso, porque, numa situação como essa, o tegumento está em uma geração anterior com relação ao embrião e cotilédones, dificultando a seleção, principalmente se essa for realizada em gerações precoces.

No caso do ferro, foi observado que, de 11 a 36% se concentraram no tegumento dos grãos de feijão (MORAGHAN et al., 2002). Então, parte do nutriente tem efeito materno (JOST et al., 2009b) e parte se concentra nos cotilédones. Foi observado também que a proporção de ferro encontrada no tegumento pode variar com sua cor (MORAGHAN et al., 2002; SILVA et al., 2012). Esses autores observaram que cultivares de feijão de grãos pretos apresentaram maior teor de ferro, enquanto que nas cultivares de grãos de outras cores o teor foi menor. Os autores atribuíram essa diferença ao teor de tanino, que é superior nas cultivares de grãos pretos e os taninos podem complexar ferro.

Alguns estudos sobre o controle genético do teor de ferro nos grãos de feijão foram feitos por alguns autores. Entre eles, Blair et al. (2005) relataram que, em populações de feijão andino, há ocorrência de herança quantitativa,

sendo o teor de ferro controlado por muitos genes. A evidência desse fato é que um grande número de QTLs (Quantitative Trait Loci) foram detectados em seis dos onze grupos de ligação do genoma do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Também foi relatado o mesmo tipo de herança para conteúdos de ferro em populações de feijão mesoamericanas (GELIN et al., 2007; BEAVER; OSORNO, 2009), indicando que, no controle genético do teor desse mineral, estão envolvidos muitos genes.

Em cruzamento dialélico entre linhagens diferindo quanto ao teor de ferro, Silva, Abreu e Ramalho (2013) obtiveram combinações com teor médio de ferro superior à média dos pais, sugerindo a possibilidade de ocorrência de segregação transgressiva, que é o aparecimento em gerações segregantes de indivíduos com fenótipos mais extremos do que os dos genitores (RAMALHO et al., 2012). Esse fato pode ocorrer no caso de caracteres controlados por vários genes, em que os genitores utilizados nas hibridações se complementem para os alelos favoráveis desses genes. Beebe; Gonzalez; Rengifo (2000) também observaram segregação transgressiva para teor de ferro em feijão e sugeriram que estejam envolvidos de quatro a sete genes no controle genético desse mineral.

Vários trabalhos foram realizados visando a quantificar o teor de ferro em linhagens de feijão (BEEBE; GONZALES; RENGIFO, 2000; RIBEIRO et al., 2008; SILVA et al., 2010; ZACHARIAS et al., 2012). Nesses trabalhos, foram encontradas variabilidades suficientes para que se possa ter sucesso com a seleção. Beebe, Gonzales e Rengifo (2000) verificaram que o teor de ferro pode ser aumentado em 80%, com base na avaliação de 1.031 acessos cultivados e de 119 acessos silvestres de feijão do Banco de Germoplasma do CIAT, na Colômbia. Contudo, poucos são os relatos de programas de melhoramento que já obtiveram linhagens melhoradas com maior valor nutritivo. Um dos relatos foi o trabalho desenvolvido por Blair et al. (2009). Esses autores utilizaram a seleção

recorrente visando ao aumento do teor de ferro em grãos de feijão e outros caracteres e verificaram que, com apenas dois ciclos de seleção, foi possível o incremento de até 60% no teor desse mineral.

Outro parâmetro importante de ser estimado antes de se iniciar um programa de melhoramento é a correlação entre caracteres. Em se tratando de qualidade nutricional, essa informação é ainda mais importante, para que não se corra risco de, ao melhorar para um constituinte, ocorra perda em outro. Esse tipo de informação foi obtido por vários autores. Foi verificado que, com a seleção de linhagens com alto teor de ferro, também houve aumento no teor de zinco em feijão, tendo sido encontrada correlação positiva e significativa entre esses dois minerais, acima de 0,53 (GELIN et al., 2007; SILVA et al., 2010; WELCH et al., 2000). Correlação positiva de 0,50, entre ferro e fósforo, também foi obtida por Gelin et al. (2007), bem como entre vários minerais em acessos de feijão de origem andina e mesoamericana, avaliados na Colômbia por Beebe, Gonzalez e Rengifo (2000). Também foi detectada correlação positiva e altamente significativa entre teores de ferro e zinco em folhas e grãos de feijão (TRYPHONE; NCHIMBI-MSOLLA, 2010). Essa é uma situação favorável para o melhoramento genético visando à qualidade nutricional, uma vez que a seleção poderá ser realizada para dois ou mais minerais.

2.5 Melhoramento visando a aumentar o teor de zinco

No tegumento dos grãos de feijão se concentra de 7% a 12% do zinco, segundo Moraghan, Etchevers e Padilha (2006). Portanto, a maior fração desse elemento deve se encontrar nos cotilédones, conforme verificado por Rosa et al. (2010), em que realizando o contraste entre F_1 vs F_1 recíproco, derivado do cruzamento entre as cultivares Pérola e Guapo Brilhante, observaram que esse contraste foi não significativo, comprovando a pequena proporção de zinco no

tegumento do feijão. Contudo, na avaliação de 16 populações híbridas e seus recíprocos, Silva, Abreu e Ramalho (2013) encontraram efeito materno para esse mineral, indicando que a maior parte deve estar no tegumento. Uma provável discrepância nesses resultados pode ser atribuída à metodologia empregada na obtenção da informação e às diferentes linhagens utilizadas. Entretanto, um argumento que pode reforçar a provável localização de grande parte do zinco no tegumento dos grãos é o fato de que esse nutriente é correlacionado positivamente com o ferro e, no caso do ferro, parece não haver dúvida que ele se concentra no tegumento.

Há controvérsia quanto ao controle genético do teor de zinco no feijão. Blair et al. (2005) relataram que em populações de feijão andino há ocorrência de herança quantitativa. Também foi relatado o mesmo tipo de herança para conteúdos de zinco em populações de feijão mesoamericanas (BEAVER; OSORNO, 2009; GELIN et al., 2007). Silva, Abreu e Ramalho (2013) na avaliação de 16 combinações híbridas verificaram ocorrência de dominância no controle do caráter, porém de menor efeito que a interação alélica aditiva. Contudo, no trabalho realizado por Cichy et al. (2005), foi verificado que o controle genético do teor de zinco nos grãos se dá por um único gene em populações de feijão mesoamericano, conferindo alto teor de zinco em populações de feijão do grupo “navy” (grãos brancos pequenos). Neste trabalho foi estimada herdabilidade de elevada magnitude para teor de zinco (85%), o que indica grande possibilidade de sucesso com a seleção para teor de zinco. Entretanto, em trabalho de Buratto (2012), as estimativas de herdabilidade no sentido restrito para zinco foram intermediárias, variando entre 29,48% e 57,47%.

Com relação à variabilidade, que é condição essencial para que haja sucesso com a seleção, há vários trabalhos que relatam sobre a existência de variabilidade para teor de zinco em feijão (Tabela 1). Beebe, Gonzalez e Rengifo

(2000), avaliando as linhagens de feijão disponíveis no Banco de Germoplasma de Feijão do CIAT, sugeriram que é possível aumentar em 50% o teor de zinco em grãos de feijão.

Gelin et al. (2007) obtiveram gerações avançadas de feijão com teor de zinco superior aos genitores utilizados para o desenvolvimento das populações segregantes, evidenciando que segregação transgressiva pode ser observada em cruzamentos entre parentais contrastantes. Neste trabalho, as linhagens selecionadas com alto teor de zinco nos grãos, apresentaram também teores intermediários de ferro. Além desta, também foram observadas correlações positivas entre zinco e cálcio e zinco e fósforo (GELIN et al., 2007), indicando novamente, que um alimento com maior valor nutritivo pode ser obtido, uma vez que, ao selecionar para um mineral, poderá ser obtida resposta correlacionada em outro.

2.6 Influência do ambiente e interação genótipos x ambiente no teor de ferro e zinco

O valor fenotípico de um indivíduo, quando avaliado em um ambiente, é o resultado da ação do efeito genotípico associado ao meio em que cresce. No entanto, ao avaliar o mesmo indivíduo em vários ambientes, surge, frequentemente, um componente adicional denominado interação entre os efeitos genotípicos e os ambientais que influenciam seu valor fenotípico (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

A interação genótipos x ambientes tem sido um grande complicador nos trabalhos de melhoramento visando à melhoria, principalmente, da produtividade de grãos de feijão, entre outros caracteres (ALLARD; BRADSHAW, 1964; PEREIRA et al., 2009; RAMALHO; ABREU; SANTOS, 1998). E tudo indica que atenção também deva ser dada a essa parcela da

variação fenotípica quando o objetivo for a melhoria da qualidade nutricional. Nesse aspecto, é importante considerar que o feijão é cultivado no Brasil sob as mais diversas condições ambientais e tecnológicas (ABREU et al., 1998; CARBONELL et al., 2007; RIBEIRO et al., 2004). Só no estado de Minas Gerais, o cultivo ocorre em três épocas distintas: “águas”, “seca” e “inverno” (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2010). Sendo assim, fica fácil perceber a importância do ambiente e de suas interações com os genótipos na expressão dos diversos caracteres da cultura, entre eles a composição química dos grãos.

Em diversas oportunidades, foi verificado que, além da variação genética, os teores de minerais nos grãos são influenciados pelas condições ambientais de cultivo, especialmente pelo tipo e composição química do solo e pela interação genótipos x ambientes (CICHY et al., 2005; MORAGHAN et al., 2002; SILVA et al., 2012). Observa-se, por exemplo, que o acúmulo de ferro e zinco nos grãos de feijão é afetado pela acidez do solo e que os maiores teores são observados em solos mais ácidos (CICHY et al., 2005; MORAGHAN et al., 2002).

Os teores de zinco e ferro também são afetados pela safra de cultivo (SILVA et al., 2012). Na avaliação de linhagens de feijão consideradas como de alto e baixo teores de ferro e zinco durante as safras das “águas”, “seca” e “inverno”, Silva et al. (2012) verificaram ocorrência de interação linhagens x safras, porém, a sua interferência na identificação de linhagens consideradas como de alto e baixo teor dos dois nutrientes não foi elevada. Na média das três safras, as linhagens classificadas como de alto teor de ferro e zinco, apresentaram teor de ferro 11,0% e de zinco 6,8% acima das de baixo teor.

Interação linhagens x locais foi verificada para o teor de ferro em 25 linhagens cultivadas em três locais no estado do Paraná (ARAÚJO et al., 2003) e na avaliação de 19 cultivares em dois municípios do Estado do Rio Grande do

Sul para os teores de zinco (RIBEIRO et al., 2008). Em trabalho realizado por Tryphone e Nchimbi-Msolla (2010), foi constatado que teores de ferro e zinco de linhagens cultivadas em dois locais diferentes não foram similares, indicando que as linhagens devem ser testadas em vários ambientes para que sejam selecionadas aquelas com maior teor e com a menor flutuação climática possível entre os ambientes. Bassinello et al. (2010) estudaram o efeito de diferentes condições ambientais (com e sem irrigação, com estresse hídrico e dois níveis de irrigação) nos teores de ferro e de zinco e também verificaram interação genótipos x ambientes significativa.

Esses resultados indicam que na condução de um programa de melhoramento para alto teor de ferro e zinco, as avaliações devem ser realizadas no maior número de ambientes possível, para que ao identificar linhagens promissoras, essas mantenham o desempenho esperado no maior número de ambientes possível.

2.7 Seleção precoce efetuada em caráter de alta herdabilidade e sua consequência em outros caracteres em gerações avançadas de endogamia

A seleção precoce refere-se à seleção de indivíduos e/ou famílias dentro de uma mesma população em gerações iniciais (F_2) ou gerações próximas a essa (F_3). Esse tipo de seleção é muito praticada no feijoeiro para tipo de grão. Isso, porque, conforme já mencionado, a preferência do mercado é pelos grãos tipo carioca. A seleção normalmente é realizada no início do programa para evitar que recursos e tempo sejam desperdiçados em avaliação de progênies cujos grãos não serão comercialmente aceitos. Considerando que essa característica é controlada por muitos genes (BASSET, 2004; LEAKEY, 1988), conforme comentado anteriormente, e que esses provavelmente são distribuídos em todos

os cromossomos, é questionável se a seleção para tipo de grão pode causar redução na variabilidade de outras características.

Embora esse tipo de seleção para o tipo de grão em gerações precoces seja amplamente realizada no feijão, os dados sobre o seu efeito na variabilidade liberada para outras características em gerações posteriores é limitado. O único relato que se tem é o trabalho realizado por Santos et al. (2001). Utilizando uma população oriunda do cruzamento entre as cultivares Pérola (grãos tipo carioca) x Ouro Negro (grãos pretos) os autores selecionaram, nas sementes colhidas na geração F_2 , os grãos dentro do padrão carioca. Em outra parte das sementes dessa população não foi feita seleção. As plantas F_3 de ambas as subpopulações foram colhidas individualmente, obtendo-se progênies que foram avaliadas nas gerações $F_{3,4}$ e $F_{3,5}$ para produtividade de grãos em dois locais. Verificaram que não ocorreram diferenças para produtividade de grãos entre as progênies selecionadas para o tipo de grão e as não selecionadas, concluindo que a seleção precoce para tipo de grão não reduziu o potencial da população.

A seleção precoce efetuada em caracteres de alta herdabilidade e sua consequência na seleção para produtividade de grãos em gerações avançadas de endogamia já foram relatados na literatura, como em feijão comum e em caupi. Em caupi, a seleção precoce para caracteres relacionados aos aspectos dos grãos não afetou o sucesso da seleção em gerações mais avançadas para a produtividade (DONÇA, 2012). Pádua (2013) efetuou a seleção precoce para a resistência à antracnose em feijoeiro e constatou também que não foi reduzida a variabilidade para a produtividade de grãos em gerações mais avançadas. Neste trabalho, ficou evidente que, quando o caráter de herdabilidade maior afeta positivamente a produtividade de grãos, a seleção precoce para esse caráter é ainda mais vantajosa.

Não foram encontrados relatos na literatura verificando se a seleção precoce para tipo de grão tem influência sobre o potencial das linhagens a serem

obtidas, quando o objetivo do programa for a seleção para aumento do teor de ferro e zinco nos grãos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Foi utilizada a população oriunda do cruzamento entre as linhagens de feijão P-180 e Paraná identificadas por Silva et al. (2013), por meio de análise dialélica, como promissora para a obtenção de linhagens com alto teor de ferro e zinco nos grãos. A linhagem P-180 possui grãos tipo carioca e a Paraná, grãos pardos. A 'P-180', apresentou a maior capacidade geral de combinação aliada também à melhor capacidade específica de combinação com a linhagem Paraná (SILVA; ABREU; RAMALHO, 2013).

Essa população foi avançada pelo método do "bulk" até a geração F_3 em Lavras, MG no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Na geração F_3 , foi aberto o bulk, selecionando-se 96 plantas individuais da população, dando origem às progênies. Dessas 96 progênies, 48 foram selecionadas pelo tipo de grão carioca e as outras 48 foram de qualquer tipo de grão.

As progênies foram avaliadas, juntamente com os genitores e as testemunhas, linhagem ESAL 516 e a cultivar Pérola, nas safras das águas de 2012/2013 (semeadura em novembro de 2012), seca de 2013 (semeadura em fevereiro de 2013) e inverno de 2013 (semeadura em julho de 2013).

A geração $F_{3:4}$ foi avaliada na safra das águas apenas em Lavras, no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico da UFLA, em razão da menor quantidade de sementes. As gerações $F_{3:5}$ e $F_{3:6}$ foram avaliadas, respectivamente, nas safras da seca e inverno, também em Lavras e em Patos de Minas, na Fazenda Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig). Em todas as gerações, o delineamento experimental foi látice 10 x 10, sendo as parcelas constituídas de uma linha de dois metros e espaçadas de 0,5 m. Na geração $F_{3:4}$, foram utilizadas duas repetições e, nas demais, três. Como adubação, foram empregados 400 kg ha⁻¹ da fórmula 8-28-

16 de N, P_2O_5 e K_2O na semeadura, e 150 kg ha^{-1} de sulfato de amônio em cobertura, 25 dias após a semeadura.

Após a colheita de cada experimento, foi obtida a produtividade de grãos em g parcela^{-1} e o teor de ferro e zinco dos grãos de cada parcela. Para quantificação desses minerais foi retirada uma amostra de grãos de cada parcela, que foi submetida à análise química. Para isso, os grãos foram moídos em moinho de facas, até obter tamanho de partícula inferior a 1 mm e armazenados em saquinhos de pipoca impermeáveis, devidamente vedados e identificados. Em seguida, as amostras foram secas em estufa (65°C a 70°C) durante 72 horas e obtida a umidade média das amostras que foram conservadas sob refrigeração até o momento da realização das análises laboratoriais. As análises foram realizadas no laboratório de análise foliar, localizado no Departamento de Química da UFLA.

A quantificação dos minerais ferro e zinco foi realizada de acordo com o método de Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Para isso, foi pesado 0,5 grama de amostra de feijão ao qual foram adicionados 6 mL de solução nitroperclórica 2:1 v/v desses ácidos concentrados. As amostras foram colocadas em bloco digestor com aquecimento e exaustão, sendo mantidas nessa condição até a formação de uma solução límpida. Após a digestão, o material foi transferido para balões volumétricos de 20 mL e o volume, completado com água deionizada. Os minerais foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica, em espectrofotômetro modelo SpectrAA 110 (Varian INE), calibrado em condições específicas de comprimento de onda, fenda e mistura dos gases para cada elemento. O teor dos minerais foi calculado, utilizando-se uma curva para cada elemento analisado.

Os dados obtidos foram submetidos, inicialmente, à análise de variância individual para cada geração e local e, posteriormente, conjunta, seguindo procedimentos descritos por Ramalho; Ferreira e Oliveira (2012).

O modelo para a análise conjunta das gerações utilizando as médias ajustadas, considerando como aleatórios efeitos de tratamento e o erro, e fixo a média e os ambientes (gerações/safra), foi o seguinte:

$$Y_{ij} = m + t_i + a_j + ta_{ij} + e_{ij}$$

Em que:

Y_{ij} : observação referente à progênie i , no ambiente j ;

m : efeito da média;

t_i : efeito do tratamento i , sendo $i = 1, 2, 3, \dots, 96$;

a_j : efeito do ambiente j , sendo $j = 1, 2, 3, 4, 5$

ta_{ij} : interação tratamentos x ambientes;

e_{ij} : erro experimental médio dos erros das análises individuais em cada ambiente j , $e_{ij} \cap N(0, \sigma^2)$.

As análises de variância individuais e a conjunta foram realizadas utilizando o programa estatístico MSTAT Statistical Software (1991).

A partir das esperanças matemáticas dos quadrados médios das análises de variância, foram obtidas as estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos, utilizando o procedimento semelhante ao apresentado por Ramalho et al. (2012). As estimativas foram obtidas considerando todas as progênies e também envolvendo os diferentes tipos de progênies (sem e com seleção para cor do grão).

A variância genética entre progênies (V_P) sem a interação foi obtida por meio das médias das covariâncias ($COV_{gg'}$) entre média das progênies nos ambientes dois a dois (RAMALHO et al., 2012), ou seja:

$$COV_{gg'} = V_P$$

As estimativas da variância fenotípica entre média de progênes ($V_{\bar{F}}$) foram obtidas por:

$$V_{\bar{F}} = Q_1 / a \bar{r}$$

Em que:

Q_1 : quadrado médio das progênes obtido na ANAVA conjunta;

a : número de ambientes envolvidos;

\bar{r} : média harmônica do número de repetições.

A herdabilidade (h^2), para a seleção na média das progênes, foi estimada por:

$$h^2 = \frac{\text{COV}_{gg'}}{Q_1 / a \bar{r}} \times 100 = \frac{V_P}{V_{\bar{F}}} \times 100$$

Para estimar o intervalo de confiança da herdabilidade foram obtidos os limites inferiores (LI) e superiores (LS) das estimativas, utilizando-se as expressões apresentadas por Knapp; Stroup e Ross (1985), com $\alpha = 0,05$:

$$LI = \left\{ 1 - \left[\left(\frac{Q_1}{Q_2} \right) F_{1-\alpha/2}(v_2; v_1) \right]^{-1} \right\}$$

$$LS = \left\{ 1 - \left[\left(\frac{Q_1}{Q_2} \right) F_{\alpha/2}(v_2; v_1) \right]^{-1} \right\}$$

em que:

F : valor tabelado a $1-\alpha/2$ e $\alpha/2$. É obtido invertendo-se os graus de liberdade (GL) e tomando-se o recíproco do valor tabelado;

Q_1 : já definido;

Q_2 : quadrado médio da interação progênies x ambientes obtido na ANAVA conjunta

v_1 e v_2 : graus de liberdade associados a Q_1 e Q_2 , respectivamente.

O ganho esperado com a seleção para cada característica em cada grupo de progênies (todas as progênies, progênies selecionadas ou não para cor de grãos) foi estimado pela expressão:

$$GS = i \frac{COV_{gg'}}{\sqrt{V_F}}$$

Em que:

i : diferencial de seleção padronizado, sendo utilizado $i = 10\%$.

O erro associado ao ganho com a seleção $s(GS)$ foi estimado, utilizando a expressão apresentada por Bridges, Knapp e Cornelius (1991):

$$s(GS) = \sqrt{\frac{2i^2}{r} \left\{ \left(\frac{Q_1^2}{v_1} \right) \left[\left(1 + \frac{Q_2}{Q_1} \right)^2 / 4 \right] + \frac{Q_2^2}{v_2} \right\} / Q_1}$$

Os termos da equação já foram definidos anteriormente.

A resposta correlacionada no caráter X pela seleção realizada no caráter Y ($RC_{X(Y)}$) foi obtida pela expressão:

$$RC_{X(Y)} = ds_x h_x^2$$

Em que:

ds_x : é o diferencial de seleção, obtido por $ds_x = Ms_x - Mo_x$, sendo Ms_x a média para o caráter X das 10% melhores progênies identificadas no caráter Y e Mo_x a média geral das progênies para o caráter X;

h_x^2 : herdabilidade para a seleção na média das progênies para o caráter X.

Estimaram-se as correlações genéticas, fenotípicas e ambientais, entre os três caracteres, dois a dois, utilizando procedimento descrito por Cruz, Regazzi e Carneiro (2004). As análises foram realizadas, utilizando o programa Genes (CRUZ, 2001).

Obteve-se, também, o ganho com a seleção simultânea para os três caracteres, utilizando como índice de seleção a somatória das variáveis padronizadas (ΣZ). Para isso, para cada caráter as médias das progênies foram padronizadas seguindo a expressão:

$$Z_{ix} = \frac{Y_{ix} - \bar{Y}_{.x}}{s_x}$$

Em que:

Z_{ix} : variável padronizada da progênie i para o caráter x, onde $i = 1,2,3, \dots, 96$ e $x = 1,2$ e 3 ;

Y_{ix} : observação da variável da progênie i para o caráter x_i – média ajustada por ambiente;

$\bar{Y}_{.x}$: média geral do caráter x ;

s_x : desvio padrão fenotípico do caráter x .

A partir do ΣZ foram identificadas as dez melhores progênies. Utilizando essas progênies, foi estimada a resposta correlacionada no caráter X pela seleção no índice ΣZ ($RC_{X(Z)}$), para os três caracteres considerando o seguinte estimador:

$$RC_{X(Z)} = ds_x \hat{h}_x^2$$

Em que:

ds_x : é o diferencial de seleção, obtido por $ds_x = (Ms_x - Mo_x)$, sendo Ms_x , sendo Ms_x a média para o caráter X das 10% melhores progênies identificadas pelo índice ΣZ ;

h_x^2 : herdabilidade para a seleção na média das progênies para o caráter X .

4 RESULTADOS

Os resumos das análises de variância de ferro, zinco e produtividade de grãos nas gerações $F_{3:4}$ em Lavras e $F_{3:5}$ e $F_{3:6}$ em Lavras e Patos de Minas encontram-se, respectivamente, nas Tabelas 1A a 15A, do apêndice. A precisão experimental, avaliada por meio do coeficiente de variação, pode ser considerada boa e dentro do que é observado na literatura para cada característica avaliada (RIBEIRO et al., 2013). Para a produtividade de grãos, variou de 21,2% na geração $F_{3:6}$ em Patos de Minas a 23,5% em Lavras na geração $F_{3:4}$. Para os minerais a variação foi de 6,6% para o teor de ferro na geração $F_{3:5}$ em Lavras a 13,6%, para esse mesmo mineral e geração em Patos de Minas.

A fonte de variação tratamentos foi significativa em todas as situações ($P \leq 0,05$), mostrando a existência de variabilidade entre as progênies e testemunhas avaliadas. No desdobramento dessa fonte de variação foi detectada diferença significativa ($P \leq 0,05$) em quase todas, com exceção entre as progênies não selecionadas, na geração $F_{3:4}$, para o zinco ($P=0,11$) e produtividade de grãos ($P=0,06$) (Tabelas 2A e 3A, do apêndice) e entre as progênies $F_{3:5}$ selecionadas, para o ferro ($P=0,53$), avaliadas em Patos de Minas (Tabela 5A, do apêndice). O contraste entre progênies selecionadas e não selecionadas foi não significativo em todas as gerações e locais para o teor de zinco nos grãos. Já, para o ferro e produtividade de grãos houve diferença significativa ($P \leq 0,05$) entre a média dos dois tipos de progênies em algumas situações. Para o ferro, a média das progênies não selecionadas foi maior na geração $F_{3:5}$ em Patos de Minas e $F_{3:6}$ nos dois locais (Tabelas 5A, 10A e 11A, do apêndice). Já, para produtividade de grãos a média das progênies não selecionadas é que foi inferior à das selecionadas na geração $F_{3:5}$ nos dois locais e na $F_{3:6}$ em Patos (Tabelas 8A, 9A e 15A, do apêndice).

Na análise conjunta dos experimentos envolvendo todas as gerações e locais a precisão experimental, avaliada por meio do coeficiente de variação (CV) também pode ser considerada boa de acordo com cada característica (CV=8,6% para o ferro, CV=7,0% para o zinco e CV=21,2% para produtividade de grãos) (Tabelas 2, 3 e 4). No desdobramento da fonte de variação tratamentos foi verificada diferença significativa em quase todas ($P \leq 0,05$), com exceção dos contrastes entre progênies selecionadas e não selecionadas na avaliação do teor de zinco e produtividade de grãos e para o contraste entre testemunhas e progênies para as três características.

Também houve diferença significativa entre os cinco ambientes em que as progênies foram avaliadas ($P=0,00$) para todas as características (Tabelas 2, 3 e 4). Aqui deve ser lembrado que a fonte de variação ambientes envolve as três gerações ($F_{3;4}$, $F_{3;5}$ e $F_{3;6}$), as três safras de cultivo (águas, seca e inverno) e dois locais (Lavras e Patos de Minas). Destaque deve ser dado para a significância da interação entre os ambientes com as demais fontes de variação, que foi significativa em quase todas as situações. Não houve comportamento coincidente das progênies nos diferentes ambientes. Por isso, é importante que, antes da seleção, as progênies sejam avaliadas no maior número de ambientes possível para possibilitar que a seleção seja efetuada na média, com maior confiabilidade.

Tabela 2 Resumo da análise de variância conjunta de ferro (mg kg^{-1}) obtida na avaliação das progênies $F_{3:4}$, $F_{3:5}$ e $F_{3:6}$ de feijoeiro, selecionadas e não selecionadas para tipo de grão na geração F_3 , Lavras e Patos de Minas, 2012/2013

FV	GL	QM	Prob¹
Ambientes (A)	4	44440,32	0,00
Progênies (P) e Testemunhas (T)	99	134,02	0,00
Progênies Selecionadas (S)	47	154,11	0,00
Progênies Não Selecionadas (NS)	47	96,16	0,04
Testemunhas (T)	3	180,62	0,00
S vs NS	1	954,28	0,05
T vs P	1	9,15	0,71
P e T x A	396	53,42	0,00
A x S	188	41,38	0,01
A x NS	188	66,14	0,00
A x T	12	18,42	0,86
A x (S vs NS)	4	123,61	0,00
A x (T vs P)	4	55,91	0,13
Erro médio	765	31,51	
CV (%)			8,59
Média			58,44
Média S			57,34
Média NS			59,53

¹ Probabilidade pelo Teste F.

Tabela 3 Resumo da análise de variância conjunta de zinco (mg kg^{-1}) obtida na avaliação das progênies $F_{3:4}$, $F_{3:5}$ e $F_{3:6}$ de feijoeiro selecionadas e não selecionadas para tipo de grão na geração F_3 , Lavras e Patos de Minas, 2012/2013

FV	GL	QM	Prob¹
Ambientes (A)	4	10417,26	0,00
Progênies (P) e Testemunhas (T)	99	62,30	0,00
Progênies Selecionadas (S)	47	73,17	0,00
Progênies Não Selecionadas (NS)	47	51,07	0,00
Testemunhas (T)	3	104,11	0,01
S vs NS	1	11,36	0,38
T vs P	1	4,66	0,75
P e T x A	396	22,35	0,00
A x S	188	21,41	0,00
A x NS	188	23,61	0,00
A x T	12	15,04	0,42
A x (S vs NS)	4	11,45	0,54
A x (T vs P)	4	40,55	0,03
Erro médio	765	31,51	
CV (%)			7,01
Média			40,81
Média S			40,89
Média NS			40,86

¹ Probabilidade pelo Teste F.

Tabela 4 Resumo da análise de variância conjunta da produtividade de grãos (kg ha⁻¹) obtida na avaliação das progêneses F_{3:4}, F_{3:5} e F_{3:6} de feijoeiro selecionadas e não selecionadas para tipo de grão na geração F₃, Lavras e Patos de Minas, 2012/2013

FV	GL	QM	Prob¹
Ambientes (A)	4	161729302,8	0,00
Progêneses (P) e Testemunhas (T)	99	1232485,69	0,00
Progêneses Selecionadas (S)	47	1356372,10	0,00
Progêneses Não Selecionadas (NS)	47	1004244,72	0,00
Testemunhas (T)	3	2100315,15	0,13
S vs NS	1	4758374,00	0,22
T vs P	1	7773,65	0,93
P e T x A	396	672621,76	0,00
A x S	188	720461,23	0,00
A x NS	188	573294,51	0,00
A x T	12	909118,57	0,00
A x (S vs NS)	4	2217191,66	0,00
A x (T vs P)	4	838488,31	0,02
Erro médio	765	280912,97	
CV (%)			21,20
Média			2335
Média S			2395
Média NS			2275

¹ Probabilidade pelo Teste F.

A existência de variação entre as progêneses, detectada na análise de variância pode ser melhor visualizada nas distribuições de frequência apresentadas nas Figuras 2, 3 e 4. Chama a atenção a distribuição de frequência do teor de ferro (Figura 2). Observa-se que nas classes com maior teor do mineral há predominância das progêneses não selecionadas para tipo de grão, confirmando a significância do contraste entre progêneses selecionadas e não selecionadas para essa característica. Ou seja, a seleção precoce para tipo de grão afetou o teor desse nutriente. Para o teor de zinco e produtividade de grãos,

as distribuições de frequência das progênies selecionadas e não selecionadas foram semelhantes (Figuras 3 e 4). É interessante observar também que, para todas as características foram obtidas progênies com média superior a dos genitores utilizados.

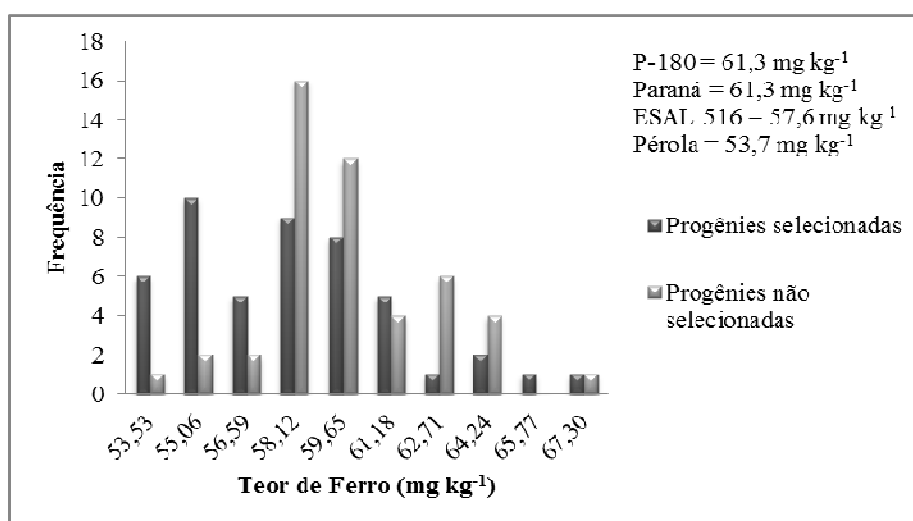


Figura 2 Distribuição de frequência do teor de ferro nos grãos (mg kg⁻¹) de feijão das progênies selecionadas e não selecionadas, avaliadas em cinco ambientes

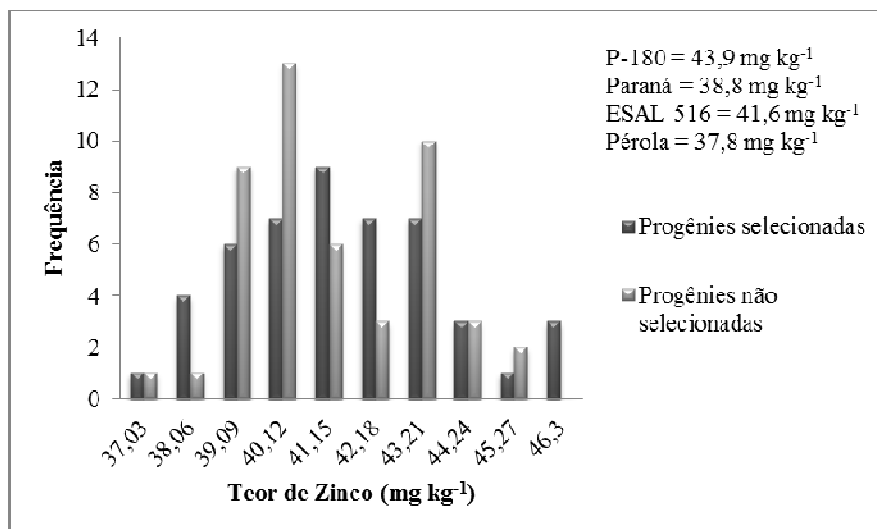


Figura 3 Distribuição de frequência do teor de zinco nos grãos (mg kg⁻¹) de feijão das progênes selecionadas e não selecionadas, avaliadas em cinco ambientes

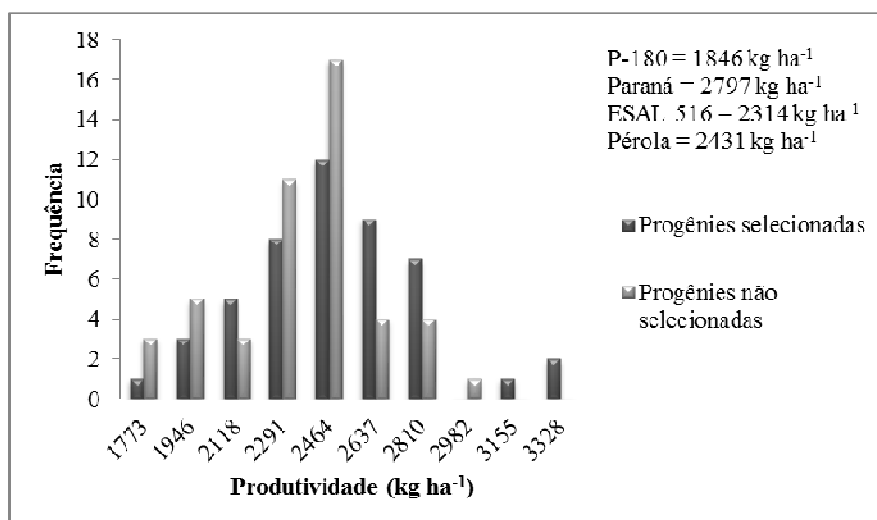


Figura 4 Distribuição de frequência da produtividade média de grãos (kg ha⁻¹) das progênes selecionadas e não selecionadas, avaliadas em cinco ambientes

Outro resultado importante na comparação entre as progênes selecionadas e não selecionadas, é a estimativa de herdabilidade. Observa-se na Tabela 5, que as estimativas foram bastante semelhantes entre os dois grupos de progênes para o zinco e produtividade de grãos. As diferenças observadas situaram-se dentro dos limites inferior e superior das estimativas. A exceção foi para o ferro. Entre as progênes não selecionadas o limite inferior da estimativa de herdabilidade foi negativo, indicando que ela pode ser nula. Provavelmente, esse fato ocorreu em decorrência da maior magnitude da interação dessas progênes com os ambientes, apesar da existência de variabilidade entre elas, detectada na análise de variância (Tabela 2). Consequentemente, o ganho esperado com a seleção dessas progênes foi o menor entre todos os estimados (Tabela 5). É importante observar que as estimativas do ganho para as três características avaliadas podem ser consideradas iguais entre as progênes selecionadas e as não selecionadas, pois estão dentro do intervalo de confiança das estimativas dos ganhos com a seleção (Tabela 5).

Tabela 5 Estimativa da herdabilidade no sentido amplo (h^2) e ganho com a seleção de 10% das melhores progênies para o ferro (Fe), zinco (Zn) e produtividade (Prod) de grãos obtida na avaliação das progênies $F_{3:4}$, $F_{3:5}$ e $F_{3:6}$ de feijoeiro, selecionadas e não selecionadas para tipo de grão na geração F_3 , Lavras e Patos de Minas, 2012/2013

		Todas progênies (P)	Progênies selecionadas (S)	Progênies não selecionadas (NS)
h^2 (%)	Fe	60,14 (44,69 ; 70,41) ¹	73,15 (56,26 ; 82,44)	31,22 (-12,03 ; 55,03)
	Zn	64,12 (50,20 ; 73,37)	70,73 (52,33 ; 80,86)	53,78 (24,71 ; 69,78)
	Prod	45,43 (24,26 ; 59,49)	46,88 (13,48 ; 65,27)	42,91 (7,02 ; 62,67)
GS (%)	Fe	6,19 (0,98) ²	6,21(1,38)	2,10 (1,48)
	Zn	6,08 (0,92)	5,67 (1,36)	3,69 (1,32)
	Prod	10,29 (2,64)	8,44 (3,87)	6,45 (3,62)

¹ Entre parêntesis os limites inferior e superior da herdabilidade.

² Entre parêntesis o erro associado ao ganho com a seleção.

Outro resultado interessante na Tabela 5 é que, entre as dez melhores progênies, aproximadamente a metade delas para todas as características é de progênies que foram selecionadas para tipo de grão na geração F_3 . No caso do ferro, entre as dez piores progênies, sete eram das selecionadas, confirmando o que foi observado na distribuição de frequência e a significância do contraste entre as selecionadas e não selecionadas. Fato semelhante foi observado para a produtividade de grãos. Só que, nesse caso, sete entre as dez piores progênies, eram não selecionadas. Isso indica que, principalmente no caso do ferro, mesmo o contraste entre os tipos de progênies tendo sido significativo, com maior média das não selecionadas, é possível obter progênies de grãos tipo carioca e alto teor de ferro.

Tabela 6 Médias das dez melhores e piores progênie para o teor de ferro (mg kg⁻¹), zinco (mg kg⁻¹), produtividade de grãos (kg ha⁻¹), e o índice do ΣZ, Lavras e Patos de Minas, safras das “águas”, da “seca” e de “inverno” do ano de 2013

Nº da progênie	Ferro	Nº da progênie	Zinco	Nº da progênie	Produtividad e	Nº da progênie	ΣZ
12 S	67,24	12 S	46,28	37 S	3327	12 S	5,51
87 NS	66,14	3 S	45,91	5 S	3159	26 S	3,64
26 S	65,13	21 S	45,83	40 S	2985	28 S	3,62
62 NS	64,03	61 NS	44,77	64 NS	2878	62 NS	3,57
28 S	63,96	80 NS	44,67	Paraná	2797	87 NS	2,76
86 NS	63,09	26 S	44,64	91 NS	2770	89 NS	2,73
89 NS	62,96	89 NS	44,23	10 S	2749	27 S	2,55
32 S	62,75	P-180	43,87	34 S	2711	29 S	2,52
93 NS	62,75	4 S	43,67	77 NS	2689	4 S	2,51
67 NS	62,42	76 NS	43,52	36 NS	2686	51 NS	2,31
□	□	□	□	□	□	□	□
50 NS	53,76	88 NS	38,23	85 NS	1916	14 S	-2,23
Pérola	53,72	90 NS	38,16	57 NS	1907	36 S	-2,34
10 S	53,61	69 NS	37,87	2 S	1879	Pérola	-2,48
22 S	53,51	Pérola	37,80	81 NS	1867	46 S	-2,49
14 S	53,51	17 S	37,46	P-180	1846	71 NS	-2,49
80 NS	53,16	46 S	37,39	80 NS	1830	2 S	-2,62
34 S	52,94	34 S	37,31	73 NS	1771	22 S	-2,92
36 S	52,54	36 S	37,10	19 S	1757	17 S	-3,20
31 S	52,53	71 NS	36,67	96 NS	1739	69 NS	-4,15
46 S	52,49	23 S	36,61	69 NS	1601	23 S	-4,53

S: Progênie selecionada para tipo de grão carioca.

NS: Progênie não selecionada para tipo de grão.

As estimativas da correlação fenotípica entre os caracteres estão apresentadas na Tabela 7. Observa-se que entre os minerais ferro e zinco, a correlação fenotípica foi positiva e significativa ($P=0,01$). Já, entre o teor de ferro e de zinco com a produtividade de grãos, as correlações, apesar de negativas, foram de baixa magnitude (Tabela 7).

As estimativas da correlação genética foram muito semelhantes às fenotípicas, isto é, positiva e alta entre Fe e Zn e negativa entre esses minerais e a produtividade de grãos. A mesma tendência foi obtida nas correlações ambientais, embora de menor magnitude (Tabela 8).

Tabela 7 Estimativas da correlação fenotípica entre os teores de ferro, zinco e produtividade de grãos de feijão. Dados obtidos utilizando dados de todas as progênies em todos os ambientes

Caráter	Zinco	Produtividade de grãos
Ferro	0,53 ($P \leq 0,01$)	-0,19 ($P \geq 0,06$)
Zinco		-0,27 ($P \leq 0,01$)

Tabela 8 Estimativas da correlação genética (acima da diagonal) e ambiental (abaixo da diagonal) entre os teores de ferro, zinco e produtividade de grãos de feijão, utilizando média de todas as progênies em todos os ambientes

Caráter	Ferro	Zinco	Produtividade de grãos
Ferro	1	0.766	-0.315
Zinco	0.150	1	-0.394
Produtividade de grãos	-0.050	-0.130	1

O que se questiona é qual seria a consequência da seleção apenas na produtividade, no teor de ferro e zinco, ou ao contrário, a seleção para ferro ou

zinco e as consequências na produtividade de grãos. Utilizando todas as progênies, quando se seleciona para ferro ou zinco, a resposta correlacionada na produtividade de grãos foi negativa (Tabela 9). O contrário também ocorreria se a seleção fosse efetuada apenas para a produtividade de grãos, ou seja, haveria redução no teor desses minerais. Quando se selecionou utilizando a soma das variáveis padronizadas, a resposta correlacionada foi positiva para todos os caracteres simultaneamente (Tabela 9).

Tabela 9 Estimativa do ganho esperado com a seleção em porcentagem (GS) e a resposta correlacionada (RC) no outro caráter, considerando os caracteres teor de ferro, zinco e produtividade de grãos. Estimativa envolvendo todas as progênies na média geral de todos os ambientes

Caráter sob seleção	GS	RC		
		Ferro	Zinco	Produtividade
Ferro	6,19	-	3,27	-0,72
Zinco	6,08	2,16	-	-3,07
Produtividade	10,29	-3,01	-2,28	-
Índice de seleção (ΣZ)	-	4,50	2,45	1,31

5 DISCUSSÃO

Em Minas Gerais e na maioria das regiões do Brasil, a preferência é pelo feijão de grãos tipo carioca, ou seja, aqueles que apresentam cor bege com rajas marrons. Dessa forma, na seleção para qualquer característica, seja produtividade de grãos, resistência a doenças ou mesmo à qualidade nutricional, a maioria dos programas de melhoramentos aqui conduzidos dão prioridade a esse tipo de grão (ARAÚJO; RAMALHO; ABREU, 2012; SILVA et al., 2008). Por esse motivo, nas hibridações geralmente são utilizados genitores de grãos tipo carioca, que podem ser cruzados entre si, ou com linhagens com outros tipos de grãos, caso seja necessário. Assim, se a seleção para o tipo de grão desejado for realizada já nas gerações iniciais, economiza-se tempo e recursos na avaliação de progênie indesejáveis, que dificilmente seriam aceitas pelos produtores e consumidores. Contudo, como a cor do tegumento dos grãos é controlada por um grande número de genes (BASSET, 2004), provavelmente distribuídos em todos os cromossomos, é questionável se a seleção precoce para esse caráter pode causar redução na variabilidade e, conseqüentemente, no sucesso com a seleção para outras características.

No caso de minerais nos grãos esse fato é mais preocupante. Isso, porque vários estudos têm demonstrado que parte desses minerais se encontra no tegumento, ou seja, apresenta efeito materno (BLAIR et al., 2009; JOST et al., 2009a; JOST et al., 2009b; MORAGHAN et al., 2006; ROSA et al., 2010; SILVA; ABREU; RAMALHO, 2013). Também tem sido verificado que existe relação entre o teor de minerais e a cor do tegumento do grão (LOMBARDI-BOCCIA et al., 1998; MORAGHAN et al., 2002; SILVA et al., 2012). Como exemplo, pode-se citar o trabalho conduzido por Silva et al. (2012) que, na avaliação de 100 linhagens de feijão do banco de germoplasma da Universidade

Federal de Lavras (UFLA), verificaram que, em média, as linhagens de grãos pretos apresentaram maior teor de ferro e zinco nos grãos.

Os resultados obtidos nesse estudo, no que se refere ao teor de ferro nos grãos concordam com os dos estudos mencionados acima, pois foi verificada significância nos contrastes entre as médias das progênes selecionadas para tipo de grão carioca e as progênes não selecionadas para tipo de grão (Tabelas 1A, 4A, 5A, 10A e 11A, do apêndice). A média das progênes não selecionadas foi maior para esse mineral, o que pode ser explicado pelas várias cores de tegumento que ocorreram nesse tipo de progênes. Foram observados desde grãos claros, passando pela tonalidade parda, até grãos pretos. De acordo com Moraghan et al. (2002), o maior teor de ferro em feijão de cor preta pode ser atribuída ao teor de tanino, que é superior nas cultivares de grãos pretos e os taninos podem complexar ferro. Entretanto, também é possível obter linhagens com grãos tipo carioca que apresentaram alto teor de ferro, conforme observado nesse estudo e também por Silva et al. (2012) na avaliação das 100 linhagens do banco de germoplasma da UFLA.

No caso do teor de zinco, a não significância dos contrastes entre as progênes selecionadas e não selecionadas evidenciam que a seleção para grãos tipo carioca não interfere na possibilidade de sucesso na seleção para esse mineral (Tabelas 2A, 6A, 7A, 12A e 13A, do apêndice). Apesar de haver indícios de que parte do zinco se concentra no tegumento dos grãos de feijão, essa proporção foi estimada entre 7% a 12% por Moraghan et al. (2006). Portanto, a maior fração desse elemento se encontra nos cotilédones, conforme também verificado por Rosa et al. (2010). Assim, mesmo tendo sido observada correlação positiva entre o ferro e zinco (Tabela 6), como a proporção de zinco no tegumento parece ser menor, há menor interferência da seleção para a cor do tegumento em relação ao teor de zinco do que ao de ferro nos grãos.

Na seleção para qualquer característica no feijoeiro, é importante também que as progênies obtidas apresentem boa produtividade de grãos. Por isso, essa característica também foi considerada nas avaliações. Na média dos ambientes, não foi verificada significância do contraste entre as progênies selecionadas e não selecionadas, indicando que a seleção precoce para tipo de grão também não deve interferir na possibilidade de sucesso na seleção para produtividade, conforme também evidenciado nas estimativas de herdabilidade e ganho esperado com a seleção (Tabela 5). Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Santos et al. (2001), a partir de uma população do cruzamento entre as cultivares Pérola e Ouro Negro, segregando para grãos pretos e do tipo carioca. Depreende-se que, embora a cor dos grãos seja controlada por muitos genes (BASSET, 2004), provavelmente distribuídos em cromossomos diferentes, conforme já mencionado, esses não são ligados com os genes que controlam a produtividade de grãos, que também devem ser muitos e, provavelmente localizados em todos os cromossomos. Pelas estimativas das correlações pode-se inferir em princípio que a maioria dos genes para a produtividade de grãos provavelmente podem não ter ligação forte com os genes que controlam os teores de ferro e zinco nos grãos. O que pode ocorrer, contudo, é o efeito de diluição, isto é, quanto maior a produtividade, proporcionalmente, o teor de ferro e zinco pode diminuir.

Quando se trabalha com vários caracteres, o que se deseja é que ocorra ganho positivo com a seleção para todos eles. No caso do ferro e zinco como a correlação genética entre eles foi positiva e alta (Tabela 9), quando se seleciona para o teor de ferro, por exemplo, a resposta correlacionada para o zinco foi positiva e relativamente alta. Contudo, as estimativas da correlação genética entre esses minerais e a produtividade grãos foram negativas, embora não de grande magnitude. Em função desse fato, a resposta correlacionada na

produtividade de grãos quando a seleção foi efetuada para ferro e zinco foi negativa.

Como os melhoristas de feijão selecionam predominantemente para a produtividade de grãos, a resposta correlacionada nos minerais é negativa. Numa situação como essa, a alternativa mais viável é o emprego de índice de seleção (BERNARDO, 2010; RAMALHO et al., 2012). Existem vários índices de seleção que podem ser utilizados. Uma boa opção é o somatório das variáveis padronizadas. Veja que com esse índice houve ganho para os três caracteres, o que é desejável (Tabela 9). Poder-se-ia questionar que o ganho na produtividade utilizando o índice foi bem inferior ao obtido para a seleção efetuada apenas para esse caráter. Esse problema pode ser solucionado, colocando peso maior para esse caráter do que nos do teor de minerais. Essa é uma decisão que os melhoristas podem tomar sem acarretar nenhum gasto adicional.

As implicações desses resultados são muito favoráveis aos programas de melhoramento do feijoeiro conduzidos no Brasil, pois, conforme comentado anteriormente, para que uma cultivar seja aceita pelos produtores é importante que apresente boa produtividade de grãos e que esses tenham boa aceitação comercial. Para o consumidor, se o grão apresentar melhor qualidade nutricional, provavelmente também será preferido e o produtor também poderá ter um valor agregado ao seu produto. Assim, pelos resultados aqui obtidos o melhorista pode concentrar seus esforços e recursos na avaliação apenas de grãos de interesse comercial, mesmo que os objetivos do programa envolvam outras características.

6 CONCLUSÕES

A seleção precoce para tipo de grão de feijão não afeta o teor de zinco e a produtividade das progênies obtidas.

Existe associação positiva e alta entre o teor de ferro e zinco nos grãos de feijão, porém, esses minerais apresentam correlação negativa, embora de baixa magnitude, com a produtividade de grãos.

É possível obter linhagens de feijão aliando altos teores de ferro e zinco e boa produtividade de grãos desde que se utilize um índice de seleção.

REFERÊNCIAS

- ABREU, A. F. B. et al. Estabilidade de linhagens de feijão em algumas localidades do Estado de Minas Gerais no período de 1994 a 1995. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 22, n. 3, p. 308-312, mar. 1998.
- AKOND, A. S. M. G. M. et al. Minerals (Zn, Fe, Ca and Mg) and antinutrient (phytic acid) constituents in common bean. **American Journal of Food Technology**, Oxford, v. 6, n. 3, p. 235-243, 2011.
- ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotypes-environmental interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, Madison, v. 4, n. 5, p. 503-508, Sept./Oct. 1964.
- ALMEIDA, M. A. **Feijão enriquecido com ferro, vitaminas e minerais no combate a desnutrição infantil e prevenção de anemia ferropriva**. [S.l.: s.n], 2010. Disponível em: <<http://www.cnfap.embrapa.br/conafe/pdf/palestra03.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2013.
- ARAÚJO, L. C. A. de; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 2, p. 156-162, mar./abr., 2012.
- ARAÚJO, R. et al. Genotype x environment interaction effects on the iron content of common bean grains. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 3, n. 4, p. 269-274, Aug. 2003.
- BASSET, M. J. List of genes-*Phaseolus vulgaris* L. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Forte Collins, v. 47, p. 1-24, 2004.
- BASSET, M. J. List of genes-*Phaseolus vulgaris* L. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Forte Collins, v. 39, p. 1-19, 1996.
- BASSETT, M. J. The griseoalbus (gray-white) seed coat color is controlled by an allele (*p gri*) at the *P* locus in common bean. **HortScience**, Alexandria, v. 29, n. 10, p. 1178-1179, 1994.
- BASSINELLO, P. Z. et al. Effect of the environment on zinc and iron levels in common beans. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Michigan, v. 10, n. 53, p. 146-147, Mar. 2010.

BASSINELLO, P. Z. Por que comer arroz com feijão? **Embrapa Arroz e feijão**. Santo Antônio de Goiás, 2012. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/eventosenoticias/anteriores/anteriores2007/071217.htm>>. Acesso em: 23 ago. 2012.

BEAVER J. S.; OSORNO J. M. Achievements and limitations of contemporary common bean breeding using conventional and molecular approaches. **Euphytica**, Wageningen, v. 168, n. 2, p. 145-175, Feb. 2009.

BEEBE, S. Feijão biofortificado. **HarvetPlus**, Colômbia, 2010. Disponível em: <<http://www.harvestplus.org/publications>>. Acesso em: 27 nov. 2010.

BEEBE, S.; GONZALEZ, V.; RENGIFO, J. Research on trace minerals in the common bean. **Food and Nutrition Bulletin**, Boston, v. 21, n. 4, p. 387-391, Aug. 2000.

BENINGER, C. W. et al. Chemical and morphological expression of the B and Asp seedcoat genes in *Phaseolus vulgaris* L. differing in seed coat color. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 125, n. 1, p. 52-58, 2000.

BENINGER, C. W.; HOSFIELD, G. L. Antioxidant activity of extracts, condensed tannin fractions and pure flavonoids from *Phaseolus vulgaris* L. seed coat color genotypes. **Journal Agriculture Food Chemistry**, Washington, v. 51, n. 27, p. 7879-7883, Dec. 2003.

BENINGER, C. W.; HOSFIELD, G. L.; BASSET, M. J. Flavonoid composition of three genotypes of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) differing in seed coat color. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 124, n. 5, p. 514-518, 1999.

BENNET, B. Countig beans. **Better homes & Gardens**, London, Aug. 2002.

BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. 2nd. ed. Woodburg: Stemma, 2010.

BLAIR, M. W. Et al. Análisis multi-locacional de líneas de fríjol arbustivo con alto contenido de hierro en el departamento de Nariño. **Fitotecnia Colombiana**, Santiago de Cali, v. 5, n. 1, p. 20-27, Jan. 2005.

BLAIR, M. W. et al. Inheritance of seed iron and zinc concentrations in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Molecular Breeding**, Netherlands, v. 23, n. 2, p. 197-207, Mar. 2009.

BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. de S. A. Cultura. In: VIEIRA, C.; PAULA JUNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas Gerais**. Viçosa: Editora da UFV, 1998. p.13-17.

BOUIS, H. E. Micronutrient fortification of plants through plant breeding: can it improve nutrition in man at low cost? **Proceedings of the Nutrition Society**, Cambridge, v. 62, n. 1, p. 403-411, Jan. 2003.

BRESSANI, R. Research needs to up-grade the nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Qualitas Plantarum Plant Foods for Human Nutrition**, Netherlands, v. 32, n. 3, p. 101-110, July 1983.

BRIDGES, W. C.; KNAPP, S. C.; CORNELIUS, P. L. Standard errors and confidence interval estimators for expected selection response. **Crop Science**, Madison, v. 31, n. 2, p. 253-255, Mar./Apr. 1991.

BROWN, K. H.; WUEHLER, S. E.; PEERSON, J. M. The importance of zinc in human nutrition and estimation of the global prevalence of zinc deficiency. **Food and Nutrition Bulletin**, Boston, v. 22, n. 2, p. 113-125, 2001.

BURATTO, J. S. **Teores de minerais e proteínas em grãos de feijão e estimativas de parâmetros genéticos**. 2012. 147 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal Lavras, Lavras, 2012.

CARBONELL, S. A. M. et al. Estabilidade de cultivares e linhagens de feijoeiro em diferentes ambientes no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 193-201, abr. 2007.

CICHY, K. A. et al. Inheritance of seed zinc accumulation in navy bean. **Crop Science**, Madison, v. 45, n. 3, p. 864-870, Mar. 2005.

CRUZ, C. D. **Programa genes: aplicativo computacional em genética e estatística**. Viçosa: Editora UFV, 2001.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético: volume 2**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006.

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

CUNHA, D. F.; CUNHA, S. F. C. Microminerais. In: DUTRA-DEOLIVEIRA, J. E.; MARCHINI, J. S. (Ed.). **Ciências nutricionais**. São Paulo: Sarvier, 1998. Cap. 9, p. 141-165.

DEBOUCK, D. G.; HIDALGO, R. Morfología de la planta de frijól común. In: LÓPEZ, M.; FERNÁNDEZ, F.; SCHOONHOVEN, A. V. (Ed.). **Frijol: investigación y producción**. Cali: CIAT, 1985. p. 7-41.

DONÇA, M. C. B. **Seleção precoce para caracteres dos grãos no melhoramento do feijão caupi**. 2012. 100 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

ELIAS, H. T. et al. Variabilidade genética em germoplasma de feijão-preto em Santa Catarina. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 10, p. 1443-1449, out. 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Feijão**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2010. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/feijao/sistemasdeproducao/index.htm>>. Acesso em: 16 ago. 2012.

GELIN, J. R. et al. Analysis of seed zinc and other minerals in a recombinant inbred population of navy bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Crop Science**, Madison, v. 47, n. 4, p. 1361-1366, July 2007.

GÓMEZ-GALERA, S. et al. Critical evaluation of strategies for mineral fortification of staple food crops. **Transgenic Research**, London, v. 19, n. 2, p. 165–180, Apr. 2010.

HIRSCHI, K. D. Nutrient biofortification of food crops. **Annual Reviews of Nutrition**, Palo Alto, v. 29, p. 401–421, Aug. 2009.

HOSFIELD, G. L. Genetic control of production and food quality factors in dry bean. **Food Technology**, Chicago, v. 45, n. 9, p. 98-103, Sept. 1991.

JOST, E. et al. Efeitos gênicos do teor de cálcio em grãos de feijão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 31-37, jan./fev. 2009a.

JOST, E. et al. Potencial de aumento do teor de ferro em grãos de feijão por melhoramento genético. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 1, p. 35-42, jan. 2009b.

KHUSH, G. S. et al. Biofortification of crops for reducing malnutrition. **Plant Biotechnology Reports**, Amsterdam, v. 6, n. 3, p. 195–202, July 2012.

KNAPP, S. J.; STROUP, W. W.; ROSS, W. M. Exact confidence intervals for heritability on a progeny mean basis. **Crop Science**, Madison, v. 25, n. 1, p. 192-194, Jan. 1985.

KONZEN, E. R. **Análise morfológica, bioquímica e genética do brilho do tegumento em variedades de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2011. 136 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

LEAKEY, C. L. A. Genotypic and phenotypic markers in common bean. In: GEPTS, P. (Ed.). **Genetic resources of *Phaseolus* beans**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1988. p. 245-327.

LOMBARDI-BOCCIA, G. et al. Dialysable, soluble and fermentable calcium from beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as model for *in vitro* assessment of the potential calcium availability. **Food Chemistry**, London, v. 61, n. 1, p. 167-172, Jan. 1998.

LONDERO, P. M. G.; RIBEIRO, N. D.; CARGNELUTTI FILHO, A. Teores de fibra e rendimento de grãos em populações de feijão. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 167-173, jan./fev. 2008.

MA, Y.; BLISS, F. A. Tannin content and inheritance in common bean. **Crop Science**, Madison, v. 18, n. 1, p. 201-104, Jan. 1978.

MAHAN, L. K.; ESCOTT-STUMP, S. **Krause: alimentos, nutrição e dietoterapia**. 9. ed. São Paulo: Roca, 1998.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997.

MALDONADO, S.; SAMMÁM, N. Composición química y contenido de minerales de leguminosas y cereales producidos em el noroeste argentino. **Archivos Latino Americanos de Nutrición**, Guatemala, v. 50, n. 2, p. 195-199, Fev. 2000.

- MESQUITA, F. R. et al. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade proteica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1114-1121, jul./ago. 2007.
- MORAES, M. F. et al. Práticas agronômicas para aumentar o fornecimento de nutrientes e vitaminas nos produtos agrícolas alimentares. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 1., 2009, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Editora da UFV, 2009. p. 299-312.
- MORAGHAN, J. T. et al. Iron accumulation in seed of common bean. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 246, n. 2, p. 175-183, Feb. 2002.
- MORAGHAN, J. T.; ETCHEVERS, J. D.; PADILHA, J. Contrating accumulations of calcium and magnesium in seed coats and embryos of common bean and soybean. **Food Chemistry**, London, v. 95, n. 4, p. 554-561, July 2006.
- MORROW, B. The rebirth of legumes. **Food Technology**, Chicago, v. 45, n. 9, p. 96-121, Oct. 1991.
- MOURA, N. C.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Avaliação da disponibilidade de ferro de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) em comparação com carne bovina. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 270-276, abr. /jun. 2006.
- MSTAT STATISTICAL SOFTWARE. **A software program for the design, management and analysis of agronomic research experiments**. Michigan: Michigan State University, 1991.
- NUTTI, M. R. Biofortificação no Brasil: desenvolvendo produtos agrícolas mais nutritivos. In: WORKSHOP EMBRAPA/MONSANTO, 2010, Brasília. **Resumos...** Brasília: Embrapa, 2010.
- NUTTI, M. R. Os avanços da pesquisa em biofortificação no Brasil. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 4., 2011, Teresina. **Resumos...** Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2011. 1 CD-ROM.
- PÁDUA, J. M. V. **Implicações da seleção precoce para resistência a antracnose no melhoramento genético do feijoeiro**. 2013. 73 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

PENNINGTON, J. **Bowers & Church's food values of portions commonly used**. 17. ed. Philadelphia: Lippincott, 1998.

PEREIRA, T. et al. Diversidade no teor de nutrientes em grãos de feijão crioulo no Estado de Santa Catarina. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 3, p. 477-485, jul./set. 2011.

PEREIRA, H. S. et al. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijoeiro comum com grãos tipo carioca na Região Central do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 8, p. 29-37, out. 2009.

PIRES, C. V. et al. Physicochemical composition of different cultivars of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Alimentação e Nutrição**, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 157-162, Apr. 2005.

PORCH, T. G. List of genes-*Phaseolus vulgaris* L. **Annual Report of Bean Improvement Cooperative**, Prosser, v. 53, p. 1-27, 2010.

PRASAD, A. S. Zinc deficiency in women, infants and children. **Journal of the American College of Nutrition**, Clearwater, v. 15, n. 2, p. 113-120, Apr. 1996.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Editora da UFLA, 2012.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Cultivares. In: VIEIRA, C.; PAULA JUNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas**. Viçosa: Editora da UFV, 1998. p. 435-449.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; SANTOS, P. S. J. dos. 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, abr./jun. 1998.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 3. ed. rev. Lavras: Editora da UFLA, 2012.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; PINTO, C. A. B. P. **Genética na agropecuária**. 5. ed. rev. Lavras: Editora da UFLA, 2012.

RIBEIRO, N. D. et al. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares registradas de feijão em diferentes épocas de semeadura para a depressão central do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1395-1400, set./out. 2004.

RIBEIRO, N. D. et al. Combined selection for grain yield, cooking quality and minerals in the common bean. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 4, p. 869-877, out./dez. 2013.

RIBEIRO, N. D. et al. Composição de microminerais em cultivares de feijão e aplicações para o melhoramento genético. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 267-273, abr./jun. 2008.

RIBEIRO, N. D. et al. Selection of common bean lines with high agronomic performance and high calcium and iron concentrations. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 10, p. 1368-1375, out. 2013.

ROSA, S. S. et al. Potential for increasing the zinc content in common bean using genetic improvement. **Euphytica**, Wageningen, v. 175, n. 2, p. 207-213, Sept. 2010.

ROSA, S. S. **Genética dos teores de fósforo e zinco em sementes de feijão comum**. 2009. 46 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

SANTOS, V. S. et al. Consequences of early selection for grain type in common bean breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 1, n. 4, p. 347-354, 2001.

SCHUURMANS, J. A. et al. Members of the aquaporin family in the developing pea seed coat include, representatives of the PIP, TIP and NIP subfamilies. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 53, n. 5, p. 655-667, Nov. 2003.

SILVA, C. A. et al. Chemical composition as related to seed color of common bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 12, n. 2, p. 132-137, Dec. 2012.

SILVA, C. A. et al. Genetic variability for protein and minerals contents in common bean lines (*Phaseolus vulgaris* L.). **Annual Report of Bean Improvement Cooperative**, Oxford, v. 53, p. 144-145, Mar. 2010.

SILVA, C. A.; ABREU, A. de F. B.; RAMALHO, M. A. P. Genetic control of zinc and iron concentration in common bean seeds. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 8, n. 11, p. 1001-1008, 2013.

SILVA, G. S. et al. Genetic control of early grain darkening of carioca common bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 8, n. 4, p. 299-304, Dec. 2008.

SILVA, H. T. da; COSTA, A. O. **Caracterização botânica de espécies silvestres do gênero *Phaseolus* L. (Leguminosae)**. Embrapa: Santo Antônio de Goiás, 2003.

SOUZA, F. H. D.; MARCOS FILHO, J. The seed coat as a modulator of seed-environmental relationships in Fabaceae. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 4, p. 365-375, Dec. 2001.

SZCKUREK, E. I.; BJORNSSON, C. S.; TAYLOR, C. G. Dietary zinc deficiency and repletion modulate metallothionein immunolocalization and concentration in small intestine and liver of rats. **The Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 131, n. 8, p. 2132-2138, Aug. 2001.

TRYPHONE, G. M.; NCHIMBI-MSOLLA, S. Diversity of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes in iron and zinc contents under greenhouse conditions. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 5, n. 8, p. 738-747, Apr. 2010.

WELCH, R. M. et al. Genetic selection for enhanced bioavailable levels of iron in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, Chicago, v. 48, n. 8, p. 3576-3580, Aug. 2000.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Centers for disease control and prevention technical consultation on the assessment of iron status at the population level**. 2nd ed. Geneva: World Health Organization, 2007. Disponível em: <http://www.who.int/nutrition/publications/micronutrients/anaemia_iron_deficiency/9789241596107.pdf> Acesso em: 15 set. 2012.

ZACHARIAS, J. et al. Genetic variability of mineral composition in common bean seed. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Forte Collins, v. 55, p. 59-60, 2012.

APÊNDICES

Apêndice A – Tabelas

Tabela 1 Resumo da análise de variância do teor de ferro (mg kg^{-1}) obtida na avaliação das progênies $F_{3,4}$ de feijão em Lavras, durante a safra das “águas” do ano de 2012/2013

FV	GL	QM	Prob¹
Progênies (P) e Testemunhas (T)	99	65,74	0,00
Progênies Selecionadas (S)	47	78,03	0,00
Progênies Não Selecionadas (NS)	47	56,14	0,00
Testemunhas (T)	3	49,28	0,17
S vs NS	1	0,84	0,86
T vs P	1	54,11	0,18
Erro Efetivo	81	29,05	
CV (%)			7,69
Média			70,05
Média S			70,09
Média NS			70,22
Eficiência do Látice (%)			104,95

¹ Probabilidade pelo Teste F.

Tabela 2 Resumo da análise de variância do teor de zinco (mg kg^{-1}) obtida na avaliação das progênies $F_{3,4}$ de feijão em Lavras, durante a safra das “águas” do ano de 2012/2013

FV	GL	QM	Prob¹
Progênies (P) e Testemunhas (T)	99	39,65	0,04
Progênies Selecionadas (S)	47	44,73	0,02
Progênies Não Selecionadas (NS)	47	36,79	0,11
Testemunhas (T)	3	28,97	0,36
S vs NS	1	4,05	0,70
T vs P	1	2,66	0,75
Erro Efetivo	81	26,94	
CV (%)			13,21
Média			39,30
Média S			39,18
Média NS			39,47
Eficiência do Látice (%)			101,05

¹ Probabilidade pelo Teste F.

Tabela 3 Resumo da análise de variância da produtividade de grãos (kg ha^{-1}) obtida na avaliação das progênies $F_{3,4}$ de feijão em Lavras, durante a safra das “águas” do ano de 2012/2013

FV	GL	QM	Prob¹
Progênies (P) e Testemunhas (T)	99	865188,07	0,00
Progênies Selecionadas (S)	47	1187977,31	0,00
Progênies Não Selecionadas (NS)	47	529217,67	0,06
Testemunhas (T)	3	1222456,46	0,02
S vs NS	1	5082,66	0,90
T vs P	1	1272989,79	0,06
Erro Efetivo	81	355262,95	
CV (%)			23,54
Média			2532
Média S			2554
Média NS			2543
Eficiência do Látice (%)			104,01

¹ Probabilidade pelo Teste F.

Tabela 4 Resumo da análise de variância do teor de ferro (mg kg^{-1}) obtida na avaliação das progêneses $F_{3;5}$ de feijão em Lavras, durante a safra da “seca” do ano de 2013

FV	GL	QM	Prob¹
Progêneses (P) e Testemunhas (T)	99	42,42	0,00
Progêneses Selecionadas (S)	47	33,57	0,02
Progêneses Não Selecionadas (NS)	47	47,87	0,00
Testemunhas (T)	3	57,10	0,05
S vs NS	1	43,79	0,15
T vs P	1	156,97	0,01
Erro Efetivo	171	21,15	
CV (%)			6,62
Média			69,40
Média S			68,87
Média NS			69,65
Eficiência do Látice (%)			123,42

¹ Probabilidade pelo Teste F.

Tabela 5 Resumo da análise de variância do teor de ferro (mg kg^{-1}) obtida na avaliação das progêneses $F_{3;5}$ de feijão em Patos de Minas, durante a safra da “seca” do ano de 2013

FV	GL	QM	Prob¹
Progêneses (P) e Testemunhas (T)	99	69,83	0,01
Progêneses Selecionadas (S)	47	43,60	0,53
Progêneses Não Selecionadas (NS)	47	96,69	0,00
Testemunhas (T)	3	26,34	0,62
S vs NS	1	229,03	0,02
T vs P	1	11,93	0,61
Erro Efetivo	171	44,79	
CV (%)			13,62
Média			49,14
Média S			48,21
Média NS			49,99
Eficiência do Látice (%)			129,75

¹ Probabilidade pelo Teste F.

Tabela 6 Resumo da análise de variância do teor de zinco (mg kg^{-1}) obtida na avaliação das progênies $F_{3,5}$ de feijão em Lavras, durante a safra da “seca” do ano de 2013

FV	GL	QM	Prob¹
Progênies (P) e Testemunhas (T)	99	32,35	0,00
Progênies Selecionadas (S)	47	30,18	0,02
Progênies Não Selecionadas (NS)	47	33,56	0,00
Testemunhas (T)	3	64,74	0,02
S vs NS	1	9,13	0,49
T vs P	1	3,88	0,65
Erro Efetivo	171	19,07	
CV (%)			9,04
Média			48,29
Média S			48,44
Média NS			48,09
Eficiência do Látice (%)			105,55

¹ Probabilidade pelo Teste F.

Tabela 7 Resumo da análise de variância do teor de zinco (mg kg^{-1}) obtida na avaliação das progênies $F_{3,5}$ de feijão em Patos de Minas, durante a safra da “seca” do ano de 2013

FV	GL	QM	Prob¹
Progênies (P) e Testemunhas (T)	99	24,53	0,00
Progênies Selecionadas (S)	47	23,07	0,02
Progênies Não Selecionadas (NS)	47	27,06	0,00
Testemunhas (T)	3	7,53	0,58
S vs NS	1	3,46	0,59
T vs P	1	46,00	0,05
Erro Efetivo	171	11,54	
CV (%)			7,39
Média			45,96
Média S			45,77
Média NS			45,99
Eficiência do Látice (%)			109,48

¹ Probabilidade pelo Teste F.

Tabela 8 Resumo da análise de variância da produtividade de grãos (kg ha^{-1}) obtida na avaliação das progênies $F_{3,5}$ de feijão em Lavras, durante a safra da “seca” do ano de 2013

FV	GL	QM	Prob¹
Progênies (P) e Testemunhas (T)	99	870195,30	0,00
Progênies Selecionadas (S)	47	658858,88	0,00
Progênies Não Selecionadas (NS)	47	930068,65	0,00
Testemunhas (T)	3	1322886,26	0,00
S vs NS	1	5458201,39	0,00
T vs P	1	2042875,15	0,00
Erro	171	214873,17	
CV (%)			23,23
Média			1995
Média S			2150
Média NS			1875
Eficiência do Látice (%)			108,45

¹ Probabilidade pelo Teste F.

Tabela 9 Resumo da análise de variância da produtividade de grãos (kg ha^{-1}) obtida na avaliação das progênies $F_{3,5}$ de feijão em Patos de Minas, durante a safra da “seca” do ano de 2013

FV	GL	QM	Prob¹
Progênies (P) e Testemunhas (T)	99	333972,30	0,00
Progênies Selecionadas (S)	47	360700,08	0,00
Progênies Não Selecionadas (NS)	47	296846,64	0,00
Testemunhas (T)	3	69626,39	0,41
S vs NS	1	1847662,38	0,00
T vs P	1	102021,57	0,24
Erro	171	71833,59	
CV (%)			22,41
Média			1196
Média S			1280
Média NS			1119
Eficiência do Látice (%)			104,02

¹ Probabilidade pelo Teste F.

Tabela 10 Resumo da análise de variância do teor de ferro (mg kg^{-1}) obtida na avaliação das progênies $F_{3,6}$ de feijão em Lavras, durante a safra de “inverno” do ano de 2013

FV	GL	QM	Prob¹
Progênies (P) e Testemunhas (T)	99	58,86	0,00
Progênies Selecionadas (S)	47	64,81	0,00
Progênies Não Selecionadas (NS)	47	50,50	0,00
Testemunhas (T)	3	26,38	0,41
S vs NS	1	325,30	0,00
T vs P	1	2,78	0,75
Erro Efetivo	171	27,11	
CV (%)			12,71
Média			40,97
Média S			39,93
Média NS			42,06
Eficiência do Látice (%)			104,45

¹ Probabilidade pelo Teste F.

Tabela 11 Resumo da análise de variância do teor de ferro (mg kg^{-1}) obtida na avaliação das progênies $F_{3,6}$ de feijão em Patos de Minas, durante a safra de “inverno” do ano de 2013

FV	GL	QM	Prob¹
Progênies (P) e Testemunhas (T)	99	112,74	0,00
Progênies Selecionadas (S)	47	92,59	0,00
Progênies Não Selecionadas (NS)	47	117,55	0,00
Testemunhas (T)	3	95,95	0,04
S vs NS	1	993,84	0,00
T vs P	1	3,21	0,76
Erro Efetivo	171	34,17	
CV (%)			9,60
Média			60,86
Média S			58,98
Média NS			62,70
Eficiência do Látice (%)			103,17

¹ Probabilidade pelo Teste F.

Tabela 12 Resumo da análise de variância do teor de zinco (mg kg^{-1}) obtida na avaliação das progênies $F_{3,6}$ de feijão em Lavras, durante a safra de “inverno” do ano de 2013

FV	GL	QM	Prob¹
Progênies (P) e Testemunhas (T)	99	24,79	0,00
Progênies Selecionadas (S)	47	25,27	0,00
Progênies Não Selecionadas (NS)	47	21,18	0,00
Testemunhas (T)	3	42,54	0,00
S vs NS	1	13,45	0,23
T vs P	1	129,50	0,00
Erro	171	9,40	
CV (%)			9,15
Média			33,48
Média S			33,83
Média NS			33,40
Eficiência do Látice (%)			136,09

¹ Probabilidade pelo Teste F.

Tabela 13 Resumo da análise de variância do teor de zinco (mg kg^{-1}) obtida na avaliação das progênies $F_{3,6}$ de feijão em Patos de Minas, durante a safra de “inverno” do ano de 2013

FV	GL	QM	Prob¹
Progênies (P) e Testemunhas (T)	99	25,76	0,00
Progênies Selecionadas (S)	47	29,11	0,00
Progênies Não Selecionadas (NS)	47	23,05	0,00
Testemunhas (T)	3	22,48	0,15
S vs NS	1	30,78	0,12
T vs P	1	0,18	0,90
Erro Efetivo	171	12,61	
CV (%)			9,59
Média			37,03
Média S			37,36
Média NS			36,71
Eficiência do Látice (%)			116,06

¹ Probabilidade pelo Teste F.

Tabela 14 Resumo da análise de variância da produtividade de grãos (kg ha^{-1}) obtida na avaliação das progênies $F_{3,6}$ de feijão em Lavras, durante a safra de “inverno” do ano de 2013

FV	GL	QM	Prob¹
Progênies (P) e Testemunhas (T)	99	1204186,07	0,00
Progênies Selecionadas (S)	47	1307590,10	0,00
Progênies Não Selecionadas (NS)	47	1047719,90	0,00
Testemunhas (T)	3	2180666,66	0,00
S vs NS	1	4317,76	0,92
T vs P	1	1968524,22	0,04
Erro Efetivo	171	459870,04	
CV (%)			21,22
Média			3196
Média S			3183
Média NS			3176
Eficiência do Látice (%)			104,44

¹ Probabilidade pelo Teste F.

Tabela 15 Resumo da análise de variância da produtividade de grãos (kg ha^{-1}) obtida na avaliação das progênies $F_{3,6}$ de feijão em Patos de Minas, durante a safra de “inverno” do ano de 2013

FV	GL	QM	Prob¹
Progênies (P) e Testemunhas (T)	99	609138,00	0,00
Progênies Selecionadas (S)	47	552926,98	0,01
Progênies Não Selecionadas (NS)	47	558707,21	0,01
Testemunhas (T)	3	903595,57	0,05
S vs NS	1	1605774,47	0,03
T vs P	1	3741299,04	0,00
Erro Efetivo	171	341856,68	
CV (%)			21,20
Média			2758
Média S			2809
Média NS			2660
Eficiência do Látice(%)			117,58

¹ Probabilidade pelo Teste F.