

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE PRODUTIVA DE LINHAGENS DE SOJA NA MACRORREGIÃO SOJÍCOLA 3, BRASIL

YIELD ADAPTABILITY AND STABILITY OF SOYBEAN LINES IN THE CROPPING MACROREGION 3, BRAZIL

CARDOSO JÚNIOR, L.A.¹; MELLO FILHO, O.L.²; DUARTE, J. B.³; ZITO, R.K.²; VAZ BISNETA, M.²; CÂMARA, A.R.⁴; NUNES JUNIOR, J.⁴.

¹Bolsista CNPq. Universidade Federal de Goiás, UFG, Goiânia, GO; e-mail: luizantonio.cj@hotmail.com

²Embrapa Soja, Goiânia, GO.

³ Universidade Federal de Goiás - UFG, Goiânia, GO.

⁴ Centro Tecnológico de Pesquisas Agropecuária Ltda, Goiânia, GO

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar a adaptabilidade e estabilidade de 25 genótipos de soja (21 linhagens experimentais e 4 cultivares testemunhas), de ciclo precoce, avaliados em oito locais dentro da Macrorregião sojícola 3 (301, 302, 303 e 304), na safra 2010/2011. Para isso, utilizou-se a análise AMMI (modelo de efeitos principais aditivos e interação multiplicativa), aplicada a dados de rendimento de grãos de ensaios delineados em blocos casualizados, com quatro repetições. Todos os sete eixos principais da análise (IPCA) estiveram relacionados ao padrão da interação de genótipos com ambientes (GxA), segundo a significância das respectivas somas de quadrados. Com isso, não houve descarte de ruído adicional, além daquele associado ao erro experimental médio, no ajuste das médias de tratamentos (genótipos) e das estimativas de interação GxA. As linhagens G20, G8, G21 e as testemunhas G23 e G24 foram as mais estáveis e com boas médias de produtividade (adaptabilidade geral). O ambiente A2 (Rio Verde) foi o mais favorável à manifestação da produtividade dos genótipos, e o ambiente A6 (Itumbiara), aquele com as piores produtividades.

Introdução

Os programas de melhoramento de plantas visam à obtenção de genótipos com alta produtividade, estabilidade de produção e ampla adaptabilidade aos mais variados ambientes da região para a qual são recomendados. A interação de genótipos com ambientes (GxA), definida como a resposta diferencial dos genótipos à variação ambiental, dificulta a seleção de genótipos amplamente adaptados (SILVA e DUARTE, 2006).

Para avaliar a magnitude dessa interação associada aos genótipos sob teste são realizadas as análises de adaptabilidade e estabilidade. Essas análises são, em geral, procedimentos estatísticos que permitem, de algum modo, identificar as cultivares de comportamento mais estável e que respondem previsivelmente às variações ambientais.

Uma análise que pode ser utilizada para esses estudos é a análise AMMI (*additive main effects and multiplicative interaction analysis*). Esta análise combina análise de variância (ANOVA) e análise de componentes principais (ACP) em um único modelo, aditivo quanto aos efeitos principais de genótipos e ambientes, e multiplicativo no detalhamento dos efeitos da interação (CHAVES, 2001).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a adaptabilidade e estabilidade de rendimento de linhagens experimentais e cultivares de soja de ciclo precoce, em locais representativos da Macrorregião sojícola 3, com base em dados da safra 2010/2011.

Material e Métodos

Os experimentos foram conduzidos em oito locais do Estado de Goiás, pertencentes à Macrorregião sojícola 3 (Tabela 1), no âmbito do Programa de Melhoramento de Soja. O Programa é conduzido mediante parceria entre a Emater-GO (Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária), o CTPA (Centro Tecnológico para Pesquisas

Agropecuárias) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Soja). Os ensaios foram instalados em delineamento de blocos completos casualizados, com quatro repetições (blocos) e 25 tratamentos. Estes corresponderam a 21 linhagens experimentais, identificadas como genótipos G1 a G21, mais quatro cultivares testemunhas, G22 a G25; todos de ciclo precoce de maturação.

Tabela 1. Locais de avaliação com as discriminações da microrregião sojícola, altitude, latitude e longitude.

Microrregião sojícola	Local	Altitude(m)	Latitude	Longitude	Ambiente
302	Itumbiara	495	18°24'31"S	49°11'29"O	A6
302	Goiatuba	815	17°58'45"S	49°21'46"O	A1
303	Piracanjuba	777	17°35'20"S	48°46'2"O	A7
304	Goiânia	762	16°38'4"S	49°12'14"O	A8
304	Smpq	1026	16°55'58"S	48°40'50"O	A5
304	Anápolis	1017	16°20'15"S	48°52'58"O	A4
301	Rio Verde	760	17°47'16"S	50°57'36"O	A2
301	Jataí	683	17°55'31"S	51°42'47"O	A3

A parcela experimental constituiu-se de quatro fileiras de 5,0 m de comprimento. Na colheita, desprezaram-se as duas fileiras laterais e 0,50 m na extremidade das fileiras, o que resultou em área útil de 4,0 m² por parcela. A determinação da produção foi realizada obtendo-se o peso dos grãos colhidos na área útil, seguindo-se a padronização de umidade para 13%.

Foram realizadas análises de variância, individuais e conjunta, para avaliar a diferenciação produtiva dos genótipos dentro de cada local, e, também, a magnitude e significância dos efeitos ambientais e da interação GxA. O detalhamento da interação, quanto à adaptabilidade e estabilidade dos genótipos, foi realizado por análise AMMI (ZOBEL et al. 1988). A análise combina ANOVA e ACP em um único modelo, aditivo quanto aos efeitos principais de genótipo e ambiente e multiplicativo no que tange à interação entre estes fatores (DUARTE e VENCOSKY 1999):

$$Y_{ij} = \mu + g_i + e_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + \rho_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

em que: Y_{ij} é o valor médio observado do genótipo i ($i = 1, 2, \dots, g$) no ambiente j ($j = 1, 2, \dots, a$); μ é a média geral; g_i é o efeito do genótipo i ; e_j é o efeito do ambiente j ; $\sum_{k=1}^n \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk}$: termo que designa o "padrão" da interação do genótipo i com o ambiente j , resultante da partição multiplicativa deste efeito por ACP; ρ_{ij} : resíduo adicional ("ruído") passível de remoção no resíduo do ajuste dos efeitos principais (interação tradicional); e ε_{ij} é o erro aleatório médio, assumido i.i.d. $\sim N(0, \sigma_e^2)$.

Esse modelo procura explicar a interação GxA por meio de uma aproximação de posto n da matriz de resíduos do ajuste dos efeitos principais (interação tradicional); sendo n , preferencialmente, bem menor que p , o posto original desta matriz. Isto pode ser obtido por decomposição singular ou por ACP; sendo que, se poucos componentes ou eixos principais de interação (IPCA) captarem o chamado "padrão", é possível descartar "ruídos" presentes na interação tradicional, melhorando a capacidade preditiva do modelo. Para implementar a análise, empregaram-se os procedimentos GLM e IML do SAS®, conforme rotina computacional apresentada por Duarte e Vencovsky (1999).

Resultados e Discussão

Através da análise conjunta verificaram-se efeitos significativos ($p < 0,01$) de genótipos, ambientes e da interação de GxA tradicional (Tabela 2). A decomposição desta interação por análise AMMI revelou, ainda, que todos os sete eixos principais passíveis de estimação neste conjunto de dados (IPCA) também foram significativos; mostrando que, na presente pesquisa, a análise não identificou ruídos adicionais, além do erro médio, a serem descartados.

Para realizar a análise de adaptabilidade e estabilidade, a utilização do gráfico “biplot”, neste caso, não é a mais indicada, pois isto consideraria apenas o primeiro e/ou o segundo IPCA, descartando-se os demais. É fato que a interpretação da análise torna-se simples quando reduzida a uma ou duas dimensões, e um dos apelos do emprego da análise AMMI é a possibilidade de representar graficamente, via “biplot”, a adaptabilidade dos genótipos aos ambientes de teste. Isto, porém, requer que o número de eixos principais significativos seja, no máximo, um ou dois; o que não ocorreu no presente estudo, pois tal representação implicaria na perda de, pelo menos, 40% da informação associada à soma de quadrados da interação GxA original. Assim, a análise de adaptabilidade e estabilidade foi aqui realizada observando-se diretamente as estimativas de interação, na matriz resultante do ajuste do modelo AMMI com os sete componentes principais; ou seja, do modelo completo (AMMI *full*) com todos os eixos de interação estimados (Tabela 3).

Tabela 2. Resumo da análise de variância conjunta para produtividade de grãos (kg.ha⁻¹) em soja, com desdobramento da interação original GxA pelo modelo AMMI, relativa a 25 genótipos de soja avaliados em oito ambientes da Macroregião sojícola 3, com indicação da proporção da soma de quadrados GxA explicada e acumulada pelos respectivos componentes principais (IPCA).

Fontes de Variação	GL	SQ _{Explicada} (%)	SQ _{Acumulada} (%)	QM
Genótipos (G)	24	-	-	190.977,30**
Ambientes (A)	7	-	-	6.845.101,37**
Interação (GxA)	168	-	-	111.194,79**
IPCA 1	30	35,91	35,91	339.326,36**
IPCA 2	28	21,70	57,61	219.692,90**
IPCA 3	26	15,73	73,34	171.516,26**
IPCA 4	24	10,21	83,55	120.626,85**
IPCA 5	22	7,94	91,49	102.249,46**
IPCA 6	20	5,01	96,50	71.080,50**
IPCA 7	18	3,50	100,00	55.111,78**
Resíduo	461			24.567,59

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

Os genótipos mais estáveis, isto é, com médias elevadas e reduzidas somas de quadrados (SQ) para o padrão da interação GxA, foram G8, G20, G23, G24 e G21 (Tabela 3). Suas produtividades médias foram, respectivamente, 3234,8 kg.ha⁻¹, 3203,5 kg.ha⁻¹, 3152,4 kg.ha⁻¹, 3023,9 kg.ha⁻¹ e 2979,5 kg.ha⁻¹. Os genótipos com as menores SQ são os que menos contribuem para o padrão estimado da interação GxA; assim são considerados de adaptação ampla, o que se constitui, ao lado de elevados rendimentos (médias), num dos principais objetivos de um programa melhoramento. Quanto às adaptações específicas, G1 foi o genótipo que resultou no maior valor de interação, com o ambiente A7 (Piracanjuba), ambiente ao qual se mostrou especificamente adaptado (capitaliza 1337 kg.ha⁻¹ em sua média apenas em decorrência desta adaptação). Este genótipo, contudo, possui baixa adaptação ao ambiente A8 (Goiânia), onde sua produtividade média é diminuída em 600 kg.ha⁻¹, se cultivado neste local. Raciocínio similar pode ser aplicado aos outros genótipos com SQ elevadas. Por exemplo, o genótipo G4, que apresentou a maior produtividade média (3288,3 kg.ha⁻¹), mostrou-se bem adaptado aos ambientes A6 (Itumbiara) e A8 (Goiânia), porém, pobremente adaptado ao ambiente A1 (Goiatuba). Também merece destaque a adaptação preferencial do genótipo G22 com o ambiente A6 (835,2 kg.ha⁻¹), contrariamente a sua não adaptação ao ambiente A4 (Anápolis), onde sua média reduziria quase 1000 kg.ha⁻¹. Outra pobre adaptação produtiva ocorreu na combinação do genótipo G3 e o ambiente A1, que resultou numa estimativa de interação igual a -1.109,4 kg.ha⁻¹. Enfim, esse tipo de interpretação subsidia grandemente a recomendação de cultivares para as condições de cultivo representadas pelos ambientes avaliados.

Quanto aos ambientes, o A2 (Rio Verde) foi o que resultou na maior média de produtividade (3.468,9 kg.ha⁻¹), sendo o ambiente avaliado com as melhores condições agronômicas para o cultivo da soja na região (Tabela 3). Itumbiara (A6) apresentou a menor média

(2241,1 kg.ha⁻¹), sendo, por isso, considerado o ambiente com piores condições entre as aqui avaliadas

Tabela 3. Matriz com estimativas de médias genotípicas e ambientais, e dos efeitos da interação dos genótipos com os ambientes, acrescidos das somas de quadrados (SQ) destes efeitos para cada genótipo, após ajuste do modelo AMMI completo (AMMI 7).

Genótipo	Média Genótipo	Locais								SQ
		1	2	3	4	5	6	7	8	
G1	3.272,4	492,7	-90,5	-475,3	-82,6	-106,5	-466,1	1.337,0	-608,7	2.870.218,7
G2	2.831,1	422,7	-169,6	-252,7	-463,9	-65,8	-178,6	126,2	581,6	876.920,1
G3	2.895,0	-1.109,4	-327,2	-64,7	250,7	119,0	325,7	755,2	50,6	2.097.912,4
G4	3.288,3	-1.108,3	12,4	212,1	294,5	-279,8	798,1	-242,5	313,7	2.232.620,2
G5	2.969,0	412,9	-665,0	-169,1	-34,0	41,1	-219,8	162,5	471,6	941.195,1
G6	2.889,3	-619,2	-491,4	284,7	-231,8	366,3	471,6	-7,3	227,1	1.167.873,3
G7	2.874,2	387,6	146,0	-288,6	378,1	90,2	5,4	-571,9	-146,9	754.575,2
G8	3.234,8	110,2	4,3	-5,3	-254,3	320,5	455,3	-549,6	-81,2	695.618,5
G9	2.654,9	425,7	-608,5	351,4	-191,7	-131,2	175,2	-60,3	39,3	764.849,2
G10	2.656,5	369,2	344,3	-463,7	31,5	-206,4	-711,8	241,2	395,9	1.235.122,7
G11	2.669,2	424,5	94,5	106,4	-487,1	24,5	-318,3	-83,2	238,8	603.588,9
G12	2.987,0	590,6	271,7	102,2	-442,9	-300,8	384,5	-707,2	101,7	1.378.094,0
G13	3.006,0	545,3	-80,4	-239,3	319,0	219,7	-391,7	-807,9	435,5	1.506.838,4
G14	2.964,3	163,2	266,5	-34,3	-196,9	315,5	-331,9	-43,8	-138,1	368.330,8
G15	2.578,6	93,8	-55,8	-104,2	55,5	709,2	-421,6	-307,8	30,8	802.286,0
G16	2.951,5	-313,4	204,8	217,3	166,3	-115,0	-131,9	-11,0	-17,1	246.057,0
G17	2.853,4	-496,0	600,8	749,8	220,8	-455,5	-185,4	498,0	-932,4	2.577.175,9
G18	2.755,0	-685,1	-75,3	192,1	282,0	258,4	359,3	31,5	-363,0	920.076,2
G19	2.787,5	-723,2	23,3	898,6	306,9	174,4	-95,0	15,1	-600,0	1.824.892,2
G20	3.203,5	657,1	-44,7	-330,7	44,2	155,9	-396,6	-31,7	-53,4	730.558,6
G21	2.979,5	-9,6	133,0	-91,0	260,7	-229,9	164,8	-310,2	82,1	277.033,2
G22	3.051,9	279,3	-228,9	-197,4	-977,3	-156,9	835,2	216,6	229,5	1.946.268,0
G23	3.152,4	-303,1	270,7	80,0	249,6	-204,3	42,0	87,8	-222,6	334.607,3
G24	3.023,9	-192,8	189,4	87,3	213,3	-650,8	13,0	227,3	113,2	614.312,6
G25	2.956,4	185,4	275,6	-565,5	289,6	108,3	-181,3	35,9	-147,9	581.749,2
Média ambiente		2.842,6	3.468,9	2802,9	3.090,4	2.508,2	2.241,1	3.266,8	3.294,4	-

Conclusões

As linhagens G8, G20 e G21 e as testemunhas G23 e G24 foram os genótipos mais estáveis e com melhor média de produtividade, sendo, inclusive, as linhagens recomendadas para registro e proteção na Macrorregião sojícola 3.

Quanto às adaptações específicas, G1 foi o genótipo que resultou no maior valor de interação com o ambiente A7 (Piracanjuba); o genótipo G4, que apresentou a maior produtividade média (3288,3 kg.ha⁻¹), mostrou-se bem adaptado aos ambientes A6 (Itumbiara) e A8 (Goiânia) e o genótipo G22 se adaptou bem com o ambiente A6 (Itumbiara) (835,2 kg.ha⁻¹).

O ambiente A2 (Rio Verde) foi o ambiente com as melhores médias de produtividade e o ambiente A6 (Itumbiara) foi o ambiente com as piores, representando bem a variação de condições experimentais e ambientais na macrorregião sojícola 3.

Referências

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 de plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p.675-712.

DUARTE, J. B.; VENCOVSKY, R. **Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise AMMI**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. 60p. (Série Monografias, 9).

SILVA, W. C. J.; DUARTE, J. B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.41, n.1, p.23-30, jan. 2006.