



CAMILA ANDRADE SILVA

**POTENCIAL DE LINHAGENS DE FEIJÃO COM
RELAÇÃO AOS TEORES DE PROTEÍNA E
MINERAIS NAS SEMENTES**

LAVRAS – MG

2011

CAMILA ANDRADE SILVA

**POTENCIAL DE LINHAGENS DE FEIJÃO COM RELAÇÃO AOS
TEORES DE PROTEÍNA E MINERAIS NAS SEMENTES**

Tese 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 Doutor.

Orientadora

Dra. Ângela de Fátima Barbosa Abreu

LAVRAS - MG

2011

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Silva, Camila Andrade.

Potencial de linhagens de feijão com relação aos teores de proteína e minerais nas sementes / Camila Andrade Silva. – Lavras : UFLA, 2011.

95 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

Orientador: Ângela de Fátima Barbosa Abreu.

Bibliografia.

1. Variabilidade genética. 2. Efeito materno. 3. Nutrientes. 4. Interação genótipos x ambientes. 5. Interação alélica. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 635.65221

CAMILA ANDRADE SILVA

**POTENCIAL DE LINHAGENS DE FEIJÃO COM RELAÇÃO AOS
TEORES DE PROTEÍNA E MINERAIS NAS SEMENTES**

Tese 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 Doutor.

APROVADA em 05 de julho de 2011.

Dr. Magno Antonio Patto Ramalho	UFLA
Dr. João Bosco dos Santos	UFLA
Dra. Nerinéia Dalfollo Ribeiro	UFMS
Dra. Priscila Zaczuk Bassinello	EMBRAPA

Dra. Ângela de Fátima Barbosa Abreu
Orientadora

LAVRAS - MG

2011

OFEREÇO

Ao meu querido marido, Alessandro Lara Teixeira, que é em grande parte responsável por este momento de vitória!

A DEUS.

*Aos meus pais, Eduardo Silva e Delizete Teixeira Andrade Silva;
à minha irmã, Ana Carolina Andrade Silva,
que acreditaram na chegada deste momento.*

“O homem é o produto da sua vontade. Então, antes de mais nada, ele será resultado do seu próprio progresso”.

(Jean-Paul Sartre)

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por tornar mais este sonho possível, dando-me perseverança e força para vencer os obstáculos desta caminhada.

Aos meus pais, Eduardo e Delizete, por confiar nas minhas decisões e me apoiarem.

Minha querida irmã, Carol, pela companhia, compreensão e carinho, ajudando a superar os momentos difíceis e compartilhando as alegrias.

Ao meu marido, Alex, por todo amor, companheirismo, compreensão e paciência em todos os momentos, sejam eles alegres ou tristes. Obrigada por fazer parte da minha vida!!!

Aos meus sogros por todo apoio e carinho.

À UFLA e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pela oportunidade e condições oferecidas durante a realização do curso.

A Capes, pela concessão da bolsa de estudos.

À minha adorável orientadora, Dra. Ângela de Fátima Barbosa Abreu, pela amizade, paciência, incentivo e valiosos ensinamentos que foram imprescindíveis durante todo o período de mestrado e doutorado. Meu sincero muito obrigada!

Ao professor e co-orientador, Magno Antonio Patto Ramalho, um brilhante pesquisador e professor, pelos ensinamentos e agradável convivência durante o período de mestrado e doutorado.

À co-orientadora, Profa. Angelita Duarte Corrêa, pela ajuda nas análises de laboratório e pela disponibilidade durante esses dois anos e meio de prazerosa convivência.

Aos membros da banca examinadora, professores Magno, João Bosco e Nerinéia e à pesquisadora Priscila, pela participação na banca e disponibilidade

para contribuir com este trabalho. Com certeza suas observações foram de fundamental importância para o enriquecimento da versão final deste trabalho.

Aos professores Flávia, João Cândido, João Bosco, Elaine, José Airton, César, Lisete e Vânia pelos ensinamentos transmitidos.

Aos amigos do Programa de Melhoramento do Feijoeiro e do Milho, pela ajuda nos experimentos e prazerosos momentos de trabalho e descontração.

A todos os colegas e amigos da pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pelos agradáveis momentos de convivência.

À secretária Heloíza, pela amizade, eficiência e disponibilidade no decorrer do doutorado.

A todos os funcionários do Departamento de Biologia, Lindolfo, Léo, Raimundo, D. Irondina, Dú, Zélia e Rafaela, pela ajuda e prazerosa convivência.

Aos amigos conquistados ao longo da minha caminhada que, de alguma forma, contribuíram para a minha formação profissional.

Enfim, a todos que contribuíram de alguma maneira para a realização deste trabalho, meu sincero,

MUITO OBRIGADA A TODOS!

RESUMO

Este trabalho foi realizado com os objetivos de quantificar os teores de proteína e minerais de linhagens de feijão comum pertencentes ao Banco de Germoplasma da Universidade Federal de Lavras (UFLA), verificar se existe relação entre a cor da semente e o teor de proteína e minerais, verificar se os teores de zinco e ferro são afetados pela safra de cultivo e obter informações sobre o controle genético dos teores de zinco e ferro nas sementes de feijão. Foram avaliadas 100 linhagens de feijão, dos tipos carioca, preto e cores, quanto ao teor de proteína e dos minerais, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, manganês, zinco e ferro. Posteriormente, dez linhagens identificadas com teores elevados de ferro e zinco e dez com baixos teores foram avaliadas durante três safras: “águas” de 2009/2010 (semeadura em novembro); “seca” de 2010 (semeadura em fevereiro) e “inverno” de 2010 (semeadura em julho), em Lavras - MG. Para estudo do controle genético dos teores de ferro e zinco, quatro linhagens identificadas com altos teores de ferro e zinco e quatro com baixos teores foram cruzadas no esquema dialélico parcial. As hibridações foram realizadas em casa de vegetação, assim como a obtenção das gerações F_1 's, F_1 's recíprocos e F_2 's. Para verificar a ocorrência de efeito materno, foram testados os contrastes possíveis entre genitores e gerações F_1 e F_1 recíproco para cada cruzamento. Verificou-se existência de variabilidade genética entre os diferentes grupos avaliados e, também, entre as linhagens dentro de cada grupo. Em média, as linhagens do grupo preto se destacaram para teores de proteína, ferro e zinco. Já as do tipo carioca, para manganês e magnésio e as do tipo cores, para cálcio. Detectou-se correlação positiva entre a maioria dos nutrientes, indicando a possibilidade de obtenção de linhagens com maior valor nutritivo agregado, pois, a seleção poderá ser eficiente para dois ou mais nutrientes. Linhagens já recomendadas para cultivo no estado, tais como a BRS Cometa e BRSMG Pioneiro se destacaram tendo alto teor de praticamente todos os nutrientes avaliados. Os maiores teores de ferro e zinco foram observados na safra do inverno e os menores na safra da seca. Observou-se que, na média das três safras, as linhagens identificadas anteriormente como de alto teor de ferro e zinco, apresentaram quantidade de ferro 11,0% e de zinco 6,8% acima das de baixo teor. A interação linhagens x safras ocorre, porém a sua interferência na identificação dos grupos com alto e baixo teor de zinco e ferro não é grande. Verificou-se que parte expressiva da variação nos teores de zinco e ferro, entre as linhagens utilizadas, é em virtude do tegumento das sementes, ocorrência de efeito materno. No caso do zinco, apenas a interação alélica aditiva explicou a variação. Para o ferro, a ocorrência de dominância é, também, importante.

Palavras-chave: Variabilidade genética. Correlação. Interação genótipos x ambientes. Interação alélica. Efeito materno. Nutrientes.

ABSTRACT

This work was accomplished to quantify the levels of protein and minerals in common bean lines from the Germplasm Bank of UFPA, verify if there is relationship between the seed color and minerals and protein content, to verify if the levels of zinc and iron are affected by crop season, and find information about the genetic control of zinc and iron in seed bean. We evaluated one hundred lines of common bean, of carioca, black and color grain types, considering the levels of protein and of the minerals phosphorus, potassium, calcium, magnesium, copper, manganese, zinc and iron. Later, ten lines identified with high levels of iron and zinc, and ten with low levels were evaluated during three seasons: "wet season" of 2009/2010 (sowing in November), "dry season" in 2010 (sowing in February) and "winter season" of 2010 (sowing in July), Lavras - MG. The genetic control of the levels of iron and zinc were studied using four lines identified with high levels of iron and zinc and four with low levels that were crossed in a partial diallel cross. The hybridizations were performed on greenhouse, as well as the growing of the F₁, the reciprocal F₁ and the F₂. The occurrence of maternal effects were tested comparing parents and F₁ and F₁ reciprocal for each cross. There was genetic variability among different studied groups and also between lines within each group. In general, lines of black beans stood out for protein, iron and zinc. The carioca grain type, for manganese and magnesium and the colors, for calcium. Positive correlation was detected between the most nutrients, indicating the possibility of obtaining lines with higher nutritional value-added, because the selection may be effective for two or more minerals. Lines already recommended for cultivation in the State, such as BRS Cometa and BRSMG Pioneiro stood out with high content of all nutrients. The highest levels of iron and zinc were observed in the winter season and the lowest in dry season. It was observed that on the average of the three crops, lines previously identified as high iron and zinc, showed the amount of iron 11.0% and zinc of 6.8% above the low levels. The lines x seasons interaction occurs, but its interference in the identification of groups at high and low nutrient content is not great. It was found that a significant proportion of the variation in levels of zinc and iron among the lines used is due to coat the grains. In case of zinc, only additive allelic interaction explained the variation. For iron the occurrence of dominance is also important.

Keywords: Genetic variability. Correlation. Genotype x environment interaction. Allelic interactions. Maternal effects. Nutrients.

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE.....	10
1	INTRODUÇÃO.....	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1	Estrutura da semente de feijão	13
2.2	Composição química das sementes de feijão.....	14
2.3	O feijão na alimentação	17
2.4	Influência do ambiente e interação genótipos x ambientes no teor de ferro e zinco.....	19
2.5	Melhoramento genético para qualidade nutricional do feijão	21
2.5.1	O ferro na alimentação e possibilidade de sucesso de seleção para aumento deste mineral.....	22
2.5.2	O zinco na alimentação e possibilidade de sucesso de seleção para aumento deste mineral.....	24
2.5.3	Melhoramento para aumento nos teores de outros nutrientes.....	26
2.6	Cruzamentos dialélicos no melhoramento de plantas.....	27
3	CONCLUSÕES	30
	REFERÊNCIAS	32
	SEGUNDA PARTE – ARTIGOS	40
	ARTIGO 1 Composição química e sua associação com a cor das sementes de feijão comum	40
	ARTIGO 2 Implicações da interação genótipos x safras na identificação de linhagens de feijão com alto teor de zinco e ferro	62
	ARTIGO 3 Controle genético dos teores de zinco e ferro nas sementes de feijão.....	79

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

Uma alimentação desequilibrada pode causar uma série de problemas de saúde em virtude da deficiência de minerais e a baixa ingestão de proteína e fibras. A deficiência de minerais atinge mais de três bilhões de pessoas em todo o mundo (FAO, 2011). Dessa forma, as estratégias de suplementação da dieta têm sido recomendadas visando minimizar os problemas causados pela má nutrição. Entre essas estratégias, a biofortificação, que consiste em aumentar a biodisponibilidade do teor de minerais em porções comestíveis das plantas por meio do melhoramento genético, tem se apresentado como uma ótima alternativa, uma vez que permite o desenvolvimento de um alimento de melhor qualidade, sem custo adicional ao consumidor (WHITE; BROADLEY, 2005).

Nesse sentido, uma das principais opções é o feijão comum. Essa leguminosa é o componente principal da alimentação diária para mais de 300 milhões de pessoas (BEEBE, 2010). É um alimento que apresenta um alto valor proteico, nutricional e funcional e, em diversas oportunidades, foi verificado que existe variabilidade genética para os caracteres responsáveis pela qualidade nutricional (BEEBE; GONZALEZ; RENGIFO, 2000; MESQUITA et al., 2007; RIBEIRO et al., 2008). Essa é uma condição essencial para que se possa iniciar um programa de melhoramento visando à obtenção de cultivares com características agronômicas que atendam as necessidades dos agricultores e com qualidade que possa contribuir para a melhoria do estado nutricional da população.

O feijão representa a principal fonte de proteínas das populações de baixa renda e constitui um produto de destacada importância nutricional,

econômica e social. A maior parte da proteína encontrada nas sementes de feijão é composta pela faseolina, que é uma proteína de reserva (MA; BLISS, 1978).

Entre os minerais constituintes da semente 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 gastro-intestinais (BOUIS, 2003). Em acessos do banco de germoplasma do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) e coleções de cultivares africanas foi verificado que o teor médio de ferro está em torno de 55 mg kg^{-1} de massa seca de feijão (BEEBE, 2010). Contudo, já foram identificadas linhagens com teores acima de 100 mg kg^{-1} . Assim, esse autor comenta que é possível duplicar o teor de ferro e, ainda, aumentar em cerca de 40% o teor de zinco em combinação com a produtividade de grãos.

Porém, o ambiente pode contribuir para alteração da composição nutricional nas sementes de feijão. Sementes obtidas em solos ácidos contêm 25% a mais de ferro do que aquelas obtidas em solos alcalinos (MORAGHAN et al., 2002). O teor de zinco nas sementes de feijão, também, é alterado pelo pH e pela concentração de zinco no solo (CICHY et al., 2005). Dessa maneira, é esperado que as condições edáficas (tipo de solo, fertilidade, textura, matéria orgânica, entre outros) assim como as climáticas (temperatura, precipitação, fotoperíodo, radiação, entre outros) alterem a composição dos minerais em sementes de feijão cultivadas em diferentes regiões, anos e épocas de semeadura. Assim, é necessário que as cultivares sejam submetidas a avaliações no maior número de ambientes (ano, local e safra) para que aquelas recomendadas apresentem teores de minerais mais estáveis nos diversos ambientes ou então, que sejam identificadas condições ambientais em que esses teores sejam mais elevados.

Para se iniciar um programa de melhoramento visando à obtenção de cultivares com melhor qualidade nutricional, é importante obter informações a respeito do controle genético das características envolvidas. Em diversas oportunidades tem sido observado que parte de vários minerais têm efeito materno, o que dificulta o processo de seleção, pois, o tegumento está em uma geração e o embrião e cotilédones em outra (LELEJI et al., 1972; MORAGHAN et al., 2006; JOST et al., 2009a; JOST et al.; 2009b). Além do mais é esperado que essa proporção possa variar com o genótipo estudado. Sendo assim, informações sobre o controle genético, bem como o estudo da ocorrência de efeito materno, são importantes para que estratégias de seleção adequadas sejam definidas.

Diante disso, o presente trabalho teve como objetivos: quantificar os teores de proteína e minerais de uma amostra representativa das linhagens de feijão comum pertencentes ao Banco de Germoplasma da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e verificar se existe relação entre a cor da semente com esses teores; verificar os efeitos da interação linhagens x safras na identificação de linhagens de feijão comum com alto teor de zinco e ferro; e obter informações a respeito do controle genético dos teores de zinco e ferro nas sementes de feijão com identificação de combinações promissoras para aumento desses teores.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Estrutura da semente de feijão

A semente de feijão é constituída, externamente, 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, internamente, 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). Com base na matéria seca da semente, o tegumento representa cerca de 9%, os cotilédones, 90%, e eixo embrionário, apenas 1% (DEBOUCK; HIDALGO, 1985).

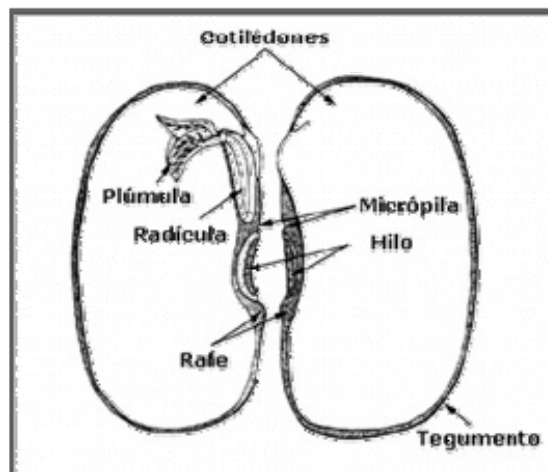


Figura 1 Partes constituintes da semente de feijão

A semente do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é exalbuminada, ou seja, não possui endosperma, pois, este é completamente digerido de onze a doze dias após a fertilização e as reservas nutritivas são encontradas nos cotilédones. A semente pode apresentar várias formas: arredondada, elíptica, reniforme ou oblonga, e tamanhos que variam de muito pequenas (menor que 20 g/100 sementes) a grandes (maior que 40 g/100 sementes) 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 rajas, manchas ou pontuações e pode ter brilho ou ser opaca (SILVA, 2011a).

Vários estudos já foram realizados visando estudar o controle genético da cor da semente do feijão (LEAKEY, 1988; BALDONI; TEIXEIRA; SANTOS, 2002). Basset (2004) enumerou 21 genes responsáveis pela cor do tegumento da semente do feijão e constatou, além da presença de interações epistáticas, efeitos pleiotrópicos, alelismo múltiplo e de ligação gênica. O estudo desse caráter é muito importante para os melhoristas durante o processo seletivo, já que a preferência do consumidor é regionalizada e diferenciada, principalmente, quanto à cor, o tamanho e o brilho da semente e, assim, influenciando na recomendação de cultivares.

Com relação ao formato das sementes, é encontrada grande variabilidade. Observa-se que algumas características que determinam o formato da semente, como comprimento, largura e espessura possuem herança quantitativa (NIENHUIS; SINGH, 1998; PARK et al., 2000).

2.2 Composição química das sementes de feijão

O feijão é um excelente alimento, pois fornece ao ser humano, 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). Na Tabela 1 é apresentada a relação dos constituintes químicos no feijão comum. 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.

Tabela 1 Variação na composição química das sementes de feijão comum secas

Composição química	Conteúdo	Autores
Proteína bruta (%)	16,00 a 36,28	Osborn (1988); Geil e Anderson (1994); Maldonado e Sarmám (2000); Mesquita et al. (2007).
Fibra bruta (%)	1,30 a 8,70	Geil e Anderson (1994); Antunes et al. (1995); Elias et al., (2007); Londero, Ribeiro e Cargnelutti Filho (2008).
Carboidratos totais (%)	60,00 a 77,00	Geil e Anderson (1994); Pires et al. (2005).
Lipídeos (%)	0,80 a 3,00	Geil e Anderson (1994); Pires et al. (2005).
Fósforo (g 100 g ⁻¹)	0,43 a 0,46	Barampama e Simard (1993); Geil e Anderson (1994); Beebe, Gonzalez e Rengifo (2000); Rosa (2009).
Potássio (g 100 g ⁻¹)	1,55 a 5,25	Barampama e Simard (1993); Geil e Anderson (1994).
Cálcio (g 100 g ⁻¹)	0,22 a 5,50	Barampama e Simard (1993); Geil e Anderson (1994); Jost et al. (2009a).
Magnésio (g 100 g ⁻¹)	0,20 a 0,28	Barampama e Simard (1993); Geil e Anderson (1994).
Ferro (mg kg ⁻¹)	30,00 a 126,90	Barampama e Simard (1993); Geil e Anderson (1994); Chiadara e Gomes (1997); Ribeiro et al. (2008).
Zinco (mg kg ⁻¹)	10,00 a 87,90	Barampama e Simard (1993); Geil e Anderson (1994); Ribeiro et al. (2008); Rosa et al. (2010).
Manganês (mg kg ⁻¹)	8,20 a 18,88	Barampama e Simard (1993); Geil e Anderson (1994); Beebe, Gonzalez e Rengifo (2000).
Cobre (mg kg ⁻¹)	4,40 a 9,52	Barampama e Simard (1993); Geil e Anderson (1994); Ribeiro et al. (2008).
Cinzas (g 100 g ⁻¹)	3,36 a 4,50	Barampama e Simard (1993); Pires et al. (2005).

A maior parte da proteína encontrada nas sementes de feijão é composta pela faseolina, que é uma proteína de reserva (MA; BLISS, 1978). Como outras leguminosas, o feijão é deficiente no aminoácido metionina, mas rico em outros aminoácidos essenciais, como a lisina (BASSINELLO, 2011). O consumo combinado de arroz e feijão (cereal e leguminosa) torna a dieta equilibrada, principalmente, quando os cereais e legumes são consumidos na proporção de 2:1 (BRESSANI, 1983).

As sementes de feijão são, também, ricas em fibra alimentar e apresentam a proporção de três partes de fibra insolúvel para uma parte de fibra solúvel (LONDERO; RIBEIRO; CARGNELUTTI FILHO, 2008). Além disso, possui baixo teor de gordura e de sódio (HOSFIELD, 1991; MORROW, 1991), reforçando o alto valor nutricional, proteico e funcional do feijão.

Com relação aos minerais, como já mencionado, é relatada ampla variabilidade (Tabela 1). Destaque deve ser dado para o ferro cuja quantidade encontrada no feijão é semelhante ao da carne de bovinos, apesar de apresentar menor biodisponibilidade (MOURA; CANNIATTI-BRAZACA, 2006). Como o ferro é essencial à formação da hemoglobina e sua deficiência provoca anemia (MAHAN, 1998), a ingestão diária de feijão é importante na prevenção dessa doença. Também é considerado como boa fonte de cálcio para aquelas pessoas que não podem ingerir alimentos lácteos, que são as principais fontes desse mineral. Esse nutriente é de extrema importância na formação dos ossos e dentes (MIGLIORANZA et al., 2003). A osteoporose, doença que reduz a massa óssea, é a principal doença causada pela deficiência de cálcio no organismo. Os elementos fósforo, potássio, magnésio, cobre e zinco, também, são essenciais no fortalecimento dos ossos. O fósforo, magnésio e potássio, também, são associados com a regulação de pressão alta e o zinco é essencial para o crescimento do corpo, exercendo função regulatória de insulina e sistema imune.

Segundo informações da Recommended Daily Allowances (RDA), para adultos, uma xícara de feijão seco cozido pode proporcionar, por dia, cerca de 29% das necessidades de ferro para mulheres e 55% para homens, e para ambos, 20 a 25% de fósforo, magnésio e manganês, aproximadamente 20% de potássio e cobre e 10% de cálcio e zinco (GEIL; ANDERSON, 1994). Contudo, o processo de maceração do feijão (que antecede o cozimento) e, também, o processo de cozimento, podem ocasionar perdas de minerais solúveis em água, principalmente de ferro, cálcio, magnésio e potássio e também de vitaminas que são sensíveis ao calor (SOARES; DELLA MODESTA; CARVALHO, 1996). Contudo, essas perdas dependem se o cozimento é realizado com ou sem a água do processo de maceração. Em trabalho realizado por Oliveira et al. (2008), os autores constataram que algumas linhagens já registradas para o cultivo no Estado do Rio Grande do Sul (RS) podem ser cozidas com ou sem a água de maceração, pois houve manutenção da composição de minerais.

2.3 O feijão na alimentação

Na alimentação dos brasileiros, o feijão representa a principal fonte de proteína, seguido, em importância, pela carne bovina e pelo arroz. Apenas esses três alimentos básicos contribuem com 70% da ingestão proteica (MACHADO; FERRUZZI; NIELSEN, 2008). A importância alimentar do feijão deve-se, especialmente, ao menor custo de sua proteína em relação aos produtos de origem animal (MESQUITA et al., 2007). Dessa forma, aliando a importância social do feijão como substituto de proteínas animais ao consumo generalizado pela população brasileira, justifica-se o esforço da pesquisa no sentido de obter melhores níveis de produtividade e a garantia do abastecimento interno do produto (AGRIDATA, 2000).

Este alimento apresenta, porém, um problema: suas proteínas têm valor nutricional pouco inferior ao apresentado pelas carnes, que é decorrente do teor e biodisponibilidade reduzidos de aminoácidos sulfurados (EVANS; BAUER, 1978; ANTUNES; SGARBIERI, 1980; FUKUDA; ELIAS; BRESSANI, 1982), principais aminoácidos que participam da síntese proteica (GERALDO, 2006). Entretanto, quando combinado com arroz, por exemplo, forma uma mistura de proteínas mais nutritiva. Isto porque o arroz é relativamente rico em aminoácidos sulfurados (MESQUITA et al., 2007).

Grande parte da população brasileira possui o hábito de consumir feijão diariamente, juntamente com o arroz. O consumo diário no Brasil foi estimado entre 50 a 100 g por dia/pessoa, contribuindo com 28% de proteínas e de 5 a 11,2% de calorias ingeridas (SILVA, 2010b).

O feijão também possui efeitos nutracêuticos que ajudam na prevenção de câncer de pulmão e de mama, na melhoria da fertilidade, no controle do colesterol, além de atenuar hemorragias e atuar na estabilização do açúcar no sangue, entre outros benefícios (AVILA, 2011). O consumo em quantidades moderada a alta de feijão está sendo associado à diminuição de riscos para doenças como o diabetes, doenças cardiovasculares e até mesmo neoplasias. Acredita-se que esse efeito benéfico do consumo do feijão é em decorrência da presença de metabólitos secundários nessa leguminosa, os fitoquímicos, principalmente, os compostos fenólicos e os flavonoides.

A biodisponibilidade de minerais é de grande relevância, já que, em geral, ela é menor em vegetais do que em alimentos de origem animal. Os fatores que afetam a biodisponibilidade de minerais são a digestibilidade do alimento, a forma química do mineral, os níveis de outros nutrientes da dieta, a presença de quelantes (fitatos), o tamanho de partícula do alimento e as condições de processamento, as quais podem alterar a quantidade, a forma química ou a associação do mineral com outros componentes presentes

(SATHE; DESHPANDE; SALUNKE, 1984). Sandberg (2002) afirma que a presença de ácido fítico, polifenóis e fibra alimentar exerce efeitos antagonistas na absorção de cálcio, ferro e zinco. Por outro lado, Broughton et al. (2003) comentaram que fitatos, possivelmente, têm propriedades terapêuticas na prevenção de câncer do cólon, provavelmente, em função de suas propriedades antioxidantes.

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

Os teores de minerais nas sementes de feijão apresentam variação genética e ambiental, além de serem influenciados pela interação genótipos x ambientes. Entre os fatores ambientais que afetam os teores de ferro e zinco, estão as características do solo onde o feijão é cultivado e condições climáticas (MORAGHAN et al., 2002; CICHY et al., 2005).

A alteração no comportamento dos genótipos, em função dos ambientes, geralmente, leva à ocorrência de interação genótipos x ambientes. A quantificação dessa interação é importante, pois, se for significativa e com maior parte complexa, implica na alteração de classificação dos genótipos nos diferentes ambientes. Principalmente no caso do feijão que é cultivado em inúmeras propriedades, nas mais diversas condições de solo e em três safras durante o ano, a grande influência do ambiente e a interação genótipos x ambientes é um grande complicador para os programas de melhoramento.

A interação é composta por duas frações, denominadas de simples e complexa (ROBERTSON, 1959). Na denominada simples, há interação, porém não interfere na seleção já que não altera a classificação dos genótipos. Ela ocorre em consequência da diferença na manifestação genotípica nos diferentes ambientes. Mas quando a fração predominante é a complexa, há uma inversão de

comportamento das cultivares, promovendo mudança no ranqueamento dos genótipos nos diferentes ambientes de avaliação, tornando difícil a seleção de genótipos superiores. Esta ocorre em virtude da falta de correlação no desempenho dos genótipos nos vários ambientes. Quando a interação complexa representa a maior parte da interação total, é que ocorrerão as maiores dificuldades no melhoramento, uma vez que um genótipo selecionado em uma dada condição ambiental poderá não apresentar o mesmo desempenho em outro ambiente (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

Para os teores de ferro e zinco foi observada interação genótipos x ambientes em Burundi, país africano, na avaliação de quatro cultivares de feijão comum, testadas em quatro diferentes locais, no mesmo ano agrícola (BARAMPAMA; SIMARD, 1993). Interação genótipos x ambientes também foi verificada para o teor de ferro para 25 linhagens cultivadas em três locais no estado do Paraná (ARAÚJO et al., 2003). No Brasil, a avaliação de 19 cultivares de feijão, em dois municípios do Estado do Rio Grande do Sul (RS), possibilitou a constatação de efeito significativo da interação genótipos x ambientes 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 verificaram interação genótipos x ambientes significativa.

2.5 Melhoramento genético para a qualidade nutricional do feijão

De modo geral, os programas de melhoramento de feijão conduzidos no mundo, possuem como principais objetivos, a obtenção de linhagens com alta produtividade de grãos, resistência às principais doenças, arquitetura da planta mais ereta e tolerância a estresses abióticos. No entanto, o mercado consumidor tem apresentado novas exigências e os programas de melhoramento genético do feijão têm tido a atenção despertada para a importância da obtenção de cultivares com sementes de qualidade nutricional superior (BLAIR et al., 2009).

Vale salientar que as cultivares biofortificadas ou nutracêuticas que poderão ser obtidas, não terão um custo adicional para os consumidores, representando um grande benefício social à população que tem o hábito de consumir feijão diariamente (RIBEIRO, 2010). Assim, a disponibilização de cultivares de feijão com qualidade nutricional, funcional e culinária, agregada às características agronômicas de interesse, resultará em vantagens tanto para os produtores rurais, que poderão obter um melhor preço pelo seu produto, quanto para os consumidores, que terão atendidas suas necessidades nutricionais.

Nos programas de melhoramento, a avaliação da variabilidade existente nos bancos de germoplasma para caracteres de interesse é a primeira etapa para o início do melhoramento genético. A segunda etapa é o conhecimento do potencial dos genitores para serem cruzados baseados na avaliação anterior do banco de germoplasma. A etapa seguinte é a condução da população segregante e, posteriormente, a quantificação dos nutrientes visando à seleção. Finalmente, as linhagens obtidas que associam boa qualidade nutricional e outros fenótipos agronômicos desejáveis devem ser mais intensamente avaliadas nos experimentos de Valor de Cultivo e Uso (VCU).

2.5.1 O ferro na alimentação e possibilidade de sucesso de seleção para aumento deste mineral

Em humanos, o ferro é essencial para prevenir a anemia e atua em muitos processos metabólicos. A deficiência desse mineral no organismo humano é um problema grave de saúde pública no mundo, que afeta milhões de pessoas (BLACK, 2003).

De 11 a 36% do ferro se concentraram no tegumento das sementes de feijão (MORAGHAN et al., 2002). Então, parte do nutriente tem efeito materno (JOST et al., 2009b), o que dificulta o processo de seleção, pois, o tegumento está em uma geração anterior com relação ao embrião e cotilédones.

Foi observado que a proporção de ferro encontrada no tegumento pode variar com sua cor (MORAGHAN et al., 2002). Esses autores observaram que cultivares de feijão de grãos pretos apresentaram maior teor de ferro no tegumento (35 a 40%), enquanto que nas cultivares de grãos brancos, a concentração foi de 17 a 20% de ferro. Os autores atribuíram essa diferença ao teor de tanino, que é superior nas cultivares de grãos pretos e os taninos podem complexar ferro.

Informações sobre o controle genético do teor de ferro nas sementes de feijão têm sido obtidas 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. 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. No caso do teor de ferro, estimativa de herdabilidade no sentido restrito de 50% foi obtida por Jost et al. (2009b), indicando a possibilidade de sucesso com a seleção para esse caráter.

Vários trabalhos foram realizados visando a quantificar o teor de ferro em linhagens de feijão (BARAMPAMA; SIMARD, 1993; GEIL; ANDERSON, 1994; CHIARADIA; GOMES, 1997; BEEBE; GONZALES; RENGIFO, 2000; RIBEIRO et al., 2008). Nesses trabalhos foi encontrada variabilidade suficiente 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. Além disso, é importante mencionar que, de acordo com Welch et al. (2000), linhagens de feijão com maior teor de ferro nas sementes apresentaram, também, maior biodisponibilidade do mineral. 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 sementes 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 obtida 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 (WELCH et al., 2000; GELIN et al., 2007). 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 sementes 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.

2.5.2 O zinco na alimentação e possibilidade de sucesso de seleção para aumento deste mineral

O feijão comum também se destaca como importante fonte de zinco para a alimentação humana. As leguminosas apresentam cerca de dez vezes mais zinco quando comparadas às frutas e às hortaliças (ANDRADE et al., 2004). A deficiência de zinco no organismo humano pode causar atraso no crescimento e na maturação sexual, hipogonadismo, hipospermia, alopecia, lesões de pele, retardo na cicatrização de feridas, imunodeficiências, distúrbios comportamentais, cegueira noturna e perda de apetite. Isso porque o zinco exerce importantes funções estruturais, enzimáticas e regulatórias para as células vivas. A ingestão diária de zinco recomendada para indivíduos adultos é de 8 a 11 mg (COZZOLINO, 2007).

No tegumento das sementes de feijão se concentra de 7 a 12% do zinco (MORAGHAN et al., 2006). Portanto, a maior fração desse elemento se encontra 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.

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 (GELIN et al., 2007; BEAVER; OSORNO, 2009). Contudo, no trabalho realizado por Cichy et al. (2005), foi verificado que o controle genético do teor de zinco nas sementes se dá por um único gene em populações de feijão mesoamericano, conferindo alta concentração de zinco em populações de feijão do grupo “navy” (sementes brancas pequenas). Nesse 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.

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 sementes de feijão.

Gelin et al. (2007) obtiverem 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. Nesse trabalho, as linhagens selecionadas com alto teor de zinco nas sementes, apresentaram também teores intermediários de ferro. Além dessa, 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.

2.5.3 Melhoramento para aumento nos teores de outros nutrientes

Na literatura são encontrados vários trabalhos visando ao aumento nos teores de diversos nutrientes, porém, na maioria deles os autores apenas realizaram estudos de quantificação dos teores, não havendo continuidade no processo de melhoramento genético propriamente dito.

Com relação ao controle genético, estudos mostraram que para proteína, poucos genes devem estar envolvidos no controle genético e estimativas de herdabilidade variando de 30 a 80% foram encontradas (LELEJI et al., 1972). Kelly e Bliss (1975) também obtiveram estimativa de herdabilidade moderada para teor de metionina (43 a 56%) em diferentes populações de feijão, indicando a possibilidade de seleção de linhagens com teores elevados desse aminoácido. Valores de herdabilidades de 47,00 a 63,61% foram observados para teor de cálcio (JOST et al., 2009a). Esses autores comentaram que o teor de cálcio deve ser controlado por poucos genes. Para teor de fósforo as estimativas de herdabilidade variaram entre 21,37 e 65,54%, em trabalho conduzido por Rosa (2009), indicando, possivelmente, que o caráter seja controlado por muitos genes. A mesma autora também observou segregação transgressiva para esse mineral e aventou que é possível aumentar em 19,17% o teor de fósforo em sementes de feijão.

Para os teores de metionina e cisteína, dois aminoácidos de grande importância para o melhoramento do feijão não tem sido verificada ocorrência de efeito materno significativo (LONDERO et al., 2009). O mesmo foi observado para o teor de fósforo (ROSA, 2009). No entanto, efeito materno significativo foi observado para teor de proteína (LELEJI et al., 1972), para o teor de cálcio (MORAGHAN et al., 2006; JOST et al., 2009a) e para tempo de cozimento dos grãos de feijão (RIBEIRO, 2006).

Foi observado que as sementes de feijão do grupo gênico

mesoamericano, normalmente, apresentam maior teor de fósforo quando comparadas às sementes do grupo andino (ISLAM et al., 2002). O aumento do teor de fósforo em sementes, por meio de melhoramento genético, é especialmente vantajoso, pois, a maioria dos solos brasileiros apresenta elevada capacidade de retenção de fósforo, o que leva à necessidade de aplicação de altas doses de fosfatos, contribuindo para o aumento nos custos de produção e para a redução dos recursos naturais não renováveis (MOURA et al., 2001).

Correlação positiva entre proteína e fósforo, proteína e potássio, proteína e magnésio, fósforo e potássio, fósforo e magnésio e cálcio e magnésio foram observadas por Jost et al. (2009b). Beebe, Gonzales e Rengifo (2000) também verificaram correlações positivas entre vários minerais em acessos de feijão de origem andina e mesoamericana, avaliados na Colômbia.

2.6 Cruzamentos dialélicos no melhoramento de plantas

A hibridação que é a união de gametas geneticamente diferentes, que resulta em indivíduos híbridos heterozigóticos para um ou mais locos é a principal estratégia utilizada nos programas de melhoramento. Por esse método os melhoristas buscam reunir alelos favoráveis presentes em diversos genitores, fontes de fenótipos de interesse. O sucesso dessa estratégia de melhoramento depende de decisões acertadas dos melhoristas em determinadas etapas do programa, tais como: escolha dos genitores e/ou das populações segregantes, como realizar os cruzamentos ou obter as populações e que método utilizar na condução das mesmas. Para uma escolha bem sucedida os objetivos do programa devem ser bem claros, sendo que a decisão depende dos caracteres a serem melhorados, do tipo de controle genético dos caracteres e da fonte de germoplasma disponível (FEHR, 1987).

A escolha dos genitores não é uma tarefa fácil, principalmente quando o caráter em questão é de herança quantitativa. Contudo, algumas metodologias são relatadas na literatura (RAMALHO et al., 1988; ABREU; RAMALHO; FERREIRA, 1999). Baenziger e Peterson (1991) classificaram essas metodologias em duas categorias: a primeira envolve os procedimentos que utilizam apenas as informações dos prováveis genitores, como a média, o coeficiente de parentesco, a origem e a divergência genética. Na segunda são utilizadas informações do comportamento da descendência a partir dos cruzamentos dos genitores a serem escolhidos. Nessa categoria, entre outras metodologias estão os cruzamentos dialélicos.

Dialelos referem-se a todos os casos em que n genitores são combinados dois a dois. Entre os tipos de cruzamentos dialélicos, os que têm sido mais amplamente utilizados são: dialelos completos ou balanceados, em que são incluídos os híbridos nas gerações F_1 ou F_2 , ou qualquer outra geração entre todos os pares de combinações dos genitores; dialelos parciais, em que os genitores envolvidos são dispostos em dois grupos, pertencentes ou não a um conjunto comum, sendo que as inferências são realizadas para cada grupo. O dialelo parcial apresenta como vantagem a possibilidade de incluir um maior número de genitores; dialelos circulantes, em que os genitores são representados nas combinações híbridas em número menor de cruzamentos que nos demais tipos; dialelos desbalanceados, em que algumas das combinações híbridas não foram obtidas (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

Existem várias metodologias utilizadas para o estudo da análise dialélica, entre as quais merece destaque a proposta por Griffing (1956), em que é estimada a capacidade geral e específica de combinação dos genitores. Pode ser utilizado com genitores de efeito fixo ou aleatório. Após a obtenção das combinações híbridas e essas terem sido avaliadas em experimentos com repetições, utilizando os dados médios, são estimados os componentes da

capacidade de combinação. No caso dos dialelos completos, Griffing (1956) propôs quatro métodos de análise. O método 1 inclui todas as combinações n^2 , ou seja, os híbridos, seus recíprocos e os genitores; o método 2 inclui os híbridos e os genitores; o método 3 inclui os híbridos e seus recíprocos, sem os genitores e o método 4 apenas as combinações híbridas. É importante salientar que os métodos mais utilizados são o 2 e o 4.

O termo capacidade geral de combinação (CGC) é utilizado para designar o comportamento médio de um parental em todos os cruzamentos de que participa (SPRAGUE; TATUM, 1942; CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004). A CGC está associada a genes de efeitos aditivos. As estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (\hat{g}_i) fornecem informações a respeito das potencialidades do parental em gerar combinações favoráveis. Aqueles parentais com as maiores estimativas positivas de \hat{g}_i seriam potencialmente favoráveis a serem utilizados nos programas de melhoramento.

O termo capacidade específica de combinação (CEC) é utilizado para indicar aqueles casos em que certas combinações híbridas são melhores ou piores que o esperado, com base na performance média das cultivares envolvidas e das estimativas de CGC (SPRAGUE; TATUM, 1942; CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004). Para que ela ocorra os genitores devem ser divergentes e obrigatoriamente tem que ocorrer dominância no controle do caráter.

Nos programas de melhoramento de feijão comum, os cruzamentos dialélicos têm sido utilizados em várias oportunidades, principalmente com o objetivo de identificar as populações mais promissoras para obtenção de linhagens com alto potencial produtivo (ABREU; RAMALHO; FERREIRA, 1999; MENDES; RAMALHO; ABREU, 2009). Contudo, não foram encontrados relatos sobre estimativas de CGC e CEC para teores de minerais em feijão.

3 CONCLUSÕES

As condições para a seleção de linhagens com melhor composição química das sementes são favoráveis, pois, foi detectada variabilidade no germoplasma associado à alta herdabilidade.

As estimativas das correlações dos nutrientes dois a dois foram predominantemente positivas, condição essa favorável para a identificação de linhagens que possuam boa composição química para a maioria dos nutrientes.

O índice de seleção adotado (ΣZ) identificou as linhagens CI 128, Safira e R-1 como as que possuem melhor composição química.

Linhagens já recomendadas para cultivo no estado, tais como a BRS Cometa e BRSMG Pioneiro se destacaram tendo alto teor de praticamente todos os nutrientes avaliados.

Os feijões do grupo preto, em média, apresentam maiores teores de proteína, ferro e zinco. Já os do tipo carioca, manganês e magnésio e os do tipo cores, cálcio. Isso indica que pelo menos parte do teor desses nutrientes deve estar localizada no tegumento.

Os teores de zinco e ferro são afetados pelo ambiente de cultivo, safra agrícola. Os maiores teores foram observados na safra do inverno e os menores na safra da seca, semeadura em fevereiro.

A interação linhagens x safras ocorre, porém, a sua interferência na identificação dos grupos com alto e baixo teor dos dois nutrientes não é grande.

Na média das três safras (“águas”, “seca” e inverno), as linhagens classificadas como de alto teor de ferro e zinco, apresentaram quantidade de ferro 11,0% e de zinco 6,8% acima das de baixo teor.

Parte expressiva da variação nos teores de zinco e ferro, entre as linhagens utilizadas, é em função do tegumento das sementes.

No caso do zinco, apenas a interação alélica aditiva explicou a variação. Para o ferro a ocorrência de dominância também é importante.

REFERÊNCIAS

ABREU, A. de F. B.; RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F. Selection potential for seed yield from intra and inter racial populations in common bean. **Euphytica**, Wageningen, v. 108, n. 2, p. 121-127, Mar. 1999.

AGRIDATA - Sistemas de Informação de Agronegócios de Minas Gerais – Secretaria de Estado de Agricultura. **Pecuária e Abastecimento**, 2000. Disponível em: <<http://www.agridata.mg.gov.br>>. Acesso em: 02 dez. 2010.

ANDRADE, E. C. B. et al. Comparação dos teores de cobre e zinco em leguminosas cruas e após processadas termicamente em meio salino e aquoso. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 3, p. 316-318, jul. /set. 2004.

ANTUNES, P. L., SGARBIERI, V. C. Effect of heat treatment on the toxicity and nutritive value of dry bean (*Phaseolus vulgaris* var. Rosinha G2) proteins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 28, n. 5, p. 935-938, Aug. 1980.

ANTUNES, P.L. et al. Valor nutricional de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivares Rico 23, Carioca, Piratã-1 e Rosinha-G2. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 1, n. 1, p. 12- 18, jan. 1995.

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.

AVILA, M. F. **Nutracêuticos: Alimentos que proporcionam benefícios à saúde**. Disponível em: <www.marianaferridavila.com.br>. Acesso em: 15 mar. 2011.

BAENZIGER, P. S.; PETERSON, E. J. Genetic variation: its origin and use for breeding self-pollinated species. In: STALKER, H.T.; MULTRIPHY, J.P. (Ed.). **Plant breeding in the 1990's**. Raleigh : North Caroline State University, 1991, p. 69-100.

BALDONI, A. B.; TEIXEIRA, F. F.; SANTOS, J. B. Controle genético de alguns caracteres relacionados à cor da semente de feijão no cruzamento Rosinha x ESAL 693. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1427-1431, set. /out. 2002.

BARAMPAMA, Z.; SIMARD, R. E. Nutrient composition, protein quality and antinutritional factors of some varieties of dry beans (*Phaseolus vulgaris*) grown in Burundi. **Food Chemistry**, Oxford, v. 47, n. 2, p. 159-167, Mar. 1993.

BASSET, M. J. List of genes – *Phaseolus vulgaris* L.. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 47, n. 47, p. 1-24, Mar. 2004.

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. Disponível em:
<<http://www.cnpaf.embrapa.br/eventosenoticias/anteriores/anteriores2007/071217.htm>>. Acesso em: 23 mar. 2011.

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. 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.; 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.

BLACK, M. M. Micronutrient deficiencies and cognitive functioning. **The Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 133, n. 11, p. 3927-3931, Nov. 2003.

BLAIR, M. W. et al. Análisis multi-locacional de líneas de frijol 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.

_____. 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.

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.

BROUGHTON, W. J. et al. Beans (*Phaseolus* spp.): model food legumes. **Plant Soil**, Dordrecht v. 252, n. 1, p. 55-128, Jan. 2003.

CHIARADIA, A. C. N.; GOMES, J. C. **Feijão: química, nutrição e tecnologia**. Viçosa, MG: Fundação Artur Bernardes, 1997. 180 p.

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.

COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de nutrientes**. São Paulo: Manole, 2007. 992 p.

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

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

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

EVANS, R. J., BAUER, D. H. Studies of the poor utilization by the rat of methionine and cystine in heated dry bean seed (*Phaseolus vulgaris*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 26, n. 4, p. 779-784, July 1978.

FAO. Undernourishment around the world: Counting the hungry: latest estimates. **FAO**, Disponível em: <

http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp.htm>. Acesso em: 02 maio 2011.

FEHR, W. R. **Principles of cultivar development**. New York : MacMillan, 1987. 525p.

FUKUDA, G.; ELIAS, L. G.; BRESSANI, R. Significado de algunos fatores antifisiologicos y nutricionales en la evaluation biologica de diferentes cultivares de frijol comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Archivos Latinoamericanos de Nutrition**, Guatemala, v. 32, n. 4, p. 945-960, Mar. 1982.

GEIL, P. B.; ANDERSON, J. W. Nutrition and health implications of dry beans: a review. **Journal of the American College of Nutrition**, Clearwater, v. 13, n. 6, p. 549-558, Aug. 1994.

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.

GERALDO, A. **Aminoácidos sulfurados, Lisina e Treonina digestíveis para poedeiras comerciais leves em pico de produção**. 2006. 188p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, Melbourne, v. 9, n. 4, p. 463-493, Mar. 1956.

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.

ISLAM, F. M. A et al. Seed compositional and disease resistance differences among gene pools in cultivated common bean. **Genetics Resource Crop Evolution**, Dordrecht, v. 49, n. 3, p. 285-293, Apr. 2002.

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.

_____. 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.

KELLY, J. D.; BLISS, F. A. Heritability estimates of percentage seed protein and available methionine and correlations with yield in dry beans. **Crop Science**, Madison, v. 15, n. 6, p. 753-757, July 1975.

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

LELEJI, O. I. et al. Inheritance of crude protein percentage and its correlation with seed yield in beans, *Phaseolus vulgaris* L. **Crop Science**, Madison, v. 12, n. 2, p. 168-171, Feb. 1972.

LONDERO, P. M. G. et al. Efeito materno na expressão dos teores de aminoácidos sulfurados em grãos de feijão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1884-1887, set. 2009.

LONDERO, P. M. G.; RIBEIRO, N. D.; CARGNELUTTI FILHO. 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.

MACHADO, C. M.; FERRUZZI M. G.; NIELSEN, S. S; Impact of the hard-to-cook phenomenon on phenolic antioxidants in dry beans (*Phaseolus vulgaris*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 56, n. 9, p. 3102- 3110, Sept. /oct. 2008.

MAHAN, L. K.; ESCOTT-STUMP, S. **Krause: alimentos, nutrição e dietoterapia**. 9. ed. São Paulo: Roca, 1998, 1179 p.

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.

MENDES, F. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Índice de seleção para escolha de populações segregantes de feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 10, p. 1312-1318, out. 2009.

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.

MIGLIORANZA, E. et al. Teor de cálcio em frutos de diferentes cultivares de feijão-vagem. **Horticultura Brasileira**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 158-161, abr./jun. 2003.

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.

_____. 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, W. M. et al. Eficiência nutricional para fósforo em linhagens de pimentão. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 3, p. 306-312, mar./abr. 2001.

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.

NIENHUIS, J.; SINGH, S. P. Genetics of seed yield and its components in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) of Middle American origin. II Genetic variance, heritability and expected response from selection. **Plant breeding**, Berlin, v. 101, n. 31, p. 105-106, June 1988.

OLIVEIRA, V. R. et al. Qualidade nutricional e microbiológica de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cozido com ou sem água de maceração. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1912-1918, nov./dez. 2008.

OSBORN, T. C. Genetic control of bean seed protein. **CRC Critical Reviews in Plant Science**, Philadelphia, v. 7, n. 2, p. 93-116, Feb. 1988.

PARK, S. O. et al. Mapping of QTL for seed and shape traits in common bean. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 125, n. 4, p. 466-475, July 2000.

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

RIBEIRO, N. D. Potencial de aumento da qualidade nutricional do feijão por melhoramento genético. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, suplemento 1, p. 1367-1376, out. 2010.

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, S. R. R. P. Maternal effect associated to cooking quality of common bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 6, n. 4, p. 304-310, June 2006.

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

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

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.

SANDBERG, A. S. Bioavailability of mineral in legumes. **British Journal Nutritional**, London, v. 8, n. 3, p. 281- 285, Feb. 2002.

SATHE, S. K., DESHPANDE, S. S., SALUNKE, D. H. Dry beans of Phaseolus. A review. Part 2. Chemical composition: Carbohydrates, fiber, minerals, vitamins and lipids. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Cleveland, v. 21, n. 2, p. 41-91, Apr. 1984.

SILVA, H. T. da. **Morfologia do feijoeiro**, 2010a. Disponível em: < http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia4/AG01/arvore/AG01_9_1311200215101.html >. Acesso em: 14 fev. 2011.

SILVA, O. F. **Consumo per capita de feijão no Brasil**, 2010b. Disponível em: <http://www.cnpaf.embrapa.br/apps/socioeconomia/docs/arroz/consumopercapita.htm> >. Acesso em: 10 jan. 2011.

SOARES, A. G.; DELLA MODESTA, R. C.; CARVALHO, J. L. V. Avaliação Tecnológica de algumas cultivares de feijão visando avaliar as suas reais potencialidades de consumo. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 5., 1996, Goiânia. **Anais...** Goiânia: EMBRAPA/CNPAS, 1996, 1 CD-ROM.

SPRAGUE, G. F.; TATUM, L. A. General vs Specific combining ability in single crosses of corn. **Journal of the American Society of Agronomy**, Washington, v. 34, n. 10, p. 923-932, Nov. 1942.

TRYPHON, 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.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortifying crops with essential mineral elements. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 10, n. 12, p. 586-593, Dec. 2005.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1

**COMPOSIÇÃO QUÍMICA E SUA ASSOCIAÇÃO COM A COR DAS
SEMENTES DE FEIJÃO COMUM**

**Artigo redigido conforme norma da revista científica
Scientia Agrícola (Versão preliminar)**

Composição química e sua associação com a cor das sementes de feijão comum

Resumo - Os objetivos deste trabalho foram quantificar os teores de proteína e minerais de linhagens de feijão pertencentes ao Banco de Germoplasma da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e verificar se existe relação entre a cor do grão e o teor de proteína e minerais. Foram avaliadas 100 linhagens de feijão dos tipos carioca, preto e cores, quanto aos teores de proteína e dos minerais fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, manganês, zinco e ferro. Verificou-se existência de variabilidade genética entre os diferentes grupos avaliados e, também, entre as linhagens dentro de cada grupo. Em média, as linhagens de grãos pretos se destacaram para os teores de proteína, ferro e zinco. Já os grãos tipo carioca, para manganês e magnésio e os do tipo cores, para cálcio. Detectou-se correlação positiva entre a maioria dos nutrientes, indicando a possibilidade de obtenção de linhagens com maior valor nutritivo agregado, pois, a seleção poderá ser eficiente para dois ou mais minerais. Foram identificadas as linhagens CI 128, Safira e R-1 como as que possuem melhor composição química. Cultivares registradas para cultivo no estado, tais como a BRS Cometa e BRSMG Pioneiro se destacaram tendo alto teor de praticamente todos os minerais avaliados.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L.; nutrientes; correlação.

Chemical composition and its association with seed color of common bean

Abstract - This study aimed to quantify the levels of protein and minerals in common bean lines from the Germplasm Bank of Universidade Federal de Lavras (UFLA) and to investigate the relationship between the grain color and the content of minerals and proteins. We evaluated one hundred lines of bean with carioca, black and other grains colors, for the levels of protein and the minerals phosphorus, potassium, calcium, magnesium, copper, manganese, zinc and iron. There was genetic variability among the different groups and also between lines within each group. In general, lines of black beans stood out for protein, iron and zinc. The carioca grain type, was superior for manganese and magnesium and the other grain colors, for calcium. Positive correlation between the most nutrients was observed. This indicate the possibility of obtaining lines with higher nutritional value-added, because the selection may be efficient for two or more minerals. We identified CI128, Safira and R-1 lines with better composition. Lines already recommended for cultivation in the MG State, such as BRS Cometa and BRSMG Pioneiro stood out with high content of all nutrients.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L.; nutrients; correlation.

Introdução

O feijão comum é um alimento muito rico nutricionalmente, pois, fornece nutrientes essenciais ao ser humano, como proteínas, minerais, vitaminas (principalmente do complexo B) e carboidratos, além das fibras. O consumo diário de feijão no Brasil se encontra entre 50 e 100 g por dia/pessoa, contribuindo com 28% de proteínas e de 5 a 11% das calorias ingeridas (Silva, 2010).

A proteína encontrada no feijão comum é de elevada qualidade, pois, várias cultivares disponíveis para o cultivo no Brasil apresentam teores de aminoácidos essenciais e não essenciais adequados para suprir as necessidades nutricionais diárias (Ribeiro et al., 2007), de acordo com o padrão considerado pela Food and Agriculture Organization - FAO - (FAO, 1998). O grão de feijão apresenta cerca da metade do teor de proteína em relação à soja, porém, possui maior digestibilidade proteica (78,70%) (Pires et al., 2006).

Em relação aos minerais, os alimentos de origem animal são as principais fontes biodisponíveis (Costa e Liberato, 2003). Entretanto, por possuírem elevado custo, são inacessíveis a muitas pessoas. Dessa forma, o consumo de feijão é benéfico para a saúde, pois, apresenta elevado teor de minerais nas sementes e possui baixo custo relativo (Jost et al., 2009; Mesquita et al., 2007; Ribeiro et al., 2008), podendo então, ser utilizado na prevenção de diversas deficiências minerais. A elevada qualidade nutricional do feijão comum e a sua importância na alimentação humana despertaram interesse dos programas de melhoramento nacionais e internacionais em verificar se existe variabilidade para esses nutrientes em seus bancos de germoplasma (Mesquita et al., 2007; Ribeiro et al., 2008; Bassinello et al., 2010). Com a identificação de linhagens com maior qualidade nutricional pode ser dado início a programas de

melhoramento que aliem essa alta qualidade nutricional a características agronômicas de interesse.

Como os trabalhos visando avaliação da composição química dos grãos de feijão ainda não receberam atenção dos programas de melhoramento do estado de Minas Gerais foi realizada esta pesquisa. Os objetivos foram quantificar os teores de proteína e minerais a partir de uma amostra representativa das linhagens de feijão comum pertencentes ao Banco de Germoplasma da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e verificar se existe associação entre a cor da semente e o teor de proteína e minerais.

Material e Métodos

Cem linhagens de feijão comum do Banco de Germoplasma da Universidade Federal de Lavras (UFLA), sendo 51 de grãos tipo carioca, 13 de grãos pretos e 36 de cores variadas (APÊNDICE A), foram semeadas no campo experimental, localizado no Departamento de Biologia da UFLA, Lavras-Minas Gerais, situada na região sul do estado de Minas Gerais, a 918,8 metros de altitude, 21°14'S de latitude e 45°59'W de longitude, na safra da seca (semeadura em fevereiro de 2009). As parcelas foram constituídas de duas linhas de dois metros, espaçadas de 0,50 m entre linhas. Como adubação foram utilizados 400 kg ha⁻¹ da fórmula 8-28-16 de N, P₂O₅ e K₂O na semeadura e 150 kg ha⁻¹ em cobertura 25 dias após a semeadura. Quando necessário foi utilizada irrigação por aspersão.

Após a colheita, as sementes foram secas naturalmente até atingirem aproximadamente 13% de umidade. As linhagens foram avaliadas, quanto ao teor de proteína e dos minerais (fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, manganês, zinco e ferro). As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Análise Foliar, localizado no Departamento de Química/UFLA.

Para realização das análises químicas foram retiradas, de cada parcela, três amostras de 50 gramas de sementes. Cada amostra foi moída em micro moinho de facas, até obter tamanho de partícula inferior a 1 mm e foram armazenadas em embalagens plásticas, devidamente vedadas e identificadas, e conservadas em câmara fria até o momento da realização das análises laboratoriais.

A proteína bruta foi determinada com base no conteúdo de nitrogênio total, dosado pelo método Kjeldahl, que consiste em aquecer a substância nitrogenada em ácido sulfúrico concentrado, em presença de catalisador, de maneira que o nitrogênio e o hidrogênio presentes sejam convertidos em sal amoniacal. O nitrogênio é deslocado sob a forma de amônia, na etapa de destilação. O destilado é então titulado e é conhecido o teor de nitrogênio da amostra analisada, que é convertido em proteína bruta utilizando o fator 6,25 (AOAC, 2005).

Para a análise de minerais foi realizada uma digestão nitroperclórica à quente, com 0,5g de cada amostra. Ao final da digestão o volume do extrato foi completado para 15 mL com água deionizada. Nesta digestão ocorre a retirada dos elementos dos compostos orgânicos da amostra ou adsorvida a eles. As análises de cálcio, magnésio, cobre, manganês, ferro e zinco foram feitas por espectrofotometria de absorção atômica, utilizando-se um aparelho modelo SpectrAA 110 (Varian INE), calibrado em condições específicas de comprimento de onda, fenda e mistura dos gases para cada elemento. Fósforo e enxofre foram analisados por espectrofotometria de UV, em aparelho Perkin Elmer Lambda 25 UV/Vis e potássio por fotometria de emissão de chama, em aparelho Micronal B262. Para todas as análises utilizaram-se os procedimentos descritos por Malavolta et al. (1997). Após a realização das análises, os dados foram corrigidos para base seca, por meio do método de dosagem de umidade,

que consiste na perda de água da amostra por dessecação em temperaturas de 100 a 105 °C (AOAC, 2005).

Os dados referentes às análises químicas das 100 linhagens foram submetidos à análise de variância, seguindo o delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Para a análise dos dados, todos os efeitos foram considerados aleatórios, exceto a média, que foi considerada de efeito fixo. Para as análises estatísticas foram utilizados os programas GENES (Cruz, 2006) e SAS versão 9.2 da Statistical Analysis Systems (2008). O modelo estatístico para análise foi o seguinte: $Y_{ij}=m+l_i+e_{ij}$, em que: Y_{ij} : valor observado na linhagem i , dentro da repetição j ; m : média geral do experimento; l_i : efeito da linhagem i , sendo $i = 1, 2, \dots, 100$; e_{ij} : erro experimental associado à observação Y_{ij} , assumindo que os erros são independentes e normalmente distribuídos, com média zero e variância σ^2_e .

Posteriormente, estimou-se a acurácia seletiva por meio da metodologia apresentada por Resende e Duarte (2007). As médias foram comparadas pelo teste de agrupamento Scott e Knott (1974). Foi estimada também a herdabilidade (Bernardo, 2002) e o intervalo de confiança, segundo Knapp et al. (1985). Estimativas dos coeficientes de correlação entre os nutrientes foram obtidas utilizando as metodologias apresentadas por Vencovsky e Barriga (1992).

Visando obter um índice de seleção envolvendo todos os nutrientes foi estimado o somatório Z ($\sum Z$), ou seja, o somatório das variáveis padronizadas (Mendes et al., 2009). Como a variável Z assume valores negativos e positivos, foi adicionado o valor três, de modo a se ter todos os valores positivos. Nesse caso, a média das linhagens, em vez de zero, passa a ser três. Foi efetuada a análise de variância do $\sum Z$ e estimado o coeficiente de variação do Z (CVZ) por linhagem.

Resultados e discussão

Constatou-se inicialmente que todas as estimativas de acurácia ($\hat{r}g'$ g (%)) foram de elevada magnitude (maiores que 90%) (Tabela 1), indicando boa precisão experimental (Resende e Duarte, 2007).

Verificaram-se efeitos significativos de probabilidade pelo teste F para a fonte de variação linhagens e entre as linhagens de cada grupo de cor (Tabela 1). Esse resultado indica existência de variabilidade genética entre os diferentes grupos avaliados e também entre as linhagens dentro de cada grupo. Em média, as linhagens de grãos pretos se destacaram para teores de proteína, ferro e zinco. Moraghan et al. (2002) observaram que o teor de ferro encontrado no feijão pode variar com sua cor e eles atribuíram essa diferença ao teor de tanino, que é superior nas cultivares de grãos pretos e os taninos podem complexar ferro. Já para cálcio, as linhagens pertencentes ao grupo cores obtiveram em média, maiores teores. Lombardi-Boccia et al. (1998) relataram que em feijões do tipo cores, principalmente em feijão branco, encontra-se maior teor desse mineral. O feijão tipo carioca, que é mais consumido no Brasil, em média se destacou para os teores de magnésio e manganês.

A existência de diferença entre as linhagens para todos os nutrientes avaliados pode ser constatada também por meio das estimativas de amplitude de variação das médias das linhagens. Ela foi expressiva especialmente para manganês, zinco e ferro. Na literatura há vários estudos de quantificação de teores nutricionais do feijão (Osborn, 1988; Maldonado e Sammám, 2000; Mesquita et al., 2007; Ribeiro et al., 2007). Para os minerais fósforo, cobre e manganês, as médias encontradas nesse estudo foram superiores às previamente relatadas (Barampama e Simard, 1993; Geil e Anderson, 1994). Já o teor médio de proteína e dos demais minerais foram semelhantes aos encontrados em outros trabalhos (Osborn, 1988; Maldonado et al., 1994; Mesquita et al., 2007). A variação nos diferentes trabalhos pode ser atribuída às diferentes linhagens

avaliadas, como esperado, bem como às variações de condições de cultivo (Ribeiro et al., 2007). O que vale destacar é que no presente trabalho a amplitude de variação encontrada entre as linhagens, para todos os nutrientes avaliados, aparentemente foi mais expressiva. Essa é uma condição favorável para iniciar o programa de melhoramento visando aumentar o teor de nutrientes nos grãos de feijão.

Como na amostra existiam feijões de diferentes cores do tegumento, procurou-se verificar se há associação entre a cor e o teor de nutrientes. As linhagens foram agrupadas em tipo carioca, preto e outras cores. Constatou-se que ocorreu diferença significativa ($P \leq 0,01$) entre grupos, conforme já comentado (Tabela 1). Infelizmente na literatura, são poucas as informações associando o teor de nutriente e a cor do tegumento. Contudo, é possível inferir, que, como se utilizou uma amostra representativa das diferentes cores, que parte considerável do teor de nutrientes deve estar localizada no tegumento, conforme já constatado (Leleji et al., 1972; Moraghan e Etchevers, 2006; Jost et al., 2009). Apesar das linhagens do grupo preto, em média, terem apresentado maior teor proteico, a linhagem CIAT-A-257, pertencente ao grupo de feijão vermelho (cores), obteve a maior porcentagem de proteína (Tabela 2). Vale ressaltar que, como essa linhagem não é adaptada às condições de cultivo da região, poderia ser utilizada em hibridações, com outras já adaptadas, principalmente, com as de grãos tipo carioca e, assim, aumentar seu conteúdo proteico.

Outra evidência favorável à possibilidade de sucesso com a seleção foram as estimativas de herdabilidades obtidas. As estimativas de herdabilidade, todas diferentes de zero e de magnitude acima de 94%, permitem inferir grande possibilidade de sucesso com a seleção das linhagens com elevada qualidade nutricional (Tabela 1).

Uma alternativa para alcançar sucesso com a seleção de forma mais rápida para um maior número de caracteres é utilizando a seleção indireta.

Sendo assim, foram obtidas estimativas de correlação, com o intuito de detectar nutrientes correlacionados positivamente para que, ao selecionar para um determinado nutriente, sejam selecionadas linhagens que apresentem alto teor de outros nutrientes. Por meio das correlações apresentadas na Tabela 3 pode-se verificar que, entre a maioria dos nutrientes, detectou-se correlação positiva. O mesmo foi observado por Beebe et al. (2000), na Colômbia. Essa é uma situação favorável ao melhoramento para qualidade nutricional, indicando a possibilidade de obtenção de linhagens com maior valor nutritivo agregado, pois, a seleção poderá ser eficiente para dois ou mais minerais.

Se o objetivo for a identificação de linhagens com melhor composição química, a opção é utilizar um índice de seleção. Optou-se pelo emprego do somatório Z ($\sum Z$). A linhagem com maior estimativa do $\sum Z$ associada a um pequeno valor do coeficiente de variação (CV) é a ideal, pois, indica que possui maior teor da maioria dos nutrientes e uma pequena variação na composição química como um todo. As estimativas do $\sum Z$ e CV foram plotadas em um gráfico (Figura 1). Observou-se que a maioria das linhagens associou alto $\sum Z$ e baixa estimativa de CV, indicando que as linhagens que são trabalhadas e/ou cultivadas no estado possuem boa composição química. Mas fica evidente a possibilidade de ter sucesso na seleção para cada nutriente em particular ou para a composição química como um todo.

Nesse contexto, destacaram-se as linhagens CI 128, Safira e R-1, que obtiveram as maiores estimativas do $\sum Z$ e menores CV (Figura 2). As linhagens CI-128 e R-1 pertencem ao grupo carioca e a Safira, ao grupo cores. Já, as que apresentaram destaque negativo foram as linhagens ESAL 543 (cores), BP-28 (carioca) e ESAL 521(carioca).

Vale destacar que, embora algumas linhagens que sejam recomendadas atualmente não tenham sido selecionadas para qualidade nutricional, apresentaram altos teores dos nutrientes, como a BRS Cometa e BRSMG

Pioneiro, recomendadas recentemente (Moreira et al., 2006; Faria et al., 2007) e a RP-1 que está em fase de recomendação (Tabela 2).

Conclusões

1) As condições para a seleção de linhagens com melhor composição química dos grãos são favoráveis, pois, foi detectada variabilidade no germoplasma, associada à alta herdabilidade.

2) As estimativas das correlações dos nutrientes dois a dois foram predominantemente positivas e significativas, condição essa favorável para a identificação de linhagens que possuam boa composição química para a maioria dos nutrientes.

3) O índice de seleção adotado ($\sum Z$) identificou as linhagens CI 128, Safira e R-1 como as que possuem melhor composição química.

4) Linhagens já recomendadas para cultivo no estado, tais como a BRS Cometa e BRSMG Pioneiro se destacaram tendo alto teor de praticamente todos os nutrientes avaliados.

5) Os feijões de grãos pretos, em média, apresentam maiores teores de proteína, zinco e ferro. Já os grãos tipo carioca, manganês e magnésio e os do tipo cores, cálcio. Isso indica que pelo menos parte do teor desses nutrientes deve estar localizada no tegumento.

Referências

- Association of Official Analytical Chemists - International [AOAC]. 2005. Official Methods of Analysis. 18ed. AOAC, Gaithersburg, MD, USA.
- Barampama, Z.; Simard, R.E. 1993. Nutrient composition, protein quality and antinutritional factors of some varieties of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in Burundi. Food Chemistry 47: 159-167.
- Bassinello, P.Z; Oliveira, B.R de; Lorrana, N.N.N.; Wellington, M.R. da S. 2010. Effect of the environment on zinc and iron levels in common beans. Annual Report of the Bean Improvement Cooperative 10: 146-147.
- Beebe, S.; Gonzalez, A.V.; Rengifo, J. 2000. Research on trace minerals in the common bean. Food and Nutrition Bulletin 2 1: 387-391.
- Bernardo, R. 2002. Breeding for quantitative traits in plants. Minnesota, 369p.
- Costa, N.M.B.; Liberato, S.C. 2003. Biotecnologia na nutrição e saúde. In: Costa NMB, Borém A (Ed.). Biotecnologia e nutrição: saiba como o DNA pode enriquecer os alimentos. São Paulo, pp. 71-127.
- Cruz, C.D. 2006. Programa Genes: Estatística experimental e matrizes. Viçosa, 285p.
- FAO. Junta de Conselho de Especialistas FAO/WHO/ONU. 1998. Necessidades de energia e proteína. São Paulo, 225p.
- Faria, L.C. de; Peloso, M.J. Del; Melo, L.C.; Costa, J.G.C. da; Rava, C.A.; Diaz, J.L.C.; Faria, J.C.; Silva, H.T.; Sartorato, A.; Bassinello, P.Z.; Trovo, J.B. 2007. BRS Cometa: a carioca grain type common bean cultivar with erect growth habit. Annual Report of the Bean Improvement Cooperative 50: 209-210.
- Holland, J.B. 2006. Theoretical and biological foundation of plant breeding. In: Lamkey KR, Lee M (Eds). Plant Breeding, The Arnel R. Hallauer International Symposium, Blackwell Publishing, pp.127–140.
- Jost, E.; Ribeiro, N.D.; Maziero, S.M.; Cerutti, T.R.; Rosa, D.P. 2009. Efeitos gênicos do teor de cálcio em grãos de feijão. Ciência Rural 39: 31-37.
- Knapp, S.J.; Stroup, W.W.; Ross, W.M. 1985. Exact confidence intervals for heritability on a progeny mean basis. Crop Science 25: 192- 194.
- Leleji, O.I 1972. Inheritance of crude protein percentage and its correlation with seed yield in beans, *Phaseolus vulgaris* L. Crop Science 12: 168-171.
- Lombardi-Boccia, G.; Lucarini, M.; Di Lullo, G.; Del Puppo, E.; Ferrari, A.; Carnovale, E. 1998. Dialysable, soluble and fermentable calcium from beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as model for in vitro assessment of the potential calcium

availability. Food Chemistry 61: 167-172.

Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, A.S. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações, Piracicaba, 319 p.

Maldonado, S.; Sammám, N. 2000. Composición química y contenido de minerales de leguminosas y cereales producidos en el noroeste argentino. Archivos Latino Americanos de Nutrición 50: 195-199.

Mendes, F.F.; Ramalho, M.A. P.; Abreu, A.F.B 2009. Índice de seleção para escolha de populações segregantes de feijoeiro-comum. Pesquisa Agropecuária Brasileira 44: 1312-1318.

Mesquita, F.R.; Corrêa, A.D.; Abreu, C.M.P. de A.; Lima, R.A.Z.L.; Abreu, A.F.B. 2007. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade protéica. Ciência e Agrotecnologia 31: 1114-1121.

Moraghan, J.T.; Padilla, J.; Etchevers, J.D.; Grafton, K.; Acosta-Gallegos, J.A. 2002. Iron accumulation in seed of common bean. Plant and Soil 246: 175-183.

Moraghan, J.T.; Etchevers, J.D. 2006. Contrasting accumulations of calcium and magnesium in seed coats and embryos of common bean and soybean. Food Chemistry 95: 554-561.

Moreira, M.A.; Barros, E.G. de; Carneiro, J.E. de S.; Faleiro, F.G.; Faria, L.C.; de, Carneiro, G.E. de S; Peloso, M.J. del; Paula Júnior, T.J. de.; Abreu, A. de F.B; Ramalho, M.A.P.; Melo, L.C.; Santos, J.B. dos; Rava, C.A.;Costa, J.G.C. 2006. BRSMG Pioneiro: new carioca common bean cultivar resistant to anthracnose and rust, for the southern of Brazil. Annual Report of the Bean Improvement Cooperative 49: 279-280.

Osborn, T.C. 1988. Genetic Control of Bean Seed Protein. CRC Critical Reviews in Plant Science 7: p. 93-116.

Pires, C.V.; Oliveira, M.G.A; Rosa, J.C.; Costa, N.M.B. 2006. Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes protéicas. Ciência e Tecnologia dos Alimentos 26: 179- 187.

Resende, M.D.V.; Duarte, J.B. 2007. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. Pesquisa Agropecuária Tropical 37: 182-194.

Ribeiro, N.D.; Londero, P.M.G.; Cargnelutti Filho, A.; Jost, E.; Poersch, N.L.; Mallmann, C.A. 2007. Composição de aminoácidos de cultivares de feijão e aplicações para o melhoramento genético. Pesquisa Agropecuária Brasileira 42: 1393-1399.

Ribeiro, N.D.; Jost, E.; Cerutti, T.; Maziero, S.M.; Poersch, N.L. 2008. Composição de microminerais em cultivares de feijão e aplicações para o melhoramento genético. *Bragantia* 67: 267-273.

SAS. SAS/STAT[®] 9.2 User's Guide. Version 9.2, Cary, NC: SAS Institute Inc., 2008. 584p.

Scott, A.J.; Knott, M.A. 1974. Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics* 30: 507-512.

Silva, O.F. Consumo per capita de feijão no Brasil, 2010. Disponível em: <http://www.cnpaf.embrapa.br/apps/socioeconomia/docs/arroz/consumopercapita.htm>. Acesso em: 10 janeiro 2011.

Vencovsky, R.; Barriga, P. 1992. *Genética Biométrica no Fitomelhoramento*. Ribeirão Preto, 496 p.

Tabela 1 Resumo da análise de variância, estimativas de herdabilidade com seus limites inferiores e superiores, acurácia e média geral para teores de proteína e minerais (fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, manganês, zinco e ferro) das cem linhagens avaliadas do banco de germoplasma do feijoeiro da UFLA

FV	GL	QM								
		Proteína	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Cobre	Manganês	Zinco	Ferro
Linhagens	99	15,0400**	0,0100**	0,0500**	0,0600**	0,0010**	16,4900**	98,6400**	152,2600**	1061,8100**
Entre grupos	2	45,1200**	0,0800**	0,1700**	0,3400**	0,0100**	12,4500**	27,6400**	307,0000**	865,1900**
Entre carioca	50	14,1200**	0,0100**	0,0500**	0,0300**	0,0007**	15,5500**	90,3200**	153,4700**	1228,8000**
Entre preto	12	8,1000**	0,0030**	0,0300**	0,0600**	0,0010**	15,9300**	97,2200**	141,9600**	1203,6300**
Entre cores	35	17,1600**	0,0080**	0,0500**	0,0900**	0,0010**	18,4500**	116,5700**	144,7200**	758,9900**
Erro	200	0,7800	0,0002	0,0015	0,0019	0,0001	0,2643	1,2762	3,2617	27,5801
h ² (%)		94,78	98,29	97,01	96,82	94,41	98,40	98,71	97,86	97,40
LI		92,59	97,56	95,75	95,35	92,00	97,72	98,16	96,95	96,31
LS		96,26	98,77	97,86	97,66	95,96	98,85	99,07	98,46	98,14
\hat{r}_{gg}^2 (%)		97,36	99,14	98,49	98,40	97,15	99,20	99,35	98,92	98,69
Média carioca		24,54 c ¹	0,53 a	1,81 a	1,40 b	0,26 a	11,03 b	22,98 a	48,62 b	89,00 b
Média preto		26,08 a	0,53 a	1,83 a	1,40 b	0,24 b	11,70 a	21,65 b	52,94 a	92,21 a
Média cores		25,34 b	0,50 b	1,76 b	1,48 a	0,23 b	11,55 a	22,70 a	48,80 b	85,10 c
Média geral		25,00	0,52	1,80	1,43	0,25	11,30	22,71	49,24	88,14
Amplitude de variação (%)		21,6	23,0	19,4	15,4	12,0	31,9	48,4	34,0	69,7

** Significativo pelo teste F, ao nível de 1 % de probabilidade.

¹ Médias seguidas pela mesma letra na vertical pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott Knott (1974), a 5% de probabilidade.

Tabela 2 Classificação das dez linhagens de feijão comum com maiores teores e das dez com menores teores para cada nutriente (proteína, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, manganês, zinco e ferro)

Rank	Linhagem	Proteína (%)	Linhagem	P (g 100 g ⁻¹)	Linhagem	K (g 100 g ⁻¹)	Linhagem	Ca (g 100 g ⁻¹)	Linhagem	Mg (g 100 g ⁻¹)
1	Ciat-A-257	30,40	CI-128	0,69	BRS Campeiro	2,06	Safira	1,80	Carioca	0,29
2	Bolinha	30,19	CI-164	0,69	CI-128	2,05	Baetão	1,76	Franguinho	0,28
3	Iapar 81	29,25	R-29	0,64	CNF 05	2,04	Fortuna 1895	1,76	AN 910522	0,28
4	Linea 29	29,10	Pérola	0,63	G 2333	2,02	CNF 05	1,75	RP-1	0,28
5	Roxo PV	28,95	BRSMG Pioneiro	0,62	ICA Pijão	2,00	Ouro	1,73	BRSMG Pioneiro	0,28
6	Jalo	28,32	BRS Cometa	0,62	BRS Supremo	1,97	Esal 515	1,72	BRS Cometa	0,28
7	AN 910522	28,30	Ciat-A-257	0,61	Vermelhinho	1,97	G 2333	1,72	BRS Campeiro	0,28
8	CI-164	27,95	MAII-2	0,61	BRSMG Pioneiro	1,96	Esal 609	1,70	Esal 603	0,27
9	CI-128	27,81	Carioca	0,61	BRS Cometa	1,96	CNF 10	1,70	Milionário	0,27
10	Carioca MG	27,68	Franguinho	0,60	P-1.103	1,95	Cornell	1,68	Dor 95	0,27
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
91	Flor de Mayo	21,96	Esal 651	0,40	VR-3	1,63	MA-II-22	1,28	Esal 506	0,21
92	Esal 512	21,80	Esal 569	0,40	Esal 516	1,61	IAC Car. Arua	1,27	CIAT 354	0,21
93	Vermelhinho	21,31	Esal 647	0,40	Iapar 81	1,61	P-1. 103	1,27	Preto 60 dias	0,21
94	VR-3	21,08	Esal 654	0,40	Esal 603	1,60	BRS Timbó	1,25	BRS Supremo	0,21
95	BP -28	20,94	AN 910523	0,40	Esal 651	1,60	RC-1.8	1,25	P-180	0,20
96	Small White	20,60	Batatinha	0,40	Bolinha	1,60	BRSMG Majestoso	1,24	AN 910523	0,20
97	RC-1,8	20,44	Ouro	0,40	Mineiro Precoce	1,52	IAC Maravilha	1,24	Batatinha	0,20
98	P-1. 103	20,34	Esal 627	0,40	Esal 543	1,48	IAC CAR. Pyata	1,23	Roxo PV	0,20
99	FP-5,9	20,30	Esal 512	0,40	Flor de Mayo	1,46	MAI-8.9	1,21	Mineiro Precoce	0,20
100	BRSMG Majestoso	19,60	Small White	0,40	Esal 521	1,45	Meia Noite	1,21	Small White	0,19

Tabela 2, continuação

Rank	Linhagem	Cu (mg kg ⁻¹)	Linhagem	Mn (mg kg ⁻¹)	Linhagem	Zn (mg kg ⁻¹)	Linhagem	Fe (mg kg ⁻¹)
1	CI-128	15,99	VR-3	36,78	R-1	65,50	P-180	161,50
2	CNF 10	15,60	AN 910523	36,13	CI-128	64,61	R-1	146,80
3	Esal 515	15,45	AN 910522	33,50	Milionário	63,50	Linea 29	135,30
4	Fortuna 1895	15,45	Dor 95	33,44	AN 910523	60,83	Small White	133,20
5	Milionário	15,10	Milionário	33,40	ICA Pijão	60,00	AN 910523	125,10
6	Cornell	14,81	BRSMG Pioneiro	32,81	Jalo Precoce	59,71	Esal 512	116,90
7	Vermelho Ubá	14,60	Cornell	30,70	Linea 29	59,70	RP-1	116,80
8	Esal 627	14,60	MAII-2	30,17	AN 910522	59,30	Capixaba Precoce	112,60
9	Esal 532	14,43	VC-3	29,53	BRS Cometa	59,24	Esal 651	110,40
10	CNF 05	14,27	Batatinha	29,20	Bolinha	58,93	Ouro	108,80
:	:	:	:	:	:	:	:	:
91	BP -28	8,10	Esal 518	15,18	Rio Vermelho	41,00	MA-II-22	66,05
92	Esal 543	8,07	Olathe Pinto	14,94	Esal 512	40,90	Paraná	65,57
93	RP- 5	8,00	IAC Car. Arua	14,70	Talismã	40,63	Negrilo	62,99
94	Small White	8,00	VC-6	13,90	Esal 501	40,37	Esal 543	62,07
95	Olathe Pinto	8,00	Bat 304	13,44	Esal 518	40,21	Esal 516	59,69
96	Paraná	7,40	Esal 521	13,40	Mineiro Precoce	38,81	BP -28	58,95
97	Esal 518	7,02	Esal 543	13,11	BP -28	37,22	Esal 521	58,12
98	Esal 521	6,68	Esal 516	12,45	Esal 521	35,41	Esal 518	56,46
99	Flor de Mayo	5,78	Iapar 81	10,58	Flor de Mayo	32,51	Batatinha	55,71
100	Esal 516	5,76	Mineiro Precoce	9,19	Esal 516	29,33	Flor de Mayo	54,20

Tabela 3 Coeficientes de correlação fenotípica (r_F), genética (r_G) e ambiental (r_A) entre os nutrientes obtidos na avaliação de 100 linhagens de feijão comum do Banco de Germoplasma da UFLA

	Proteína	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Cobre	Manganês	Zinco	Ferro
Proteína	1	0,35 ± 0,09 ^{1/} (0,34) **	-0,12 ± 0,10 (-0,11)	0,10 ± 0,10 (0,10)	0,09 ± 0,11 (0,09)	0,29 ± 0,10 (0,28) **	-0,15 ± 0,10 (-0,14)	0,24 ± 0,10 (0,24) *	-0,17 ± 0,10 (-0,16)
Fósforo	0,14	1	0,37 ± 0,09 (0,37) **	-0,14 ± 0,10 (-0,14)	0,32 ± 0,10 (0,32) **	0,27 ± 0,02 (0,27) **	0,13 ± 0,10 (0,13)	0,53 ± 0,07 (0,53) **	0,05 ± 0,10 (0,05)
Potássio	0,02	0,49	1	0,10 ± 0,10 (0,10)	0,17 ± 0,10 (0,18)	0,44 ± 0,08 (0,44) **	0,26 ± 0,10 (0,26) **	0,49 ± 0,08 (0,49) **	0,31 ± 0,03 (0,31) **
Cálcio	0,10	0,11	0,20	1	-0,22 ± 0,10 (-0,20)	0,60 ± 0,07 (0,58) **	0,24 ± 0,10 (0,24) *	0,08 ± 0,10 (0,08)	0,13 ± 0,10 (0,08)
Magnésio	0,14	0,39	0,39	0,27	1	0,08 ± 0,71 (0,08)	0,35 ± 0,09 (0,35) **	0,19 ± 0,08 (0,20) *	0,03 ± 0,10 (0,03)
Cobre	0,01	0,30	0,47	0,12	0,25	1	0,52 ± 0,07 (0,52) **	0,63 ± 0,06 (0,62) **	0,41 ± 0,09 (0,41) **
Manganês	0,11	0,29	0,44	0,17	0,28	0,48	1	0,53 ± 0,07 (0,52) **	0,37 ± 0,09 (0,37) **
Zinco	0,14	0,53	0,48	0,28	0,50	0,46	0,44	1	0,55 ± 0,07 (0,54) **
Ferro	0,26	0,03	0,09	0,14	0,08	0,14	0,11	0,08	1

** * Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

^{1/} Erros-padrões das correlações genéticas (Holland, 2006).

Entre parênteses: correlação fenotípica; diagonal superior: correlação genética e diagonal inferior: correlação ambiental.

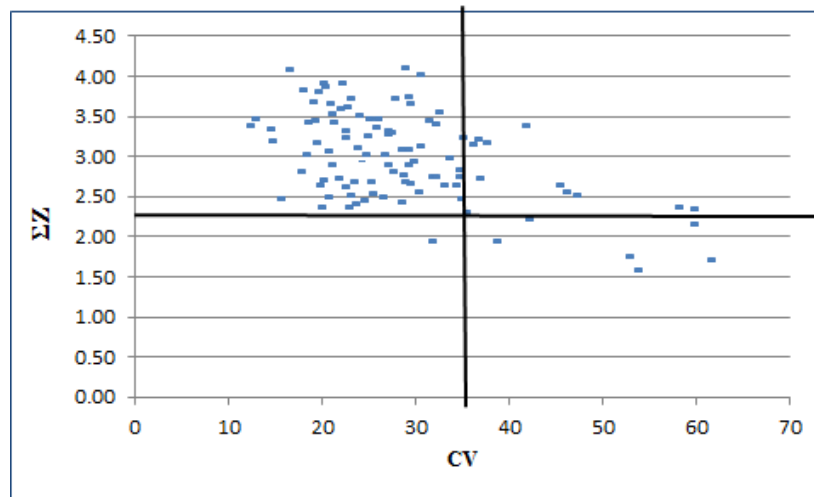


Figura 1 Dispersão gráfica das cem linhagens avaliadas quanto ao somatório das variáveis padronizadas Z (ΣZ) e ao coeficiente de variação de cada linhagem (CV)

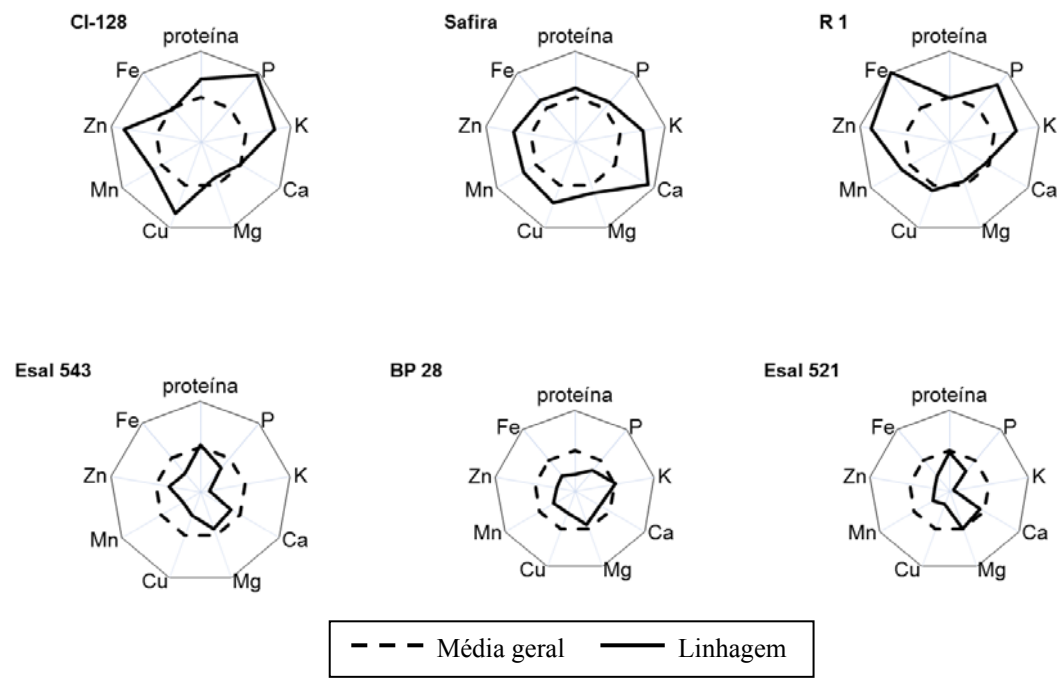


Figura 2 Representação gráfica dos valores padronizados para proteína e os minerais, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, manganês, zinco e ferro, das três linhagens que apresentaram maiores e das três com menores estimativas do ΣZ

APÊNDICE

APÊNDICE A - Nomes e cor do tegumento das 100 linhagens de feijão comum utilizadas nas avaliações da composição química

Linhagem	Cor do tegumento	Linhagem	Cor do tegumento
Amarelinho	Amarelo	FP 5.9	Bege com rajas marrons
AN 910522	Bege com rajas marrons	Franguinho	Bege com rajas marrons
AN 910523	Bege com rajas marrons	FT 84-292	Bege com rajas marrons
Aroana	Bege com rajas marrons	G 2333	Vermelho
Baetão	Cinza	IAC Car. Aruã	Bege com rajas marrons
BAT 304	Preto	IAC Car. Pyatã	Bege com rajas marrons
Batatinha	Amarelo	IAC Maravilha	Preto
BJ-4	Amarelo	Iapar 31	Bege com rajas rosas
Bolinha	Amarelo	Iapar 81	Bege com rajas marrons
BP-16	Bege com rajas marrons	Ica Pijão	Preto
BP-28	Bege com rajas marrons	IPA 1	Creme
BRS Campeiro	Preto	Jalo	Amarelo
BRS Cometa	Bege com rajas marrons	Jalo precoce	Amarelo
BRS Pitanga	Vermelho	Linea 29	Preto
BRS Supremo	Preto	MAI-8.9	Bege com rajas marrons
BRS Timbó	Vermelho	MAII-2	Bege com rajas marrons
BRSMG Majestoso	Bege com rajas marrons	MA-II-22	Bege com rajas marrons
Capixaba Precoce	Preto	Meia noite	Preto
Carioca	Bege com rajas marrons	Milionário	Preto
Carioca MG	Bege com rajas marrons	Mineiro precoce	Creme
CI-128	Bege com rajas marrons	Moruna rosa	Rosa
CI-164	Bege com rajas marrons	Negrilo	Preto
CIAT 354	Branco	Olathe Pinto	Bege com rajas marrons
CIAT-A-257	Vermelho	Ouro	Creme
CNF 05	Roxo	P-1.103	Bege com rajas marrons
CNF 10	Roxo	P-180	Bege com rajas marrons
Cornell	Preto	Paraná	Marrom
CVIII-85.11	Bege com rajas marrons	Pérola	Bege com rajas marrons
D-282	Bege com rajas marrons	BRSMG Pioneiro	Bege com rajas marrons
Dor 95	Roxo com rajas rosa	Preto 60 dias	Preto
Esal 501	Bege com rajas marrons	R-1	Bege com rajas marrons
Esal 506	Marrom	R-29	Bege com rajas marrons
Esal 512	Bege com rajas marrons	BRS Radiante	Bege com rajas vermelhas
Esal 515	Bege com rajas marrons	RC-I-8	Bege com rajas marrons
Esal 516	Roxo	MAI-2.5	Bege com rajas marrons
Esal 518	Bege com rajas marrons	Rio Vermelho	Vermelho
Esal 521	Bege com rajas marrons	Roxinho 31	Roxo
Esal 532	Marrom	Roxo PV	Roxo
Esal 543	Vermelho	RP-1	Bege com rajas marrons
Esal 569	Bege com rajas marrons	RP-5	Bege com rajas marrons

APÊNDICE A, continuação

Linhagem	Cor do tegumento	Linhagem	Cor do tegumento
Esal 601	Bege com rajas marrons	Safira	Vermelho
Esal 603	Bege com rajas marrons	Small White	Branco
Esal 609	Bege com rajas marrons	BRS Talismã	Bege com rajas marrons
Esal 627	Bege com rajas marrons	BRS Valente	Preto
Esal 647	Bege com rajas marrons	VC-3	Bege com rajas marrons
Esal 651	Bege com rajas marrons	VC-6	Bege com rajas marrons
Esal 654	Bege com rajas marrons	Vermelhinho	Vermelho
Esal 655	Bege com rajas marrons	Vermelho Ubá	Vermelho
Flor de Mayo	Bege com rajas rosas	VR-3	Vermelho
Fortuna 1895	Bege	Z-22	Bege com rajas marrons

ARTIGO 2

**IMPLICAÇÕES DA INTERAÇÃO GENÓTIPOS X SAFRAS NA
IDENTIFICAÇÃO DE LINHAGENS DE FEIJÃO COMUM COM ALTO
TEOR DE ZINCO E FERRO**

**Artigo redigido conforme norma da revista científica
Ciência e Agrotecnologia (Versão preliminar)**

Implicações da interação genótipos x safras na identificação de linhagens de feijão comum com alto teor de zinco e ferro

Resumo - Os teores de minerais nas sementes de feijão comum são influenciados, além da variação genética, pelas condições ambientais de cultivo, especialmente pelo tipo e composição química do solo e pela interação genótipos x ambientes. Assim, para verificar se os teores de zinco e ferro são afetados pela safra de cultivo, o presente trabalho foi realizado. Dez linhagens com teores elevados de ferro e zinco e dez com baixos teores foram avaliadas durante três safras: “águas” de 2009/2010 (semeadura em novembro); “seca” de 2010 (semeadura em fevereiro) e “inverno” de 2010 (semeadura em julho), em Lavras - MG. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com três repetições e parcelas constituídas de duas linhas de dois metros, espaçadas de 0,50 metro. As sementes colhidas foram avaliadas quanto aos teores dos minerais, ferro e zinco. Verificou-se que os teores de zinco e ferro são afetados pelo ambiente de cultivo, safra agrícola. Os maiores teores foram observados na safra do inverno e os menores na safra da seca, semeadura em fevereiro. Os teores de zinco e ferro são afetados pelo ambiente de cultivo, safra agrícola. A interação linhagens x safras ocorre, porém, a sua interferência na identificação dos grupos com alto e baixo teor dos dois nutrientes não é grande. Observou-se que, na média das três safras, as linhagens classificadas como de alto teor de ferro e zinco, apresentaram quantidade de ferro 11,0% e de zinco 6,8% acima das de baixo teor.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L.; qualidade nutricional; ambiente de cultivo.

**Implications of genotype x seasons in the selection of common bean lines
with high zinc and iron**

Abstract - The levels of minerals in beans are influenced, in addition to genetic variation, by environmental conditions of cultivation, especially by type and chemical composition of soil and genotype x environment interaction. Thus, to verify that the concentration of zinc and iron are affected by crop season, this work was done. Ten lines with high levels of iron and zinc, and ten with low levels were evaluated during three seasons: "wet season" of 2009/2010 (sowing in November), "dry season" of 2010 (sowing in February) and "winter season" of 2010 (Sowing in July), Lavras - MG. The experimental design was a randomized block with three replications and plots were two rows of two meters, spaced of 0.50 meter. The harvested grain were assessed for levels of the minerals, iron and zinc. It was verified that the levels of zinc and iron are affected by cultivation environment, agricultural harvest. The highest levels were observed in the harvest of winter and the lowest in dry season, sowing in February. The lines x seasons interaction occurs, but its interference in the identification of groups of high and low nutrient content is not great. It was observed that on the average of the three crops, lines classified as high iron and zinc, showed the amount of iron of 11.0% and zinc of 6.8% above the lines classifieds low.

Key words - *Phaseolus vulgaris* L.; nutritional quality, growing environment.

Introdução

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é a mais importante leguminosa utilizada na alimentação diária para mais de 300 milhões de pessoas (Beebe, 2010). O Brasil se encontra como o maior produtor mundial e, também, como o maior consumidor, 16 kg/hab./ano, com pequeno excedente exportável (EMBRAPA, 2011). A sua importância na alimentação humana se dá por ser importante fonte de proteína, além de possuir elevado teor de vários minerais, entre eles o ferro e o zinco (Wang et al., 2003).

Em humanos, o ferro é essencial na prevenção de anemia e no funcionamento de vários processos metabólicos, enquanto o zinco é essencial para adequar o desenvolvimento e maturação sexual, resistência gastro intestinal e infecções respiratórias, especialmente em crianças (Bouis, 2003). Esses dois minerais são muito importantes, principalmente porque uma grande parte da população não tem acesso a alimentos, muitos deles de origem animal, que supram essas necessidades. Dessa forma, já há algum tempo ênfase vem sendo dada ao melhoramento para aumentar o conteúdo de minerais em grãos de feijão, a chamada biofortificação (Beebe, 2010). Nesses trabalhos tem sido verificada que há variabilidade genética para os caracteres que conferem qualidade nutricional ao feijão, tornando possível selecionar linhagens com alto valor nutricional (Beebe et al., 2000; Mesquita et al., 2007; Ribeiro et al., 2008).

Contudo, tem sido verificado também que, além da variação genética, os teores de minerais nas sementes são influenciados pelas condições ambientais de cultivo, especialmente pelo tipo e composição química do solo e pela interação genótipos x ambientes (Moraghan et al., 2002; Cichy et al., 2005). 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 (Moraghan et al., 2002; Cichy et al., 2005). Entretanto, nenhum relato foi encontrado sobre a influência da safra de cultivo nos teores desses minerais.

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; Ramalho et al., 1998; Pereira et al., 2009). 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 outono-inverno (EMBRAPA, 2011). 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 das sementes.

Diante do exposto, verifica-se a importância de que estudos mais detalhados sobre a influência das safras nos teores desses minerais sejam realizados, pois, poderia ser obtido um feijão com maior valor nutritivo, dependendo da safra de cultivo. Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo verificar se os teores de zinco e ferro são afetados pela safra de cultivo.

Material e Métodos

Em avaliação prévia foram identificadas por Silva et al. (2010) dez linhagens que apresentam teores elevados de ferro e zinco e dez linhagens com baixos teores.

As vinte linhagens foram avaliadas durante três safras: “águas” de 2009/2010 (semeadura em novembro), “seca” de 2010 (semeadura em fevereiro) e “inverno” de 2010 (semeadura em julho), na área experimental do Departamento Biologia da Universidade Federal de Lavras, localizada na Fazenda Muquém, no município de Lavras - MG, a 21°14' de latitude Sul e 45° de longitude Oeste, numa altitude média de 910 m. O delineamento

experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com três repetições e parcelas constituídas de duas linhas de dois metros, espaçadas de 0,50 metro. Como adubação foram utilizados 400 kg ha⁻¹ da fórmula 8-28-16 de N, P₂O₅ e K₂O na semeadura e 150 kg ha⁻¹ em cobertura 25 dias após a semeadura. Nas safras da “seca” e inverno, sempre que necessário foi realizada irrigação por aspersão. Após a colheita, as sementes foram secas naturalmente até atingirem aproximadamente 13% de umidade. As linhagens foram avaliadas quanto aos teores dos minerais, ferro e zinco. As análises foram realizadas no Laboratório de Análise Foliar, localizado no Departamento de Química/UFLA.

Para realização das análises químicas dos minerais, foi retirada uma amostra de aproximadamente 50 gramas de cada parcela, e estas foram moídas em micro moinho de facas, até obter tamanho de partícula inferior a 1 mm e foram armazenadas em embalagens plásticas, devidamente vedadas e identificadas, e conservadas em câmara fria até o momento da realização das análises laboratoriais.

Para a análise de minerais ferro e zinco foi realizada uma digestão nitroperclórica à quente, com 0,5g de cada amostra. Ao final da digestão o volume do extrato foi completado para 15 mL com água deionizada. Nesta digestão ocorre a retirada dos elementos dos compostos orgânicos da amostra ou adsorvida a eles. As análises foram feitas por espectrofotometria de absorção atômica, utilizando-se um aparelho modelo SpectrAA 110 (Varian INE), calibrado em condições específicas de comprimento de onda, fenda e mistura dos gases para cada elemento, utilizando-se os procedimentos descritos por Malavolta et al. (1997).

Após a realização das análises, os dados foram corrigidos para base seca, por meio do método de dosagem de umidade, que consiste na perda de água da amostra por dessecação em temperaturas de 100 a 105 °C (AOAC, 2005).

Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o programa estatístico SAS versão 9.0 da Statistical Analysis Systems (2008). Para as análises dos dados, todos os efeitos foram considerados fixos. Posteriormente foi realizada a análise de variância conjunta dos dados referentes às três safras, empregando o seguinte modelo:

$Y_{ijk} = m + l_i + b_{j(k)} + s_k + (ls)_{ik} + e_{ijk}$, em que: Y_{ijk} : valor observado na parcela que recebeu a linhagem i , na repetição j , na safra k ; m : média geral do experimento; l_i : efeito da linhagem i , sendo $i = 1, 2, \dots, 20$; $b_{j(k)}$: efeito da repetição j , sendo $j = 1, 2$ e 3 , dentro da safra k ; s_k : efeito da safra k , sendo $k = 1, 2$ e 3 ; $(ls)_{ik}$: efeito da interação linhagem i e safra k ; e_{ijk} : erro experimental associado à observação Y_{ijk} , assumindo que os erros são independentes e normalmente distribuídos, com média zero e variância σ_e^2 .

O componente da interação linhagens x safras foi decomposto em partes simples e complexa pela metodologia apresentada por Cruz et al. (2004):

$$V_{ls} = \frac{1}{K(K-1)} \sum_{k < k'} \left(\sqrt{V_{l_k}} - \sqrt{V_{l_{k'}}} \right)^2 + 2(1 - r_{G_{kk'}}) \sqrt{V_{l_k} V_{l_{k'}}}; \text{ em que:}$$

V_{ls} : variância da interação linhagens x safras; K : número de safras; V_{l_k} : variância genética entre as linhagens na safra k ; $V_{l_{k'}}$: variância genética entre as linhagens na safra k' ; $r_{G_{kk'}}$: correlação entre as linhagens nas safras k e k' .

As médias foram comparadas pelo teste de agrupamento Scott & Knott (1974). Para estimar a contribuição de cada linhagem para a interação na média das safras foi utilizada a metodologia apresentada por Wricke (1965), empregando o software Genes (Cruz, 2006).

Resultados e Discussão

Constatou-se diferença significativa entre os ambientes (safras), condição essa indispensável para o que se propõe nesse trabalho (Tabela 1). Os maiores teores de ferro e zinco foram observados na safra do inverno e os menores na safra da seca, semeadura em fevereiro (Tabela 2). Como a área experimental e o manejo das três safras foram os mesmos, a principal diferença entre elas deve ser atribuída às condições climáticas (Figura 1). As três safras de cultivo de feijão apresentaram condições climáticas bem contrastantes. As diferenças mais marcantes podem ser observadas na precipitação (chuva) e umidade relativa.

Apesar dos experimentos das safras da “seca” e inverno terem recebido irrigação suplementar por aspersão, o microclima que se forma com a irrigação não é comparável àquele propiciado pela ocorrência de chuva, principalmente na safra do inverno conduzida de julho a outubro, quando a umidade relativa é muito baixa. Nessa safra, as precipitações mais significativas só ocorreram no final do ciclo da cultura, quando esta já está na fase de maturação. Além do mais, as temperaturas médias na safra do inverno quase sempre estiveram abaixo de 20°C. O estresse de água nos teores de ferro e zinco foi avaliado por Bassinello et al. (2010), em estudo envolvendo 72 linhagens de feijão. Os autores constataram que com menor quantidade de água, o teor dos dois nutrientes aumentava, concordando com o presente trabalho.

A fonte de variação linhagens foi significativa ($P \leq 0,01$). Na sua decomposição verificou-se que o efeito dos grupos foi também altamente significativo ($P \leq 0,01$). Observou-se que, na média das três safras, as linhagens identificadas anteriormente como de alto teor de ferro e zinco, apresentaram quantidade de ferro 11,0% e de zinco 6,8% acima das de baixo teor (Tabela 2). Foi constatado também que a interação safras x grupos foi significativa ($P \leq 0,05$), entretanto, o grupo classificado como de alto teor sempre apresentou

maior média nas três safras, para ambos os nutrientes, indicando que essa interação não deve afetar o trabalho dos melhoristas.

Ocorreu diferença entre as linhagens tanto do grupo de alto como de baixos teores de zinco e ferro (Tabela 1). A interação linhagens x safras foi significativa ($P \leq 0,05$) em todos os casos. Na sua decomposição foi verificada que ela foi predominantemente complexa (Tabela 1). Essa é uma condição desfavorável para a seleção, pois altera a classificação das linhagens nos diferentes ambientes (Vencovsky & Barriga, 1992; Cruz et al., 2004).

Essa alteração na classificação das linhagens pode ser observada na Tabela 2. Entretanto, embora houvesse alteração na classificação das linhagens de uma safra para outra, foram muito restritos os casos em que uma linhagem considerada de alto teor foi classificada no grupo de baixo ou vice-versa. Uma constatação que reforça essa observação é que a triagem das linhagens na etapa anterior foi apenas na safra da seca (Silva et al., 2010). Mesmo assim, a maioria das linhagens classificadas como de alto ou baixo teor de ferro e zinco manteve essa performance, reforçando a idéia de que, nesse caso, a interação não deve afetar o trabalho dos melhoristas.

Em trabalho realizado por Tryphone & Nchimbi-Msolla (2010), foi observado que teores de Fe e de Zn de linhagens cultivadas em dois locais diferentes não foram similares, indicando que as linhagens devem ser avaliadas em um maior número de ambientes, para que sejam selecionadas aquelas que apresentarem teores estáveis desses minerais nas sementes. Já Araújo et al. (2003), verificaram interação genótipos x ambientes para o teor de ferro na avaliação de 25 genótipos cultivados em três locais no estado do Paraná. Esses resultados evidenciaram resposta diferenciada das cultivares de feijão aos locais de avaliação, como resposta às diferenças no solo e nas condições ambientais.

Para melhor elucidar a interação, a contribuição de cada linhagem para esse parâmetro foi estimada (Tabela 3). Observa-se que o comportamento de poucas linhagens é que foi expressivo na contribuição para a interação. A ‘Batatinha’ foi a que mais contribuiu para a interação no teor dos dois minerais. No caso do zinco, essa contribuição foi de quase a metade da interação total. Essa linhagem obteve os menores teores de ferro e zinco na safra em que foi selecionada (Silva et al., 2010), enquanto na safra das águas 2009/2010, por exemplo, esteve entre as de maior teor.

Esses resultados confirmam que, embora a interação fosse significativa e com maior parte complexa, o efeito dessa interação na identificação das linhagens com alto ou baixo teor de ferro e zinco foi pequeno. As maiores alterações na classificação das linhagens ocorreram para o zinco. Contudo, é importante comentar que, na seleção das linhagens com altos e baixos teores dos minerais, foi considerada em primeiro lugar, a classificação quanto ao teor de ferro. Assim, é justificável a alteração na classificação das linhagens quanto ao teor de zinco, pois, apesar de existir correlação positiva entre esses dois minerais ($r = 0,87$) algumas linhagens com altos teores de ferro, não apresentaram teores tão elevados de zinco.

Conclusões

Os teores de zinco e ferro são afetados pelo ambiente de cultivo, safra agrícola. Os maiores teores foram observados na safra do inverno e os menores na safra da seca.

Na média das três safras, as linhagens classificadas como de alto teor de ferro e zinco, apresentaram quantidade de ferro 11,0% e de zinco 6,8% acima das de baixo teor.

A interação linhagens x safras ocorre, porém, a sua interferência na identificação dos grupos com alto e baixo teor dos dois nutrientes não é elevada.

Referências Bibliográficas

ARAÚJO, R.; MIGLIORANZA, E.; MONTALVAN, R.; DESTRO, D.; GONÇALVES-VIDIGAL, M.C.; MODA-CIRINO, V. 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.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists**. 18 ed. Maryland: AOAC, 2005. 1094 p.

ABREU, A.F.B.; RAMALHO, M.A.P.; ANDRADE, M.J.B.; PEREIRA FILHO, I.A. 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.

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.

BASSINELLO, P.Z.; OLIVEIRA, B.R DE; LORRANA, N.N.N.; WELLINGTON, M.R. DA S.; HELTON, S.P.; CLÉBER, M.G.; LEONARDO, C.M.; MARIA, J. del P. 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.

BEEBE, S. Feijão Biofortificado. **HarvetPlus**, Colômbia, Disponível: <<http://www.harvestplus.org/publications>> Acesso em: 27 jan. 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, May. /aug. 2000.

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.

CARBONELL, S.A.M.; CHIORATO, A.F.; RESENDE, M.D.V.; DIAS, L.A.S.; BERALDO, A.L.A.; PERINA, E.F. 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: Estatística experimental e matrizes**. Viçosa: Editora UFV, 2006. 285p.

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

EMBRAPA- Arroz e Feijão: Santo Antônio de Goiás, Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/feijao/sistemasdeproducao/index.htm>> Acesso em: 16 fev. 2011.

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

MORAGHAN, J.T.; PADILLA, J.; ETCHEVERS, J.D.; GRAFTON, K.; ACOSTA-GALLEGOS, J.A. Iron accumulation in seed of common bean. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 246, n. 2, p. 175-183, Feb. 2002.

PEREIRA, H.S.; MELO, L.C.; FARIA, L.C. DE; DEL PELOSO, M.J.; COSTA, J.G.C. DA; RAVA, C.A.; WENDLAND, A. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum com grãos tipo carioca na Região Central do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 8, p. 29-37, out. 2009.

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.

RIBEIRO, N.D.; JOST, E.; POSSEBON, S.B.; CARGNELUTTI FILHO, A. 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.; JOST, E.; CERUTTI, T.; MAZIERO, S.M.; POERSCH, N.L. 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.

SAS. **SAS/STAT® 9.2 User's Guide**. Version 9.2, Cary, NC: SAS Institute Inc., 2008. 584p.

SCOTT, A.J.; KNOTT, M.A. Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v. 30, n. 3, p. 507-512, Sept. 1974.

SILVA, C.A.; ABREU, A.F.B.; RAMALHO, M.A.P., CORREA, A.D.; MAIA, L.G.S. Genetic variability for protein and minerals content in common bean lines (*Phaseolus vulgaris* L.). **Annual report of the bean improvement cooperative (BIC)**, Michigan, v. 53, n. 1, p. 144-145, Mar. 2010.

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

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

WANG, T.L., DOMONEY, C., HEDLEY, C.L., CASEY, R., GRUSAK, M.A. Can we improve the nutritional quality of legume seeds? **Plant Physiology**, Waterbury, v. 131, n. 2, p. 886–891, Feb. 2003.

WRICKE G. Zur Berechnung der Ökovalenz bei Sommerweizen und Hafer. **Pflanzenzüchtung**. Sonderabdruck, v. 52, n. 1, p. 127-138, Jan. 1965.

Tabela 1 Resumo da análise de variância conjunta dos teores de zinco e ferro (mg kg^{-1}), média e acurácia (\hat{r}_{gg} (%)), obtidas na avaliação de 20 linhagens de feijão selecionadas para alto e baixo teor dos minerais, nas safras das “águas” 2009/2010, “seca” 2010 e inverno 2010 e partição da interação linhagens x safras em parte simples e complexa

FV	GL	QM	
		Zinco	Ferro
Linhagens	19	86,723**	414,342**
Entre grupos	1	342,000**	4764,720**
Entre linhagens alto	9	88,700**	231,820**
Entre linhagens baixo	9	56,390**	113,440 **
Safras	2	1912,803**	11033,219**
Linhagens x safras	38	30,377*	103,921**
(Entre grupos) x safras	2	37,800*	60,450*
(Entre linhagens alto) x safras	18	14,700*	83,280 *
(Entre linhagens baixo) x safras	18	45,240*	129,390**
Erro	120	4,435	23,619
\hat{r}_{gg} (%)		80,61	86,56
Média		43,72	88,39
Parte simples da interação		12,87	2,57
Parte complexa da interação		87,13	97,43

* ** Significativo pelo teste F, ao nível de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

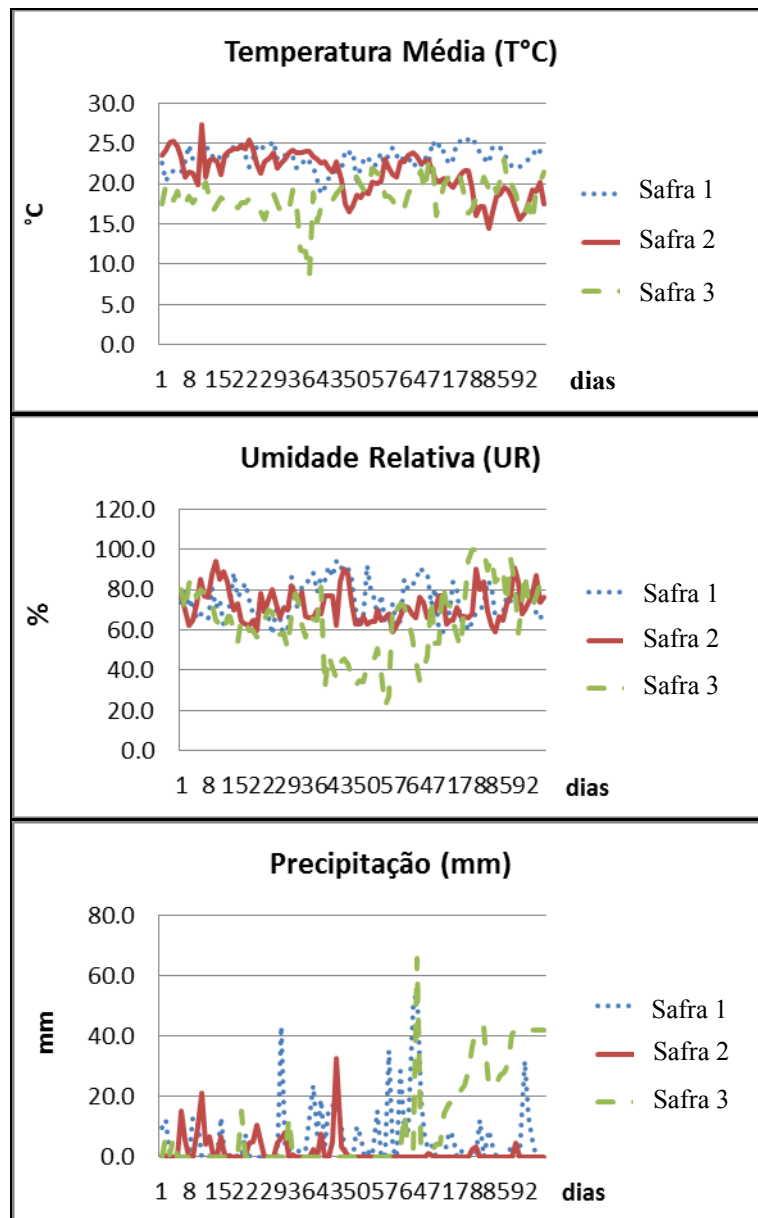


Figura 1 Dados referentes a temperatura média, precipitação pluvial e umidade relativa durante as safras de cultivo em que as linhagens foram avaliadas (1= águas 09/10; 2= seca 2010 e 3= inverno 2010)

Tabela 2 Médias para os teores de ferro e de zinco (mg kg⁻¹) de vinte linhagens de feijoeiro selecionadas para alto e baixo teor de ferro e zinco em três safras de cultivo (“águas” 2009/2010, “seca” de 2010 e inverno de 2010)

Linhagem	Águas 09/10		Seca 2010		Inverno 2010		Média	
	Ferro	Zinco	Ferro	Zinco	Ferro	Zinco	Ferro	Zinco
P-180	99,84 b ¹	47,37 a	82,62 a	43,45 a	116,47 a	54,35 a	99,64a	48,39a
R-1	89,33 d	44,62 b	87,21 a	42,00 a	116,04 a	56,86 a	97,53a	47,83a
Linea 29	96,23 c	40,23 c	86,72 a	37,88 b	100,03 b	46,74 c	94,33a	41,62c
ICA-Pijão	105,90 a	48,94 a	83,29 a	43,25 a	103,68 a	49,96 b	97,62a	47,39a
AN 910523	95,92 c	45,29 b	88,62 a	43,64 a	105,25 a	55,21 a	96,60a	48,05a
Milionário	89,13 d	41,60 c	83,88 a	41,53 a	112,63 a	51,99 b	95,20a	45,04b
RP-1	79,76 f	38,74 d	75,66 b	38,07 b	104,07 a	45,99 c	86,50b	40,93c
Capixaba Precoce	91,17 d	43,25 b	77,57 b	44,15 a	103,37 a	56,04 a	90,70a	47,81a
Esal 651	80,31 f	37,29 d	72,55 c	37,17 b	99,10 b	51,80 b	84,00b	42,09c
Ouro	92,78 d	36,58 d	79,60 b	39,21 b	107,05 a	49,72 b	93,14a	41,84c
Média alto	92,04	43,39	81,77	41,04	106,77	51,87	93,53	45,43
MA-II-22	84,51 e	38,51 d	64,39 c	39,57 b	91,92 b	45,57 c	80,27b	41,22c
Paraná	77,61 f	34,23 e	65,56 c	34,74 b	100,94 b	47,17 c	81,40b	38,71c
Negrilo	84,51 f	40,70 c	75,33 b	38,00 b	101,80 b	53,06 a	87,20b	43,92b
Esal 543	74,43 e	43,05 b	66,76 c	40,43 a	97,60 b	54,66 a	79,60b	46,05b
BP-28	79,41f	41,88 c	63,90 c	34,74 b	96,50 b	49,10 b	79,90b	41,91c
BRS Pitanga	79,41 f	42,15 c	69,88 c	38,66 b	93,10 b	53,49 a	80,80b	44,77b
BRS Valente	78,86 f	42,07 c	77,45 b	40,08 a	108,74 a	51,37 b	88,35b	44,51b
Batatinha	95,92 c	47,84 a	63,72 c	34,74 b	84,98 b	36,55 d	81,54b	39,71c
IAC-Aruã	86,15 e	45,45 b	70,58 c	37,33 b	99,17 b	46,35 c	85,30b	43,04c
Esal 516	77,37 f	38,82 d	76,86 b	35,05 b	109,64 a	44,90 c	87,96b	39,59c
Média baixo	81,82	41,47	69,44	37,33	98,44	48,22	83,23	42,34
Média geral	86,93	41,94	75,61	39,19	102,62	50,05	88,40	43,73

¹ Médias seguidas da mesma letra, na vertical, pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott & Knott (1974), $P \leq 0,05$.

Tabela 3 Contribuição, em %, de 20 linhagens de feijão selecionadas para alto e baixo teor de ferro e zinco avaliadas nas safras das “águas” 2009/2010, “seca” 2010 e inverno 2010, para a interação linhagens x safras

Linhagem	Classificação	Zinco	Ferro
P-180	alto	0,23	2,09
R-1	alto	1,19	3,26
Linea 29	alto	0,58	8,40
ICA-Pijão	alto	6,60	12,40
AN 910523	alto	0,43	4,15
Milionário	alto	1,08	2,56
RP-1	alto	1,19	3,26
Capixaba Precoce	alto	3,14	0,47
Esal 651	alto	5,37	0,57
Ouro	alto	4,70	0,14
MA-II-22	baixo	3,40	3,70
Paraná	baixo	3,15	3,28
Negrilo	baixo	3,10	0,19
Esal 543	baixo	2,40	2,13
BP-28	baixo	2,79	1,29
BRS Pitanga	baixo	2,32	0,54
BRS Valente	baixo	0,19	8,07
Batatinha	baixo	49,00	29,80
IAC-Arua	baixo	7,30	0,70
Esal 516	baixo	0,53	10,70

ARTIGO 3

**CONTROLE GENÉTICO DOS TEORES DE ZINCO E FERRO NAS
SEMENTES DE FEIJÃO COMUM**

**Artigo redigido conforme norma da revista científica
Crop Breeding and Applied Biotechnology (Versão preliminar)**

Controle genético dos teores de zinco e ferro nas sementes de feijão comum

Resumo - Este trabalho teve como objetivo obter informações sobre o controle genético dos teores de zinco e ferro nas sementes de feijão comum. Para isso, quatro linhagens com alto teor de ferro e zinco e quatro com baixos teores foram cruzadas no esquema dialélico parcial. As hibridações foram realizadas em casa de vegetação, assim como a obtenção das gerações F_1 , F_1 recíproco e F_2 . Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância para cada geração. Para verificar a ocorrência de efeito materno, foram testados os contrastes possíveis entre genitores e gerações F_1 e F_1 recíproco para cada cruzamento. Verificou-se que parte expressiva da variação nos teores de zinco e ferro, entre as linhagens utilizadas, é em virtude do tegumento das sementes. No caso do zinco, apenas a interação alélica aditiva explicou a variação. Para o ferro a ocorrência de dominância é, também, importante.

Paravras-chave: *Phaseolus vulgaris* L.; efeito materno; capacidade de combinação; interação alélica; qualidade nutricional.

Genetic control of zinc and iron levels in the common bean

Abstract - This study aimed to obtain information about the genetic control of zinc and iron levels in seed bean. Four lines with high iron and zinc levels and four with low levels were crossed in a partial diallel cross. The hybridizations were performed in a greenhouse, and F_1 , reciprocal F_1 and F_2 were obtained. The data were subjected to analysis of variance for each generation. The occurrence of maternal effects were tested through the contrasts possible between parents and F_1 and F_1 reciprocal for each cross. It was found that a significant proportion of the variation in levels of zinc and iron among the lines, is due to the seeds coat. In the case of zinc, only additive allelic interaction explained the variation. For iron the occurrence of dominance is also important.

Key words - *Phaseolus vulgaris* L.; maternal effect; combining ability; allelic interaction; nutritional quality.

Introdução

A deficiência de micronutrientes atinge mais de três bilhões de pessoas em todo o mundo (FAO 2011). Entre esses merecem destaque o zinco e o ferro. A deficiência de zinco no organismo humano pode causar atraso no crescimento e na maturação sexual, hipogonadismo, hipospermia, alopecia, lesões de pele, retardo na cicatrização de feridas, imunodeficiências, distúrbios comportamentais, cegueira noturna e perda de apetite. Isso porque o zinco exerce importantes funções estruturais, enzimáticas e regulatórias para as células vivas (Cozzolino 2007). Em geral, 1,4% das mortes são atribuídas à carência de zinco (Who 2011). Já o ferro, em humanos, é essencial para prevenir anemia e atua em muitos processos metabólicos. A deficiência desse mineral no organismo humano é um problema grave de saúde pública no mundo, afetando milhões de pessoas (Black 2003). Um e meio por cento das mortes ocorridas no planeta são atribuídas à deficiência de ferro (Who 2011).

Alimentos que possam suprir essas carências nutricionais da população são objetivos de vários estudos. Porém, esses alimentos devem apresentar elevada qualidade tanto nutricional quanto comercial e agrônômica, além de baixo custo. Nesse sentido, uma das principais opções é o feijão. Essa leguminosa é o componente principal da alimentação diária para mais de 300 milhões de pessoas (Beebe 2010). É um alimento que apresenta um alto valor nutricional e funcional e, como tem sido detectada variabilidade genética para os caracteres que conferem qualidade nutricional ao feijão, especialmente para conteúdo dos minerais zinco e ferro, torna-se possível selecionar linhagens com elevado potencial para participar de programas de melhoramento para qualidade nutricional (Beebe et al. 2000, Bennink 2010, Mesquita et al. 2007, Ribeiro et al. 2008).

Para se iniciar um programa de melhoramento visando à obtenção de cultivares com melhor qualidade nutricional é importante ter informações do

controle genético das características envolvidas. Em algumas ocasiões foram realizados estudos visando elucidar a ocorrência de efeito materno para teores de zinco e ferro em grãos de feijão. Rosa et al. (2010) relatou que, para teor de zinco, não há ocorrência de efeito materno, inferindo que o teor de zinco é dependente dos cotilédones. Já para teor de ferro, Jost et al. (2009) constatou efeito significativo para o contraste entre as gerações F_1 , provenientes de um mesmo cruzamento, variando o genitor feminino, indicando que o teor de ferro é dependente do tegumento, ou seja, que ocorre efeito materno para o caráter. Contudo, nesses estudos o número de genitores utilizados foi pequeno, o que dificulta a generalização dos resultados.

Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo obter informações a respeito do controle genético dos teores de zinco e ferro nas sementes de feijão.

Material e métodos

A partir da avaliação prévia da composição de minerais em linhagens de feijão do Banco de Germoplasma da Universidade Federal de Lavras (UFLA) (Silva et al. 2010), foram selecionadas quatro linhagens que apresentaram altos teores de zinco e ferro (P180, Linea 29, R1 e AN910523) e quatro linhagens com baixos teores (Paraná, Esal 543, BP28 e Esal 516). Essas linhagens foram cruzadas seguindo o esquema dialélico parcial, em que um dos grupos foi constituído pelas linhagens de baixo teor e o outro grupo pelas linhagens com alto teor.

As hibridações controladas foram realizadas em casa de vegetação, localizada no Departamento de Biologia da UFLA, assim como a obtenção de todas as gerações. As sementes das gerações F_1 e F_1 recíproco foram obtidas na safra das “águas” 2009/2010. Essas sementes foram semeadas no inverno de 2010 para obtenção da geração F_2 . Nessa mesma safra, para que fossem obtidas sementes da mesma idade, também, foram semeados os genitores, para

realização de cruzamentos e novamente obtenção das gerações F_1 e F_1 recíproco e sementes dos genitores. Para isso, cada genitor foi semeado em dois vasos com capacidade para 8 litros de solo, com seis sementes por vaso para realização dos cruzamentos e obtenção das sementes F_1 's e F_1 's recíprocos. As sementes F_1 's obtidas na safra anterior foram também semeadas, sendo dois vasos com três sementes por vaso para cada combinação e deixadas autofecundar para obtenção das sementes F_2 . Após cerca de 10 dias foi realizado o desbaste, deixando apenas três plântulas dos genitores, em cada vaso.

Em todos os vasos foi empregada adubação com 22,4 g da fórmula 8-28-16 de N, P_2O_5 e K_2O antes da semeadura. Quinze dias após a semeadura foi realizada adubação de cobertura, com sulfato de amônio e a quantidade de adubo foi a mesma para cada vaso (0,9 gr.). As irrigações foram realizadas por aspersão durante todo o ciclo da cultura.

Para realização das análises químicas dos minerais foram utilizadas quatro amostras de cada genitor e de cada gerações F_1 e F_1 recíproco e oito repetições para cada geração F_2 . As sementes foram secas em estufa (65 a 70°C) por 48 horas e as amostras foram moídas em micro moinho de facas, até obter tamanho de partícula inferior a 1 mm. Posteriormente, foram armazenadas em saquinhos de pipoca impermeáveis, devidamente vedados e identificados, e conservados em câmara fria até o momento da realização das análises laboratoriais. As análises foram realizadas no Laboratório de Análise Foliar, localizado no Departamento de Química/UFLA.

Para a análise dos minerais ferro e zinco foi realizada uma digestão nitroperclórica à quente, com 0,5g de cada amostra. Ao final da digestão o volume do extrato foi completado para 15 mL com água deionizada. Nesta digestão ocorre a retirada dos elementos dos compostos orgânicos da amostra ou adsorvida a eles. As análises foram feitas por espectrofotometria de absorção atômica, utilizando-se um aparelho modelo SpectrAA 110 (Varian INE),

calibrado em condições específicas de comprimento de onda, fenda e mistura dos gases para cada elemento, utilizando-se os procedimentos descritos por Malavolta et al. (1997).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância para cada geração, considerando o modelo inteiramente casualizado, com quatro repetições para os genitores e gerações F_1 e F_1 recíproco e oito repetições para a geração F_2 . Para verificar a ocorrência de efeito materno, foram testados os contrastes possíveis entre genitores e gerações F_1 e F_1 recíproco para cada cruzamento.

Para identificar os cruzamentos recíprocos foi utilizado um segundo número para identificar o genitor feminino, ou seja, F_{11} e F_{12} . As análises foram realizadas por meio do programa estatístico SAS versão 9.0 da Statistical Analysis Systems (2008).

Utilizando os dados médios da geração F_2 (semente), foi realizada a análise dialélica empregando o método IV de Griffing (1956), pelo modelo apresentado por Ferreira et al. (1992):

$Y_{ij} = m + g_i + g_j + s_{ij} + e_{ij}$, em que:

Y_{ij} : é a média da população proveniente do cruzamento da i -ésima linhagem do grupo 1 ($i = 1, 2, 3$ e 4) com a j -ésima linhagem do grupo 2 ($j = 1, 2, 3$ e 4); m : é a média das populações; g_i e g_j : é a capacidade geral de combinação da i -ésima e j -ésima linhagem do grupo 1 e 2, respectivamente; s_{ij} : é a capacidade específica de combinação entre a i -ésima linhagem do grupo 1 e j -ésima linhagem do grupo 2; e_{ij} : é o erro associado a Y_{ij} .

Resultados e discussão

A) Teor de zinco:

Quando é produzida uma semente híbrida, o tegumento é tecido materno, portanto, independe do cruzamento. Já o embrião e cotilédones, por serem produtos de fertilização, estão na geração F_1 (Ramalho et al. 2008).

Assim, se for avaliado o contraste F_{11} e F_{12} , em que o segundo número identifica o genitor utilizado como fêmea, tem-se avaliado o efeito do cruzamento recíproco. Se o contraste é não significativo, implica que a informação refere-se ao embrião e cotilédone, que no cruzamento recíproco, por razões óbvias é o mesmo. Se for significativo, uma hipótese para explicação seria que essa diferença poderia ser atribuída ao citoplasma. Contudo, não há nenhuma informação que o DNA das mitocôndrias ou do citoplasma pudessem influir na composição química das sementes. Assim, a explicação para essa diferença só pode ser atribuída ao tegumento, ou seja, presença de efeito materno. Nesse caso os contrastes P_1 vs F_{11} ou P_2 vs F_{12} devem ser não significativos.

A análise de variância evidenciou que a precisão na avaliação do teor de zinco foi alta, com estimativa de acurácia superior a 94%. Observou-se diferença significativa ($P \leq 0,01$) para todas as fontes de variação, mostrando que houve variabilidade entre as populações obtidas (Tabela 1). Na decomposição da fonte de variação genitores, constatou-se diferença significativa entre genitores do grupo I, do grupo II e para o contraste grupo I vs grupo II, indicando, como era esperado que os genitores diferem com relação ao teor de zinco entre os grupos e, também, dentro de cada grupo. Isso pode ser verificado na tabela 2, onde são apresentadas as médias dos grupos e de todos os genitores dentro de cada grupo. Vale destacar que a significância para o contraste F_{11} vs F_{12} informa a possibilidade de ocorrência de efeito materno para o caráter. A média da geração F_{12} foi significativamente ($P = 0,0000$) superior a da F_{11} e isso já era esperado, já que na F_{12} , o genitor utilizado como fêmea era o que possuía elevado teor de zinco (Tabela 2).

Verificou-se que, dos 16 contrastes F_{11} vs F_{12} , apenas quatro foram não significativos e, desses, dois contrastes P_1 vs P_2 foram, também, não significativos, ou seja, esses genitores não diferiram quanto ao teor de zinco e, portanto, a composição das sementes F_{11} e F_{12} não deveria diferir também

(Tabela 3). Os outros dois casos em que era esperado que o teste fosse significativo, pois os genitores diferiram, isso provavelmente não ocorreu em função do erro tipo II (Province 2001). Resultado semelhante foi obtido nos contrastes P_2 vs F_{12} . Diante disso, infere-se que o teor de zinco concentra-se, principalmente, no tegumento das sementes de feijão.

Na literatura há alguns resultados que contradizem os aqui relatados (Moraghan et al. 2002, Rosa et al. 2010). Uma provável discrepância nesses resultados pode ser atribuída à metodologia empregada na obtenção da informação. Nesses trabalhos, o número de linhagens utilizadas foi pequeno e o tegumento foi separado do restante da semente. Esse processo é além de muito trabalhoso, de precisão questionável, pois, é difícil retirar o tegumento sem levar consigo parte dos cotilédones. Uma outra razão é que as linhagens testadas foram diferentes das empregadas nesse estudo. Um outro argumento que pode reforçar a provável localização de parte do zinco nas sementes é o fato de que esse nutriente é correlacionado positivamente com o ferro e, como será comentado posteriormente, no caso desse nutriente, parece não haver dúvida que ele se concentra no tegumento.

Do exposto, na interpretação do dialelo, a geração de referência será a do tegumento e não do embrião, ou seja, embora a semente seja F_2 , a planta que a originou está na geração F_1 e o tegumento será F_1 . Pela análise dialélica dos cruzamentos realizados, detectaram-se diferenças significativas ($P \leq 0,01$) entre os híbridos (Tabela 4). Na decomposição dos efeitos de cruzamentos em capacidade geral de combinação (CGC) dos grupos 1 e 2 e da capacidade específica de combinação foi encontrada diferença significativa ($P \leq 0,01$) apenas para a fonte de variação CGC (Grupo 2). A CGC do grupo 2 explicou 85% da variação obtida entre os híbridos. Nessa condição pode-se inferir que no controle do caráter predomina a interação alélica aditiva. Portanto, apenas as linhagens avaliadas no grupo 2, que representam os genitores com alto teor de

zinco, diferem na concentração de locos com alelos favoráveis fixados, contribuindo diferentemente para os cruzamentos em que estão envolvidas.

Dessa forma, é possível identificar linhagens que contribuam para o aumento do teor de zinco das populações em que participarem como genitoras. Esse resultado pode ser melhor visualizado na tabela 5, em que são apresentados os efeitos da CGC dos dois grupos. Observa-se que a linhagem R1, do grupo 2 (alto teor de zinco), é a que deve apresentar mais alta concentração de alelos favoráveis fixados. Essa linhagem deverá contribuir para aumento de 3,05 mg kg⁻¹ no teor de zinco dos cruzamentos em que participar.

Como o contraste genitores vs híbridos foi significativo ($P \leq 0,01$) (Tabela 1) era esperado que a CEC também o fosse. Comparando a média dos oito genitores e a média dos 16 híbridos verifica-se que o vigor híbrido foi de 5,9%, valor que no contexto da análise de variância é diferente de zero. Talvez por essa razão não tenham sido obtidos resultados coincidentes nos dois casos. Tal constatação permite inferir que ocorre, também, dominância no controle do caráter, porém, de menor efeito que a aditiva. É importante salientar que parte do efeito da CGC deve ser atribuída à heterose do parental (Cruz et al. 2004). Os autores relatam que, considerando apenas um loco com dois alelos, a CGC é obtida pela expressão: $CGC = (p_i - \bar{p}) [a + (1 - 2t) d]$, em que: \bar{p} é a frequência alélica média de determinado loco dos n genitores avaliados; p_i é a frequência do alelo favorável do genitor i; t é a frequência alélica do testador utilizado; a é o desvio dos homozigotos em relação à média (efeito aditivo) e d é o desvio dos heterozigotos em relação à média, também denominado de efeito de dominância dos genes. Portanto, verifica-se que a CGC depende também do efeito de dominância dos alelos.

A combinação híbrida mais promissora foi da linhagem R1 foi com a BP-28 (Tabela 5). Essa combinação obteve média de teor de zinco de 50,18 mg kg⁻¹ de matéria seca, sendo a mais alta entre os cruzamentos (Tabela 6). Sendo

assim, essa população é a mais indicada para seleção de linhagens com alto teor de zinco. Essa população apresenta, ainda, a vantagem dos dois genitores possuírem grãos tipo carioca, que é preferido pelo consumidor, o que deverá facilitar a seleção.

B) Teor de ferro:

A precisão na avaliação do teor de ferro também foi alta, com estimativa de acurácia superior a 97%. Verificou-se diferença significativa ($P \leq 0,01$) para todas as fontes de variação, mostrando que há variabilidade entre as populações obtidas. Quando foi realizada a decomposição da fonte de variação genitores, foi possível observar que tanto entre os genitores do grupo 1 quanto do grupo 2 não houve diferença significativa (Tabela 1). Isso pode ser verificado por meio das médias dos genitores de cada grupo, que foram muito próximas (Tabela 2). Contudo, o contraste Grupo 1 vs Grupo 2 foi significativo, mostrando que os grupos diferem quanto ao teor de ferro. A diferença significativa verificada para o contraste F_{11} vs F_{12} informa a possibilidade de ocorrência de efeito materno para teor de ferro. A média da geração F_{12} foi maior que da F_{11} , o que era esperado se houvesse efeito materno para o teor de ferro, já que na F_{12} , o genitor utilizado como fêmea era o que possuía elevado teor de ferro (Tabela 2).

Visando verificar se a ocorrência de efeito materno para o teor de ferro poderia variar dependendo do genótipo, foram obtidos os diferentes contrastes entre os possíveis cruzamentos entre os dois grupos de genitores (Tabela 7). Foi verificado que em todos os cruzamentos houve significância para o contraste F_{11} vs F_{12} , indicando que o teor de ferro em feijão é dependente do tegumento. Na literatura há relatos que estão de acordo com os aqui apresentados, mostrando que no controle genético do teor de ferro há presença de efeito materno (Jost et al. 2009). Contudo, é importante mencionar que a proporção de ferro encontrada no tegumento pode variar. Em avaliação realizada por Moraghan et al. (2002),

foi verificado que de 11 a 36% do ferro se concentram no tegumento das sementes de feijão. Então, parte do nutriente tem efeito materno e parte se concentra nos cotilédones, assim como verificado para zinco, o que dificulta o processo de seleção, pois, o tegumento está em uma geração e o embrião e cotilédones em outra.

Em algumas oportunidades foi observada que a proporção de ferro encontrada no tegumento, também, pode variar com sua cor (Moraghan et al. 2002). Esses autores observaram que cultivares de feijão de grãos pretos apresentam maior teor de ferro no tegumento (35 a 40%), enquanto que nas cultivares de grãos brancos, a concentração é de 17 a 20% de ferro. Os autores atribuíram essa diferença ao teor de tanino, que é superior nas cultivares de grãos pretos e os taninos podem complexar ferro. Dessa forma, nem sempre será detectada a ocorrência de efeito materno, sendo os resultados dependentes dos cruzamentos, ou seja, das linhagens utilizadas nas hibridações.

Na análise dialélica foi observada diferença significativa ($P \leq 0,01$) entre os cruzamentos avaliados, com média do teor de ferro variando de 95,46 a 181,10 mg kg⁻¹ (Tabelas 4 e 8). É importante observar que foram obtidas combinações com teor médio de ferro superior à média dos genitores. Esse pode ser um indicativo da 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. 2008). 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 et al. (2000) trabalhando com três populações de feijão para estudo dos minerais ferro e zinco, também observaram segregação transgressiva para teor de ferro e sugeriram que estejam envolvidos de quatro a sete genes no controle genético desse mineral.

Na decomposição dos efeitos de cruzamentos em capacidade geral de combinação (CGC) dos grupos 1 e 2 e da capacidade específica de combinação (CEC) foi encontrada diferença significativa ($P \leq 0,01$) para todas as fontes de variação (Tabela 4). Dessa forma, os genitores avaliados diferem nas concentrações de locos com alelos favoráveis fixados, contribuindo diferentemente para os cruzamentos em que estão envolvidos e certas combinações se mostraram relativamente melhores ou piores do que poderia ser esperado com base no desempenho médio dos dois genitores do referido híbrido. A CEC explicou mais de 50% da variação obtida entre os híbridos, indicando ocorrência de dominância para o caráter. A CEC significativa e o contraste genitores vs híbridos, também, significativo (Tabela 1), indica ocorrência de heterose para teor de ferro em sementes de feijão. Essa heterose pode ser observada por meio da média da geração F_1 que foi superior à média dos genitores (Tabela 2).

Na tabela 9 estão apresentados os efeitos da CGC dos dois grupos. Mesmo dentro do grupo 1 (genitores com baixo teor de ferro), foram encontradas linhagens, como a ESAL 516, com elevada concentração de alelos favoráveis relativo ao grupo de genitores. No grupo 2 (genitores com alto teor de ferro), a linhagem P 180 foi a que apresentou mais alto \hat{g}_i . Essa linhagem deve contribuir para aumento de $18,55 \text{ mg kg}^{-1}$ de ferro nos cruzamentos em que participar.

A combinação híbrida mais promissora foi a Paraná x P180, que apresentou maior efeito da capacidade específica de combinação (Tabela 9). Essa combinação obteve média de $181,10 \text{ mg kg}^{-1}$ de matéria seca, sendo a mais alta entre os cruzamentos (Tabela 8). Vale destacar que os dois genitores apresentaram elevados valores de \hat{g}_j e \hat{g}_i positivos.

Dessa forma, conclui-se que parte expressiva da variação nos teores de zinco e ferro, entre as linhagens utilizadas, é em razão do tegumento das

sementes. No caso do zinco, apenas a interação alélica aditiva explicou a variação. Para o ferro a ocorrência de dominância é também importante.

Referências

- Beebe S. Feijão Biofortificado. **HarvetPlus**, Colômbia, Disponível: <<http://www.harvestplus.org/publications>>. Acesso em: 27 jan. 2010.
- Beebe S, Gonzalez V, Rengifo J (2000) Research on trace minerals in the common bean. **Food and Nutrition Bulletin** **21**: 387-391.
- Bennink MR (2010) Health benefits associated with consumption of dry beans. **Annual report of the bean improvement cooperative** **53**: 2-3.
- Black MM (2003) Micronutrient deficiencies and cognitive functioning. **The Journal of Nutrition** **133**: 3927-3931.
- Cozzolino SMF (2007) **Biodisponibilidade de nutrientes**. Editora Manole, São Paulo, 992 p.
- Cruz CD, Regazzi AJ, Carneiro PCS (2004) **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Editora UFV, Viçosa, 480p.
- FAO. Undernourishment around the world: Counting the hungry: latest estimates. **FAO**, Disponível em: <http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?Url_file=/docrep/006/j0083e/j0083e00.htm>. Acesso em: 02 maio 2011.
- Ferreira DF, Rezende GDSP and Ramalho MAP (1992) An adaptation of Griffing's methods IV of complete diallel cross analysis for experiments repeated in several environments. **Genetics and Molecular Biology** **16**: 357-366.
- Griffing B (1956) Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences** **9**: 463-493.
- Jost E, Ribeiro ND, Maziero SM, Cerutti TR, Rosa DP (2009) Potencial de aumento do teor de ferro em grãos de feijão por melhoramento genético. **Bragantia** **68**: 35-42.
- Mesquita FR, Corrêa AD, Abreu CMP de A, Lima RAZL, Abreu AFB (2007) Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade proteica. **Ciência e Agrotecnologia** **31**: 1114-1121.
- Moraghan JT, Padilla J, Etchevers JD, Grafton K, Acosta-Gallegos JA (2002) Iron accumulation in seed of common bean. **Plant and Soil** **246**: 175-183.

Ramalho MAP, Santos JB and Pinto CABP (2008) **Genética na agropecuária**, Editora UFLA, Lavras, 464 p.

Resende MDV, Duarte JB (2007) Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical 37**: 182-194.

Ribeiro ND, Jost E, Cerutti T, Maziero SM, Poersch NL (2008) Composição de microminerais em cultivares de feijão e aplicações para o melhoramento genético. **Bragantia 67**: 267-273.

Rosa SS, Ribeiro ND, Jost ER, Lia RS, Rosa DP, Cerutti TP, Micheli TDF (2010) Potential for increasing the zinc content in common bean using genetic improvement. **Euphytica 175**: 207-213.

SAS. **SAS/STAT® 9.2 User's Guide**. Version 9.2, Cary, NC: SAS Institute Inc., 2008. 584p.

Silva CA, Abreu AFB, Ramalho MAP, Correa AD, Maia LGS (2010) Genetic variability for protein and minerals content in common bean lines (*Phaseolus vulgaris* L.). **Annual report of the bean improvement cooperative 53**: 144-145.

Who. **The world health reports**. Disponível em:
<http://www.who.int/whr/2002/en/whr02_en.pdf> Acesso em: 02 maio 2011.

Tabela 1 Resumo das análises de variância dos teores de zinco e ferro, obtidos na avaliação dos oito genitores, F₁'s (F₁₁) e seus recíprocos (F₁₂) e médias dos teores de zinco e ferro em mg kg⁻¹ de matéria seca

FV	GL	Zinco		Ferro	
		QM	Prob.	QM	Prob.
Populações	39	279,22	0,0000	3191,08	0,0000
Entre genitores	7	361,91	0,0000	1663,01	0,0000
Entre genitores grupo 1	3	121,90	0,0060	164,20	0,4286
Entre genitores grupo 2	3	213,80	0,0001	249,35	0,2376
Grupo 1 vs grupo 2	1	1526,30	0,0000	10400,45	0,0000
F ₁₁	15	76,26	0,0017	549,96	0,0002
F ₁₂	15	75,20	0,0020	1781,23	0,0000
F ₁₁ vs F ₁₂	1	5888,84	0,0000	75330,21	0,0000
Genitores vs híbridos	1	195,59	0,0103	2513,02	0,0002
Erro	120	28,77		174,96	
Média populações		49,60		124,35	
\hat{r}_{gg} (%)		94,71		97,22	

Tabela 2 Médias dos teores de zinco e ferro em mg kg⁻¹ de matéria seca dos genitores e dos híbridos F₁'s (F₁₁) e recíprocos (F₁₂)

Genitores/Híbridos	Zinco	Ferro
Paraná	41,4	102,4
Esal 543	47,2	104,8
BP-28	39,3	90,9
Esal 516	33,9	95,4
Média - Genitores - Grupo 1	40,5	98,4
P-180	53,9	126,8
Linea 29	46,7	131,2
R-1	64,2	145,3
AN 910523	52,2	134,3
Média - Genitores - Grupo 2	54,3	134,5
Híbridos	50,2	126,3
F ₁₁	43,4	102,1
F ₁₂	56,9	150,6

Tabela 3 Significância obtida pelo teste F para o teor de zinco (mg kg^{-1}), na comparação dos diferentes contrastes das 16 combinações híbridas

Híbridos	P ₁ vs P ₂	F ₁₁ vs F ₁₂	P ₁ vs F ₁₁	P ₂ vs F ₁₂
Paraná x P-180	**	**	NS	NS
Paraná x Linea 29	NS	**	NS	**
Paraná x R-1	**	**	NS	NS
Paraná x AN 910523	**	**	NS	NS
Esal 543 x P-180	NS	**	NS	NS
Esal 543 x Linea 29	NS	NS	NS	*
Esal 543 x R-1	**	NS	NS	*
Esal 543 x AN 910523	NS	NS	NS	NS
BP 28 x P-180	**	**	NS	NS
BP 28 x Linea 29	*	**	NS	NS
BP 28 x R-1	**	**	NS	NS
BP 28 x AN 910523	**	**	NS	NS
Esal 516 x P-180	**	**	**	*
Esal 516 x Linea 29	**	**	NS	**
Esal 516 x R-1	**	**	**	NS
Esal 516 x AN 910523	**	NS	**	NS

** *: significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente pelo teste F
 NS: não significativo

Tabela 4 Resumo da análise dialélica do teor de zinco e ferro de sementes F₂ de feijão provenientes do cruzamento dialélico parcial entre quatro linhagens selecionadas para baixos teores dos nutrientes (grupo 1) e quatro com alto teor (grupo 2)

FV	GL	QM	R ² (%)	QM	R ² (%)
Zinco			Ferro		
Híbridos	15	55,09**		3913,95**	
CGC (G1)	3	14,28 ^{NS}	5	2673,93**	14
CGC (G2)	3	234,09**	85	6323,69**	32
CEC (1 x 2)	9	9,02 ^{NS}	10	3524,05**	54
Resíduo	112	17,56		354,07	

** : significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

^{NS} : não significativo

Tabela 5 Efeitos da capacidade geral de combinação (g_i e g_j) e capacidade específica de combinação (s_{ij}) de linhagens de feijão selecionadas para baixos e altos teores de zinco (mg kg⁻¹) obtidos na avaliação das sementes F₂ do dialélico parcial

GENITOR	P 180	Linea 29	R 1	AN 910523	ĝ _i (baixo)
Paraná	1,16	0,43	-1,44	-0,16	-0,20
Esal 543	-0,43	-0,29	-0,39	1,12	0,99
BP 28	-1,29	0,15	1,47	-0,33	-0,37
Esal 516	0,56	-0,29	0,36	-0,63	-0,42
ĝ_i (alto)	1,48	-2,02	3,05	-2,52	

Tabela 6 Médias dos teores de zinco (mg kg⁻¹), obtidas na avaliação da geração F₂ do dialélico parcial

	P 180	Linea 29	R 1	AN 910523
Paraná	48,48 a ¹	44,25 b	47,45 a	43,15 b
Esal 543	48,08 a	44,72 b	49,69 a	45,62 b
BP 28	45,86 b	43,80 b	50,18 a	42,81 b
Esal 516	47,66 a	43,31 b	49,03 a	42,47 b

¹ Médias seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott & Knott (1974), a 5% de probabilidade.

Tabela 7 Significância obtida pelo teste F para o teor de ferro (mg kg^{-1}), na comparação dos diferentes contrastes das 16 combinações híbridas

Híbridos	P ₁ vs P ₂	F ₁₁ vs F ₁₂	P ₁ vs F ₁₁	P ₂ vs F ₁₂
Paraná x P-180	**	**	NS	NS
Paraná x Linea 29	**	**	NS	**
Paraná x R-1	**	**	NS	NS
Paraná x AN 910523	**	**	NS	NS
Esal 543 x P-180	*	**	NS	*
Esal 543 x Linea 29	**	*	NS	NS
Esal 543 x R-1	**	**	NS	NS
Esal 543 x AN 910523	**	*	NS	NS
BP 28 x P-180	**	**	NS	**
BP 28 x Linea 29	**	**	NS	**
BP 28 x R-1	**	**	NS	**
BP 28 x AN 910523	**	**	NS	NS
Esal 516 x P-180	**	**	NS	**
Esal 516 x Linea 29	**	*	*	NS
Esal 516 x R-1	**	**	*	*
Esal 516 x AN 910523	**	**	**	**

** *: significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente pelo teste F
 NS: não significativo

Tabela 8 Médias dos teores de ferro (mg kg^{-1}), obtidas na avaliação da geração F_2 do dialelo parcial

	P 180	Linea 29	R 1	AN 910523
Paraná	181,10 a ¹	104,20 e	106,70 e	102,30 e
Esal 543	119,90 d	111,00 d	123,20 c	120,80 d
BP 28	106,10 e	126,80 c	105,60 e	95,46 e
Esal 516	148,10 b	135,50 c	137,20 c	100,00 e

¹ Médias seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott & Knott (1974), a 5% de probabilidade

Tabela 9 Efeitos da capacidade geral de combinação (g_i e g_j) e capacidade específica de combinação (s_{ij}) de linhagens de feijão selecionadas para baixos e altos teores de ferro (mg kg^{-1}) obtidos na avaliação das sementes F_2 do dialelo parcial

GENITOR	P 180	Linea 29	R 1	AN 910523	\hat{g}_i (baixo)
Paraná	38,97	-18,50	-14,80	-5,67	3,33
Esal 543	-17,38	-6,85	6,55	17,68	-1,52
BP 28	-20,94	19,18	-0,82	2,58	-11,76
Esal 516	-0,65	6,17	9,07	-14,59	9,95
\hat{g}_i (alto)	18,55	-0,87	-2,07	-15,61	