

INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE EM LINHAGENS IRMÃS DE SOJA POR MEIO DOS MODELOS MISTOS GGE e AMMIReginaldo Rosa¹; Márcia Marise de Freitas Cação² e Juliana Parisotto Poletine¹

¹Universidade Estadual de Maringá- UEM, Departamento de Ciências Agronômicas, Campus Regional de Umuarama. Estrada da Paca s/n, CEP: 87500-000, Bairro São Cristóvão, Umuarama, PR. E-mail: reginaldo.rosa28@gmail.com; jppoletine@uem.br

²APTA, APTA Regional, Unidade Regional de Pesquisa e Desenvolvimento de Assis. Rodovia SP 333 (Assis-Marília) km 397, CEP 19.805-000, Assis, SP. E-mail: marcia.rodriques@sp.gov.br

RESUMO: Um dos principais objetivos dos programas de melhoramento de plantas é a obtenção de cultivares com alta produtividade, adaptabilidade e estabilidade para diversas regiões e variações climáticas. Além disso, para a cultura da soja linhagens aparentadas são difíceis de identificar a superioridade de uma para outras. O objetivo do trabalho foi avaliar a adaptabilidade e a estabilidade de linhagens irmãs de soja por meio de modelos mistos, GGE e AMMI. Os ensaios foram conduzidos em dez locais nas safras 2017/2018 e 2018/2019 nos Estados do Paraná e São Paulo. Para esse estudo utilizou-se seis linhagens da mesma família de soja e duas cultivares comerciais como testemunhas. Os dados de produtividade de grãos foram submetidos à análise de variância individual e conjunta e depois às análises de estabilidade e adaptabilidade pelo modelo misto REM/BLUP (Máxima Verossimilhança Restrita e Melhor Preditor Linear Não Viesado) com o método MHPRVG (Média Harmônica da Performance Relativa dos Valores Genéticos) e pelos métodos Eberhart e Russell, AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis) e GGE biplot (Genotype and Genotypes by Environments Interaction). A análise de variância, pelo teste de F, foi inadequada para identificar diferenças entre as linhagens irmãs em 8 dos 18 ambientes. A classificação dos genótipos foi diferente entre os métodos AMMI e GGE. A variância da interação genótipo x ambiente foi de 68,1% no AMMI e todos os componentes principais foram significativos. O método GGE pelo gráfico biplot permitiu identificar a linhagem 1 como sendo a mais próxima da cultivar ideal. Pelo método MHPRVG, as estimativas positivas dos efeitos genotípicos e da interação genótipo x ambiente demonstram a superioridade das linhagens 1, 2, 5 e 3. Todos os métodos identificaram a superioridade da linhagem 1 sobre suas irmãs. Concluiu-se que as linhagens superiores foram identificadas por todos os métodos; com dados balanceados, o método GGE fornece a classificação das linhagens considerando a estratificação ambiental e MHPRVG apresenta interpretação mais simples que os demais pois considera apenas uma estatística para classificar os genótipos quanto a adaptabilidade e estabilidade e não avalia os ambientes.

PALAVRAS-CHAVE: adaptabilidade e estabilidade, *Glycine max* (L.) Merrill, melhoramento genético.

INTERACTION GENOTYPE X ENVIRONMENT OF SOY BEAN LINEAGES THROUGH MIXED MODELS GGE and AMMI

ABSTRACT: Plant breeding programs aim to obtain cultivars with high grain yield, adaptability and stability for different regions and climatic variations between years. Furthermore, for soybean, related lines are difficult to identify the superiority of one over the others. The objective of this work was to evaluate the adaptability and stability of soybean sister lines through mixed models, GGE and AMMI. The trials were conducted at ten

locations in the 2017/2018 and 2018/2019 harvests in the states of Paraná and São Paulo. For this study, six lines from the same soybean family and two commercial cultivars were used as controls. Grain yield data were submitted to individual and joint analysis of variance and then to stability and adaptability analysis by the REM/BLUP mixed model (Restricted Maximum Likelihood and Best Unbiased Linear Predictor) with the MHPRVG (Harmonic Mean of Relative Performance) method. of Genetic Values) and by the Eberhart and Russell, AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis) and GGE biplot (Genotype and Genotypes by Environments Interaction) methods. Analysis of variance, using the F test, was inadequate to identify differences between sibling lines in 8 of the 18 environments. The classification of genotypes was different between the AMMI and GGE methods. The variance of the genotype x environment interaction was 68.1% in the AMMI and all principal components were significant. The GGE method using the biplot plot allowed the identification of lineage 1 as being the closest to the ideal cultivar. By the MHPRVG method, the positive estimates of the genotypic effects and the genotype x environment interaction demonstrate the superiority of lines 1, 2, 5 and 3. All methods identified the superiority of lineage 1 over its sisters. It was concluded that the superior lines were identified by all methods; with balanced data, the GGE method provides the classification of the lines considering the environmental stratification and the MHPRVG presents a simpler interpretation than the others because it considers only one statistic to classify the genotypes in terms of adaptability and stability and does not evaluate the environments.

KEY WORDS: adaptability and stability, *Glycine max* (L.) Merrill, crop breeding improvement.

INTRODUÇÃO

A soja é amplamente cultivada no Brasil e suas condições de cultivo são extremamente variadas. Essas diferenças incluem características de solo, temperatura, fotoperíodo e pluviosidade. As cultivares apresentam diferentes desempenhos em cada ambiente, dificultando a identificação de genótipos superiores (Branquinho et al., 2014).

Diante disso, um dos principais desafios enfrentados pelos melhoristas é a inconsistência na classificação dos genótipos, em diversos ambientes. Para isso, os programas de melhoramento de plantas visam à obtenção de genótipos de soja com alta produtividade, estabilidade e adaptabilidade em variados ambientes. Assim, a interação entre genótipos e ambientes, representa aspecto relevante ao melhoramento, sendo imprescindível aos programas de melhoramento genético (Duarte e Vencovsky, 1999).

Quando ocorrem respostas diferenciais dos genótipos em diversos ambientes, denomina-se interação genótipo x ambiente (G x A). A interação G x A pode ser simples ou complexa. Consideram-se simples, quando é proporcionada pela diferença de variabilidade entre genótipos no ambiente, e complexa, quando não há correlação entre medidas de um

mesmo genótipo em ambientes distintos, indicando inconsistência na superioridade genótipos com a variação ambiental (Robertson, 1959).

Segundo Cruz e Regazzi (1994), haverá dificuldades no melhoramento quando as interações forem complexas. Esse tipo de interação dificulta a recomendação de cultivares e traz aos melhoristas a necessidade de realizar avaliações em uma quantidade maior de ambientes. Para redução da interação $G \times A$, pode-se utilizar cultivares específicas para cada ambiente, como também cultivares com ampla adaptabilidade e estabilidade (Cruz e Regazzi, 1994).

Para Mariotti et al (1976), a adaptabilidade é a capacidade do genótipo responder positivamente à melhora do ambiente, e estabilidade ao comportamento previsível de genótipos à diversas variações ambientais. O estudo de adaptabilidade e estabilidade favorece a identificação de genótipos com comportamentos previsíveis e que sejam flexíveis às variações ambientais, sejam ambientes favoráveis ou desfavoráveis (Cruz e Regazzi, 1994).

Diante disso, as análises de adaptabilidade e estabilidade são procedimentos estatísticos que permitem identificar o comportamento das cultivares mais estáveis em respostas à variações ambientais (Rocha, 2002).

Para estimar a interação genótipo e ambiente e permitir recomendações regionalizadas, é preciso dispor de metodologias estatísticas adequadas (Brasil, 1990; Duarte e Zimmermann, 1995). Para isso, a metodologia de modelos mistos, também chamada método REML/BLUP, tem se disseminado na análise de diversas culturas.

Segundo Rosado et al., (2012), a metodologia dos modelos mistos permite considerar erros correlacionados dentro de locais e a estabilidade e a adaptabilidade na seleção de genótipos superiores. Além disso, esse modelo também permite a seleção de genótipos específicos para cada local, seleção de genótipos com alta adaptabilidade à melhoria do ambiente, como também a seleção por genótipos produtivos, estáveis e adaptáveis.

Entre os métodos de adaptabilidade e estabilidade multivariados e de modelos mistos destacam-se AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis) (Gauch, 1988), GGE biplot (Genotype and Genotypes by Environments Interaction) (Yan et al., 2000) e REML/BLUP (Máxima Verossimilhança Restrita e Melhor Preditor Linear Não Viesado) com o método MHPRVG (Média Harmônica da Performance Relativa dos Valores Genéticos) (Resende, 2004).

A análise AMMI combina em um único modelo, componentes aditivos para os efeitos principais de genótipos e de ambientes e componentes multiplicativos para o efeito da

interação (Duarte e Vencovsky, 1999). A matriz dos efeitos da interação G x A, então, pode ser exibida por meio de biplots Gabriel (1971).

A análise GGE (“Genotype and Genotype Environment Interaction”) utiliza uma análise para a interpretação gráfica da interação genótipos x ambientes, com base no modelo SREG (Sites Regression), sugerido por Cornelius et al. (1996) e Crossa e Cornelius (1997).

A seleção pelos maiores valores da média harmônica dos valores genotípicos (MHVG) resulta na seleção simultânea para produtividade e estabilidade. Em relação à adaptabilidade, refere-se à *performance* relativa dos valores genotípicos (PRVG) pelos ambientes. Diante disso, a seleção simultânea para produtividade, estabilidade adaptabilidade, dentro do modelo misto, dá-se pelo método da média harmônica da *performance* relativa dos genéticos (MHPRVG) (Silva et al., 2011; Rosado et al., 2012).

Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar a produtividade, a adaptabilidade e a estabilidade de seis linhagens de soja oriundas de mesma família e duas testemunhas, por meio do método da média harmônica da *performance* relativa dos genéticos (MHPRVG), identificando genótipos superiores.

CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A CULTURA DA SOJA

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja. Na safra 2019/2020 no Brasil, a produção foi de 135.408,8 milhões de toneladas em 38,502 milhões de hectares e a produtividade média de 3.517 kg ha⁻¹ (CONAB, 2021).

Segundo Muller (1981), esta leguminosa se caracteriza como uma planta anual ereta com sistema de reprodução caracterizado como autógama, possuindo caule herbáceo, ereto, pubescente e contendo ramificações laterais e seu desenvolvimento é iniciado a partir do eixo embrionário logo após a germinação. Seu sistema radicular é constituído por uma raiz axial pivotante principal e por raízes laterais secundárias, onde são encontrados nódulos que representam a simbiose entre a soja e bactérias do gênero *Bradirhizobium* (Mascarenhas et al., 2005).

As flores da soja são completas e ocorrem em racemos terminais ou axilares. A cor da flor pode ser branca ou púrpura (Verneti e Junior, 2009). Apresentam três tipos de folhas sendo elas: as cotiledonares que são as iniciais, as unifolioladas que aparecem também no início do desenvolvimento e, as trifolioladas que aparecem logo após as unifolioladas e permanecem até a senescência (Sediyama et al., 1985). Os frutos da soja, as vagens, possuem uma coloração que varia entre cinza, amarelo-palha ou preta (Mullher, 1981).

Dentre os fatores que são determinantes para a produtividade da soja destacam -se a luz, água, temperatura e nutrientes. A incidência de luz é o fator principal para altas produtividades, pois é através da fotossíntese que a planta utiliza a energia solar para acumular matéria orgânica em seus tecidos (Argenta et al., 2001).

A cultura da soja é sensível ao fotoperíodo, ou seja, ao número de horas de luz diária e a temperatura, e cada cultivar pode responder diferente a esses fatores, impactando em todo o desenvolvimento da cultura (Rodrigues et al., 2001). Dessa forma, o crescimento e a produtividade da soja são resultados da interação entre a cultivar e os fatores ambientais.

Produtividades superiores são atingidas quando os fatores ambientais são favoráveis e são utilizadas práticas culturais como o uso de genótipos adaptados à região, escolha da época de semeadura, manejo de populações de plantas, nutrição vegetal e fertilidade do solo, controle de pragas, doenças e plantas daninhas, redução de perdas na colheita são utilizadas. Assim, aumenta-se o acúmulo de biomassa no grão, obtendo-se maiores rendimentos (Ritchie et al., 1994).

MELHORAMENTO GENÉTICO NA CULTURA DA SOJA

O estudo contínuo das características da cultura da soja e suas relações com ambiente, com pesquisas eficientes, são necessários para a formação de novas cultivares (EMBRAPA, 2009). Os programas de melhoramento genético contribuíram para cultivares com alto rendimento e adaptadas a diferentes condições ambientais. Segundo Paludzyszyn Filho et al. (1993), os programas de melhoramento genético introduziram linhagens de soja desenvolvidas nos EUA em regiões tradicionais de cultivo. Em regiões de expansão, incorporaram-se linhagens adaptadas às baixas latitudes.

Os programas de melhoramento genético buscam ampliar a base genética da cultura da soja em bancos de germoplasma, para obtenção de variabilidade genética, para que quando estes cruzados se aumentem as chances de selecionar linhagens superiores (Borém et al., 2015).

As etapas dos programas de melhoramento consistem basicamente na escolha dos genitores, cruzamento e obtenção de população segregantes, avanço das gerações por meio das autofecundações, testes de desempenho agrônômico e seleção de linhagens superiores (Nogueira, 2011).

Para rendimentos mais elevados, os programas de melhoramento genético selecionam genótipos com características agrônômicas de interesse, como linhagens mais produtivas, resistentes a pragas, doenças, adaptadas a diferentes condições de clima, solo, fotoperíodo e

que permitam a incorporação destas em novas áreas (Bueno et al., 2006). Outro aspecto relevante no melhoramento genético da soja é a interação genótipo x ambiente. Segundo Robertson (1959), a interação genótipo por ambiente (G x A) pode ser simples ou complexa. É considerada simples quando é proporcionada pela diferença de variabilidade entre genótipos nos ambientes; é complexa, quando denota a falta de correlação entre medidas de um mesmo genótipo em ambientes distintos e indica haver inconsistência na superioridade de genótipos com a variação ambiental.

Os efeitos da G x A permitem o surgimento de genótipos estáveis, aptos a ambientes específicos ou com adaptação a uma grande amplitude de ambientes (Chaves, 2001; Lavoranti, 2003).

INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE (G X A)

Os programas de melhoramento genético têm como objetivo selecionar e recomendar genótipos mais produtivos. O melhorista avalia o desempenho dos genótipos em diferentes ambientes. No entanto, a interação entre os genótipos e os ambientes pode dificultar ou retardar a decisão de lançamento de novas cultivares (Carvalho et al., 2002). Além disso, outros critérios precisam ser adotados pelos melhoristas para selecionar genótipos superiores e usar métodos alternativos de identificação de material de alto potencial genético (Cruz e Regazzi, 1997).

Segundo Borém (2017), denomina-se interação genótipo x ambiente como a alteração no desempenho relativo dos genótipos, devido às diferenças de ambiente. Em um programa de melhoramento genético três procedimentos podem ser adotados para o manejo da interação G x A: ignorá-la, reduzi-la ou explorá-la. Ao optarem por ignorá-la os genótipos são testados em expressiva quantidade de ambientes, sendo as cultivares recomendadas pelo desempenho médio obtido em todos os ambientes. Ao reduzi-las os ambientes passam a ser mais escassos e homogêneos, as cultivares são lançadas conforme o desempenho médio dos genótipos dentro do grupo de locais. E ao explorá-la, objetiva-se identificar cultivares mais adaptadas e produtivas para cada ambiente específico, podendo obter cultivares mais produtivas por esse procedimento (Borém, 2017).

As principais causas da G x A são comumente o fotoperíodo, textura de solo, que impacta no nível de fertilidade e na disponibilidade de água, toxicidade por alumínio, época de semeadura, práticas agrícolas, distribuição pluviométrica, umidade relativa do ar, temperatura atmosférica e do solo, patógenos e insetos (Borém 2017).

Em cultivos anuais como a soja, a interação genótipo x ambiente deve ser considerada em todas as etapas do melhoramento (Pereira, 2016). Para minimizar o efeito, a condução dos experimentos deve ser realizada em diferentes locais e anos, resultando em uma avaliação segura da interação e sua influência na seleção e recomendação de cultivares (Silva e Duarte, 2006).

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE

Os estudos da interação genótipos x ambientes são necessários nos programas de melhoramento genético devido às mudanças de comportamento das plantas em diferentes locais (Resende, 2002). Com isso, os programas de melhoramento devem procurar desenvolver genótipos adaptáveis e estáveis (Cruz et al., 2004).

Segundo Borém (2017), adaptabilidade é a capacidade de uma cultivar aproveitar vantajosamente as variações ambientais. A estabilidade é a capacidade do genótipo em apresentar-se previsível as variações ambientais. Conforme Eberhart e Russel (1966), uma cultivar deve apresentar adaptabilidade e ser estável as variações do ambiente, mesmo quando não for favorável. Com isso, o estudo da adaptabilidade e estabilidade das cultivares é de fundamental importância nos programas de melhoramento de plantas.

As metodologias para avaliação de genótipos em vários ambientes são fundamentais na existência de interação do genótipo com ambiente (Lavoranti, 2003). A escolha do método de análise depende dos dados experimentais, como o número de ambientes disponíveis, da precisão e informação requerida. Considerando-se que alguns métodos são alternativos, enquanto outros são complementares, podendo ser utilizados conjuntamente (Cruz et al., 2004). Dentre os métodos utilizados para pesquisar a adaptabilidade e estabilidade fenotípica, destacam-se os procedimentos baseados na variância da interação G x A (Shukla, 1972; Magari e Kang, 1997); regressão linear simples (Eberhart e Russell, 1966; Perkins e Jinks, 1968) e múltipla (Silva e Barreto, 1986; Cruz et al., 1989; Storck e Vencovsky, 1994); regressão quadrática (Brasil e Chaves, 1994); modelos não lineares (Chaves et al., 1989; Silva, 1998; Rosse e Vencovsky, 2000). Finlay e Wilkinson (1963) desenvolveram uma metodologia para avaliar o desempenho genotípico para cada genótipo, sendo ajustada uma regressão linear simples da variável dependente em relação ao índice ambiental. Na metodologia proposta por Lin e Binns (1988), os autores definiram como medida para estimar a estabilidade e adaptabilidade o quadrado médio da distância entre a média da cultivar e a resposta média máxima obtida no ambiente.

A metodologia de Eberhart e Russell (1966) é considerada simples e um dos métodos utilizados. Esta difere das demais, pois o modelo foi ampliado, considerando também o desvio da regressão para a estimativa da estabilidade. Nesta metodologia, 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, $\beta_{li} = 1$; genótipos com adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, $\beta_{li} > 1$; genótipos com adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis, $\beta_{li} < 1$. Segundo Resende (2004)

um modelo mais completo pode permitir inferências adicionais, tais como: seleção de genótipos específicos para cada local; seleção de genótipos estáveis através dos locais; seleção de genótipos com alta adaptabilidade, à melhoria do ambiente; e seleção pela produtividade, estabilidade e adaptabilidade simultaneamente. Este tipo de seleção pode ser realizado no contexto dos modelos mistos, pelo método da Média Harmônica da *Performance* Relativa dos Valores Genéticos (MHPRVG), que será estudado neste trabalho.

METODOLOGIA DE MODELOS MISTOS

Resende (2007) propôs a metodologia dos modelos mistos. No contexto dos modelos mistos, uma alternativa é o método da média harmônica da *performance* relativa dos valores genéticos preditos (MHPRVG). Essa metodologia apresenta vantagens em relações aos demais métodos mais tradicionais, como considerar erros correlacionados dentro de locais, a estabilidade e a adaptabilidade na seleção de genótipos superiores, fornece valores genéticos já descontados da instabilidade e pode ser aplicado a qualquer número de ambientes e experimentos. Além disso, gera resultados na própria unidade ou escala do caráter avaliado, que podem ser interpretados diretamente como valores genéticos, o que os outros métodos não permitem.

No método de MHPRVG, os valores fenotípicos são expressos como proporção da média geral de cada local (MI) e, posteriormente, obtém-se BLUP contendo o valor médio dessa proporção entre os locais (Resende, 2004). A estatística da MHPRVG é aplicada preferencialmente sobre dados originais e, posteriormente, obtendo-se BLUP para os valores genotípicos (média geral mais efeitos genotípicos), conforme recomenda o mesmo autor. A recíproca destes, multiplicada pela média geral de todos os testes, fornece a MHPRVG na unidade de avaliação do caráter. Com esse procedimento, as diferentes precisões associadas aos valores genéticos preditos dos genótipos nos ambientes são automaticamente consideradas

pelo procedimento REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita/melhor preditor linear não viciado).

A aplicação desse método, que permite selecionar indivíduos simultaneamente por meio dos três atributos (produtividade, estabilidade e adaptabilidade), deve-se às principais vantagens de considerar os efeitos genotípicos como aleatórios e, assim, fornecer valores da estabilidade e adaptabilidade genotípicas e não fenotípicas, como fornecem os outros métodos diferentemente dos demais métodos que não o fornecem (Resende, 2004).

O AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis) permite ao analista detectar interações entre linhas e colunas em uma tabela de dupla entrada e, se baseia, inicialmente, na estimação de efeitos aditivos dos genótipos e dos ambientes pelo método de análise de variância. O AMMI pode ajudar tanto na identificação de genótipos superiores amplamente adaptados como na realização do chamado zoneamento agrônômico, com fins de recomendação regionalizada e de seleção de locais de teste. O modelo AMMI possui algumas vantagens, como permitir maior detalhamento da soma de quadrados da interação genótipo x ambiente; garantir a seleção dos genótipos mais produtivos (capazes de capitalizar interações positivas com ambientes); propiciar estimativas mais precisas das respostas genotípicas; e possibilitar uma fácil interpretação gráfica dos resultados da análise estatística, nos chamados gráficos biplots (Zobel, Wright, Gauch, 1988).

Além destes modelos, outro modelo bastante utilizado é o GGE (Genotype Main Effects and Genotype x Environment Interaction) biplot (YAN et al., 2000; YAN; KANG, 2002). Este modelo, parte do princípio que, para a avaliação do cultivar, apenas o efeito principal de genótipo e o efeito da interação genótipo x ambiente são relevantes. Similar ao modelo AMMI, os genótipos e os ambientes são avaliados visualmente, simultaneamente, em um gráfico denominado biplot (Gabriel, 1971).

REFERÊNCIAS

- ARGENTA, G.; SILVA, P. F.; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.6, p.1075-1084, 2001.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G.V.; NETO FRITSCH, R. **Melhoramento de Plantas**. Viçosa: Editora UFV, 2017. 543p.
- BRANQUINHO, R.G.; DUARTE, J.B.; SOUZA, P.I.M.; SILVA NETO, S.P.; PACHECO, R.M. Estratificação ambiental e otimização de rede de ensaios de genótipos de soja no Cerrado, **EMBRAPA**, Brasília, v.49, n.10, 2014.

BRASIL, E.M. **Comparação de métodos no estudo da interação de genótipos com ambientes em milho (*Zea mays* L.)** 1990. 181p. Tese (Mestrado em Melhoramento Genético) - Universidade Federal de Goiânia, Goiânia, 1990.

BRASIL, E.M.; CHAVES, L.J. **Utilizacion de um modelo cuadratico para el estudio de la respuesta de cultivares a la variacion ambiental.** Monterrey: Memórias, 1994. 616p.

BUENO, L.C.S.; MENDES, A.N.G.; CARVALHO, S.P. **Melhoramento genético de plantas: princípios e procedimentos.** Lavras: Editora UFLA, 2006. 319p.

CARVALHO, C.G.P.; ARIAS, C.A.A.; TOLEDO, J.F.F.; ALMEIDA, L.A.; KIIHL, R.A.S.; OLIVEIRA, M.F. Interação genótipo x ambiente no desempenho produtivo da soja no Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.989-1000, 2002.

CHAVES, L.J. Interação de genótipos com ambientes. In: NASS, L.L.; VALOIS, A.C.C.; MELO, I.S.; VALADARES, M.C. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento: Plantas.** Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p.673-713

CHAVES, L.J.; VENCOVSKY, R.; GERALDI, I.O. Modelo não-linear aplicado ao estudo da interação genótipo x ambiente em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.24, n.2, p.259-268, 1989.

CONAB. **Boletim da Safra de Grãos.** 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 24 maio. 2021.

CORNELIUS, P. L.; CROSSA, J.; SEYEDSADER, M.S. **Statistical tests and estimators of multiplicative models for genotype-by-environment interaction.** In: Kang, M. S.; Gauch, H. G. (Ed.) *Genotype-by-environment interaction.* Boca Raton: CRC Press, p.99-234, 1996.

CROSSA, J.; CORNELIUS, P.L. Sites regression and shifted multiplicative model clustering of cultivar trial sites under heterogeneity of error variances. **Crop Science**, Madison, v. 37, p.405-415, 1997.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** Viçosa: Editora UFV, 1994. 390p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético.** Viçosa: Editora UFV, 2004. 480p.

CRUZ, C.D.; TORRES, R.A.A.; VENCOVSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.12, n.2, p.567-580, 1989.

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

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

DUARTE, J.B.; ZIMMERMANN, M.J.O. Correlation among yield stability parameters in common bean. **Crop Science**, Madison, v.35, n.3, p.905-912, 1995.

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

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

GAUCH, H. G. 1988. "Model selection and validation for yield trials with interaction." **Biometrics**, Raleigh, v.44, p.705-15, 1988.

LAVORANTI, O.J. **Estabilidade e adaptabilidade fenotípica através da reamostragem "BOOTSTRAP" no modelo AMMI**. 2003. 266p. Tese (Doutorado em Agronomia) - ESALQ, Piracicaba, 2003.

LIN, C.S.; BINNS, M.R. A superiority measure of cultivar *performance* for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.68, p.193-198, 1988.

MAGARI, R.; KANG, M.S.S. Stability analysis of balanced and unbalanced data. **Agronomy Journal**, Madison, v.89, n.5, p.929-932, 1997.

MASCARENHAS, H.A.A.; TANAKA, R.T.; WUTKE, E.B.; KIKUTI, H. Nitrogênio: a soja aduba a lavoura da cana. **O Agrônomo**, Campinas, v.1, n.57, 2005.

MÜLLER, L. Taxonomia e morfologia. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. **A soja no Brasil**. Campinas: Editora Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1981. p.65-104.

NOGUEIRA, A.P.O. **Correlações entre caracteres e análise de trilha em soja cultivada em duas épocas de semeadura**. 2011. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, 2011.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; KIIHL, R.A.; ALMEIDA, L.A. Desenvolvimento de cultivares de soja na região Norte e Nordeste do Brasil. In: ARANTES, N.E.; SOUZA, P.I. (Ed.). **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: Editora Potafos, 1993. p.255-266.

PEREIRA, F.C. **Estratégias para seleção de progênies em soja**. 2016. 111p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

PERKINS, J.M.; JINKS, J.L. Environmental and genotype-environmental components of variability. **Heredity**, Londres, v.23, n.3, p.339-356, 1968.

RESENDE, M.D.V. **Genética Biométrica e Estatística no Melhoramento de Plantas Perenes**. Brasília: Editora Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975p.

RESENDE, M.D.V. **Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo**. Colombo: Editora Embrapa Florestas, 2004. 57p. (Documentos, 100).

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; THOMPSON, H. E.; BENSON, G. O. **Como a planta de soja se desenvolve**. Piracicaba: Editora Potafós, 1994. p.20.

ROBERTSON, A. **Experimental design on the measurement of heritabilities and genetic correlations: biometrical genetics**. New York: Pergamon, 1959. 186p.

ROCHA, M.M. **Seleção de linhagens experimentais de soja para adaptabilidade e estabilidade fenotípica** 2002. 184p. Tese (Doutorado em Melhoramento Genético) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A.D.; LHAMBY, J.C.B.; BERTAGNOLLI, P.F.; LUZ, J. S. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.3, p.431-437, 2001.

ROSADO, A. M., ROSADO, T. B., ALVES, A. A., LAVIOLA, B. G. E BHERING, L. L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, p.964-971, 2012.

ROSSE, L.N.; VENCOVSKY, R. Modelo de regressão não-linear aplicado ao estudo da estabilidade fenotípica de genótipos de feijão no Estado do Paraná. **Bragantia**, Campinas, v.59, n.1, p.99-107, 2000.

SEDIYAMA, T.; PEREIRA, M.G.; SEDIYAMA, C.S.; GOMES, J.L.L. **Botânica, descrição da planta e cruzamentos artificial**. Viçosa: Editora UFV, 1985. 5p.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R.C.; REIS, M.S. Melhoramento da Soja. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: Editora UFV, 2015. p.553- 604.

SHUKLA, G.K. Some statistical aspects of partitioning genotype-environment components of variability. **Heredity**, Londres, v.29, n.2, p.237-245, 1972.

SILVA, J.G.C. Análise da adaptabilidade por regressão segmentada com estimação da junção dos segmentos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.7, p.1013-1029, 1998.

SILVA, J.G.C.; BARRETO, J.N. An application of segmented linear regression to the study of genotypes environment interaction. **Biometrics**, Raleigh, v.41, n.4, p.1093, 1986.

SILVA, G. O., CARVALHO, A. D. F., VEIRA, J. V.; BENIN, G. Verificação da adaptabilidade e estabilidade de populações de cenoura pelos métodos AMMI, GGE biplot e REML/BLUP. **Bragantia**, Campinas, v.70, n.3, p.494-501, 2011.

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

STORCK, L.; VENCOVSKY, R. Stability analysis on a bi-segmented discontinuous model with measurement errors in the variables. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.17, n.1, p.75-81, 1994.

VERNETTI, F.J.; JUNIOR, F.J.V. **Genética da soja: caracteres quantitativos e diversidade genética**. Brasília: Editora Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 221p.

YAN, W.; HUNT, L. A.; SHENG, Q.; SZLAVNICS, Z. Cultivar evaluation and mega environment investigation based on the GGE biplot. **Crop Science**, Madison, v.40, p.597-605, 2000.

ZOBEL, R. W.; WRIGHT, M. J.; GAUCH, H. G. Statistical analysis of yield trial. **Agronomy Journal**, Madison, v.80, n.3, p.388-393, 1988.