

EFEITO DA INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE NO GANHO ESPERADO COM SELEÇÃO EM FEIJOEIRO-COMUM

EFFECT OF ENVIRONMENT X GENOTYPE INTERACTION IN GAIN EXPECTED WITH SELECTION IN COMMON BEAN

Saulo M. Martins¹; Odilon P. Morais Júnior²; Helton S. Pereira^{3*}; Leonardo C. Melo^{4**}, Thiago L. P. O. Souza⁵, Luís C. Faria⁵

Introdução. O feijoeiro-comum destaca-se por ser um dos principais alimentos consumidos pelos brasileiros. Devido à variabilidade da espécie é possível observar diversos grupos comerciais que atendem as diferentes demandas regionalizadas, como é o caso do feijão preto, que atende 18% dos brasileiros (CTSBF, 2010). Obter cultivares altamente produtivas torna-se uma necessidade iminente, como forma de incentivo da continuidade e viabilidade do produtor no campo e a garantia da produção de feijão na mesa do consumidor. Contudo, a diversidade de ambientes aos quais a cultura é submetida remete ao fenômeno da interação genótipos x ambientes (GxE), sendo o principal complicador no trabalho do melhorista. A existência da interação, para Cruz & Regazzi (1997), está associada a dois fatores: O primeiro, denominado simples, é proporcionado pela diferença na variabilidade fenotípica entre genótipos; o segundo, denominado complexo, é dado pela falta de correlação entre os genótipos. A interação GxE reduz a correlação entre o fenótipo e o genótipo, alterando o ranqueamento dos genótipos em diferentes ambientes. Além disso, muitas vezes a seleção de um caráter com base em apenas um ambiente acarreta ganhos inferiores e até mesmo negativos em outro ambiente, tornando ainda mais difícil a identificação e seleção de genótipos superiores. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da interação genótipos x ambientes e o reflexo do ganho com a seleção em determinados ambiente, por meio da seleção praticada em outros ambientes, para produtividade de grãos.

Material e Métodos Foram avaliadas no ano 2011, 25 linhagens e cinco testemunhas (BRS Valente, BRS Esplendor, IPR Uirapuru, BRS Campeiro e IPR Tiziu) de feijoeiro-comum com grãos tipo preto, em cinco ambientes (combinação de local e época de plantio). O delineamento experimental empregado em todos os ambientes foi de blocos completos ao acaso com três repetições. As parcelas foram constituídas por duas linhas de quatro metros de comprimento, espaçadas com 45 cm entre linhas. Na avaliação foi considerada a produtividade de grãos (PG, em kg ha⁻¹). Os dados de PG foram submetidos à análise de variância individual e conjunta, para qual também foi estimada a acurácia seletiva (Rezende e Duarte, 2007), visando à verificação da precisão experimental nos ensaios. As correlações de Pearson foram estimadas entre as médias dos genótipos nos diferentes ambientes, para produtividade de grãos. Foram também estimados os ganhos esperados com a seleção direta praticada em cada ambiente, pela expressão $GS_i = DS_i \cdot h_i^2$, em que GS_i é o ganho esperado com a seleção direta praticada no ambiente i ; DS_i é o diferencial de seleção com base nos indivíduos de melhor desempenho no ambiente i ; e h_i^2 é a herdabilidade do caráter no ambiente i . Os ganhos esperados com a resposta indireta à seleção, realizada nos diferentes ambientes, foram calculados por meio da expressão $GS_{i(j)} = DS_{i(j)} \cdot h_i^2$, em que $GS_{i(j)}$ é o ganho no ambiente i , com a seleção realizada no ambiente j ; $DS_{i(j)}$ é o diferencial de seleção no ambiente i , no qual os indivíduos selecionados são os de melhor desempenho no ambiente j ; e h_i^2 é a herdabilidade do caráter no ambiente i , conforme descrito Cruz et al. (2004). Foi empregada intensidade de seleção de 20%. Todas as análises foram procedidas com o auxílio do aplicativo Genes (Cruz, 2013).

¹ Mestrando do Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas – UFG/Goiânia. Bolsista da CAPES. E-mail: munizsauro1990@hotmail.com

² Eng. Agrôn., Ms., Doutorando do Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas – UFG/Goiânia. Bolsista CAPES. E-mail: odilonpmorais@gmail.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 **(Coorientador)

⁵ Eng. Agrôn., Dr., Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO. E-mail: thiago.souza@embrapa.br; luis.faria@embrapa.br

Resultados e discussão. O coeficiente de variação experimental para as análises de variância individuais e conjunta variou de baixo a médio, indicando que a precisão experimental foi satisfatória para avaliação de produtividade de grãos, um caráter muito influenciado pelo ambiente (Pimentel-Gomes, 2000). A boa precisão experimental também pôde ser verificada pela estimativa de acurácia seletiva (AS), com magnitude de 0,90, considerada muito alta, de acordo com Rezende e Duarte (2007). Tanto para o efeito de genótipos, como de ambientes e de interação GxE houve diferença significativa pelo teste F ($p \leq 0,01$), o que remete a presença de variabilidade genética entre os genótipos, heterogeneidade entre os ambientes, bem como a resposta diferencial dos genótipos entre ambientes, justificando o estudo da influência da interação GxE sobre os ganhos genéticos (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância conjunta para produtividade de grãos, em kg ha⁻¹, envolvendo 30 genótipos (linhagens e cultivares) de feijoeiro-comum do grupo preto, em cinco ambientes.

FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
Blocos/Amb.	10	1095583	109558		
Genótipos (G)	29	24098902	830997**	5,14	0,0000
Ambientes (E)	4	160344398	40086100**	365,89	0,0000
GxE	116	36390654	313713**	1,94	0,0001
Resíduo	290	46928485	161822		
Total	449	268858023			
Média Geral	2427				
CV, % ¹	17				
AS	0,90				

¹CV, %: coeficiente de variação; ²As: acurácia seletiva; ^{ns}, * e **: teste F não significativo, significativo a 5% e 1%, respectivamente.

O ambiente A1 (Santo Antônio de GO/Inverno) não se correlacionou com os demais ambientes. Essa ausência de associação pode ser explicada por ser o único ensaio de inverno. A safra de Inverno na grande maioria é conduzida por médios e grandes produtores, com investimento em tecnologia como a irrigação. A incidência de pragas e doenças é muito menor, refletindo em maior produtividade, muito acima da safra das águas e secas. Os três ambientes da safra da seca (Ponta Grossa, PR/Seca, Lambari, MG/Seca e Santo Antônio de GO/Seca) apresentaram-se correlacionados, indicando que esses ambientes exibiram alguma semelhança, provavelmente devido à mesma safra de cultivo. Já o ambiente A4 (Ponta Grossa, PR/Águas), único da safra das águas, se correlacionou com dois dos ambientes da seca, A2, que foi conduzido no mesmo local, e A3, mesmo sendo de local e safra diferente. As correlações entre ambientes que foram significativas apresentaram baixa magnitude, indicando que a avaliação nesses ambientes simultaneamente é importante na obtenção precisa do comportamento médio dos genótipos (Tabela 2).

Tabela 2. Estimativas de coeficientes de correlações de Pearson entre médias dos genótipos nos diferentes ambientes, para o caráter produtividade de grãos, em kg ha⁻¹.

Ambientes	A2	A3	A4	A5	Média‡
A1	0,21 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,60**
A2		0,41*	0,48**	0,33*	0,69**
A3			0,35*	0,38*	0,63**
A4				0,18 ^{ns}	0,75**
A5					0,55**

‡ corresponde à média da análise conjunta. Para todas as estimativas de coeficientes de correlação - ns, * e **: teste T não significativo, significativo a 5% e 1%, respectivamente. A1 - Santo Antônio de GO/Inverno; A2 - Ponta Grossa, PR/Seca; A3 - Lambari, MG/Seca; A4 - Ponta Grossa, PR/Águas; A5 - Santo Antônio de GO/Seca.

A correlação baixa indica que o genótipo superior em um ambiente, normalmente, não terá o mesmo desempenho em outro ambiente, em virtude da interação GxE (Tabela 2). Os ganhos em PG obtidos pela seleção direta em cada ambiente sempre foram superiores ao obtidos pela seleção indireta em outros ambientes, assim como esperado (Coimbra et al., 1999). O ambiente A1 (Santo Antônio de GO/Inverno) foi o que proporcionou maior ganho pela seleção direta e conseqüentemente maior ganho indireto na média conjunta. No ambiente A2 (Ponta Grossa, PR/Seca) teve menor ganho pela seleção direta e conseqüentemente menor ganho indireto na média conjunta. Os ganhos negativos obtidos pela seleção indireta nos ambientes A1 (Santo Antônio de GO/Inverno) e A4 (Ponta Grossa, PR/Águas) pela seleção direta nos ambientes A2 (Ponta Grossa, PR/Seca) e A5, respectivamente, são devido às altas médias iniciais (\bar{X}_0) nos ambientes A1 e A4, que contribuíram para geração de diferenciais de seleção negativos. O ambiente A1, seguido pelo A4 são os que maximizam os ganhos em todos os ambientes considerados, além disso, o ambiente A1 é o que mais capitaliza a interação GxE, com maiores ganhos genéticos em função da seleção direta. Pode-se observar que a magnitude dos ganhos indiretos obtidos pelas respostas correlacionadas entre os ambientes é mais influenciada pela média inicial dos ambientes submetidos à seleção indireta do que pelas correlações entre os ambientes. A seleção direta com base na média dos ambientes apresentou a segunda maior média para ganho total considerando os cinco ambientes, atrás apenas dos ganhos obtidos pela seleção direta no ambiente A1. O que mostra ser uma estratégia muito atrativa para a seleção de linhagens em gerações avançadas em feijoeiro-comum, como forma de obter ganhos genéticos no programa de melhoramento para uma ampla faixa de ambientes representativos da região de futuro lançamento dos cultivares comerciais (Tabela 3).

Tabela 3. Estimativas de herdabilidade, no sentido restrito, entre médias de genótipos, ganhos esperados com a seleção direta (em negrito) e indireta (resposta correlacionada), e porcentual de ganhos (entre parênteses), para os cinco ambientes (A1, A2,... A5)* e na média dos ambientes (conjunto), para o caráter produtividade de grãos, em kg ha⁻¹.

Seleção no ambiente	\hat{h}_P^2	Resposta correlacionada						Total de ganho 5 ambientes
		A1	A2	A3	A4	A5	Conjunto‡	
A1	0,70	448,38 (17,66)	58,06 (2,31)	102,13 (4,94)	162,98 (4,78)	86,74 (5,38)	172,08 (7,09)	(35,08)
A2	0,45	-29,88 (-1,18)	152,98 (6,09)	15,16 (0,73)	126,22 (3,70)	38,36 (2,38)	60,66 (2,50)	(11,73)
A3	0,47	52,11 (2,05)	17,53 (0,70)	217,43 (10,52)	53,05 (1,56)	62,53 (3,88)	76,74 (3,16)	(18,71)
A4	0,62	215,38 (8,48)	68,90 (2,74)	109,24 (5,29)	464,28 (13,62)	-1,86 (-0,12)	121,66 (5,01)	(30,02)
A5	0,70	115,47 (4,55)	83,98 (3,35)	8,40 (0,41)	-55,98 (-1,64)	232,33 (14,41)	76,98 (3,17)	(21,07)
Conjunto‡	0,62	207,91 (8,19)	103,96 (4,14)	134,46 (6,51)	353,57 (10,37)	62,87 (3,90)	173,05 (7,13)	(33,11)

‡ Conjunto corresponde às seleções e às respostas correlacionadas sobre as médias da análise conjunta de ambientes. *A1 - Santo Antônio de GO/Inverno; A2 - Ponta Grossa, PR/Seca; A3 - Lambari, MG/Seca; A4 - Ponta Grossa, PR/Águas; A5 - Santo Antônio de GO/Seca.

Dentre os seis genótipos selecionados com base na seleção direta, apenas a cultivar IPR Tiziu e as linhagens CNFP 15670 e CNFP 15695, foram selecionadas em três dos cinco ambientes. Em nenhum dos ambientes as seis melhores linhagens coincidiram com a seleção baseada na média

conjunta, porém, destaca-se o ambiente Santo Antônio de GO/Inverno, que apresentou quatro linhagens coincidentes (Tabela 4). É importante que utilize os cinco ambientes na seleção das melhores, mas na impossibilidade disso, recomenda-se a utilização do ambiente Santo Antônio de GO/Inverno.

Tabela 4. Genótipos selecionados com base na seleção direta para cada um dos cinco ambientes (A1, A2,... A5)* e na média dos ambientes (conjunto), para o caráter produção de grãos, em kg ha⁻¹.

A1	A2	A3	A4	A5	Conjunto [‡]
CNFP 15695	CNFP 15670	CNFP 15677	CNFP 15666	BRS Valente	IPR Tiziu
CNFP 15670	CNFP 15666	CNFP 15665	IPR Tiziu	CNFP 15673	CNFP 15670
CNFP 15676	CNFP 15669	CNFP 15684	IPR Uirapuru	CNFP 15697	CNFP 15695
IPR Tiziu	CNFP 15684	IPR Tiziu	CNFP 15669	CNFP 15670	CNFP 15662
CNFP 15662	CNFP 15664	CNFP 15695	CNFP 15665	BRS Campeiro	CNFP 15666
CNFP 15692	CNFP 15697	CNFP 15692	CNFP 15662	CNFP 15695	CNFP 15665

[‡] Conjunto corresponde às seleções sobre as médias da análise conjunta de ambientes. *A1 - Santo Antônio de GO/Inverno; A2 - Ponta Grossa, PR/Seca; A3 - Lambari, MG/Seca; A4 - Ponta Grossa, PR/Águas; A5 - Santo Antônio de GO/Seca.

Conclusão. O ambiente (Santo Antônio de GO/Inverno) é o que mais capitaliza a interação genótipo x ambientes, com maiores ganhos genéticos em função da seleção direta. A seleção direta com base na média dos ambientes apresentou a segunda maior média para ganho total considerando os cinco ambientes. As linhagens CNFP 15670 e CNFP 15695 tiveram ótimo desempenho produtivo em quase todos os ambientes, com potencial acima das próprias cultivares.

Agradecimentos. À Universidade Federal de Goiás pela oportunidade de estudo, a CAPES pela concessão da bolsa de mestrado e doutorado ao primeiro e segundo autores, respectivamente; a Embrapa Arroz e Feijão pelo financiamento do trabalho; e ao CNPq pela concessão de bolsa de produtividade em desenvolvimento tecnológico e extensão inovadora para os dois últimos autores.

Referências.

COIMBRA, J. L. M.; GUIDOLIN, A. F.; CARVALHO, F. I. F.; COIMBRA, S. M. M.; HEMP, S. Reflexos da interação genótipo x ambiente e suas implicações nos ganhos de seleção em genótipos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 29, n. 3, p. 433-439, 1999.

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

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

CRUZ, C.D., REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa: UFV, 1997. 390 p.

CTSBF. Comissão Técnica Sul-brasileira de Feijão. **Informações técnicas para o cultivo de feijão na Região Sul brasileira 2009**. EPAGRI, Florianópolis, 164p. 2010.

PIMENTEL GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 14 ed. São Paulo: Nobel, 2000. 466 p.

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