INTERAÇÃO GENÓTIPOS X AMBIENTES PARA TEORES DE FERRO E ZINCO NOS GRÃOS DE FEIJOEIRO-COMUM

GENOTYPE X ENVIRONMENT INTERACTION FOR IRON AND ZINC CONTENT IN COMMON BEAN GRAINS

Felipe J. Almeida[1]; Saulo M. Martins[2]; Helton S. Pereira[3*]; Leonardo C. Melo[4]; Luís C. Faria[5]; Thiago L. P. O. Souza[6]; José L. C. Díaz[7]; Carlos L. P. Melo[8]; Antônio F. Costa[9]; Maurício Martins[10]; Hélio W. L. Carvalho[11], José A. A. Moreira[12]; Válter M. Almeida[13]; Priscila Z. Bassinello[14]

Introdução. A importância do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) tanto na alimentação como na economia do Brasil é indiscutível. Ele apresenta elevados teores de minerais, vitaminas, carboidratos, fibras e proteínas (Mesquita et al., 2007). Dentre os diferentes minerais que compõem o grão do feijão ressalta-se o ferro, por ser o componente principal da hemoglobina no sangue, e o zinco, por estar diretamente relacionado ao processo de crescimento e desenvolvimento do homem (Welch, 2002). O grande problema é que parte da sociedade, principalmente as populações carentes, não tem acesso a grande maioria dos nutrientes, o que leva a desnutrição. Diversas estratégias vêm sendo adotada para atenuar a desnutrição no mundo, como a diversificação alimentar, suplementação, fortificação e biofortificação. A utilização do melhoramento genético para identificar linhagens com elevada composição nutricional consiste na biofortificação, sendo uma estratégia promissora a médio e longo prazo. A seleção de linhagens com altos teores de ferro e zinco no grão em apenas um ambiente, leva ao risco de fatores ambientais e de interação inflacionarem o valor fenotípico do individuo. As diferentes repostas das cultivares frente aos diferentes ambientes correspondem à interação genótipos x ambientes (GxA), tal fenômeno é considerado de grande relevância na rotina do melhorista (Chaves, 2001). Isso explica a necessidade de ensaios multilocais para que o desempenho da linhagem testada seja mais previsível nos ambientes recomendados. Dessa forma, devido à importância econômica e cultural do feijão e a alta demanda social por nutrientes benéficos, tais como ferro e zinco, justifica-se trabalhos de melhoramento de plantas na busca de cultivares com teores elevados e estáveis desses minerais nos grãos. Assim, os objetivos do presente trabalho foram estudar o efeito da interação GxA para teor de ferro e teor de zinco no grão; selecionar linhagens com maiores teores desses minerais e identificar se existe relação entre esses caracteres.

Material e Métodos. Foram realizados experimentos em quatro ambientes (combinação de locais/época de semeadura/ano) em diferentes regiões do Brasil (Santo Antônio de Goiás-GO, Uberlândia-MG, Carira-SE e Dourados-MS). Os tratamentos foram 35 genótipos de feijoeiro-comum de diferentes grupos comerciais, sendo 28 cultivares e linhagens pré-comerciais e sete testemunhas já avaliadas para teores de ferro e zinco, sendo cinco com altos teores de ferro e zinco: G6472, Piratã 1, Brasil 0001, Porto Real, Xamego; além das cultivares Pérola e IAC Una, que apresentam baixos teores dos minerais. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao

[1] Graduando em Agronomia – UFG/Goiânia. Bolsista da iniciação científica CNPq/Embrapa. E-mail: felipejunioufg@gmail.com
[2] Mestrando do Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas – UFG/Goiânia. Bolsista da CAPES. E-mail: munizsaulo1990@hotmail.com
[3] Eng. Agrôn., Dr., Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO. E-mail: helton.pereira@embrapa.br *(Orientador)
[4] Eng. Agrôn., Dr., Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO. E-mail: leonardo.melo@embrapa.br
[5] Eng. Agrôn., Dr., Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO. E-mail: luis.faria@embrapa.br
[6] Eng. Agrôn., Dr., Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO. E-mail: thiago.souza@embrapa.br
[7] Eng. Agrôn., Analista da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO. E-mail: jose.diaz@ embrapa.br
[8] Eng. Agrôn, Dr., Pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS. E-mail: carlos.lasaro@embrapa.br
[9] Dr., Pesquisador do Instituto Agronômico do Pernambuco, PE. E-mail: felix.antonio@ipa.br
[10] Eng. Agrôn., Dr., Professor da UFU, Uberlândia, MG. E-mail: mmartins@umuarama.ufu.br
[11] Eng. Agrôn., M.Sc., Pesquisador da Embrapa Tabuleiros, Aracaju, SE. E-mail:helio.carvalho@embrapa.br
[12] Eng. Agrôn, D.Sc. Pesquisador da Embrapa Milho Sorgo, Sete Lagoas, MG. E-mail:jose.aloisio@embrapa.br
[13] M.Sc., Eng. Agrôn da Empaer MT. E-mail: almeida-walter@uol.com.br
[14] Eng. Agrôn., Dr., Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO. E-mail: priscila.bassinello@embrapa.com

acaso, com duas repetições e as parcelas foram constituídas por duas linhas de 3 metros de comprimento com 0,45 m entre linhas. Para as análises do teor de ferro (TFe) e do teor de zinco (TZn) foi retirada amostra de cada parcela. A análise foi feita em triplicata por digestão ácida da matéria orgânica (com mistura nitro-perclórica 2:1), conforme técnica de espectrofotometria de absorção atômica por chama adaptada da Association of Official Analytical Chemists (1997). Os dados de TFe e de TZn foram submetidos à análise de variância individual e conjunta envolvendo os quatro ambientes e para verificação da precisão experimental dos ensaios, foi estimado a acurácia seletiva (Rezende e Duarte, 2007). Foram obtidas estimativas de correlação de Pearson entre os caracteres TFe e TZn em cada ambiente e com base nas médias da análise conjunta. As médias foram comparadas pelo teste de Scott Knott ao nível de 10% de probabilidade. Para as análises estatísticas foi utilizado o aplicativo Genes (Cruz, 2013).

Resultados e Discussão. O coeficiente de variação para as análises de variância individuais de todos os ambientes para os dois caracteres variou de baixo a médio, indicando que a precisão experimental foi satisfatória (Pimentel-Gomes, 2000). A boa precisão experimental pode ser confirmada pelas as estimativas de acurácia seletiva para cada ambiente, variando de moderada (0,67) a alta (0,89) (Rezende e Duarte, 2007). Tanto para TFe, como para TZn, houve diferença significativa entre os genótipos, nos quatro ambientes, evidenciando a presença de variabilidade genética entre os genótipos. Houve grande variação nas médias, para TFe e TZn, entre os quatro ambientes. Resultado similar foi observado em avaliação de TFe, em três ambientes no Paraná (Araújo et al., 2003). Na análise conjunta, observa-se significância a 1% de probabilidade pelo teste de F, para o efeito de genótipos e ambientes, confirmando a existência de variabilidade entre os genótipos, e entre os ambientes. A interação GxA foi detectada para TFe, confirmando diferença no comportamentos dos genótipos frente aos diferentes ambientes (Tabela 1). Esse efeito também foi verificado por Araújo et al., (2003). Contrariamente, para o TZn não foi detectada significância, ou seja, a performance dos genótipos não variou nos diversos ambientes, assim como relatado por Nchimbi-Msolla e Tryphone, (2010).

Tabela 1. Resumo das análises de variância conjuntas para teor de ferro em (TFe) e teor de zinco em (TZn) mg/kg em grãos de 35 linhagens de feijoeiro-comum.

FV	TFe			TZn		
	GL	QM	p-valor	GL	QM	p-valor
Bloco/ambiente	1	10,80		1	3,08	
Genótipos (G)	34	150,39**	0,0000	34	58,45**	0,0000
Ambientes (A)	3	2183,16**	0,0000	3	2709,42**	0,0000
G x A	102	41,07*	0,0184	102	12,58 ^{ns}	7,3800
Resíduo	139	28,05		139	9,66	
Média	58,36				32,13	
CV[1](%)	9,08				9,67	

[1]CV: coeficiente de variação; ^{ns}, * e **: teste F não significativo, significativo a 5% e 1%, respectivamente.

Para TFe, destacou-se a testemunha Piratã 1, superior a todas os outros genótipos. A cultivar BRS Supremo, também apresentou altos TFe, semelhante ao da testemunha Xamego, ambas no segundo grupo. Destacam-se também as 11 linhagens que ficaram no terceiro agrupamento, junto com as outras testemunhas com altos TFe. Para TZn destacaram-se as testemunhas Xamego e Brasil 0001, superiores a todas as outras linhagens. As cultivares BRS Supremo e BRS Esplendor, também apresentaram alto TZn, semelhante ao das testemunhas Piratã 1 e G 6492. Destacam-se também as 13 linhagens que ficaram no terceiro agrupamento, junto com a testemunha Porto Real. Considerando os dois caracteres simultaneamente, as testemunhas Piratã 1, e Xamego tiveram desempenho superior aos demais tratamentos. É importante mencionar que as cultivares mais plantadas de feijão carioca (Pérola) e preto (IPR Uirapuru) no Brasil apresentaram baixos TFe e

TZn, abaixo da média geral. Entre os novos genótipos avaliados, merece destaque a BRS Supremo, de grãos pretos, com os maiores teores dos minerais. A cultivar BRS Esplendor mostrou desempenho intermediário para TFe e superior para TZn. Outros genótipos apresentaram teores dos dois minerais superiores às médias gerais, como IPR Tangará, CNFP 11995, CNFC 10429, BRS Pontal, BRS Cometa, BRS Marfim, CNFC 11948, BRSMG Madrepérola e IPR 139 (Tabela 2). Esses genótipos podem ser utilizados como genitores em programas de melhoramento e, além disso, podem ser indicados para cultivo, por apresentarem maiores teores desses minerais.

Tabela 2. Teores médios de ferro (Tfe) e zinco (TZn) em mg/kg, referente aos 35 genótipos, avaliados em quatro ambientes.

Genótipos	Grupo	TFe		TZn	
Piratã 1*	mulatinho	70,52	a	37,24	b
BRS Supremo	preto	65,38	b	35,15	b
Xamego*	preto	64,64	b	38,18	a
Brasil 0001*	marrom	62,76	c	40,68	a
Porto real*	carioca	62,04	c	33,57	c
IPR Tangará	carioca	61,96	c	32,79	c
CNFP 11995	preto	61,83	c	32,37	c
CNFC 10429	carioca	61,49	c	32,19	c
G 6492*	preto	60,49	c	36,38	b
BRS Pontal	carioca	60,34	c	33,32	c
BRS Cometa	carioca	60,27	c	33,12	c
IAC Diplomata	preto	59,93	c	28,54	d
BRS Marfim	mulatinho	59,63	c	32,02	c
CNFC 11948	carioca	59,62	c	32,59	c
BRS MG Madrepérola	carioca	59,57	c	32,06	c
BRS Esplendor	preto	59,56	c	34,32	b
IPR 139	carioca	59,17	c	31,88	c
BRS Notável	carioca	58,19	d	30,18	d
IAPAR 81	carioca	58,02	d	29,77	d
IAC Alvorada	carioca	57,64	d	31,88	c
CNFC 10762	carioca	57,23	d	28,93	d
CNFC 10729	carioca	57,13	d	31,92	c
BRS Campeiro	preto	57,05	d	30,56	d
IAC Una**	preto	56,05	d	29,51	d
BRS Esteio	preto	55,72	d	30,17	d
BRS Agreste	mulatinho	55,51	d	30,27	d
IPR Tuiuiu	preto	55,35	d	31,48	c
IPR Uirapuru	preto	55,33	d	29,45	d
CNFP 10794	preto	54,84	d	30,83	d
BRS Ametista	carioca	54,72	d	31,06	d
IAC Formoso	carioca	54,15	d	30,2	d
BRS Requinte	carioca	54,08	d	29,98	d
Pérola**	carioca	53,7	d	30,25	d
CNFC 10467	carioca	52,62	d	31,41	c
BRS Estilo	carioca	45,97	e	30,31	d
Média geral		58,36		32,13	

Médias de tratamentos seguidas pela mesma letra, não diferem significativamente entre si, pelo teste Scott Knott ao nível de 10% de probabilidade. *Testemunhas consideradas com altos teores de ferro e zinco; ** e baixos.

Os coeficientes de correlação (r) fenotípica entre o TFe e TZn variaram consideravelmente entre os ambientes. Embora as correlações sejam discrepantes nos diferentes ambientes, de modo geral, nota-se associação positiva entre os dois caracteres, indicando facilidade em ganhos simultâneos para ambos os caracteres.

Tabela 3. Coeficientes de correlação de Pearson entre teores de ferro e de zinco nos grãos em quatro ambientes e entre as médias gerais.

Ambiente (Local/Época/Ano)	r	Significância	p-valor
Santo Antônio de Goiás-GO/Inverno/2012	0,04	ns	0,383
Uberlândia-MG/Seca/2013	0,71	**	0,000
Carira-SE/Aguas/2012	0,52	**	0,000
Dourados-MS/Seca/2013	0,17	ns	0,220
Geral	0,69	**	0,000

[ns], * e **: teste T não significativo, significativo a 5% e 1%, respectivamente.

Conclusões. Existe variabilidade para os teores de ferro e de zinco nos grãos entre os 35 genótipos avaliados. A interação genótipos x ambientes foi importante para TFe e não para TZn. As cultivares de grão preto, BRS Supremo e BRS Esplendor apresentaram elevados TFe e TZn no grão, sendo indicadas para substituir as cultivares utilizadas atualmente e para utilização como genitores no programa de melhoramento para qualidade nutricional do grão. De modo geral, existe associação positiva entre os teores de ferro e zinco nos grãos de feijão.

Agradecimentos. À Universidade Federal de Goiás pela oportunidade de estudo; ao CNPq pela concessão da bolsa de iniciação científica ao primeiro autor, e pela concessão da bolsa de produtividade em desenvolvimento tecnológico e extensão inovadora ao terceiro e quarto autores; à CAPES pela concessão da bolsa de mestrado ao segundo autor. À Embrapa Arroz e Feijão, CNPq e ao programa Harvest Plus pelo financiamento do trabalho.

Referencias.

AOAC International. Official methods of analysis of AOAC International, 16th ed. **Association of Official Analytical Chemists**, Washington, 200 p. 1997.

ARAÚJO, R.; MIGLIORANZA, E.; MONTALVAN, R.; DESTRO, D.; GONÇALVES-VIDIGAL, M. C.; MODA-CIRINO, V. Genotype x environment interation effects on the iron content of common bean grains. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 3, n. 4, p. 269-274, 2003.

CRUZ, C. D. **Programa genes**: biometria. Editora UFV. Viçosa (MG). N. 382, 2013.

CHAVES, L. J. Interação de genótipos com ambientes. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS, M. C. (Ed.). Recursos genéticos e melhoramento – plantas. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. cap. 22, p. 673-713.

MESQUITA, F. R.;CORRÊA, A.D.;ABREU, C.M.P.; LIMA, R.A.Z.; ABREU, A. F. B. Linhagens de feijão (*phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade protéica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 34, p. 1114-1121, 2007.

NCHIMBI-MSOLLA, S.; TRYPHONE, G. M. The effects the environment on iron and zinc concentrations and performance of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. **Asian Journal of Plant Sciences**, v. 9, n. 8, p.455-462, 2010.

REZENDE, M.D.V.; DUARTE, J.B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, p. 182-194, 2007.

WELCH, R. M. The impact of mineral nutrients in food crops on global human health. Plant Soil, Netherlands, v. 247, n. 8, p. 83-90, 2002.