

Estabilidade e adaptabilidade produtiva em linhagens de soja de ciclo médio

Maurisrael de Moura Rocha¹, Natal Antonio Vello², Ângela Celis de Almeida Lopes³,
Maria Clideana Cabral Maia⁴

RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar 38 linhagens de soja de ciclo médio quanto à adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos por meio da ecovalência. As linhagens foram avaliadas em 12 ambientes, representados pela combinação de quatro anos agrícolas, 1996/97, 1997/98, 1998/99 e 1999/00, com três áreas experimentais do município de Piracicaba, ESALQ, Anhembi e Areão. Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, com duas repetições. A análise de variância constatou diferenças significativas ($P < 0,01$) para linhagens (G), ambientes (E) e interação GE. A interação anos x locais foi o efeito que contribuiu mais para a variação de ambientes, enquanto a interação genótipos x anos foi responsável pela maior parte da interação GE. As linhagens USP 93-2316 e USP 93-1106 apresentaram melhor adaptabilidade para a produtividade de grãos. A linhagem USP 93-2680 é altamente instável, mas aproveita vantajosamente os efeitos do ambiente. As linhagens USP 93-1119 e USP 93-2306 reúnem genes para adaptabilidade e estabilidade, e a última é altamente previsível.

Palavras-chave: *Glycine max*, interação genótipos x ambientes, previsibilidade.

ABSTRACT

Yield stability and adaptability in mid-cycle soybean lines

This work aimed to evaluate 38 mid-cycle soybean lines regarding grain yield adaptability and stability through ecovalence. The lines were evaluated in 12 environments represented by the combination of four agricultural years - 1996/97, 1997/98, 1998/99 and 1999/00 with three experimental areas of the municipality of Piracicaba, SP, Brazil - ESALQ, Anhembi and Areão. The experiments were arranged in a randomized complete block design, with two replications. The variance analysis showed significant differences ($P < 0.01$) for genotypes (G), environments (E) and GE interaction. The year x location effect contributed the most for the environmental variation, while the genotype x year was responsible for most of GE interaction. The lines USP 93-2316 and USP 93-1106 presented better adaptability for grain yield. The line USP 93-2680 is highly unstable, but takes usefully the effects of the environment. USP 93-1119 and USP 93-2306 combine genes for adaptability and stability, being the latter highly predictable.

Key words: *Glycine max*, genotype x environment interaction, predictability.

Recebido para publicação em dezembro de 2007 e aprovado em novembro de 2009

¹Engenheiro-Agrônomo, Doutor. Embrapa Meio-Norte, Caixa Postal 01, 64006-220 Teresina, Piauí, Brasil. mmrocha@cpamn.embrapa.br

² Engenheiro-Agrônomo, Doutor. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, Departamento de Genética, Caixa Postal 83, 13400-970, Piracicaba, São Paulo, Brasil. naavello@esalq.usp.br

³ Engenheira-Agrônoma, Doutora. Universidade Federal do Piauí, CCN, Departamento de Biologia, Campus Universitário Ministro Petrônio Portella, B. Ininga, 64049-550 Teresina, Piauí, Brasil. acalopes@ufpi.br

⁴ Engenheira-Agrônoma, Doutora. Embrapa Agroindústria Tropical, Caixa Postal 3761, 60511-110 Fortaleza, Ceará, Brasil. clideana@cnpat.embrapa.br

INTRODUÇÃO

A seleção e recomendação de genótipos mais produtivos é o objetivo básico dos programas de melhoramento genético de qualquer espécie cultivada. O processo de seleção é frequentemente realizado avaliando-se o desempenho dos genótipos em diferentes ambientes (ano, local, época de semeadura). Contudo, a decisão de lançamento de novos cultivares normalmente é dificultada pela ocorrência da interação genótipos x ambientes (IGE) (Carvalho *et al.*, 2003). Em programas de melhoramento, especificamente nas etapas finais, o conhecimento da adaptabilidade e estabilidade dos genótipos é de fundamental importância, visando amenizar os efeitos da IGE e facilitar a recomendação de novos cultivares.

Diversos métodos têm sido usados para avaliar a adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de soja, dentre eles os mais usados são: a regressão linear uni-segmentada (Eberhart & Russel, 1966), a ecovalência (Wricke, 1965), a medida de superioridade (Lin & Binns, 1988), a regressão linear bissegmentada (Cruz *et al.*, 1989) e o modelo de efeitos aditivos principais e interação multiplicativa-AMMI (Zobel *et al.*, 1988).

O método da ecovalência (Wricke, 1965) tem sido utilizado para avaliar a estabilidade fenotípica em soja. Esse utiliza a variância da IGE e realiza o desdobramento em componentes atribuídos a cada genótipo. A análise estima um parâmetro denominado de ecovalência (ω_i), que mede a contribuição de cada genótipo para a soma de quadrados da IGE total; assim, o genótipo mais estável é aquele que apresenta ecovalência de mais baixa magnitude em relação aos demais.

A ecovalência foi utilizada em soja por Miranda (1999), Unêda-Trevisoli (1999), Yokomizo (1999), Prado *et al.* (2001), Rocha *et al.* (2003), Vicente *et al.* (2004), Oliveira *et al.* (2006) e Silva & Duarte (2006). De acordo com os três primeiros autores, o método mostrou-se bastante prático para avaliar a estabilidade fenotípica. No entanto, os três primeiros autores comentam que a seleção foi mais eficiente quando combinou a ecovalência com o desempenho médio dos genótipos.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a adaptabilidade e a estabilidade fenotípica da produtividade de grãos de um grupo de linhagens de soja de ciclo médio.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliadas 38 linhagens de soja de ciclo médio (136-142 dias para maturidade) no município de Piracicaba, SP. O material pertence à coleção de germoplasma do Setor de Genética Aplicada às Espécies Autógamas, Departamento de Genética, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP).

Os experimentos foram instalados nos anos agrícolas 1996/97, 1997/98, 1998/99 e 1999/00, em três áreas experimentais do município de Piracicaba, SP, aqui denominadas de locais: Anhemi, caracterizado por solo aluvial distrófico, textura médio-arenosa, relevo plano, situado na Estação Experimental Anhemi, distante cerca de 60 km da sede da ESALQ/USP; Areão, com solo do tipo Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico, textura médio-argilosa, relevo ondulado, situado na Fazenda Areão e distante cerca de 5 km da sede da ESALQ/USP; e ESALQ, com solo do tipo terra roxa estruturada, textura argilosa, relevo ondulado, situado na área experimental do Departamento de Genética (sede da ESALQ/USP). O solo das três áreas foi uniformizado com cultivo e incorporação de aveia preta (*Avena strigosa*) no inverno anterior. Piracicaba está situada a 22° 42' 30" de latitude Sul, 47° 39' 00" de longitude Oeste e altitude de 540 m acima do nível do mar.

Seguiram-se os critérios de Malavolta *et al.* (1989) para a interpretação das análises de solo relativas às áreas experimentais cujos resultados são mostrados nas Tabelas 1 e 2. As informações referentes a fotoperíodo, temperatura, umidade relativa e precipitação pluvial, obtidas durante a fase de condução dos experimentos, são apresentadas na Tabela 3.

O preparo do solo foi similar em todos os experimentos, e consistiu de uma aração e duas gradagens. A adubação foi feita no sulco, aplicando-se 0,25 kg da fórmula 4-20-20 (N-P₂O₅-K₂O) por metro linear. A inoculação das sementes foi realizada usando-se inoculante comercial a base de *Bradyrhizobium japonicum* diluído em água (800g/20 L), por meio de pulverização costal. O controle de pragas (principalmente percevejos) e de ervas daninhas foi realizado com aplicações de inseticida (Endosulfan a 1,25 L ha⁻¹) e herbicida de pré-emergência (Trifluralin a 1,8 L ha⁻¹) incorporado antes da semeadura, complementando-se o controle com capinas manuais, quando necessário. Todos os experimentos foram conduzidos na época normal de plantio da soja no Estado de São Paulo, ou seja, entre os meses de novembro e abril.

As semeaduras ocorreram na época normal de cultivo para o Estado de São Paulo, no mês de novembro (cultivo de verão). Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com duas repetições. A parcela experimental foi constituída por quatro fileiras de cinco metros de comprimento, espaçadas de 0,5 metro (10 m²). A área útil compreendeu as duas fileiras centrais, eliminando-se 0,5 m de cada extremidade (4,0 m²).

Os dados de cada experimento foram submetidos à análise de variância individual e, posteriormente, realizou-se a análise conjunta dos experimentos, sendo verificada previamente a homogeneidade das variâncias residuais. Nessa análise, os efeitos de ambientes foram considerados aleatórios e os de genótipos como fixos.

Tabela 1. Critérios utilizados para a interpretação de análises de solos para o Estado de São Paulo

Acidez	pH	Níveis	M.O (%)	P ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$)	meq/100 g			V (%)
					K	Ca	Mg	
Muito baixa	> 6,0	Muito baixo	-	6,0	0,07	-	-	≤ 25
Baixa	5,6-6,0	Baixo	1,5	7,08-15,0	0,08-0,15	0,4	0,4	26-50
Média	5,1-5,5	Médio	1,5-2,5	15,0-40,0	0,16-30,0	0,5-0,8	0,5-0,8	51-70
Alta	4,4-5,0	Alto	> 2,5	> 80,0	> 80,0	-	-	71-90
Muito alta	<4,3	Muito alto	-	-	-	-	-	> 90

Fonte: Malavolta *et al.*, 1989.

Tabela 2. Análises químicas do solo realizadas nas áreas experimentais de Anhembi, Areão e ESALQ

Local	pH	M.O (%)	P ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$)	meq/100 g			V (%)
	CaCl ₂			K	Ca	Mg	
Anhembi ¹	6,0	-	55	0,23	2,9	2,3	90
Areão ²	4,3	1,6	15	0,26	3,6	1,2	50
ESALQ ¹	5,4	-	45	0,40	3,3	1,1	61

¹Análise realizada pelo Departamento de Química - ESALQ/USP.

²Análise realizada pelo Departamento de Ciência do Solo - ESALQ/USP.

Utilizou-se o teste de Dunnet ($P < 0,05$) para comparação das médias de cada linhagem com a média geral das testemunhas. Para a análise de estabilidade dos genótipos, considerou-se como ambiente a combinação de ano e área experimental. Assim, pela combinação dos três locais com as três áreas experimentais obtiveram-se 12 ambientes. A análise foi realizada com as médias de cada ambiente. Utilizou-se o método da ecovalência (Wricke, 1965) estimada pela partição da soma de quadrados da IGE. Assim, para cada genótipo estimou-se sua contribuição para a interação total, por meio da soma de quadrados da interação envolvendo todos os ambientes onde ele foi avaliado. A partição da soma de quadrados da IGE foi estimada de acordo com a equação a seguir:

$$\omega_i = \sum_{j=1}^n (ge)_{ij}^2$$

sendo a IGE (ge) estimado de acordo com a equação a seguir:

$$(ge)_{ij} = Y_{ij} - \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{..}$$

em que:

Y_{ij} = ϵ a média do genótipo "i" no ambiente "j"; $\bar{Y}_{i.}$ = média do genótipo "i" em todos os ambientes; $\bar{Y}_{.j}$ = média do ambiente "j" para todos os genótipos; e $\bar{Y}_{..}$ = ϵ a média geral.

O somatório dos ω_i corresponde ao valor da soma de quadrados da IGE. Dessa forma, foi possível calcular a porcentagem da IGE devida a cada genótipo (ω_i %), dada por:

$$\omega_i \% = (\omega_i / \sum_i \omega_i) \times 100$$

Quanto menores os valores de ω_i % mais estáveis serão os genótipos.

Adotou-se o conceito de adaptabilidade como sinônimo de produtividade e de estabilidade como sinônimo de previsibilidade (Rocha *et al.*, 2004). Para a classificação das linhagens quanto à adaptabilidade e estabilidade, adotaram-se os seguintes critérios: adaptabilidade baixa, quando a média da linhagem era inferior à média geral das linhagens; adaptabilidade média, quando a média da linhagem era superior à média geral das linhagens; e adaptabilidade alta, quando a média da linhagem era superior à média das testemunhas; estabilidade baixa, quando a estimativa para a ecovalência da linhagem era maior que 1,5; estabilidade média, quando a estimativa para a ecovalência da linhagem era maior que 1,0 e menor que 1,5; e estabilidade alta, quando a estimativa para a ecovalência da linhagem era menor que 1,0.

As análises de variância e de estabilidade foram realizadas com auxílio do programa GENES (Cruz, 1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o critério utilizado na interpretação de análises de solos para o Estado de São Paulo (Tabela 1), os locais Anhembi e ESALQ apresentaram solos com acidez baixa a média (pH 6,0 e 5,4, respectivamente) (Tabela 2), o que favorece o bom desenvolvimento das plantas. Apesar da realização de calagem em anos anteriores, não foi realizada a calagem no local Areão, que apresentou acidez alta (pH = 4,3), condição estressante para o desenvolvimento das plantas. O relevo acidentado do último local favoreceu o movimento de terra durante as chuvas, fato esse que provocou diminuição do estande de plantas em algumas parcelas.

Tabela 3. Fotoperíodo, temperatura, umidade relativa e precipitação pluviométrica no período de novembro a abril dos anos agrícolas de 1996/97, 1997/98, 1998/99 e 1999/00, observados no município de Piracicaba, SP

Ano	Mês	Fotoperíodo (horas/dia)	Temperatura (°C)			Umidade relativa (%)	Precipitação pluvial (mm)
			Máxima	Média	Mínima		
1996/97	Novembro	6,22	29,07	23,41	17,75	79,50	212,00
	Dezembro	6,04	30,61	25,20	19,78	84,77	188,30
	Janeiro	4,21	29,71	24,90	20,09	86,87	352,20
	Fevereiro	7,55	31,73	24,73	19,50	79,50	87,10
	Março	7,65	29,94	23,72	17,50	73,29	73,20
	Abril	7,57	28,68	21,85	15,02	73,20	22,00
1997/98	Novembro	5,62	30,34	24,94	19,54	81,57	269,40
	Dezembro	6,68	31,11	25,40	19,68	79,74	186,62
	Janeiro	6,49	31,71	26,16	20,61	78,77	120,90
	Fevereiro	4,84	30,03	25,25	20,46	90,07	362,04
	Março	6,04	31,01	25,40	19,80	85,35	127,72
	Abril	6,94	28,39	22,71	17,02	81,03	62,10
1998/99	Novembro	7,04	29,47	22,59	15,70	71,90	52,10
	Dezembro	7,23	30,56	24,78	18,99	77,97	269,90
	Janeiro	4,91	30,59	25,50	20,41	87,97	382,80
	Fevereiro	5,37	30,73	25,41	20,05	90,00	198,30
	Março	7,70	31,42	25,20	18,98	80,74	210,80
	Abril	8,09	28,52	21,86	15,20	80,70	89,00
1999/00	Novembro	6,79	29,82	23,77	17,72	77,27	239,20
	Dezembro	5,63	29,78	24,42	19,00	80,90	196,20
	Janeiro	6,37	30,22	24,65	19,09	82,68	235,90
	Fevereiro	5,49	29,92	24,58	19,24	86,59	124,00
	Março	5,42	29,68	24,10	18,53	84,35	185,30
	Abril	9,08	28,34	21,81	15,35	72,17	0,80

Fonte: Setor de Física e Meteorologia, Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP.

No que diz respeito às condições climáticas, no geral o fotoperíodo não apresentou variações significativas dentro e entre anos agrícolas, sendo maior o número de horas de luz nos meses de novembro, dezembro, março e abril e menor em janeiro e fevereiro (Tabela 3). O fotoperíodo não deve ter influenciado significativamente o número de dias para o florescimento, uma vez que os três locais estão em latitudes semelhantes e os ensaios foram conduzidos na época considerada normal para o cultivo da soja no Estado de São Paulo. Segundo Bonato *et al.* (1998), o fotoperíodo influi mais na produtividade quando a semeadura ocorre fora da época normal de cultivo, como é o caso daquelas realizadas no mês de dezembro, já que ocorre redução do tempo para o florescimento, em razão do encurtamento dos dias que se verifica a partir de 22 de dezembro.

Quanto à pluviosidade, observou-se maior quantidade de chuvas no período de condução dos experimentos nos anos agrícolas 1997/98 (1.128 mm) e 1998/99 (1.203mm), sendo esta menor em 1996/97 (935 mm) e 1999/00 (981 mm) (Tabela 3). Vale ressaltar que o ano agrícola de 1998/99 coincidiu com a presença do fenômeno “El Niño”, caracterizado nas condições brasileiras por ventos fortes, chuvas frequentes, intensas e associadas a elevadas tempe-

raturas durante os meses de dezembro a março nas regiões Sul e Sudeste. Na latitude de Piracicaba, os meses de dezembro de 1998, janeiro, fevereiro e março de 1999 caracterizaram-se pela ocorrência de chuvas torrenciais frequentes, e por temperaturas elevadas. Essas condições podem favorecer o crescimento das plantas de soja; no entanto, podem contribuir para aumentar o acamamento.

Apesar da influência desfavorável de alguns fatores supracitados, o coeficiente de variação (CV) obtido foi considerado aceitável para o caráter em estudo (Tabela 4). Segundo Rocha (1998), a produtividade de grãos, normalmente, apresenta menor precisão experimental relativamente aos demais caracteres quantitativos, tendo em vista que esse é mais influenciado por fatores ambientais, confirmando relatos da literatura de que caracteres controlados por muitos genes são mais afetados pelo ambiente (Rocha *et al.*, 2003; Carvalho *et al.*, 2003; Castro, 2008). A magnitude do CV está de acordo com aquelas obtidas por Laínez-Mejía (1996), Rocha (1998) e Unêda-Trevisoli (1999) em estudos dessa natureza e em condições similares, que obtiveram, respectivamente, estimativas de 19,0, 17,5 e 18,0%.

Os efeitos de genótipos, ambientes e da IGE foram altamente significativos ($P < 0,01$) (Tabela 4). Isso mostra

que os genótipos e ambientes diferiram entre si e que os genótipos se comportaram diferencialmente com os ambientes. Observando a magnitude dos efeitos, nota-se que o efeito de ambientes, comparativamente aos efeitos de genótipos e da IGE, foi o que contribuiu mais para a variação total do caráter, evidenciando que as diferenças ambientais foram marcantes. Esse resultado concorda com o obtido por Rocha *et al.* (2002) e Rocha *et al.* (2003) para os caracteres produtividade de grãos e teor de óleo em soja, respectivamente. A significância para o efeito de locais ($P < 0,05$), (Tabela 4), sugere que entre os fatores ambientais estes foram mais importantes do que o efeito de anos agrícolas. Rocha *et al.* (2003), avaliando a estabilidade da produtividade de grãos de linhagens semitardias de soja, também encontraram efeito marcante de locais em detrimento do efeito de anos.

A grande magnitude do efeito de ambientes está mais relacionada com a forte interação de locais e anos ($P < 0,01$) (Tabela 4) do que com os fatores de anos e locais isoladamente. Allard & Bradshaw (1964) afirmam que tanto os fatores imprevisíveis de anos (temperatura, umidade relativa, pluviosidade) como os previsíveis de locais (tipo de solo, topografia) contribuem para a IGE. A variação significativa para locais ($P < 0,05$), provavelmente, deveu-se às diferenças marcantes de solo e topografia, conforme as características contrastantes descritas nos métodos. O uso da combinação de locais e anos como ambientes representa melhor a diversidade dos fatores ambientais e torna mais apropriada para a avaliação de estabilidade dinâmica ou agrônoma.

A interação genótipos x anos foi a que contribuiu mais para a variação da IGE, conforme a magnitude do quadrado médio (Tabela 4). Resultado semelhante foi obtido por Rocha *et al.* (2002) para o caráter teor de óleo em soja e diferente do obtido por Rocha *et al.* (2003) em que a interação genótipos x locais foi mais importante. Nesse sentido, as avaliações envolvendo mais de um ano foram

importantes para melhor estimar as respostas dos genótipos aos ambientes. Quando as interações de locais com anos são significativas, o zoneamento agrônomo não se mostra uma estratégia efetiva para manejar a IGE. Um estudo sobre a adaptabilidade e estabilidade das linhagens representa uma estratégia mais indicada para amenizar os efeitos da IGE.

Os genótipos exibiram produtividade média de 2.383 kg.ha⁻¹ (Tabela 5). Foi observada divergência para a maioria das linhagens em relação à média das testemunhas pelo teste de Dunnett ($P < 0,05$), mas nenhuma linhagem superou a média das testemunhas (2.928 kg.ha⁻¹). No entanto, a metade das linhagens superou a média das linhagens (2.383 kg.ha⁻¹). As linhagens USP 93-2316 (2.809 kg ha⁻¹), USP93-1106 (2.726 kg ha⁻¹) e USP 93-2084 (2.710 kg ha⁻¹) destacaram-se das demais, por apresentar as maiores produtividades de grãos.

A detecção de interações significativas para a IGE indicou a necessidade de se investigar a adaptabilidade e a estabilidade dos genótipos realizada com as médias obtidas nos 12 ambientes resultantes da combinação de três locais em quatro anos agrícolas.

Os menores valores para o parâmetro ecovalência foram obtidos pelas linhagens USP 93-2306 (17), USP 93-1119 (3), USP93-2479 (21), USP93-2727 (29), USP93-2002 (7) e USP93-2909 (36) (Tabela 5). Dessas, as linhagens 21 e 36 foram as que apresentaram a maior média, com 2.581 kg ha⁻¹ e 2.479 kg ha⁻¹, respectivamente. Em relação às linhagens mais produtivas (USP 93-2316 (18), USP 93-1106 (2) e USP 93-2084) (10), a primeira foi mais estável e a segunda muito instável.

A magnitude para as estimativas de ecovalências foi maior do que as encontradas por Yue *et al.* (1997), Rocha *et al.* (2003), Oliveira *et al.* (2006) e Silva & Duarte (2006), e próxima daquelas relatadas por Yokomizo (1999), Unêda-Trevisoli (1999) e Vicente *et al.* (2004). A magnitude das estimativas depende do número de genótipos e de ambi-

Tabela 4. Análise de variância conjunta da produtividade de grãos de 38 linhagens de soja avaliadas em 12 ambientes do município de Piracicaba, SP, durante os anos agrícolas de 1996/97 a 1999/00

Fontes de variação	GL	Quadrado médio
Blocos/ambientes	12	384.948*
Linhagens (G)	37	1.781.998**
Ambientes (E)	11	35.436.356**
Anos (A)	3	5.246.491 ^{ns}
Locais (L)	2	48.408.45*
A x L	6	15.286.769**
G x E	407	771.286**
G x A	111	493.454**
G x L	74	449.908**
G x A x L	222	310.317**
Resíduo	444	183.164
CV (%)	17,95	

**Significativo ($P < 0,01$) pelo teste F; ^{ns}Não-significativo.

entes e do comportamento dos genótipos frente aos fatores ambientais.

A maioria das linhagens (31 de 38) apresentou adaptabilidade média; e o restante, baixa (sete linhagens). A maior parte das linhagens (26 de 38) foi considerada de estabilidade baixa; oito como médias e apenas quatro como altas (Tabela 5). Os resultados evidenciaram que a maioria dos genótipos mais estáveis não foi constitu-

ída pelos mais produtivos. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva & Duarte (2006). Essa baixa correlação entre adaptabilidade e estabilidade sugere que ambas as características podem ter controle genético independente conforme sugerido por Vencovsky & Torres (1988). De fato, Miranda (1999) obteve correlações baixas e não significativas entre a produtividade de grãos e a ecovalência (ω_i), $r = 0,02$, sugerindo que

Tabela 5. Médias, adaptabilidade e estimativas de ecovalências da produtividade de grãos de 38 linhagens de soja avaliadas em 12 ambientes do município de Piracicaba, SP, durante os anos agrícolas de 1996/97 a 1999/00

Nº	Genótipo	Média (kg ha ⁻¹)	Adaptabilidade	ω_i	% ω_i	Estabilidade
1	USP 93-1052	2.325*	Média	312359	4,368	Baixa
2	USP 93-1106	2.726	Média	405406	5,669	Baixa
3	USP 93-1119	2.444*	Média	56204	0,786	Alta
4	USP 93-1125	2.318*	Média	94020	1,315	Média
5	USP 93-1202	2.331*	Média	171419	2,397	Baixa
6	USP 93-1211	2.611	Média	172491	2,412	Baixa
7	USP 93-2002	2.364*	Média	73950	1,034	Média
8	USP 93-2027	2.590	Média	101336	1,417	Média
9	USP 93-2072	2.130*	Média	367990	5,145	Baixa
10	USP 93-2084	2.710	Média	256991	3,593	Baixa
11	USP 93-2103	2.582	Média	145065	2,028	Baixa
12	USP 93-2104	2.444*	Média	147685	2,065	Baixa
13	USP 93-2250	2.260*	Média	259457	3,628	Baixa
14	USP 93-2259	2.435*	Média	136912	1,914	Baixa
15	USP 93-2294	2.342*	Média	161920	2,264	Baixa
16	USP 93-2302	2.492*	Média	275498	3,852	Baixa
17	USP 93-2306	2.336*	Média	52093	0,728	Alta
18	USP 93-2316	2.809	Média	88759	1,241	Média
19	USP 93-2419	1.970*	Baixa	101679	1,422	Média
20	USP 93-2475	2.474*	Média	91374	1,278	Média
21	USP 93-2479	2.581	Média	58711	0,821	Alta
22	USP 93-2529	2.242*	Média	112149	1,568	Baixa
23	USP 93-2565	2.121*	Média	186704	2,611	Baixa
24	USP 93-2667	2.055*	Média	218958	3,062	Baixa
25	USP 93-2680	2.403*	Média	605828	8,471	Baixa
26	USP 93-2693	2.348*	Média	340053	4,755	Baixa
27	USP 93-2697	2.541*	Média	241885	3,382	Baixa
28	USP 93-2699	2.338*	Média	156878	2,193	Baixa
29	USP 93-2727	2.204*	Média	70430	0,985	Alta
30	USP 93-2756	2.269*	Baixa	156641	2,190	Baixa
31	USP 93-2781	2.143*	Baixa	82677	1,156	Média
32	USP 93-2790	2.431*	Média	190420	2,662	Baixa
33	USP 93-2857	2.353*	Baixa	123020	1,720	Baixa
34	USP 93-2858	2.106*	Baixa	440255	6,156	Baixa
35	USP 93-2897	2.634	Média	148555	2,077	Baixa
36	USP 93-2909	2.479*	Média	78039	1,091	Média
37	USP 93-2916	2.375*	Baixa	187837	2,626	Baixa
38	USP 94-1017	2.241*	Baixa	280051	3,916	Baixa
MT ¹		2.383				
	FT-2000	2.819				
	FT-Iramaia	3.038				
MT ²		2.928				

*Significativo ($P < 0,05$) pelo teste de Dunnet; ¹: Média geral das linhagens; e ²: Média geral das testemunhas.

podem ser medidas independentes. No entanto, neste estudo foram identificadas linhagens que apresentavam alta produtividade (adaptabilidade) e estabilidade média (magnitudes para ω_1 próximas das obtidas pelas linhagens mais estáveis). Yokomizo (1999), Miranda (1999) e Prado *et al.* (2001), avaliando genótipos de soja pelo método da ecovalência, também encontraram linhagens que reuniam estabilidade média e alta produtividade de grãos. Já Vicente *et al.* (2004) identificaram genótipos de soja que reuniam simultaneamente alta adaptabilidade e estabilidade, mostrando que, dependendo da população, é possível obter genótipos que reúnam essas duas características.

Dentre os fatores bióticos e abióticos que podem ter contribuído para a IGE, a presença do cancro da haste da soja (CHS) e a pluviosidade, respectivamente, pareceram ter maior influência quando comparados com outros fatores climáticos como fotoperíodo, temperatura e umidade relativa, que praticamente não variaram com os anos agrícolas (Tabela 3). O ano agrícola 1996/97 foi associado com o estresse ambiental nos locais ESALQ e Areão, devido à grande infestação pelo CHS. Conforme Rocha (1998), houve baixa adaptabilidade das linhagens nos locais onde ocorreu infestação de CHS e alta adaptabilidade no local Anhembi, no qual não ocorreu a doença. O baixo índice pluviométrico observado em 1996/97 em relação aos demais anos também pode ter contribuído como fator de estresse adicional. Ambientes localizados em regiões tropicais são mais propensos à ocorrência de estresses ambientais, o que pode sugerir padrões adaptativos de genótipos bastante complexos.

O método da ecovalência pode ser usado quando o objetivo for apenas selecionar para adaptabilidade e estabilidade, sem o interesse de obter informações adicionais da qualidade dos ambientes nem sobre recomendações de genótipos (Rocha *et al.*, 2003). É um método bastante prático e indicado principalmente na rotina de seleção de progênies superiores em etapas finais de um programa de melhoramento, pois apresenta estatística simples e interpretação fácil de ser acessada pelo melhorista.

CONCLUSÕES

As linhagens USP 93-2316, e USP 93-1106 apresentam maior adaptabilidade para a produtividade de grãos, mas a linhagem USP 93-1106 tem comportamento mais imprevisível.

A linhagem USP 93-2680 é altamente instável, mas aproveita vantajosamente os efeitos do ambiente.

As linhagens USP 93-1119 e USP 93-2306 reúnem genes para adaptabilidade e estabilidade, e a última é altamente previsível.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES e ao CNPq, pelas bolsas de estudo concedidas; à EMBRAPA e FAPESP, pelo financiamento da pesquisa que desenvolveu o germoplasma usado neste trabalho; ao prof Dr. João Batista Duarte, pela colaboração nas análises estatísticas e interpretação dos dados; e aos funcionários do Departamento de Genética da ESALQ/USP Antônio. R. Cogo, Claudinei A. Didoné e Marcos. C. Nekatschalow, pela inestimável ajuda nos trabalhos de campo.

REFERÊNCIAS

- Allard RW & Bradshaw, AD (1964) Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. *Crop Science*, 4:503-508.
- Bonato ER, Bertagnolli PF, Ignaczak JC, Tragnago JL, Rubin SAL (1998) Desempenho de cultivares de soja em três épocas no Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 33:879-884.
- Carvalho CGP, Arias CAA, Toledo JFF, Almeida LA, Kiihl RAS, Oliveira MF, Hiromoto DM, Takeda C (2003) Proposta de classificação dos coeficientes de variação em relação à produtividade e altura da planta de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38:187-193.
- Castro LP (2008) Herança da produção de grãos e dos componentes de produção em soja. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba. 44p.
- Cruz CD, Torres RA, Vencovsky R (1989) An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva e Barreto. *Revista Brasileira de Genética*, 12:1567-580.
- Cruz CD (1997) Programa genes: aplicativo computacional em genética e estatística (software). Viçosa, Imprensa Universitária, 442p.
- Eberhart SA, Russel WA (1966) Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6:36-40.
- Laínez-Mejía JR (1996) Implicações da interação genótipos x ambientes na seleção de progênies de soja com ênfase nas produtividades de grãos e óleo. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba. 145p.
- Lin CS & Binns MR (1988) A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Canadian Journal of Plant Sciences*, 68:1293-1298.
- Malavolta E, Vitti GC, Oliveira AS (1989) Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba, Potafos. 201p.
- Miranda FTS (1999) Interação genótipos x ambientes em linhagens de soja selecionadas para resistência ao nematóide de cisto. Dissertação de mestrado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba. 141p.
- Oliveira MAR, Pípolo VC, Schuster I, Vicente D, Dellagostin M, Oliveira EF (2006) Soybean stability and adaptability in Southern and Central Brazil. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 6:55-64.
- Prado EE, Hiromoto DM, Godinho VPC, Utumi MM, Ramalho AR (2001) Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em cinco épocas de plantio no cerrado de Rondônia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36:625-635.
- Rocha MM (1998) Interação genótipos x locais em linhagens experimentais de soja com diferentes ciclos de maturação. Dissertação de mestrado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba. 98p.

- Rocha MM, Vello NA, Lopes ACA, Maia MCC (2003) Comportamento produtivo de genótipos de soja no município de Piracicaba, São Paulo. Teresina, Embrapa Meio-Norte, 19p. (Embrapa Meio-Norte. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 48).
- Rocha MM, Vello NA, Lopes ACA, Maia MCC (2004) Yield stability of soybean lines using additive main effects and multiplicative interaction analysis - AMMI. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 4:391-398.
- Rocha MM, Vello NA, Maia MCC, Lopes AC (2002) Magnitude da interação genótipos x ambientes para o caráter teor de óleo em linhagens de soja. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibras*, 6:617-625.
- Silva WC & Duarte JB (2006) Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja Pesquisa Agropecuária Brasileira, 41:23-30.
- Unêda-Trevisoli SH (1999) Estabilidade fenotípica e potencialidade de progênies obtidas por cruzamentos óctuplos em soja. Tese de doutorado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba. 228p.
- Vencovsky R & Torres RAA (1988) Estabilidade geográfica e temporal de algumas cultivares de milho. In: 16º Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Belo Horizonte. Anais, EMBRAPA/CNPMS. p.294-300.
- Vicente D, Pinto RJB, Scapim CA (2004) Análise da adaptabilidade e estabilidade de linhagens elite de soja. *Acta Scientiarum*, 26:301-307.
- Wricke G (1965) Zur berechnung der okeovalenz bei sommerweizen und hafer. *Z. Pflanzenzuchtg*, 52:127-138.
- Yokomizo GK Interação genótipos x ambientes em topocruzamentos de soja tipo alimento com tipo grão. Tese de doutorado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba. 171p.
- Yue GL, Roozeboom KL, Schapaugh Jr WT, Liang GH (1997) Evaluation of soybean cultivars using parametric and nonparametric stability estimates. *Plant Breeding*, 116:271-275.
- Zobel RW, Wright MJ, Gauch HG (1988) Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*, 80:388-393.