

Interação Genótipo x Ambiente e Estimativas de Parâmetros Genéticos em Feijão-Caupi com Altos Teores de Ferro e Zinco no Grão

Maurisrael de Moura Rocha¹, Adelana Maria Freitas Santos², Hélio Wilson Lemos de Carvalho³, Kaesel Jackson Damasceno-Silva¹, Luis José Duarte Franco⁴, Adão Cabral das Neves⁵

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da interação genótipo x ambiente e estimar parâmetros genéticos em genótipos de feijão-caupi com altos teores de ferro e zinco no grão. Foram avaliados sete genótipos em três ambientes dos estados do Maranhão, Piauí e Sergipe, no ano de 2010. Os ensaios foram conduzidos em delineamento de blocos ao acaso com três repetições. Foram realizadas análises de variância conjunta e estimados os parâmetros genéticos, % da interação complexa e os coeficientes de variação genético e de determinação genotípico. Observaram-se diferenças para os efeitos de genótipos, ambientes e interação genótipo x ambiente. A interação predominante foi a do tipo complexa, para ambos os caracteres, sendo maior para o teor de zinco. Maior variabilidade e expressão do componente genético no fenótipo foram apresentadas pelo o teor de zinco. O genótipo MNC05-847B-159 apresentou adaptabilidade geral e alta estabilidade aos ambientes avaliados para o teor de ferro, sendo também o mais adaptado a condições favoráveis, enquanto o genótipo MNC00-595F-26, o mais adaptado a condições desfavoráveis. O genótipo MNC00-595F-26 apresentou adaptabilidade geral e alta estabilidade aos ambientes avaliados para o teor de zinco.

Introdução

O feijão-caupi destaca-se por sua importância socioeconômica para as famílias das regiões Norte e Nordeste do Brasil, constituindo-se em um dos principais componentes da dieta alimentar na zona urbana e, especialmente, para as populações rurais, gerando emprego e renda para milhares de pessoas (Freire Filho et al. 2005).

Um dos objetivos do melhoramento de feijão-caupi no Brasil é aumentar os teores de proteína, ferro, zinco e fibra alimentar digestível dos grãos (Freire Filho et al. 2011). A identificação de genótipos com altos teores de ferro e zinco tem sido o principal objetivo da biofortificação do feijão-caupi no Brasil (Nutti et al. 2011). Entre 2006 e 2013 foram avaliados na etapa de *screening* rápido (fast-track) 182 genótipos, envolvendo 134 elites (linhagens e cultivares) e 52 acessos do banco de germoplasma de feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte (Rocha et al., 2011a), e, por cruzamentos, 48 populações segregantes oriundos de cruzamentos entre parentais com altos teores de ferro e zinco (BRS Xiquexique, BRS Tumucumaque, BRS Aracê, IT89K-205-8 e IT97K-1042-3)(Moura 2011; Carvalho 2011). Como resultado dessas análises e de avaliações agrônomicas, foram lançadas as cultivares BRS Xiquexique, BRS Aracê e BRS Tumucumaque, com teores de ferro e zinco, respectivamente, acima de 60 e 50 mg ha⁻¹(Freire Filho et al. 2011). Na etapa 2 do programa de biofortificação, validação de genótipos de feijão-caupi com altos teores de ferro e zinco em multilocais, oito genótipos com altos teores de ferro e zinco foram validados em dois ambientes da região Nordeste e um ambiente na região Norte do Brasil (Rocha et al. 2011b).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da interação genótipo x ambiente e estimar parâmetros genéticos em genótipos de feijão-caupi com altos teores de ferro e zinco no grão.

Material e Métodos

Foram avaliados sete genótipos de feijão-caupi (Tabelas 2 e 3), que apresentam altos teores de ferro e zinco no grão, selecionados a partir de um *screening* realizado anteriormente em 40 genótipos das

¹ Pesquisador da Embrapa Meio-Norte/Teresina, e-mail: maurisrael.rocha@embrapa.br

² Doutoranda do Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/Botucatu, e-mail: adelanamariafr@hotmail.com

³ Pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros/Aracaju, e-mail: helio.carvalho@embrapa.br

⁴ Analista da Embrapa Meio-Norte/Teresina, e-mail: luis.franco@embrapa.br

⁵ Analista da Embrapa Meio-Norte/Teresina, e-mail: adao.neves@embrapa.br

subclasses comerciais fradinho (Rocha et al. 2009a,b 2010), ambos oriundos do programa de melhoramento genético de feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte. Foram conduzidos três ensaios de valor de cultivo e uso, em condições de sequeiro, nos municípios de Coroatá-MA, Teresina-PI e Nossa Senhora das Dores-SE no ano de 2010.

Os experimentos foram conduzidos em delineamento de blocos completos ao acaso, com três repetições. Os tratamentos foram representados por uma parcela de três fileiras de 5 m, espaçadas de 0,8 m entre fileiras e de 0,25 m entre covas, dentro da fileira. A área útil foi representada pela fileira central, onde foram coletadas amostras de sementes.

As avaliações dos teores de ferro e zinco foram realizadas no Laboratório de Bromatologia da Embrapa Meio-Norte. Os teores de ferro e zinco foram analisados por meio do método de espectrofotometria de absorção atômica, descrito por Sarruge and Haage (1974) em triplicata, a partir de amostras de 25 grãos/genótipo, com teores de umidade de 13%

Foram realizadas as análises de variância individual e, depois, a análise de variância conjunta. Para efeito da análise de adaptabilidade e estabilidade, considerou como ambiente a combinação de local e ano agrícola. A adaptabilidade e estabilidade dos genótipos foram analisadas por meio da metodologia de Lin e Bins modificado por Carneiro (1998). Esse método estima o parâmetro de estabilidade e adaptabilidade P_i , em que o genótipo mais estável é o que apresenta menor valor desta estimativa. Este foi decomposto em P_i favorável, que indica os genótipos que se adaptam melhor a ambientes favoráveis, e P_i desfavorável, que indica os genótipos adaptados a ambientes desfavoráveis. Os dados foram analisados por meio programa computacional GENES (Cruz 2006).

Resultados e Discussão

O resumo da análise de variância conjunta dos ensaios e das estimativas de parâmetros genéticos para os teores de ferro e zinco são apresentados na Tabela 1. Observaram-se diferenças pelo teste F ($P < 0,01$) para os efeitos de ambientes, genótipos e interação GxA. Isso indica que os ambientes e genótipos apresentaram variabilidade e que os genótipos se comportaram diferencialmente com os ambientes. Neste caso, a seleção de genótipos adaptados e estáveis representa a melhor estratégia para se manejar a interação GxA. Interação GxA altamente significativa também foi observada por Rocha et al. (2011b) em um estudo sobre a interação genótipos x ambientes envolvendo outro grupo de genótipos com altos teores de ferro e zinco.

Tabela 1 Resumo das análises de variância conjunta e estimativas de parâmetros genéticos (% da interação complexa, coeficiente de variação genético e coeficiente de determinação genotípico), referentes aos teores de ferro e zinco, obtidos a partir da avaliação de sete genótipos de feijão-caupi em três ambientes da região Nordeste do Brasil. Teresina-PI/Coroatá-MA/Nossa Senhora das Dores-SE, 2010.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio	
		Teor de ferro	Teor de zinco
Blocos/A	6	31,75	2,11
Ambientes (A)	2	1350,17**	367,80**
Genótipos (G)	6	72,43**	77,72**
G x A	12	64,02**	7,55
Resíduo	36	11,78	0,89
CV (%)		5,65	1,98
Relação entre o maior e o menor QMR		1,55	3,02
% da interação complexa		69,38%	86,16%
Coeficiente de variação genético (CVg) (%)		4,27	6,14
Coeficiente de determinação genotípico (H^2)(%)		83,63	98,86

**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

A interação genótipo x ambiente mostrou-se complexa (acima de 50%) (Tabela 1) para ambos os caracteres, evidenciando que a seleção de genótipos de ser realizada levando-se em consideração o tipo de adaptabilidade e o grau de estabilidade de cada genótipo. As estimativas de CVg e H^2 mostram que maior variabilidade e expressão do componente genético no fenótipo foi exibido pelo teor de zinco, relativamente

ao teor de ferro.

As estimativas de médias e dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de Lin and Bins modificado por Carneiro (1998) para os teores de ferro e zinco são apresentados na Tabela 2. Elas foram dispostas em ordem crescente das estimativas Pi.

A média do teor de ferro variou de 56,18 mg kg⁻¹ (4-BRS Aracê) a 63,69 mg kg⁻¹ (3-MNC00-595F-26), com média geral de 60,73 mg kg⁻¹ (Tabela 2). As estimativas de Pi geral indicam que o genótipo 2-MNC05-847B-159 apresentou adaptabilidade geral e alta estabilidade aos ambientes avaliados, sendo também o mais adaptado a condições favoráveis (menor estimativa de Pi favorável), enquanto o genótipo 3- MNC00-595F-26, o mais adaptado a condições desfavoráveis (menor estimativa de Pi desfavorável). Observa-se que a cultivar 6-BRS Xiquexique apresentou a segunda colocação em termos de médias e de estimativas de Pig, Pif e Pid, evidenciando que também apresenta boa adaptabilidade e estabilidade para o teor de ferro frente aos ambientes avaliados.

Tabela 2 Estimativas de adaptabilidade e estabilidade (Pig=Pi geral, Pif=Pi favorável e Pid=Pi desfavorável) para os teores de ferro, de acordo com o método de Lin e Bins modificado por Carneiro (1998), obtidas a partir da avaliação de sete genótipos de feijão-caupi em três ambientes da região Nordeste do Brasil. Teresina-PI/Coroatá-MA/Nossa Senhora das Dores-SE, 2010.

Genótipo	Teor de ferro (mg kg ⁻¹)					
	Média	Pig	Genótipo	Pi f	Genótipo	Pid
2-MNC05-847B-159	62,29	11,84	2	16,16	3	0,00
3-MNC00-595F-26	63,69	15,58	6	23,04	6	1,11
6-BRS Xiquexique	63,22	15,73	3	23,38	1	182
5-MNC05-820B-173-2-2	61,32	17,75	5	24,04	7	2,53
1-MNC05-843B-88	60,78	29,26	1	42,98	2	3,20
4-BRS Aracê	56,18	64,30	4	84,44	5	5,18
7-IT-97K-1042-8	57,60	71,34	7	105,75	4	24,01
Média geral	60,73					

A média do teor de zinco variou de 44,40 mg kg⁻¹ (4-MNC05-820B-173-2-2) a 53,00 mg kg⁻¹ (3-MNC00-595F-26), com média geral de 47,59 mg kg⁻¹ (Tabela 3). As estimativas de Pi geral indicam que o 3- MNC00-595F-26 apresentou adaptabilidade geral e alta estabilidade aos ambientes avaliados, sendo adaptado tanto a condições favoráveis (menor estimativa de Pi favorável) quanto desfavoráveis (menor estimativa de Pi desfavorável). Observa-se que a linhagem 7-IT-97K-1042 apresentou a segunda colocação em termos de médias e de estimativas de Pig, Pif e Pid, evidenciando que também apresenta boa adaptabilidade e estabilidade para o teor de zinco nos ambientes avaliados.

Tabela 3 Estimativas de adaptabilidade e estabilidade (Pig=Pi geral, Pif=Pi favorável e Pid=Pi desfavorável) para os teores de zinco, de acordo com o método de Lin e Bins modificado por Carneiro (1998), obtidas a partir da avaliação de sete genótipos de feijão-caupi em três ambientes da região Nordeste do Brasil. Teresina-PI/Coroatá-MA/Nossa Senhora das Dores-SE, 2010.

Genótipo	Teor de zinco (mg kg ⁻¹)				
	Pig	Genótipo	Pif	Genótipo	Pid
2-MNC05-847B-159	0,00	3	0,00	3	0,00
3-MNC00-595F-26	5,47	7	4,92	7	6,59
6-BRS Xiquexique	19,97	1	19,91	6	10,58
5-MNC05-820B-173-2-2	20,60	4	24,44	1	20,10
1-MNC05-843B-88	26,10	6	25,62	2	22,58
4-BRS Aracê	28,04	2	30,77	5	26,14
7-IT-97K-1042-8	34,32	5	38,40	4	29,41
Média geral					

A interação predominante foi a do tipo complexa, para ambos os caracteres, sendo maior para o teor de zinco. Maior variabilidade e expressão do componente genético no fenótipo foi apresentado pelo o teor de zinco. O genótipo MNC05-847B-159 apresentou adaptabilidade geral e alta estabilidade aos ambientes avaliados para o teor de ferro, sendo também o mais adaptado a condições favoráveis, enquanto o genótipo MNC00-595F-26, o mais adaptado a condições desfavoráveis. O genótipo MNC00-595F-26 apresentou adaptabilidade geral e alta estabilidade aos ambientes avaliados para o teor de zinco.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos Programas de Biofortificação HarvestPlus e BioFORT pelo auxílio financeiro na condução da pesquisa.

Referências

- Carneiro PCS (1998) **Novas metodologias de análise de adaptabilidade e estabilidade de comportamento**. 1998. 168p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- Carvalho LCB (2011) **Cruzamentos dialélicos visando à obtenção de populações produtivas biofortificadas para os teores de ferro, zinco e proteína em feijão-caupi**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 90p.
- Cruz CD (2005) **Programa Genes: biometria**. Editora UFV, Viçosa, 382p.
- Freire Filho FR et al. (2005) **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, 519p.
- Freire Filho FR et al. (2011) **Feijão-caupi: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Embrapa Meio-Norte, Teresina, 81p.
- Moura JO (2011) **Potencial de populações segregantes de feijão-caupi para produção e biofortificação dos grãos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 81p.
- Nutti et al. (2009) Biofortificação do feijão-caupi no Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2. Anais. Embrapa Amazônia Oriental, Belém. 1 CD-ROM.
- Rocha MM et al. (2011a) Variabilidade genética de acessos de feijão-caupi para os teores de ferro, zinco e proteína nos grãos. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 4. Anais. Embrapa Agroindústria de Alimentos/Embrapa Meio-Norte, Rio de Janeiro/Teresina, 1 CD-ROM.
- Rocha MM et al. (2011b) Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijão-caupi para os teores de ferro e zinco nos grãos. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 4. Anais. Embrapa Agroindústria de Alimentos/Embrapa Meio-Norte, Rio de Janeiro/Teresina. 1 CD-ROM.
- Sarruge JR and Haage HP (1974) **Análise química em plantas**. ESALQ, Piracicaba, 56p.