FELICIANO MAVUNGO JÚNIOR

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE PRODUTIVIDADE EM PROGÊNIES DE SOJA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa – *Campus* de Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

RIO PARANAÍBA

MINAS GERAIS – BRASIL

2014

FELICIANO MAVUNGO JÚNIOR

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE PRODUTIVIDADE EM PROGÊNIES DE SOJA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa – *Campus* de Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Aprovada: 24 de novembro de 2014

Prof. Vinícius Ribeiro Faria
(Coorientador)

Prof. Márcio Santos Soares

Prof. Pedro Ivo Vieira Good God
(Orientador)

A Deus. Aos meus pais, Feliciano Mavungo (*in memorian*) e Fénica Suami. À minha esposa Sandra Guilherme Bonica e meus filhos Joana, Feliciano e Rosimilda.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser o fiel cumpridor de suas promessas, sendo esta mais uma de suas promessas cumpridas em minha vida.

Ao Prof. Pedro Ivo Vieira Good God pela orientação neste trabalho e amizade.

Ao Prof. Vinícius Ribeiro Faria (co-orientador), pelas contribuições dadas ao longo do curso para o desenvolvimento deste trabalho.

À Profa. Liliane Evangelista Visôtto, pela contribuição e apoio.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaiba, pela oportunidade de realizar este estudo.

Ao Governo de Angola pela disponibilização da bolsa, durante todo curso.

A todos os professores da Pós-Graduação que contribuíram com a minha qualificação profissional. Aos amigos do curso pelo companheirismo durante as atividades acadêmicas que muito valorizaram o aprendizado.

À secretária Sra. Nara Ludmila pela atenção dispensada.

Aos amigos de trabalho e estudos na Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba, que foram parceiros em todos os momentos, divertidos ou difíceis, deste caminhar.

Aos colegas do mestrado Kassio Mendes, Clebson Gonçalves e Ane Gabrielle, que contribuíram positivamente durante o meu aprendizado.

BIOGRAFIA

FELICIANO MAVUNGO JÚNIOR, filho de Feliciano Mavungo e Fénica Suami, nasceu em 08 de Março de 1974, na cidade de Cabinda, província de Cabinda, Angola.

Em 1995 ingressou na Universidade de Granma, em Cuba, tendo concluído o curso de Agronomia em Julho de 2000.

Em fevereiro de 2001 ingressou como funcionário do Instituto de Investigação Agronômica de Angola, atuando como chefe de divisão de Raízes e Tubérculos.

Em novembro de 2012, iniciou o curso de mestrado em Agronomia, com ênfase em Produção Vegetal na Universidade Federal de Viçosa, Campus de Rio Paranaíba, submetendo-se à defesa de dissertação em 24 de novembro de 2014.

SUMÁRIO

RESUMO ..... **vi**

ABSTRACT ..... **viii**

1. Introdução **1**

2. Material e métodos **3**

3. Resultados e Discussão **7**

4. Conclusões **17**

5. Referências Bibliográficas **18**

RESUMO

MAVUNGO JR., Feliciano, M.Sc. Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2014. **Adaptabilidade e estabilidade de produtividade em progênies de soja.** Orientador: Pedro Ivo Vieira Good God. Coorientadores: Liliane Evangelista Visôtto e Vinícius Ribeiro Faria.

No Brasil, a soja [Glycine max (L.) Merrill] destaca-se como a cultura anual mais importante, sendo cultivada sob diferentes latitudes, tipos de solos e condições climáticas. O desempenho diferenciado de genótipos nos diversos ambientes torna importante o estudo de suas interações e na recomendação de genótipos. O objetivo deste trabalho foi estudar a mudança dos padrões de adaptabilidade e estabilidade no processo seletivo e propor um novo método de recomendação de genótipos baseado nas predições BLUP. Os dados de produtividade utilizados neste trabalho são oriundos de linhagens experimentais do Programa de Melhoramento da Qualidade da Soja da Universidade Federal de Viçosa, cultivadas em sete ambientes. Foram estimados parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de acordo com metodologia de Eberhart e Russel em duas gerações de seleção de soja. Também foi proposta uma nova abordagem de recomendação de genótipos baseada na predição dos valores genéticos e dos valores de interação via modelos mistos. O rendimento médio de grãos dos genótipos avaliados variou de 1976 a 3084 $kg.ha^{-1}$. Grande parte dos genótipos foram caracterizados como de adaptabilidade geral e alta estabilidade pela metodologia de Eberhart & Russell. A seleção promoveu poucas alterações no padrão de adaptabilidade e estabilidade dos genótipos. A metodologia de Eberhart e Russel mostrou classificações mais

generalistas enquanto a nova metodologia demonstrou maior capacidade de detecção das diferenças de comportamento dos genótipos nos diversos ambientes.

ABSTRACT

MAVUNGO JR., Feliciano, M.Sc. Universidade Federal de Viçosa, November, 2014. **Adaptability and stability of yield in soybean progenies.** Advisor: Pedro Ivo Vieira Good God. Co-advisors: Liliane Evangelista Visôtto and Vinícius Ribeiro Faria.

In Brazil, soybean [Glycine max (L.) Merrill] stands out as the most important annual crop, being cultivated under different latitudes, soil types and climatic conditions. The outstanding performance of genotypes in different environments is important to study their interactions with genotypes and on the recommendation of news cultivars. The objective of this work was to study the change of adaptability and stability standards in the selection process and propose a new recommendation method for genotypes based on BLUP predictions. Productivity data used in this study come from experimental lines of the Breeding Program of Soybean Quality - Federal University of Viçosa, grown in seven environments. Adaptability and stability parameters were estimated according to Eberhart and Russell methodology in two soybean generations. Also we proposed a new genotypes recommendation approach based on prediction of breeding values and interaction values via mixed models. The average grain yield of the genotypes ranged 1976-3084 kg ha-1. Most of the genotypes were characterized as general adaptability and high stability by Eberhart & Russell method. The selection promoted little change in the pattern of adaptability and stability of genotypes. The methodology of Eberhart and Russell showed more general ratings as the new methodology demonstrated a greater ability to detect the genotypes had different performance in different environments.

1. Introdução

No Brasil, a soja [Glycine max (L.) Merrill] destaca-se como a cultura anual mais importante, sendo cultivada sob diferentes latitudes, tipos de solos e condições climáticas. Apesar da ampla faixa de cultivo, de acordo com Meotti et al. (2012), a soja é uma cultura extremamente sensível a mudanças ambientais. Dessa forma a avaliação de genótipos em diferentes locais se torna importante para estudar a interação genótipo x ambiente. Essas interações influenciam tanto na seleção como na recomendação de genótipos, o que faz com que em programas de melhoramento, pesquisadores explorem essa informação visando indicar genótipos com desempenho superior em diferentes ambientes.

Para melhor compreender os efeitos de interação, melhoristas de plantas têm realizado estudos biométricos sobre a adaptabilidade e estabilidade de genótipos. Isto se faz necessário pois, analisar apenas a magnitude dos efeitos de interação não é suficiente para descrever o desempenho dos genótipos frente as variações ambientais (Finlay & Wilkinson, 1963). Na literatura são descritas várias metodologias para o estudo da adaptabilidade e estabilidade. Destacam-se técnicas paramétricas baseadas em regressões lineares (Eberhart e Russel,1966; Cruz et al., 1989) e metodologias não-paramétricas (Lin e Binns, 1988; Nascimento et al., 2009). Tais metodologias, muitas vezes, não permitem lidar com dados desbalanceados e delineamentos experimentais não-ortogonais. Além disso, há limitação para análise conjunta no caso de heterogeneidade de variâncias entre os vários locais (Bastos et al., 2007). Isso se torna um problema, uma vez que, durante a realização dos experimentos é comum desbalanceamento do conjunto de dados (Spilke et al., 2005), principalmente em melhoramento onde

ocorre o descarte e incorporação de genótipos ao longo tempo, assim como uma variação no número de ambientes. Outro problema que pode ser relatado em referência às metodologias tradicionais é que estas tratam genótipos e a interação GxA como sendo de efeitos fixos. Segundo Resende (2007), para se obter estimativas mais acuradas, tais efeitos devem ser considerados aleatórios.

Uma forma de se contornar esses problemas é por meio do uso do *Best Linear Unbiased Predictor* - BLUP (Henderson, 1975). Um instrumento flexível na estimativa e predição de parâmetros e valores genéticos, que pode ser aplicado a dados desbalanceados de diferentes gerações, além da possibilidade de se incorporar em um mesmo modelo os efeitos de natureza fixa e aleatória (Resende, 2007). No contexto de modelos mistos, Resende (2004) sugere que os parâmetros de estabilidade, adaptabilidade e produtividade sejam avaliados com base na média harmônica dos valores genotípicas, em um método denominado MHPRVG. Esse método vem sendo utilizado por alguns autores, Bastos et al. (2007) em cana-de-açúcar, e Carbonell et al. (2007) em feijão, demostram que o método se assemelha com outros no que se refere ao material selecionado, porém, apresenta a vantagem de fornecer resultados na própria escala de medição do caráter avaliado. Como resultado, a predição implica na possibilidade de interpretação direta dos valores genéticos para a avaliação da produtividade, estabilidade e adaptabilidade de forma simultânea.

Uma vez que a utilização de preditores BLUP no melhoramento de autógamas tem sido cada vez mais recorrente, torna-se importante avaliar este método com respeito ao seu desempenho na avaliação e recomendação de linhagens experimentais. No caso de ensaios em vários ambientes e locais, o uso

de preditores BLUP pode ser mais significativo, pois pode fornecer uma ferramenta de fácil aplicação na recomendação e classificação de genótipos pelas simples análise dos valores genéticos e valores da interação genótipo x ambiente. Além disso, pode ser interessante avaliar se o processo seletivo altera substancialmente o comportamento de linhagens avançadas e se o número de ambientes envolvidos também influencia esta classificação. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi estudar a mudança dos padrões de adaptabilidade e estabilidade em linhagens experimentais, após um ciclo de seleção e sob a adição de novos ambientes. Para tanto, foram utilizados os parâmetros estimados pela metodologia clássica de Eberhart e Russel (1966) e, com base nas predições BLUP, foi proposto um novo método de recomendação de genótipos.

2. Material e métodos

Os dados de produtividade utilizados neste trabalho são oriundos do Programa de Melhoramento da Qualidade da Soja da Universidade Federal de Viçosa onde as populações foram obtidas segundo Pinheiro et al. (2013). Os ensaios foram conduzidos em cinco ambientes (Tabela 1). Para obter a produtividade de cada família foram pesadas as sementes oriundas de cada parcela útil (g/m^2). Na apresentação dos resultados os dados foram convertidos para kg/ha.

Com o objetivo de verificar as alterações promovidas pelo processo seletivo nos padrões de estabilidade e adaptabilidade foram considerados dois cenários para análise. O primeiro, prévio à seleção, contou com 188 genótipos avaliados em cinco ambientes (C1). Após o processo seletivo, 48 genótipos foram

testados em dois ambientes adicionais no ano agrícola 2013/2014, totalizando as informações de sete ambientes (C2).

Tabela 1. Ambientes (local e safra) conduzidos durante os ensaios em campo

Amb.[1]	Safra	Local	N° Genótipos	Nº Testemunhas	Delineamento	Repetição	Parcela
1	2010/ 2011	RP	900	5	Látice (30x30)	2	1 fileira de 2x0,50m
2	2011/ 2012	RP	200	8	DBC	2	4 fileiras de 5x0,50m
3	2012/ 2013	RP	200	8	DBC	3	4 fileiras de 5x0,50m
4		CAP	200	8	DBC	3	4 fileiras de 5x0,50m
5		FL	200	8	DBC	3	4 fileiras de 5x0,50m
6	2013/ 2014	RP	50	8	DBC	2	4 fileiras de 5x0,50m
7		FL	50	8	DBC	2	4 fileiras de 5x0,50m

RP: Rio Paranaíba, CAP: Capinópolis, FL: Florestal. DBC: Delineamento em blocos casualizados. [1]Ambiente. [2]Delineamento.

O modelo estatístico para análise conjunta dos experimentos foi:

$$y_{ijk} = u + b/e_{jk} + g_i + e_j + ge_{ij} + e_{ijk}$$

onde y_{ijk} é o valor fenotípico observado: u: média geral; g_i: efeito do i-ésimo genótipo; b/e_{jk}: efeito do k-ésimo bloco dentro do j-ésimo ambiente; e_j: efeito do j-ésimo ambiente; ge_{ij}: efeito da interação do i-ésimo genótipo com o j-ésimo ambiente; ei_{jk}: erro aleatório.

O dados foram analisados por meio de mínimos quadrados e pela metodologia de modelos mistos (Henderson, 1949), na qual efeitos de genótipos

(g_i) e da interação GxA (ge_{ij}) foram considerados aleatórios e efeitos de ambiente (a_j) e blocos dentro de ambiente (b/a_{jk}) efeitos fixos.

Os estimadores obtidos foram utilizados para determinar os padrões de adaptabilidade e estabilidade através do método de Eberhart e Russel (1966) calculado da seguinte forma: $Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i} I_j + \delta_{ij} + \hat{\varepsilon}_{ij}$, onde: Y_{ij} é média do genótipo i no ambiente j, β_{0i} refere-se a média geral do genótipo i, β_{1j} é coeficiente de regressão linear que mede a resposta do i-ésimo genótipo à variação ambiental, I_j índice ambiental codificado $\left(\sum_j I_j = 0\right)$, δ_{ij} desvio da regressão e $\bar{\varepsilon}_{ij}$ erro experimental.

Na metodologia de Eberhart e Russell (1966), o conceito de adaptabilidade refere-se à capacidade de os genótipos responderem ao estímulo do ambiente e são classificados como: genótipos com adaptabilidade ampla ou geral, $\beta_{1i} = 1$; genótipos com adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, $\beta_{1i} > 1$; genótipos com adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis, $\beta_{1i} < 1$. A avaliação da hipótese H_{0i} : $\beta_{1i} = 1$ é realizada por meio do teste t, cuja estatística é dada por $t = \hat{\beta}_{1i} - 1 \Big/ \sqrt{\hat{V}(\hat{\beta}_{1i})}$ e da hipótese $H_0: \sigma^2_{di} = 0$ é realizada por meio o teste F. A variância de β_{1i} foi dada por $\hat{V}\beta_1 = \sigma^2_\varepsilon \Big/ \sum I_j^2$ onde $\sigma^2_\varepsilon = QMR/r$ válido para todo i, em que QMR = $\hat{\sigma}^2$.

O conceito de estabilidade refere-se à capacidade de os genótipos mostrarem uma resposta previsível em função do estímulo do ambiente. Os padrões de estabilidade são estimados pelo σ^2_{di}. De outra forma, o coeficiente de determinação (R^2) também pode ser usado para estudo da estabilidade dos

genótipos no modelo de Eberhart & Russel (1966). No presente trabalho optou-se por utilizar o coeficiente de determinação, estimado por meio da equação $R^2 = SQ_{Reg}/SQ_{Total}$. Genótipos com R^2 menor que 70% são classificados com estabilidade baixa e genótipos com R^2 acima de 70% são classificados como de alta estabilidade.

Foi proposta uma nova abordagem de recomendação de genótipos baseada na predição dos valores genéticos e dos valores de interação genótipo x ambiente via modelos mistos. Nessa abordagem o primeiro passo é classificar os ambientes em favoráveis e desfavoráveis com base na média geral da característica em estudo em todos os ambientes estudados. Aqueles ambientes cuja média fenotípica forem ranqueados acima da média geral são classificados como favoráveis; aqueles cuja média se estabelecer abaixo da média geral são classificados como desfavoráveis.

Em seguida é realizada a análise conjunta dos experimentos via metodologia de modelos mistos, onde efeitos de genótipos (g_i) e da interação GxA (ge_{ij}) são considerados aleatórios e efeitos de ambiente e blocos dentro de ambiente fixos. Com base nas predições BLUP dos efeitos de g_i e g_{ij} os genótipos são classificados em recomendados ou não recomendados.

Para classificação são calculadas as médias dos valores g_{ij} de cada genótipo para os grupos de ambientes favoráveis e para o grupo de ambientes desfavoráveis. Genótipos que apresentaram média ge_{ij} em ambientes favoráveis ou desfavoráveis superiores a zero são classificados com recomendados (+) para aquele grupo de ambientes. Genótipos que apresentaram média inferior a zero são classificados como não recomendados (-). A partir da informação geral os

genótipos são classificados como: (++) genótipos com recomendação geral, (+-) genótipos com recomendação para ambientes favoráveis, (-+) genótipos com recomendação para ambientes desfavoráveis, (--) genótipos não recomendados.

Como medida de estabilidade pode-se considerar o conceito de invariância, onde genótipos estáveis podem ser considerados aqueles que possuem comportamento constante nos diferentes ambientes estudados. Com base nessa metodologia os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade são estudados de forma conjunta, podendo ser indicado como um genótipo ideal aquele que possui alto valor de g_i e recomendação geral para ambientes favoráveis e desfavoráveis.

As análises computacionais foram realizadas no software SAS® por meio dos procedimentos *proc glm* e *proc mixed*.

O método de Eberhart & Russell pôde ser comparado com a nova metodologia proposta, uma vez que ambas classificam os genótipos de acordo com a recomendação a ambientes favoráveis e desfavoráveis. Foi ainda verificada a mudança de padrões de adaptabilidade e estabilidade de genótipos promovida pela seleção.

3. Resultados e Discussão

A análise conjunta de todos os ambientes indicou a existência de efeitos significativos ($p \leq 0,01$) de genótipos, da interação GxA e de ambientes para produtividade (Tabela 2). A presença de interação GxA significativa sugere que as linhagens avaliadas apresentam respostas diferenciadas quando submetidas a diferentes ambientes, o que viabiliza os estudos de adaptabilidade e estabilidade. Os coeficientes de variação de 22,3% e 20,43% demonstram precisão

experimental e razoável controle da variação natureza aleatória. A relação entre o máximo e o mínimo quadrado médio de resíduo para cada ambiente foi inferior a sete, prova de que as variâncias residuais foram homogêneas, conforme sugerido por Gomes (1990).

Tabela 2. Análise de variância conjunta e estimativa de componentes genéticos para os cenários com 188 e 48 genótipos.

Fonte de variação	GL	QMR	GL	QMR
	188 genótipos		**48 genótipos**	
Modelo	1032	33898,46**	401	31153,09**
Erro	1572	3428,83**	636	2810,01**
Ambiente	4	6507668,75**	6	1669267,89**
Bloco/Amb.	8	96186,20**	12	30774,66**
Genótipo	209	11714,54**	62	10387,87**
G x A	811	6239,78**	321	4555,78**
Média geral ($kg.ha^{-1}$)		2669		2693
Coeficiente de variação (%)		22,30		20,43

. (**) significativo a 1% de probabilidade .

De acordo com Carvalho et al. (2013) ambiente favorável é aquele que permite média de produção dos genótipos acima da média geral de todos os ensaios, resultando em índices ambientais (I_j) positivos. Os índices ambientais para o cenário com 188 genótipos, em ordem decrescente, evidenciam que o ambiente 5 é considerado o mais favorável, seguido pelos ambientes 4, 1, 2 e pelo ambiente 3 que foi classificado como desfavorável (Tabela 3). No cenário 2, com a utilização de 48 genótipos, a classificação em ordem decrescente se deu na seguinte ordem: 2, 5, 1, 7, 6, 4 e 3, sendo classificados como desfavoráveis os ambientes 1, 3, 4, 6 e 7. Observa-se que os ambientes 1 e 4, que antes eram classificados com favoráveis, após a seleção e ao computar mais dois ambientes retornaram classificação desfavorável. Esta alteração exemplifica a principal

restrição estatística do índice ambiental, o fato de não ser independente da observação Y_{ij} (Pacheco et al., 2002).

Tabela 3. Rendimento médio de grãos em kg.ha^{-1} para cada ambiente ($\overline{Y}_{.j}$), variância residual (QMR) e índice ambiental (I_j) para 188 (C1) e 48 (C2) genótipos, em cinco e sete ambientes, respectivamente, usando as estimativas BLUP

Ambientes	$\overline{Y}_{.j}$	I_j	Classificação do ambiente
C1/A1	2955	0,1507	Favorável
C1/A2	3164	0,1137	Favorável
C1/A3	3922	-0,9677	Desfavorável
C1/A4	1136	0,1993	Favorável
C1/A5	2166	0,5040	Favorável
	$\overline{Y}$ = 2669		
C2/A1	3084	-0,1492	Desfavorável
C2/A2	3644	1,7138	Favorável
C2/A3	4282	-0,9262	Desfavorável
C2/A4	1282	-0,5575	Desfavorável
C2/A5	2405	0,7699	Favorável
C2/A6	1946	-0,5177	Desfavorável
C2/A7	2206	-0,3331	Desfavorável
	$\overline{Y}$ = 2693		

^{ns} não significativo; (*), (**) significativo a 5 e 1% de probabilidade respectivamente.

As médias gerais dos ambientes nos dois cenários (antes e após seleção) foram de 2669 kg.ha^{-1} a 2693 kg.ha^{-1} respectivamente (Tabela 4). Valores semelhantes foram encontrados por Vasconcelos et al. (2010) e Martins & Juliatti (2012) ao avaliarem genótipos de soja em condições de adaptação aproximadas ao presente experimento. O rendimento médio de grãos no cenário dois variou de 1976 a 3084 kg.ha^{-1} (Tabela 4). Os genótipos que apresentaram as maiores médias foram as progênies 88, 153 e 116 (3084,298; 3029,729 e 3020,914 kg.ha^{-1}). Apenas três genótipos apresentaram médias inferiores à média das testemunhas de 2411 kg.ha^{-1}.

Na Tabela 4 estão relacionados os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade segundo Eberhart e Russel (1966) relativos a 48 genótipos obtidos por meio de processo seletivo aplicado aos 188 genótipos originais. Pela metodologia de Eberhart e Russel (1966) o genótipo ideal é aquele que apresenta altas médias associadas a β_1=1 e alta estabilidade (R^2 > 70%). Antes do processo seletivo, 38 genótipos apresentaram coeficiente de regressão estatisticamente igual à unidade (β_1=1), produtividade superior à média e alta estabilidade. Esses genótipos demonstram adaptação geral e previsibilidade de comportamento. Após a seleção o número de genótipos com esse padrão de adaptabilidade e estabilidade foi reduzido a 21 linhagens. Em relação às alterações nos padrões de adaptabilidade foram observadas poucas mudanças com a inclusão de novos ambientes. Apenas dois genótipos (88 e 160), que foram classificados como de adaptabilidade a ambientes favoráveis, passaram a apresentar adaptabilidade geral no segundo cenário. O genótipo 86 teve sua classificação alterada de adaptabilidade geral para adaptabilidade a ambientes favoráveis. Isso indica que a seleção não promoveu mudanças nos padrões de adaptabilidade avaliados pela metodologia de Eberhart & Russell.

Tabela 4: Parâmetros de Adaptabilidade e Estabilidade pela Metodologia de Eberhart & Russell, classificação e recomendação dos genótipos pela metodologia de modelos mistos para os dois cenários estudados relativos aos 48 genótipos selecionados

	Cenário 1						Cenário 2					
Gen	**Rank**	**β_0**	**β_1**	**R^2**	**Class.**	**Tipo de recomendação**	**Rank**	**β_0**	**β_1**	**R^2**	**Class.**	**Tipo de recomendação**
88	2	334,415	1.340*	0.99	+ +	Geral	1	308,430	1.207 ns	0.96	+ +	Geral
153	1	346,482	1.311*	0.953	+ +	Geral	2	302,973	1.288*	0.936	+ +	Geral
116	4	324,848	1.137 ns	0.873	+ +	Geral	3	302,091	1.045 ns	0.883	+ +	Geral
149	12	306,513	0.994 ns	0.488	+ +	Geral	4	293,810	0.970 ns	0.665	- +	Ambiente desfavorável
130	3	328,964	1.284 ns	0.959	+ +	Geral	5	292,260	1.207 ns	0.93	- +	Ambiente desfavorável
112	5	320,321	1.252 ns	0.96	+ +	Geral	6	289,205	1.175 ns	0.953	+ +	Geral
138	23	297,057	1.184 ns	0.749	+ +	Geral	7	287,839	1.089 ns	0.711	- +	Ambiente desfavorável
118	9	309,690	1.024 ns	0.979	+ +	Geral	8	285,540	0.944 ns	0.968	+ +	Geral
152	26	293,894	1.184 ns	0.867	- -	Não recomendado	9	283,905	0.951 ns	0.773	- +	Ambiente desfavorável
175	7	315,477	1.172 ns	0.872	+ -	Ambiente favorável	10	283,531	1.109 ns	0.878	+ +	Geral
188	24	297,032	1.016 ns	0.906	+ +	Geral	11	283,509	0.893 ns	0.912	+ +	Geral
108	15	304,873	1.013 ns	0.939	+ +	Geral	12	282,795	0.961 ns	0.944	+ +	Geral
151	10	308,361	1.093 ns	0.967	+ +	Geral	13	282,658	1.023 ns	0.905	- +	Ambiente desfavorável
72	6	316,931	1.259 ns	0.923	+ +	Geral	14	282,465	1.171 ns	0.886	+ +	Geral
52	16	301,813	0.990 ns	0.909	+ -	Ambiente favorável	15	282,314	0.899 ns	0.905	+ +	Geral
183	22	297,595	1.186 ns	0.914	+ +	Geral	16	280,898	1.020 ns	0.811	- +	Ambiente desfavorável
137	20	299,845	0.988 ns	0.785	+ +	Geral	17	280,678	0.909 ns	0.848	+ -	Ambiente favorável
98	18	300,984	1.072 ns	0.921	+ +	Geral	18	278,703	0.978 ns	0.948	+ -	Ambiente favorável
99	14	305,005	1.237 ns	0.946	+ +	Geral	19	276,261	1.156 ns	0.913	- +	Ambiente desfavorável
150	25	295,032	1.401*	0.75	- +	Ambiente desfavorável	20	276,116	1.277*	0.854	+ -	Ambiente favorável
83	17	301,567	1.275 ns	0.924	+ +	Geral	21	274,005	1.187 ns	0.965	+ -	Ambiente favorável
84	8	309,999	0.986 ns	0.853	+ -	Ambiente favorável	22	273,881	0.999 ns	0.869	+ -	Ambiente favorável
82	31	288,565	1.036 ns	0.918	+ +	Geral	23	273,166	0.891 ns	0.823	- +	Ambiente desfavorável
86	19	300,982	1.265 ns	0.766	+ +	Geral	24	272,073	1.219*	0.857	+ -	Ambiente favorável
160	33	287,536	1.323*	0.927	- +	Ambiente desfavorável	25	267,735	1.156 ns	0.937	+ +	Geral
113	30	290,260	1.077 ns	0.85	+ +	Geral	26	267,462	0.998 ns	0.909	+ -	Ambiente favorável

Tabela 4. Continuação...

	Cenário 1						Cenário 2					
Gen	**Rank**	**β_0**	**β_1**	**R^2**	**Class.**	**Tipo de recomendação**	**Rank**	**β_0**	**β_1**	**R^2**	**Class.**	**Tipo de recomendação**
122	32	288,200	1.056 ns	0.884	- +	Ambiente desfavorável	27	266,505	0.928 ns	0.861	- +	Ambiente desfavorável
96	28	293,020	1.255 ns	0.954	+ +	Geral	28	263,872	1.143 ns	0.89	+ -	Ambiente favorável
87	35	285,648	0.989 ns	0.926	+ -	Ambiente favorável	29	263,739	0.900 ns	0.933	- -	Não recomendado
171	29	292,739	0.705 ns	0.743	+ -	Ambiente favorável	30	263,404	0.735 ns	0.769	+ -	Ambiente favorável
173	38	277,502	0.966 ns	0.78	+ -	Ambiente favorável	31	262,619	0.878 ns	0.847	+ -	Ambiente favorável
157	36	283,158	1.026 ns	0.838	+ +	Geral	32	262,465	0.985 ns	0.927	+ -	Ambiente favorável
19	13	306,014	1.059 ns	0.911	+ +	Geral	33	262,248	1.114 ns	0.901	+ -	Ambiente favorável
101	21	299,787	1.256 ns	0.973	+ +	Geral	34	262,248	1.176 ns	0.97	- -	Não recomendado
79	27	293,502	0.909 ns	0.943	+ -	Ambiente favorável	35	260,635	0.917 ns	0.924	+ -	Ambiente favorável
181	45	264,590	0.978 ns	0.898	- +	Ambiente desfavorável	36	259,831	0.781 ns	0.768	- +	Ambiente desfavorável
117	39	277,189	0.945 ns	0.938	- +	Ambiente desfavorável	37	259,220	0.822 ns	0.897	- -	Não recomendado
172	42	271,116	1.019 ns	0.921	- -	Não recomendado	38	258,006	0.894 ns	0.916	+ -	Ambiente favorável
16	40	274,486	1.033 ns	0.635	+ +	Geral	39	257,805	0.893 ns	0.623	+ +	Geral
174	34	286,093	1.195 ns	0.866	+ +	Geral	40	256,040	1.149 ns	0.929	+ -	Ambiente favorável
170	37	279,753	1.160 ns	0.795	+ -	Ambiente favorável	41	254,281	1.090 ns	0.871	- -	Não recomendado
81	11	307,148	1.070 ns	0.946	+ +	Geral	42	252,106	0.955 ns	0.895	- -	Não recomendado
43	46	256,795	0.733 ns	0.559	- +	Ambiente desfavorável	43	246,272	0.629 ns	0.566	- -	Não recomendado
42	43	265,004	0.810 ns	0.923	- -	Não recomendado	44	245,498	0.750 ns	0.915	- -	Não recomendado
10	41	272,296	1.151 ns	0.892	- +	Ambiente desfavorável	45	244,239	1.043 ns	0.856	- -	Não recomendado
12	44	264,995	1.216 ns	0.857	- +	Ambiente desfavorável	46	235,764	1.092 ns	0.821	- -	Não recomendado
111	47	242,247	0.688 ns	0.799	- -	Não recomendado	47	228,367	0.640 ns	0.829	- -	Não recomendado
41	48	223,185	0.846ns	0.662	- -	Não recomendado	48	197,680	0.764ns	0.607	- -	Não recomendado

Com respeito à mudança do padrão de adaptabilidade e estabilidade durante o processo seletivo, Faria et al. (2010), em experimentos com milho-pipoca, demonstraram que a prática da seleção provocou alterações nos padrões de adaptabilidade e estabilidade. Entretanto, os autores consideraram vários ciclos de seleção e diferentes estruturas de seleção (famílias de meios-irmãos, irmãos completos e endogâmicas). Possivelmente, por se trataram de linhagens em avançado grau de homozigose, os genótipos avaliados apresentam locos relacionados à adaptação e estabilidade em homozigose, de maneira que o padrão de resposta seja mantido. Por outro lado o conjunto de ambientes fixos pode contribuir para a baixa alteração na classificação dos genótipos.

No presente trabalho a classificação dos genótipos tendeu a ser mais concentrada à adaptabilidade do tipo geral. A maior parte dos genótipos apresentou β_1 entre 1,0 e 1,3 (Tabela 4). Por outro lado, os genótipos 88 e 153, de maior produtividade nos dois cenários, apresentaram uma tendência à adaptação a ambiente favorável ($\beta_1>1$). Entre os dez genótipos com melhor desempenho, classificados após o processo seletivo, a adaptabilidade geral e alta estabilidade foi detectada. Os genótipos 86, 88, 150, 153 e 160 apresentaram coeficiente de regressão superiores à unidade ($\beta_1>1$) se avaliados os dois cenários. Contudo, somente os genótipos 150 e 153 repetiram a mesma classificação no dois cenários. Isso indica que eles possuem adaptação restrita a ambientes favoráveis. Segundo Peluzio (2010) genótipos com adaptabilidade a ambientes favoráveis devem ter recomendação criteriosa, pois se cultivados em ambientes desfavoráveis podem apresentar rendimentos comprometidos. Nenhum genótipo apresentou adaptabilidade a ambientes desfavoráveis pela metodologia de Eberhart e Russel.

O coeficiente de determinação (R^2) foi usado para o estudo da estabilidade de desempenho. Neste estudo apenas os genótipos 16, 41, 43 e 149 apresentaram coeficiente de determinação menor que 70% e foram classificados como de baixa estabilidade. Não houve mudanças quanto à estabilidade dos genótipos após o processo seletivo, indicando consistência na avaliação da previsibilidade de desempenho dos genótipos.

Na Tabela 4 são apresentados o tipo de recomendação obtida através da nova metodologia. Para o primeiro cenário 27 genótipos apresentaram recomendação geral (++), oito recomendação para ambientes favoráveis (+-), oito para ambientes desfavoráveis (-+) e cinco não foram recomendados (- -). Para o segundo cenário ocorreram 12 genótipos com recomendação geral, 15 com recomendação a ambientes favoráveis, 10 recomendados para ambientes desfavoráveis e 11 não são recomendados.

Ao avaliar os dois cenários estudados observou-se grandes alterações na recomendação dos genótipos pela nova metodologia ao acrescentar novos ambientes. Dos 27 genótipos que possuíam recomendação geral, apenas nove mantiveram a classificação. Sete desses passaram a ser recomendados para ambientes favoráveis, nove para ambientes desfavoráveis e dois não foram recomendados. Isso indica que com o aumento do número de ambientes avaliados há uma maior distinção na classificação dos genótipos.

Os genótipos que apresentaram altos valores genéticos apenas em ambientes favoráveis são responsivos a melhoria do ambiente, portanto estes são recomendados para ambientes com alto padrão tecnológico. Os genótipos com recomendação geral apresentam comportamento satisfatório em ambientes com

alta e baixa tecnologia. Para ambientes com baixa tecnologia a recomendação é para relativa àqueles genótipos que apresentaram maiores valores genéticos nessas condições, ou seja, recomendação para ambientes desfavoráveis. Os genótipos não recomendados não apresentaram bom desempenho em nenhum dos tipos de ambientes testados.

Com base na nova metodologia proposta se destacam os genótipos 116 e 153, os quais possuem alto valor genético (g_i) e são de recomendação geral. Entre os genótipos que podem ser recomendados a ambientes favoráveis estão as linhagens 137 e 150. Para ambientes desfavoráveis os genótipos 149, 151 e 138 apresentaram maiores valores genéticos.

Com respeito às alterações de classificação dos padrões de adaptabilidade e estabilidade após o processo seletivo, houve um percentual de coincidência de 38% da nova metodologia, contra 94% de coincidência obtida pelo método de Eberhart e Russel. A metodologia de Eberhart e Russel mostrou classificações mais generalistas enquanto a nova metodologia demonstrou maior capacidade de percepção das diferenças de comportamento dos genótipos nos diversos ambientes.

O percentual de coincidência entre os dois métodos foi de aproximadamente 40%. A baixa coincidência pode ser explicada pela maior sensibilidade do novo método em detectar as diferenças de comportamento que podem ser alteradas pela seleção e com a inclusão de novos ambientes. Carvalho et al. (2008) e Ferreira et al. (2012) já haviam observado a superioridade dos modelos mistos diante dos outros métodos baseados na análise de variância convencional para análise experimentos com dados desbalanceados. Segundo

Smith et al. (2005) as análises via modelos mistos retornam valores genéticos, que são mais úteis para o melhoramento, diferente de outros métodos que estimam somente o valor fenotípico.

4. Conclusões

A seleção não promoveu mudanças nos padrões de adaptabilidade dos genótipos avaliados pelo método de Eberhart & Russell.

O método de Eberhart & Russell apresentou menor poder de discriminação de padrões de recomendação de genótipos frente à nova metodologia proposta.

A utilização das predições dos valores genéticos e das interações genótipo x ambientes na avaliação de adaptabilidade e estabilidade se mostrou uma ferramenta de fácil aplicação na recomendação de cultivares.

5. Referências Bibliográficas

BASTOS, I. T.; BARBOSA, M. H. P.; RESENDE, M. D. V.; PETERNELLI, L. A.; SILVEIRA, L. C. I.; DONDA, L. R.; FORTUNATO, A. A.; COSTA, P. M. A.; FIGUEIREDO, I. C. R. Avaliação da interação genótipo x ambiente em cana-de-açúcar via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 4, p. 195-203, 2007.

CARBONELL, S. A. M.; CHIORATO, A. F.; RESENDE, M. O. V.; DIAS, L. A. S.; BERALDO, A. L. A.; PERINA, E. F. Estabilidade de cultivares e linhagens de feijoeiro em diferentes ambientes no estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 66, n. 2, p. 193-201, 2007.

CARVALHO, A. D. F.; FRITSCHE NETO, R.; GERALDI, I. O. Estimation and prediction of parameters and breeding values in soybean using REML/BLUP and Least Squares. **Crop Breeding and Applied Biotechnology.** v.8, p. 219-224, 2008.

CARVALHO, E. V.; PELUZIO, J. M.; SANTOS, W. F.; AFFÉRRI, F. S.; DOTTO, M. A. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja em Tocantins. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 7, p. 162-169, 2013.

CRUZ, C.D.; TORRES, R.A. de A.; VENCOVSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**. v.12, n.3, p.567-80, 1989.

EBERHART, S.A.; RUSSEL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science,** v.6, n.1, p. 36-40, 1966.

FARIA, V. R.; VIANA, J. M. S.; MUNDIM, G. B.; COSTA E SILVA, A.; CÂMARA, T. M. M. Adaptabilidade e estabilidade de populações de

milho-pipoca relacionadas por ciclos de seleção. **Pesquisa agropecuária brasileira.** v.45, p.1396-1403, 2010.

FERREIRA, R. T.; VIANA, A. P.; BARROSO, D. G.; RESENDE, M. D. V.; JÚNIOR, A. T. A. Toona ciliata genotype selection with the use of individual BLUP with repeated measures. **Scientia Agricola**. v.69, p.210-216, 2012.

FINLAY , K,W; WILKINSON, G.N. The analysis of adaptation in a plant-breeding programe. **Australian Journal of Agricultural Research**. v.14, n.5, p.742-754, 1963.

GOMES; F. P. **Curso de estatística experimental.** Nobel, São Paulo, 467p. 1990

HENDERSON, C.R. Estimates of changes in herd environment. Journal of Dairy Science, Champaign, (Abstr.), v.32, p.706, 1949.

HENDERSON, C.R. Best linear unbiased estimation and prediction under a selection model. **Biometrics**, Washington, v.31, p.423-447, 1975.

LIN, C.S.; BINNS,M.R. A method of analysing cultivars x location x year experiments: new stability parameter. **Theoretical Applied Genetics.** v.76, p.425-430, 1988.

MARTINS, J. A. S.; JULIATTI, F. C. Adaptability and stability of soybean advanced lines of semi early cycle for rust resistance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology.** v. 12, p. 43-51, 2012.

MEOTTI, G.V.; BENIN, B.; SILVA, R.R.; BECHE, E.; MUNARO, L.B. Épocas de semeadura e desempenho agronômico de cultivares de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.14-21, 2012..

NASCIMENTO, M.; FERREIRA, A.; CAMPANA, A. C. M.; SALGADO, C. C.; CRUZ, C. D. Multiple centroid methodology to analyze genotype adaptability. **Crop Breeding and Applied Biotechnology.** v.9, p. 8-16, 2009.

PACHECO C.A.P., OLIVEIRA A.C., GAMA E. E. G., SANTOS M. X., PARENTONI S. N., MEIRELLES, W.F., GUIMARÃES P. E. O. e RIBEIRO, P.H.E. Influência do índice ambiental na estimação de parâmetros de adaptabilidade de estabilidade de Eberhart e Russel. In: **XXIV Congresso Nacional de Milho e Sorgo**, 2002, Florianópolis, SC.

PELUZIO, J. M.; AFFÉRRI, F. S.; MONTEIRO, F. J. F.; MELO, A. V.; PIMENTA, R. S. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em várzea irrigada no Tocantins. **Revista Ciência Agronômica.** v. 41, p. 427-434, 2010.

PINHEIRO, L. C. M.; GOD, P. I. V. G.; FARIA, V. R.; OLIVEIRA, A. G; HASUI, A. A .; PINTO, E. H. G.; ARRUDA, K. M. A.; PIOVESAN, N. D.; MOREIRA, M. A. Parentesco na seleção para produtividade e teores de óleo e proteína em soja via modelos mistos. **Pesquisa Brasileira Agropecuária.** v.48, n.9, p.1246-1253, 2013

RESENDE, M.D.V. Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 65p. (Embrapa - Documentos, 100)

RESENDE, M. D. V.. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Embrapa Florestas, Colombo, 2007.

SMITH, A. B., CULLINS, B. R.; THOMPSON, R. The Analysis of Crop Cultivar Breeding and Evaluation Trials: An Overview of Current Mixed Model Approaches**. Journal of Agricultural Science**, v. 143, 449-462, 2005.

SPILKE, J.; PIEPHO, H. P.; HU, X. Analysis of Unbalanced Data by Mixed Linear Models Using the mixed Procedure of the SAS System. **Journal Agronomy and Crop Science.** v. 191, p.47-54, 2005.

VASCONCELOS, E. S.; REIS, M. S.; CRUZ, C. D.; TUNEO SEDIYAMA. T.; SCAPIM, C. A. Adaptability and stability of semilate and late maturing soybean genotypes in Minas Gerais state. **Acta Scientiarum. Agronomy.** v. 32, p. 411-415, 2010.