

ESTABILIDADE E ADAPTABILIDADE DE PRODUÇÃO DE GRÃOS DE SOJA POR MEIO DE METODOLOGIAS TRADICIONAIS E REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS

Mário do Carmo Oda^{1*}, Tuneo Sedyama², Eder Matsuo³, Moysés Nascimento⁴, Cosme Damião Cruz⁵

SAP 21109 Data de envio: 21/11/2018 Data de aceite: 07/02/2019
Sci. Agrar. Parana., Marechal Cândido Rondon, v. 18, n. 2, abr./jun., p. 117-124, 2019

RESUMO - Em programas de melhoramento genético, o conhecimento sobre a interação genótipos x ambientes e da recomendação por meio de análise de adaptabilidade e estabilidade tornam-se imprescindíveis para melhoristas de soja. Desta forma, objetivou-se neste trabalho avaliar a estabilidade e adaptabilidade do rendimento de grãos de linhagens elites, utilizando métodos tradicionais e abordagens fundamentadas em redes neurais artificiais. Para o uso das redes neurais em análise de estabilidade e adaptabilidade não requer conhecimento prévio a respeito do comportamento a ser modelado e de nenhuma pressuposição em relação às variáveis em estudo; além de ser útil para contornar problemas ligados ao pequeno número de ambientes e à perda de informações. Foram analisados 20 genótipos de soja em cinco diferentes ambientes considerando-se o delineamento em blocos casualizados com cinco repetições. Realizou-se análise de variância individual e conjunta, seguida das análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípica. Os genótipos Monarca e UFV01-10533486B podem ser indicados para ambientes gerais, o genótipo UFV99-8231826 pode ser recomendado para ambientes favoráveis e o Conquista para ambientes desfavoráveis.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merr., melhoramento genético, interação genótipos x ambientes, inteligência artificial.

STABILITY AND ADAPTABILITY OF SOYBEAN PRODUCTION THROUGH TRADITIONAL METHODOLOGIES AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

ABSTRACT - In genetic breeding programs, knowledge about genotype x environment interaction and recommendation of genotypes through adaptability and stability analysis are imperative for soybean breeders. The objective of this work was to evaluate the stability and adaptability of grain yield of elite genotypes, using traditional methods and based on artificial neural networks. For the use of the neural networks in analysis of stability and adaptability does not require previous knowledge regarding the behavior to be modeled and any presupposition in relation to the variables under study; as well as being useful for circumventing problems related to the small number of environments and the loss of information. Twenty soybean genotypes were analyzed in five different environments considering the randomized block design with five replicates. Individual and joint analysis of variance was performed, followed by analyzes of adaptability and phenotypic stability. The genotypes Monarca and UFV01-10533486B can be indicated for general environments, the genotype UFV99-8231826 can be recommended for favorable environments and the Conquista for unfavorable environments.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merr., improvement, genotype x environment interaction, artificial intelligence.

INTRODUÇÃO

Em programas de melhoramento genético, os genótipos, antes de serem lançados, são avaliados em vários locais e safras, para a tomada de decisão sobre sua seleção e/ou recomendação. No entanto, esta decisão é normalmente dificultada pela presença da interação genótipos x ambientes (GxA). O entendimento da interação GxA torna-se imprescindível aos programas de melhoramento, em que, se buscam minimizar a inconsistência das características de interesse, com a

produtividade de grãos, diante das variações ambientais, para recomendações mais precisas (DUARTE e VENCOSKY, 1999).

A interação GxA deve ser observada como um fenômeno biológico, em suas implicações no melhoramento de plantas, e não como simples efeito estatístico, visando buscar a explicação do fenômeno para obter proveito de seus efeitos benéficos, bem como para contornar seus efeitos indesejáveis sobre a avaliação de genótipos e recomendação de cultivares. A reação

¹Pesquisador, Programa de Melhoramento Genético de Soja da TMG. E-mail: mariooda@tmg.agr.br. *Autor para correspondência.

²Professor, Universidade Federal de Viçosa (UFV), *Campus* Viçosa, Departamento de Fitotecnia, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. E-mail: tuneo@ufv.br.

³Professor, Universidade Federal de Viçosa (UFV), *Campus* Rio Paranaíba, Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas, Rio Paranaíba, Minas Gerais, Brasil. E-mail: edermatsuo@ufv.br.

⁴Professor, Universidade Federal de Viçosa (UFV), *Campus* Viçosa, Departamento de Estatística, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. E-mail: moysesnascim@ufv.br.

⁵Professor, Universidade Federal de Viçosa (UFV), *Campus* Viçosa, Departamento de Biologia Geral, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. E-mail: cdacruz@ufv.br.

diferencial às mudanças ambientais pode ocorrer devido a diferenças de constituição genética dos indivíduos relativas a caracteres importantes nessa adaptação, a mecanismos de regulação da expressão gênica e, até mesmo, os efeitos indiretos de caracteres morfológicos e fisiológicos que impactam o valor fenotípico final do indivíduo (CHAVES, 2001).

O conhecimento do comportamento ou adaptabilidade de genótipos a determinados ambientes é de grande importância para a avaliação do valor agrônomo das cultivares, tanto para os produtores de sementes como para os de grãos. A estabilidade da produtividade, em grande amplitude de condições ambientais, tem sido relevante para avaliar o potencial genético de genótipos, pois, permite a identificação de cultivares de comportamento previsível às variações ambientais. Amplos esforços devem ser feitos no sentido de identificar genótipos que possuam alta média geral para a característica de interesse, de ampla adaptabilidade e estabilidade (MURAKAMI et al., 2004).

Há mais de uma dezena de metodologias de análise de adaptabilidade e estabilidade destinadas à avaliação da interação GxA e estas são fundamentadas na existência de interações e distinguem-se nos conceitos de estabilidade adotados e de certos princípios estatísticos empregados (CRUZ et al., 2012). Vários métodos estatísticos têm sido propostos e utilizados em aplicações e, a cada dia, novos procedimentos vêm sendo apresentados com o objetivo de se interpretar melhor a interação GxA (SILVA e DUARTE, 2006). Na escolha dos métodos a serem empregados, devem-se considerar aspectos como facilidade de análise e de interpretação dos resultados (BORGES et al., 2000). Além disso, deve-se considerar os dados experimentais, número de ambientes disponíveis, precisão requerida e do tipo de informação desejada (CRUZ et al., 2012).

Os métodos de Eberhart e Russell (1966), Centroide (ROCHA et al., 2005), Lin e Binns (1988) modificados por Carneiro (1998) e Annicchiarico (1992) são difundidos entre os melhoristas o que torna seu uso e aplicabilidade bem definidos pelos usuários.

A maioria dos métodos utilizados para avaliar a adaptabilidade e a estabilidade dos genótipos exige pressuposições básicas, tais como: distribuição normal dos dados, independência das variâncias e a existência de um modelo matemático associado com um delineamento experimental (DIMAURO et al., 2000). A classificação de genótipos por meio de redes neurais artificiais, proposta por Nascimento et al. (2013), especificamente para análise de adaptabilidade e estabilidade, não requer conhecimento prévio a respeito do comportamento a ser modelado e nenhuma pressuposição em relação às variáveis em estudo (NASCIMENTO et al., 2018).

Além disso, a rede neural possibilitar a combinação de diferentes metodologias de adaptabilidade e estabilidade em um único modelo é uma alternativa eficiente, pois a utilização de redes neurais artificiais em estudos de adaptabilidade e estabilidade pode ser útil para contornar problemas ligados ao pequeno número de

ambientes e à perda de informações (NASCIMENTO et al., 2018). Na metodologia proposta por Nascimento et al. (2013) a classificação é realizada com base em classes predefinidas de acordo com as metodologias de Finlay e Wilkinson (1963) e Eberhart e Russel (1966).

Dessa maneira, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar a estabilidade e adaptabilidade do rendimento de grãos de linhagens elites de soja, por métodos tradicionais e abordagens fundamentadas em redes neurais.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos nos anos agrícolas 2002/2003 e 2003/2004, em cinco ambientes no Estado de Minas Gerais [(Capinópolis, solo fértil, a 620 m de altitude, com coordenadas geográficas 18°41'05"S e 49°34'51"O, ano agrícola 2002/2003; Capinópolis, solo pobre, a 620 m de altitude, com coordenadas 18°41'05"S e 49°34'51"O, ano agrícola 2002/2003; Florestal, solo pobre, a 796 m de altitude, com coordenadas 19°52'26"S e 42°26'17"O, ano agrícola 2002/2003; Capinópolis, solo fértil, a 620 m de altitude, com coordenadas 18°41'05"S e 49°34'51"O, ano agrícola 2003/2004 e Capinópolis, solo pobre, a 620 m de altitude, com coordenadas 18°41'05"S e 49°34'51"O, ano agrícola 2003/2004), com 20 genótipos de soja de ciclo semitardio/tardio, sendo 5 cultivares comerciais (MG/BR 46 (Conquista), Monarca, DM-339, BRS-Celeste e UFV-18 (Patos de Minas)] e 15 linhagens pertencentes aos ensaios intermediários do Estado de Minas Gerais do Programa de Melhoramento Genético de Soja do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa.

Os experimentos foram instalados no delineamento em blocos completos casualizados, com três repetições. As parcelas foram formadas por quatro fileiras de plantas, com 5 m de comprimento, espaçadas em 0,50 m entre si. A área útil da parcela foi de 4,0 m², sendo colhidas as duas fileiras centrais, desprezando 0,5 m de bordadura nas extremidades, posteriormente, debulhadas e, quando necessário, os grãos foram secos até 14% de umidade.

Foram realizadas as análises de variâncias individuais, seguindo-se de análise de variância conjunta. Na análise conjunta, avaliou-se primeiramente a homogeneidade das variâncias residuais dos experimentos por meio da razão entre o maior e menor quadrado médio residual (QMR) dos ensaios individuais. As análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípica foram realizadas pelos métodos de Eberhart e Russell (1966), Redes Neurais Artificiais (NASCIMENTO et al., 2013), Centroide (ROCHA et al., 2005), Lin e Binns (1988) modificados por Carneiro (1998) e Annicchiarico (1992).

Com relação à rede neural artificial (RNA), a simulação dos dados, para fins de treinamento computacional, e classificação das cultivares quanto à adaptabilidade e estabilidade por meio da RNA podem ser obtidas em Nascimento et al. (2013). No presente trabalho, foi utilizada a rede *back-propagation single hidden layer*. Especificamente a RNA possui 1 camada de entrada, 1 intermediária e 1 camada de saída. A primeira camada

possui 5 entradas, as quais se referem aos valores de média de produtividade avaliadas em 5 ambientes. Na camada intermediária o número de neurônios variou de 1 a 10 neurônios. A camada de saída foi composta por 1 neurônio e a saída é dada pela classificação do genótipo em uma das seis classes definidas por Eberhart e Russell (1966). Genótipos que apresentaram média inferior à média geral foram classificados como não recomendados para análise por meio da inteligência computacional.

Os argumentos necessários para a função da rede, tais como número de neurônios na camada oculta, valores iniciais para os pesos, taxa de decaimento e máximo de iterações foram escolhidos considerando a rede que forneceu um valor de erro de no máximo 2% para o conjunto de teste, conforme realizado por Nascimento et al. (2013) e Barroso et al. (2013). A melhor arquitetura da rede, na qual a camada intermediária apresentou 5 neurônios, foi estabelecida por aquela que apresentou um erro de classificação inferior à 2%.

As análises de variância individual e conjunta dos experimentos e de adaptabilidade e estabilidade pelo método de Eberhart e Russell (1966), Centróide (ROCHA et al., 2005), Lin e Binns (1988) modificados por Carneiro (1998) e Annicchiarico (1992) foram realizadas no Software Genes (Cruz, 2013). Para avaliar a adaptabilidade e a estabilidade, por meio da RNA, dos 20 genótipos de soja em estudo utilizou-se a função *nnet* do pacote *nnet* (VENABLES e RIPLEY, 2002) implementada no R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2018) para avaliação da adaptabilidade por meio da rede neural artificial.

TABELA 1 - Análise de variância conjunta para rendimento de grãos (kg ha^{-1}) de 20 genótipos de soja de ciclo semitardio/tardio, em cinco ambientes, no estado de Minas Gerais.

Fontes de variação	Graus de liberdade	Quadrados médios
Bloco/ambiente	10	283234,50
Genótipos	19	523945,04 ^{ns}
Ambientes	4	49634564,50 ^{**}
Genótipos x ambiente	76	349047,15 ^{**}
Resíduo	190	97448,00
Média		2237,05
CV (%)		13,95

** = significativo a 1% de probabilidade de erro, ns = não significativo a 1% de probabilidade de erro.

Na metodologia de Eberhart e Russell (1966), Tabela 2, o genótipo ideal é a que apresenta produtividade média superior à média geral, coeficiente de regressão igual à unidade e com pequeno desvio da regressão, ou seja, a cultivar com resposta positiva à melhoria das condições ambientais ($\beta_1 = 1$) e com comportamento previsível ($\sigma_{di}^2 = 0$). Assim, é possível, por meio desta metodologia, caracterizar um genótipo quanto à adaptabilidade (geral, específica a ambiente favoráveis ou específica a ambientes desfavoráveis) e à estabilidade (alta ou baixa).

Os genótipos Monarca, UFV01-10533486B e UFV99-722F626 apresentaram médias superiores à média geral do experimento, coeficiente de regressão e desvio da

regressão não significativo. Isto indica que são genótipos de adaptabilidade geral e alta estabilidade quanto à produção de grãos de soja nestes ambientes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Adicionalmente, procedeu-se análise de correlação de Spearman entre as ordens de classificação obtidas entre os métodos de Lin e Binns (1988) modificados por Carneiro (1998) e Annicchiarico (1992), conforme realizado por Silva e Duarte (2006).

Na análise de variância individual, observou-se efeito significativo ($p < 0,01$) para genótipos em todos os ambientes, com médias de produtividade de grãos de 1.341 a 3.597 kg ha^{-1} e valores de coeficiente de variação de 8,0 a 22,6%. Peluzio et al. (2008) analisaram 20 cultivares em quatro épocas (ambientes) e obtiveram valores de coeficiente de variação inferiores à 22,77% e reportaram ter obtido boa precisão no controle das causas de variação de ordem sistemática dos ambientes experimentais em produtividade de grãos, que é um caráter quantitativo muito influenciado pelo ambiente.

A relação (Maior QMR)/(Menor QMR) foi igual à 2,87. Segundo Pimentel-Gomes (1990), as variâncias são consideradas homogêneas quando a relação entre o maior e o menor QMR é menor que 7,0. Na análise conjunta (Tabela 1), os efeitos de ambientes e interação genótipos x ambientes (GxA) foram significativos ($p < 0,01$), resultados semelhantes foram obtidos por Alliprandini et al. (1998). A significância da interação GxA demonstra que há uma variação de resposta dos genótipos nos diferentes ambientes. O coeficiente de variação, na análise conjunta, foi de 13,95%, o que indicou uma boa precisão de acordo com Prado et al. (2001) e Lopes et al. (2002).

A linhagem UFV99-8231826 apresentou média superior à média geral, coeficiente de regressão significativo e superior a unidade (indicando ser responsivo a ambientes favoráveis) e desvio da regressão não significativo (de alta estabilidade). DiMauro et al. (2000) reportaram que genótipos com estes aspectos têm a capacidade de explorar vantajosamente os ambientes favoráveis. A cultivar Conquista apresentou média superior à média geral, coeficiente de regressão significativo e menor que a unidade (indicando ser um genótipo recomendado à ambientes desfavoráveis) e de alta estabilidade.

Dos 20 genótipos analisados, 8 apresentaram média acima da média geral do experimento, sendo estes recomendados na análise de RNA. Ao analisar estes genótipos, verificou-se 88% de concordância entre os métodos RNA e Eberhart e Russell (1966). Nascimento et al. (2013), Teodoro et al. (2015) e Correa et al. (2016) verificaram semelhança acima de 80% entre Eberhart e Russell (1966) e RNA para análise de adaptabilidade e

estabilidade em genótipos de alfafa, feijão caupi e feijão comum, respectivamente. Carvalho et al. (2018) mencionaram semelhança entre Eberhart e Russell (1966) e RNA para análise de adaptabilidade e estabilidade em algodão. Além disto, estes autores, reportaram que as RNAs podem ser consideradas efetiva alternativa para mensurar a adaptabilidade e estabilidade fenotípica em programas de melhoramento.

TABELA 2 - Estimativas de parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de linhagens de soja do grupo de maturação semitardio/tardio, avaliadas em Minas Gerais, com base na metodologia de Eberhart e Russel (1966) e redes neurais artificiais (RNA) (NASCIMENTO et al., 2013).

Genótipos	Médias	Eberhart e Russel (1966) ¹			RNA ²	
		β_1	σ_{di}^2	R ² _%	Adaptabilidade	Estabilidade
Conquista	2372,50	0,62**	51710,77 ^{ns}	83,69	Desfavorável	Alta
Monarca	2616,66	1,07 ^{ns}	-7007,68 ^{ns}	98,03	Geral	Alta
DM-339	2417,83	1,21*	69138,36 ⁺	94,13	Favorável	Baixa
BRS-Celeste	1961,66	0,95 ^{ns}	42530,30 ^{ns}	93,11	NR	
UFV99-9392019	2122,00	1,07 ^{ns}	191959,74 ⁺⁺	84,97	NR	
UFV99-3047-84	2109,50	0,72**	297716,74 ⁺⁺	63,54	NR	
UFV99-3047-81	2158,33	0,80*	-20883,34 ^{ns}	98,40	NR	
UFVS-2002-284	2233,16	0,61**	15712,11 ^{ns}	89,74	NR	
UFV01-846305B	1930,16	0,99 ^{ns}	195894,39 ⁺⁺	82,83	NR	
UFV01-10533486B	2449,16	0,91 ^{ns}	25909,44 ^{ns}	94,07	Geral	Alta
UFV99-722F626	2345,83	0,90 ^{ns}	34158,43 ^{ns}	93,08	Geral	Alta
UFV98-RC71067	2174,16	0,99 ^{ns}	82133,14 ⁺	90,49	NR	
UFV98-878557	2117,00	1,07 ^{ns}	14045,55 ^{ns}	96,49	NR	
UFV98-878565	2247,66	1,14 ^{ns}	26657,13 ^{ns}	96,09	NR	
UFV99-8231826	2467,83	1,34**	34521,86 ^{ns}	96,76	Favorável	Alta
UFV98-8552095	1975,83	0,82 ^{ns}	30155,08 ^{ns}	92,32	NR	
UFV99-8542068	2082,66	1,19*	-13738,80 ^{ns}	98,83	NR	
UFV99-8552104	2329,83	1,09 ^{ns}	64498,85 ⁺	93,16	Geral	Alta
UFV99-8552096	2210,83	1,11 ^{ns}	41652,47 ^{ns}	94,83	NR	
UFV-18	2418,33	1,28**	240221,58 ⁺⁺	87,00	Geral	Baixa
Média geral	2249,55					

^{1/} * e ** = significativo a 5% e 1% de probabilidade de erro, pelo teste t, respectivamente; + e ++ = significativo a 5% e 1% de probabilidade de erro, pelo teste F, respectivamente; ns = não significativo. ^{2/} RNA = redes neurais artificiais obtidas com base na metodologia proposta por Nascimento et al. (2013) e genótipos que apresentaram média inferior à média geral foram classificados como não recomendados (NR).

O conceito de adaptabilidade e estabilidade utilizado no método Centroide diferencia-se dos demais, uma vez que o genótipo de máxima adaptação específica não é aquele que apresenta bom desempenho nos grupos de ambientes favoráveis ou desfavoráveis, mas sim o genótipo que mostra valores máximos para determinado grupo de ambientes (favoráveis e desfavoráveis) e mínimo para o outro conjunto (ROCHA et al., 2005). Utilizando o método de Centroide observou-se, na Tabela 3, que os genótipos Monarca, UFV01-10533486B e UFV99-722F626 foram os de médias superiores em relação à média geral e com maior probabilidade de pertencer ao grupo dos que apresentam melhores padrões de reposta em ambiente geral (grupo I).

Os genótipos DM-339, UFV99-8231826 e UFV99-8552104 foram de média alta (maior que a média geral) e classificados como da classe II (adaptabilidade específica a ambientes favoráveis). A cultivar Conquista

foi a única de média alta e classificada como da classe III (adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis). Enquanto que, os genótipos BRS-Celeste, UFV99-9392019, UFV01-846305B, UFV98-RC71067, UFV98-878557 e UFV98-8552095 pertencem aos grupos dos materiais pouco adaptados (Grupo IV). A concordância dos resultados obtidos entre os métodos RNA e Centroide foi de 75%.

Na metodologia de Lin e Binns modificado por Caneiro (1998) a performance genotípica é estimada pelo parâmetro (Pi), o qual se relaciona à distância do genótipo avaliado ao melhor genótipo, de modo que quanto menor o seu valor, maior será a adaptabilidade e estabilidade de comportamento do genótipo. Carneiro (1998) propôs uma melhoria do método a fim de torná-lo capaz de determinar o comportamento dos genótipos em ambientes específicos: favoráveis e desfavoráveis. O genótipo ideal para esse método é aquele com menor valor de Pi.

TABELA 3 - Estimativas de parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de linhagens de soja do grupo de maturação semitardio/tardio, avaliadas em Minas Gerais, com base na metodologia Centroides (ROCHA et al., 2005)¹.

Genótipos	Médias	Grupo	Prob - Classe I	Prob - Classe II	Prob - Classe III	Prob - Classe IV
Conquista	2372,50	III	0,251	0,184	0,349	0,214
Monarca	2616,66	I	0,454	0,275	0,139	0,129
DM-339	2417,83	II	0,268	0,436	0,140	0,154
BRS-Celeste	1961,66	IV	0,192	0,251	0,222	0,333
UFV99-9392019	2122,00	IV	0,211	0,216	0,279	0,292
UFV99-3047-84	2109,50	III	0,154	0,138	0,453	0,253
UFV99-3047-81	2158,33	III	0,215	0,211	0,291	0,281
UFVS-2002-284	2233,16	III	0,224	0,194	0,329	0,251
UFV01-846305B	1930,16	IV	0,155	0,172	0,268	0,402
UFV01-10533486B	2449,16	I	0,352	0,280	0,191	0,176
UFV99-722F626	2345,83	I	0,277	0,237	0,259	0,226
UFV98-RC71067	2174,16	IV	0,221	0,236	0,258	0,284
UFV98-878557	2117,00	IV	0,212	0,240	0,249	0,297
UFV98-878565	2247,66	II	0,254	0,333	0,192	0,222
UFV99-8231826	2467,83	II	0,229	0,548	0,105	0,115
UFV98-8552095	1975,83	IV	0,191	0,228	0,244	0,336
UFV99-8542068	2082,66	II	0,211	0,308	0,201	0,279
UFV99-8552104	2329,83	II	0,267	0,382	0,165	0,184
UFV99-8552096	2210,83	II	0,237	0,358	0,182	0,222
UFV-18	2418,33	II	0,292	0,366	0,165	0,175
Média geral	2249,55					

¹/ Prob: Probabilidade de pertencer à classe indicada, Classe I: adaptabilidade geral, Classe II: adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, Classe III: adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis, Classe IV: pouco adaptado.

Os genótipos Monarca, UFV01-10533486B e UFV99-8231826 apresentaram os menores valores de Pi geral. A linhagem UFV99-8231826 e Monarca apresentaram os menores valores de Pi favorável, indicando ser responsiva a melhoria de ambiente e de alta estabilidade. A cultivar Conquista foi indicada a ambientes desfavoráveis (Tabela 4).

Por meio do método proposto por Annicchiarico (1992) a estabilidade é medida pela superioridade do genótipo em relação à média de cada ambiente; o método se baseia na estimação de um índice de confiança (ou índice de recomendação) de um determinado genótipo mostrar comportamento relativamente superior e o genótipo que apresenta melhor desempenho é aquele de

maior índice de recomendação (ω_i) (CRUZ et al., 2004).

Os genótipos Monarca e UFV01-10533486B foram os que apresentaram os maiores valores do índice de recomendação (ω_i) ambientes no geral, ou seja, valores altos de média e baixos na variação do comportamento nos vários ambientes.

Para ambientes favoráveis UFV99-8231826, Monarca e DM-339 foram os que apresentaram maiores valores de ω_i , enquanto que, em ambientes desfavoráveis Conquista, UFV99-3047-84 e UFVS-2002-284 foram os de maior desempenho em ambientes desfavoráveis (Tabela 4).

TABELA 4 - Estimativas de parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de linhagens de soja do grupo de maturação semitardio/tardio, avaliadas em Minas Gerais, com base na metodologia de Lin e Bins (1988), modificado por Carneiro (1998) e Annicchiarico (1992)¹.

Genótipos	Médias	Lin e Binns modificado por Carneiro (1998)			Annicchiarico (1992)		
		$P_i - G$	$P_i - F$	$P_i - D$	$\omega_i - G$	$\omega_i - F$	$\omega_i - D$
Conquista	2372,50	235335,06	392120,94	156,25	105,68	92,15	139,96
Monarca	2616,66	45826,38	40208,33	54253,46	115,56	115,37	115,35
DM-339	2417,83	149117,98	67925,24	270907,08	100,54	112,86	86,88
BRS-Celeste	1961,66	441124,98	428929,39	459418,36	81,85	91,08	71,02
UFV99-9392019	2122,00	387241,23	530251,62	172725,66	90,16	84,14	99,01
UFV99-3047-84	2109,50	470738,82	758324,67	39360,06	90,86	76,15	120,21
UFV99-3047-81	2158,33	298913,18	412826,96	128042,50	96,08	92,50	105,08
UFVS-2002-284	2233,16	303999,50	463598,72	64600,67	99,44	90,08	118,63
UFV01-846305B	1930,16	566721,58	746327,08	297313,33	80,06	77,21	83,56
UFV01-10533486B	2449,16	107303,81	137505,78	62000,85	108,62	104,45	115,49
UFV99-722F626	2345,83	191130,76	277576,15	61462,66	103,33	97,38	113,75
UFV98-RC71067	2174,16	320105,89	396785,30	205086,78	93,42	91,38	95,09
UFV98-878557	2117,00	326810,69	388376,63	234461,79	91,55	90,66	92,89
UFV98-878565	2247,66	224230,97	185729,31	281983,47	95,14	101,03	87,36
UFV99-8231826	2467,83	133888,80	20497,56	303975,66	100,78	117,70	83,77
UFV98-8552095	1975,83	443550,35	499592,04	359487,80	85,53	88,91	80,01
UFV99-8542068	2082,66	338209,42	261871,06	452716,97	84,84	97,93	70,60
UFV99-8552104	2329,83	179298,80	109638,65	283789,02	98,50	107,85	86,94
UFV99-8552096	2210,83	248088,51	168443,29	367556,37	92,26	103,79	80,08
Média geral	2249,55						

¹G = ambiente geral, F = ambiente favorável, D = ambiente desfavorável.

Os métodos de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) e Annicchiarico (1992) apresentaram forte associação entre si, no ambiente geral ($r = 0,89$), favorável ($r = 0,97$) e desfavorável ($r = 0,98$) (Tabela 5). Resultados semelhantes foram observados por Silva e Duarte (2006) ao analisar a adaptabilidade e estabilidade fenotípica de soja e contra-indicaram seu uso concomitante.

Pereira et al. (2009) ao analisar os métodos de Lin e Binns, Lin e Binns modificado e Annicchiarico identificaram alta correlação entre si, o que, de acordo com os autores, evidência que proporcionam informações semelhantes, e concluíram que os métodos de Lin e Binns modificado e Annicchiarico são indicados, isoladamente, para uso nos estudos de adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares de feijoeiro-comum, pois apresentam simplicidade de utilização e identificam genótipos estáveis e adaptados entre os mais produtivos.

Silva Filho et al. (2008) reportaram que a similaridade entre as metodologias de Lin e Binns (1988) e Annicchiarico (1992) é esperada, uma vez que ambas têm por finalidade medir a superioridade dos genótipos: a primeira toma como referência o desempenho dos melhores genótipos em cada ambiente e a segunda a média de cada um dos ambientes.

Cargnelutti Filho et al. (2007) reportaram que, de maneira geral, métodos embasados em regressão linear parecem ser mais informativos, quando comparados a

métodos de estatística não-paramétrica e análise de variância, nesta ordem. E, a utilização do método de Lin e Binns (1988), Lin e Binns modificado por Carneiro (1998) e Annicchiarico (1992) em conjunto com Eberhart e Russel (1966) por fornecerem informações complementares sobre a estabilidade fenotípica (PEREIRA et al., 2009). Monteiro et al. (2017) ao analisar a estabilidade e adaptabilidade de genótipos, por meio das metodologias de Eberhart e Russell (1966) e de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), identificaram que cinco genótipos apresentando mesma classificação pelas duas metodologias e seis genótipos, resultados diferentes.

A metodologia de Eberhart e Russell (1966) proporcionam informações úteis (β_1 , σ_{di}^2 e R^2) para recomendação das linhagens, mas requer adoção de critérios para a formação de classes de recomendação. As metodologias do centroide e por rede neural proporcionam diretamente a informação sobre a classificação de cada genótipo sendo de fácil interpretação. Estes dois últimos métodos se mostraram concordantes.

As metodologias propostas por Lin e Binns modificado por Carneiro (1998) e Annicchiarico (1992) apresentam medida quantitativa da adaptabilidade e estabilidade e a maior facilidade destas técnicas é a comparação relativa entre as linhagens avaliadas.

TABELA 5 - Estimativas do coeficiente de Spearman aplicados às ordens de adaptabilidade e estabilidade entre os métodos de Lin e Binns (1988), modificado por Carneiro (1998) - P_i - e Annicchiarico (1992) - ω_i ¹.

Ambientes	P_i vs ω_i
Ambiente geral	0,89 **
Ambiente favorável	0,97 **
Ambiente desfavorável	0,98 **

¹** = significativo a 1% de probabilidade de erro, pelo teste t.

Apesar de analisar diferentes parâmetros de estabilidade de adaptabilidade, proveniente de diferentes métodos, a análise geral dos resultados indicou que os genótipos Monarca e UFV01-10533486B apresentaram média alta e são indicados para ambientes gerais; o genótipo UFV99-8231826 recomendado para ambientes favoráveis, ou responsivos à melhoria do ambiente; e Conquista recomendado para ambientes desfavoráveis, ou seja, ambientes de baixa tecnologia.

Deve-se atentar que o genótipo UFV99-722F626 foi recomendado para ambiente geral, pela maioria dos métodos, e que os genótipos DM-339 e Monarca como responsivos a ambientes favoráveis pelos métodos não-paramétricos. Desta forma, foi possível identificar potenciais genótipos a serem recomendados aos diferentes tipos de ambientes, sendo esta importante contribuição à cultura da soja.

CONCLUSÕES

Os genótipos Monarca e UFV01-10533486B podem ser indicados para ambientes gerais, o genótipo UFV99-8231826 pode ser recomendado para ambientes favoráveis e o Conquista para ambientes desfavoráveis.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ALLIPRANDINI, L.F.; TOLEDO, J.F.F.; FONSECA JR., N.; ALMEIDA, L.A.; KIIHL, R.A.S. Efeitos da interação genótipo x ambiente sobre a produtividade da soja no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, n.9, p.1433-1444, 1998.

ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfafa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Breeding**, v.46, n.1, p.269-278, 1992.

BARROS, H.B.; SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R.C.; FIDELIS, R.R.; CRUZ, C.D.; REIS, M.S. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja avaliados no estado do Mato Grosso. **Revista Ceres**, v.57, n.3, p.359-366, 2010.

BARROSO, L.M.A.; NASCIMENTO, M.; NASCIMENTO, A.C.C.; FONSECA E SILVA, F.; FERREIRA, R.P. Uso do método de EBERHART e RUSSELL como informação a priori para aplicação de redes neurais artificiais e análise discriminante visando à classificação de genótipos de alfafa quanto à adaptabilidade e estabilidade fenotípica. **Revista Brasileira de Biometria**, v.31, n.2, p.176-188, 2013.

BORGES, L.C.; FERREIRA, D.F.; ABREU, A.F.B.; RAMALHO, M.A.P. Emprego de metodologias de avaliação da estabilidade fenotípica na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ceres**, v.47, n.269, p.89-102, 2000.

CARNEIRO, P.C.S. **Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento**. 1998. 168p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

CARVALHO, L.P.; TEODORO, P.E.; BARROSO, L.M.A.; FARIAS, F.J.C.; MORELLO, C.L.; NASCIMENTO, M. Artificial neural networks classify cotton genotypes for fiber length. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.18, n.2, p.200-204, 2018.

CAVALCANTE, A.K.; HAMAWAKI, O.T.; HAMAWAKI, R.F.; SOUSA, L.B.; NOGUEIRA, A.P.O., HAMAWAKI, C.D.L. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de soja em Porto Alegre do Norte, MT. **Bioscience Journal**, v.30, n.4, p.942-949, 2014.

CHAVES, L.J. **Interação de genótipos com ambientes**. In: NASS, L.L.; VALOIS, A.C.C.; MELO, I.S.; VALADARES-INGLIS, M.C. Recursos Genéticos & Melhoramento de Plantas. Rondonópolis, MT: Fundação MT, 2001. p.816-858.

CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.35, n.3, p.271-276, 2013.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4a. ed., Viçosa: UFV, 2012, 514p.

DIMAURO, A.O.; CURCIOLI, V.B.; NÓBREGA, J.C.M.; BANZATO, D.A.; SEDIYAMA, T. Correlação entre medidas paramétricas e não paramétricas de estabilidade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.4, p.687-696, 2000.

DUARTE, J.B.; VENCOVSKY, R. **Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise AMMI**. Ribeirão Preto, SP: Sociedade Brasileira de Genética, 1999.

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

- FINLAY, K.W.; WILKINSON, G.N. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.14, n.6, p.742-754, 1963.
- LOPES, A.C.A.; VELLO, N.A.; PANDINI, F.; ROCHA, M.M.; TSUTSUMI, C.Y. Variabilidade e correlações entre caracteres em cruzamentos de soja. **Scientia Agricola**, v.59, n.2, p.341-342, 2002.
- MONTEIRO, F.J.F.; PELUZIO, J.M.; AFFÉRI, F.S.; CARVALHO, E.V.; SANTOS, W.F. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja para produtividade de óleo nos grãos. **Revista Agrarian**, v.10, n.35, p.18-21, 2017.
- MURAKAMI, D.M.; CARDOSO, A.A.; CRUZ, C.D.; BIZÃO, N. Considerações sobre duas metodologias de análise de estabilidade e adaptabilidade. **Ciência Rural**, v.34, n.1, p.71-78, 2004.
- NASCIMENTO, M.; FINOTO, E.L.; SEDIYAMA, T.; CRUZ, C.D. Adaptability and stability of soybean in terms of oil and protein content. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.10, n.1, p.48-54, 2010.
- NASCIMENTO, M.; NASCIMENTO, A.C.C.; BARROSO, L.M.A. **RNA - Aplicação em estudos de adaptabilidade e estabilidade fenotípica**. In: CRUZ, C.D.; NASCIMENTO, M. (Ed.). *Inteligência Computacional Aplicada ao Melhoramento Genético*. Viçosa: Editora UFV, 2018, p.278-291, cap.11.
- NASCIMENTO, M.; PETERNELLI, L.A.; CRUZ, C.D.; NASCIMENTO, A.C.C.; FERREIRA, R.P.; BHERING, L.L.; SALGADO, C.C. Artificial neural networks for adaptability and stability evaluation in alfalfa genotypes. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.13, n.2, p.152-156, 2013.
- PELUZIO, J.M.; FIDELIS, R.R.; GIONGO, P. SILVA, J.C.; CAPPELLARI, D.; BARROS, H.B. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em quatro épocas de semeadura no sul do Estado do Tocantins. **Revista Ceres**, v.55, n.1, p.34-40, 2008.
- PEREIRA, H.S.; MELO, L.C.; DEL-PELOSO, M.J.; FARIA, L.C.; COSTA, J.G.C.; DÍAZ, J.L.C.; RAVA, C.A.; WENDLAND, A. Comparação de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.4, p.374-383, 2009.
- PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 13a. ed. Piracicaba, Nobel. 1990. 468p.
- PRADO, E.E.; HIROMOTO, D.M.; GODINHO, V.P.C.; UTUMI, M.M.; RAMALHO, A.R. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em cinco épocas de plantio no cerrado de Rondônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.4, p.625-635, 2001.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<http://www.r-project.org>>. Acesso em: 20 mai. 2018.
- ROCHA, R.B.; MURO-ABAD, J.I.; ARAUJO, E.F.; CRUZ, C.D. Avaliação do método centróide para estudo de adaptabilidade ao ambiente de clones de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v.15, n.3, p.255-266, 2005.
- SILVA, W.C.J.; DUARTE, J.B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.1, p.23-30, 2006.
- TEODORO, P.E.; BARROSO, L.M.A.; NASCIMENTO, M.; TORRES, F.E.; SAGRILO, E.; SANTOS, A.; RIBEIRO, L.P. Redes neurais artificiais para identificar genótipos de feijão-caupi semiprostrado com alta adaptabilidade e estabilidade fenotípica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.11, p.1054-1060, 2015.
- SILVA FILHO, J.L.; MORELLO, C.L.; FARIA, F.J.C.; LAMAS, F.M.; PEDROSA, M.B.; RIBEIRO, J.L. Comparação de métodos para avaliar a adaptabilidade e estabilidade produtiva em algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.3, p.349-355, 2008.
- VASCONCELOS, E.S.; REIS, M.S.; SEDIYAMA, T.; CRUZ, C.D. Produtividade de grãos, adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja de ciclos precoce e médio. **Semina: Ciências Agrárias**, v.36, n.3, p.1203-1214, 2015.
- VENABLES, W.N.; RIPLEY, B.D. **Modern Applied Statistics with S**. 4a. ed., New York: Springer-Verlag New York, 2002, 498p.