

ANA PAULA MIJONE

INTERAÇÃO GENÓTIPOS POR AMBIENTES, ADAPTABILIDADE E
ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE SOJA EM VERÃO E HÍBRIDOS DE
MILHO EM SAFRINHA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-
graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração
em Fitotecnia, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Osvaldo Toshiyuki Hamawaki

Co-orientadora

Profa. Dra. Ana Paula de Oliveira Nogueira

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

ANA PAULA MIJONE

INTERAÇÃO GENÓTIPOS POR AMBIENTES, ADAPTABILIDADE E
ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE SOJA EM VERÃO E HÍBRIDOS DE
MILHO EM SAFRINHA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Agronomia – Mestrado, área de
concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de
“Mestre”.

APROVADA em 29 de junho de 2018.

Dra. Abadia dos Reis Nascimento

UFG

Dr. Marcos Vieira Faria

UFU

Profa. Dra. Ana Paula Oliveira Nogueira
(co-orientadora)

UFU



Prof. Dr. Osvaldo Toshiyuki Hamawaki
ICIAG-UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

M636i
2018 Mijone, Ana Paula, 1987
Interação genótipos por ambientes, adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja em verão e híbridos de milho em safrinha [recurso eletrônico] / Ana Paula Mijone. - 2018.

Orientador: Osvaldo Toshiyuki Hamawaki.

Coorientadora: Ana Paula Oliveira Nogueira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.835>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Agronomia. 2. Soja - Melhoramento genético. 3. Grãos. 4. Milho - Melhoramento genético. I. Hamawaki, Osvaldo Toshiyuki, (Orient.). II. Nogueira, Ana Paula Oliveira, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU: 631

Angela Aparecida Vicentini Tzi Tziboy – CRB-6/947

Dedico este trabalho às pessoas que mais me incentivaram e ajudaram a concluir esta importante etapa de minha vida.

À minha amada mãe, aquela que se faz presente mesmo estando a quilômetros de distância, ao meu pai pela boa educação, à minha irmã Patrícia, meu ponto de referência, pelo apoio constante. Ao Teucle, pelo amor que me proporciona e à minha filha Emilia por ser minha alegria e minha fonte de motivação.

AGRADECIMENTOS

À Deus por guiar-me sempre em meus caminhos e permitir-me conseguir chegar até aqui.

Aos meus orientadores Osvaldo Hamawaki e Ana Paula Oliveira Nogueira pela oportunidade, dedicação, atenção, paciência, ensinamentos, valiosos conselhos que contribuíram significativamente para o aprimoramento deste trabalho e excelente orientação que servirá como alicerce para meu futuro profissional.

À minha querida família pelo amor, respeito, paciência e compreensão nas horas mais difíceis.

Aos amigos da Monsanto do Brasil pelo carinho, ajuda e incentivo em minha vida profissional ao longo de nossa convivência.

Ao Instituto de Agronomia incluindo todos os colegas, professores e seus funcionários que contribuíram de forma direta e indiretamente em minha formação durante estes anos.

Registro meu agradecimento a todos que contribuíram para este texto, seja pelas ideias, atos ou pela contribuição com o trabalho.

Muito obrigada!

DADOS ACADÊMICOS DA AUTORA

ANA PAULA MIJONE – nascida em São José do Rio Preto, São Paulo, no dia 15 de setembro de 1987, filha de Divina Custódio Mijone e João Antonio Mijone. Iniciou o curso de Agronomia em fevereiro de 2007, na Universidade Estadual Paulista, campus de Jaboticabal, e onde concluiu o referido curso em dezembro de 2012. Durante a graduação, foi bolsista do Programa de Educação Tutorial (PET) e realizou graduação sanduíche na Universidade Nacional de Córdoba, Córdoba - Argentina de agosto a dezembro de 2010. Realizou estágios nas áreas de melhoramento de soja e entomologia agrícola. Em 2011, trabalhou como assistente de pesquisa na Universidade de Nebraska, Kearney – Estados Unidos. Em 2012, ingressou na Monsanto do Brasil onde desenvolveu trabalhos com experimentação de campo em soja, milho, algodão e cana-de-açúcar geneticamente modificados e atuou na área de qualidade e conformidade de campo com a normativa de biossegurança da CTNBio. Desde 2015 trabalha no departamento de melhoramento de plantas desta mesma empresa. Em março de 2016, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Área de concentração: Fitotecnia) cuja pesquisa norteadora é circunscrita na área de produção e melhoramento de milho safrinha e soja.

“Porque sou eu que conheço os planos que tenho para vocês, diz o Senhor, planos de fazê-los prosperar e não de causar dano, planos de dar a vocês esperança e um futuro”

A Bíblia Sagrada – Jeremias 29:11

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.1 Microrregião do Sudoeste e Sudeste Goiano	4
2.2 Mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba e Noroeste de Minas	5
2.3. Cultivo de Milho	7
2.4 Genótipos para o milho safrinha	9
2.5 Adaptabilidade e Estabilidade em híbridos de milho	11
2.6 Cultivo de Soja.....	12
2.7 Genótipos para a soja.....	144
2.8 Adaptabilidade e Estabilidade em soja	15
2.9 Métodos de estudos de Adaptabilidade e Estabilidade	17
3 ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE HÍBRIDOS DE MILHO EM REGIÕES TRADICIONAIS E NÃO TRADICIONAIS DE CULTIVO DE SAFRINHA.....	20
Resumo	21
Abstract	22
3.1 Introdução	23
3.2 Material e Métodos	25
3.3 Resultados e Discussão	29
3.4 Conclusões	43
4 ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE SOJA EM GOIÁS E MINAS GERAIS.....	46
Resumo	46
Abstract	47
4.1 Introdução	48
4.2 Material e Métodos	50
4.3 Resultados e Discussão	53
4.4 Conclusões	63
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
REFERÊNCIAS.....	65

RESUMO

MIJONE, ANA PAULA. **Interação genótipos por ambientes, adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja em verão e híbridos de milho em safrinha.** 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.¹

A interação de genótipos por ambientes (G x A) influencia no processo de melhoramento, especialmente, para indicação e recomendações de cultivares. Nesta perspectiva, objetivou-se, neste trabalho, avaliar o desempenho produtivo, adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja cultivadas nas safras 2016/17 e 2017/18 e milho safrinha cultivados na safra 2015/16 e 2016/17 em regiões tradicionais e não tradicionais para o cultivo de milho na safrinha; e determinar a adaptabilidade e estabilidade dos materiais por métodos paramétricos, não paramétricos e multivariados. Para ambas as culturas, as análises estatísticas foram realizadas no Programa Genes e Estabilidade e foram avaliados os métodos Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), Eberhart e Russel (1966), Centróide e o método AMMI. Na safra 2016, avaliaram-se 24 híbridos em 7 ambientes; e em 2017 avaliaram-se 13 híbridos em 6 ambientes. Os ambientes foram localizados entre as regiões do Sudoeste de Goiás, Sudeste de Goiás, Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba e Noroeste de Minas. Verificou-se existência de interação G x A para as duas safras, bem como a predominância de decomposição de interação do tipo complexa. Os experimentos de soja foram realizados nas safras 2016/2017 e 2017/2018 em sete municípios localizados nos estados de Goiás e Minas Gerais. Avaliaram-se dezoito genótipos de soja, sendo oito linhagens desenvolvidas pelo Programa melhoramento de soja e oito cultivares referências comerciais: BMX Desafio RR, BMX Flecha IPRO, Maradona-Anta82, AS3680IPRO, M7110IPRO, M6972IPRO, M7198IPRO, AS3730IPRO, M7739IPRO, TMG 7062 IPRO. Observou-se que nas duas safras, os locais considerados como tradicionais no cultivo de milho safrinha, Jataí-GO e Montividiu-GO favoreceram o desempenho produtivo dos híbridos, cujas médias foram superiores as médias nacionais de produtividade de 3859 kg ha⁻¹ em 2016 e 5562 kg ha⁻¹ em 2017. Conclui-se que a interação G x A para produtividade de grãos de híbridos de milho cultivados em safrinha é de natureza complexa; que para a safra 2016 o que apresentou elevada produtividade de grãos, adaptação ampla e alta estabilidade foi o híbrido AG8700PRO3; e para safra 2017 o híbrido AS1757PRO3. Verificou-se interação G x A significativa e de natureza complexa para os genótipos de soja. O coeficiente de determinação genotípico para produtividade de grãos foi de elevada magnitude, cuja estimativa foi 95,23%. Os genótipos que apresentaram maiores produtividades foram Soy-13, Soy-03, Soy-11, Soy-09 e Soy-10. Conclui-se que de acordo com as análises dos métodos Lin and Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), Eberhart e Russel (1966) e o método AMMI, o Genótipo Soy-09 apresentou alta produtividade de grãos, adaptação ampla e alta estabilidade.

Palavras-chave: Adaptação. *Glycine max*. Produtividade de grãos. Recomendação. *Zea mays*

¹Comitê Orientador: Osvaldo Toshiyuki Hamawaki – UFU (Orientador) e Ana Paula de Oliveira Nogueira – UFU (Co-Orientadora)

ABSTRACT

MIJONE, ANA PAULA. **Genotype environment interaction, adaptability and stability of summer soybean and safrinha corn hybrids**. 2018. (Master Degree in Agronomy/Crop Science) – Federal University of Uberlandia, Uberlandia.¹

The interaction genotypes by environments (G x E) influences the breeding process, especially for indication and recommendations of cultivars. In this perspective, the purpose of this study was to evaluate the yield performance, adaptability and stability of soybean cultivars grown in the 2016/17 and 2017/18 season and safrinha corn cultivated in the 2015/16 and 2016/17 season in traditional and non-traditional regions for safrinha; and to determine the adaptability and stability of the materials by parametric, non-parametric and multivariate methods. For both crops, statistical analyzes were performed in the Genes and Estabilidade Program and the Lin and Binns (1988) methods modified by Carneiro (1998), Eberhart and Russel (1966), Centroid and the AMMI method were evaluated. In the 2016 season, 24 hybrids were evaluated in 7 environments; in 2017 season 13 hybrids were evaluated in 6 environments. The environments were located between the regions of Southwest of Goiás, Southeast of Goiás, Triângulo Mineiro and Alto Paranaíba and Northwest of Minas. It was verified existence of G x E interaction for the seasons, as well as the predominance of interaction decomposition of the complex type. It was observed that in the two seasons, the sites considered as traditional in maize cultivation in safrinha, Jataí-GO and Montividiu-GO favored the productive performance of the hybrids, whose averages were higher than the national productivity averages of 3859 kg ha⁻¹ in 2016 and 5562 kg ha⁻¹ in 2017. It is concluded that the G x A interaction for grain yield of maize hybrids grown in safrinha is complex; that for the 2016 season, which presented high grain yield, wide adaptation and high stability was the hybrid AG8700PRO3; and for the 2017 season it was the hybrid AS1757PRO3. The soybean experiments were carried out in the 2016/2017 and 2017/2018 season in seven locations located in the states of Goiás and Minas Gerais. Eighteen soybean genotypes were evaluated, with eight lines developed by soybean breeding program and eight commercial checks: BMX Desafio RR, BMX Flecha IPRO, Maradona-Anta82, AS3680IPRO, M7110IPRO, M6972IPRO, M7198IPRO, AS3730IPRO, M7739IPRO, TMG 7062 IPRO. Genotype environment interaction was verified by significant and complex. The genotypic coefficient for yield was of high magnitude, whose estimate was 95.23%. The genotypes that presented the highest yields were Soy-13, Soy-03, Soy-11, Soy-09 and Soy-10. It is concluded that according to the analyzes of the methods Lin and Binns (1988) modified by Carneiro (1998), Eberhart and Russel (1966) and AMMI method, the Soy-09 Genotype presented high grain yield, wide and high adaptation stability.

Keywords: Adaptation. *Glycine max*. Recommendation. Yield. *Zea mays*.

¹ Supervising Committee: Osvaldo Toshiyuki Hamawaki – UFU (Major Professor) and Ana Paula de Oliveira Nogueira – UFU.

1 INTRODUÇÃO GERAL

As culturas soja e milho estão entre as principais *commodities* do agronegócio brasileiro e ocupam posições de destaque, tanto em produção como em exportação. De acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), na safra 2017/2018, o país ocupou segundo lugar entre os maiores produtores mundiais de soja e a terceira posição em produção de milho.

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é cultivada no Brasil desde o Sul até Norte e Nordeste do país na safra de verão e o milho (*Zea mays* L.) é explorado em grande parte do território brasileiro em safra de verão e, sobretudo, na safrinha. O sucesso destas culturas no Brasil se devem a diversos fatores e, entre eles, aos investimentos em sistemas de produção, bem como em melhoramento genético das espécies.

Os programas de melhoramento genético de plantas, em geral, possuem como objetivos a obtenção de cultivares adaptadas às distintas regiões de cultivo, resistentes aos fatores bióticos e abióticos, caracteres agronômicos favoráveis que em conjunto culminam em altos rendimentos (SOUSA, 2015). Considerando que os caracteres alvos de melhoramento, são predominantemente de natureza poligênica, especialmente para produção de grãos, o desempenho fenotípico deve ser criteriosamente analisado.

Cruz, Regazzi e Carneiro (2012) afirmam que a presença de interação genótipos x ambientes para os caracteres quantitativos, como a produção de grãos, é um ponto crítico nas pesquisas de melhoramento, pois influencia o ganho de seleção e dificulta a recomendação de cultivares com ampla adaptabilidade.

Uma cultivar de soja deve ter alta produtividade, estabilidade de produção de grãos e ampla adaptabilidade aos mais variados ambientes existentes na região onde é recomendada (HAMAWAKI et al., 2010) e, atualmente, a precocidade visando viabilizar o cultivo de milho na segunda safra.

Com o aumento dos cultivos de milho safrinha, torna-se de suma importância a avaliação de novas cultivares, visando determinar o potencial produtivo e características de interesse nesta época de cultivo.

Destaca-se que ao adotar um sistema de sucessão de culturas, o planejamento é imprescindível, pois as tecnologias a serem usadas devem ser praticadas em conjunto (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2011), assim como o

conhecimento de materiais adaptados as regiões de plantio e com boa estabilidade de produção.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho produtivo, adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja verão cultivadas nas safras 2016/17 e 2017/18 e milho safrinha cultivados na safra 2015/16 e 2016/17 em regiões tradicionais e não tradicionais para o cultivo de milho safrinha.

CAPÍTULO 1

REFERENCIAL TEÓRICO

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Microrregião do Sudoeste e Sudeste Goiano

O sudoeste goiano é uma das regiões mais importantes entre as produtoras de grãos brasileiras, fica localizado no Planalto Central brasileiro, no estado de Goiás que tem um relevo bastante variado, com planaltos, chapadas, vales e depressões. O clima do estado é tropical semi-úmido, com temperatura média anual de 23°C, a vegetação predominante é o cerrado (IBGE, 2015).

O espaço agrário do Sudeste Goiano, após os anos 1980, passou por uma reestruturação produtiva, ocasionada pela territorialização do capital nas atividades agrícolas. A agricultura moderna, entendida como a incursão cada vez mais intensa das inovações tecnológicas e das metamorfoses da relação capital x trabalho, tem se propagado no Brasil, notadamente no Cerrado, como um modelo que altera as condições econômicas, contribuindo para o aumento da produção agrícola do país (MATOS; PESSÔA, 2012).

As microrregiões do Sudoeste e Sudeste de Goiás estão localizadas na mesorregião do Sul Goiano, que é composta por outras microrregiões. O Sudoeste de Goiás detém uma área total equivalente a 2,47 milhões de hectares, 16% da área total do estado, compreendendo um total de 26 municípios. Os municípios de Rio Verde e Jataí concentram mais de 50% da população microrregional e das principais atividades econômicas (SEPIN, 2012).

A formação econômica do Sudoeste de Goiás acompanhou a formação da nova fronteira agrícola no Centro-Oeste brasileiro. Os investimentos, incentivos públicos e o preço baixo da terra provocaram uma onda de migração de proprietários rurais e produtores oriundos das regiões do Sul e Sudeste do Brasil para Goiás, onde adquiriram grandes quantidades de terras (BORGES, 2012).

As condições climáticas e topográficas, a localização geográfica, além dos incentivos fiscais e financeiros concedidos pelos governos das esferas estaduais e federal tornam o Sudoeste de Goiás atrativo para empresas rurais e agroindústria (PINTO; WANDER, 2016) e com a expansão dos plantios de soja no verão, a região tornou-se tradicional no cultivo de milho safrinha.

O cultivo de milho nos sistemas produtivos e instalação de um complexo agroindustrial consolidado e inerente ao complexo da soja foi resultado da evolução do agronegócio que envolveu não apenas o Sudoeste de Goiás, como o estado de Goiás e a região Centro-Oeste. A região passou pela influência da reconfiguração geográfica da indústria no país, particularmente aquelas ligadas ao beneficiamento de matérias primas agrícola (GOULART, 2012).

Dentro do sudoeste goiano há o maior produtor de soja e milho no Estado de Goiás, a cidade de Rio Verde, que possui um dos maiores valores de produto interno bruto agropecuário, maior arrecadador de impostos sobre produtos agrícolas e centro difusor de novas tecnologias. Segundo dados da Secretaria de Gestão, Planejamento e Desenvolvimento de Goiás (Segplan-GO), Rio Verde lidera o *ranking* nacional da produção agropecuária do país, com 0,43% de todas as riquezas do setor, na produção de grão também há destaque para os municípios goianos de Jataí, Cristalina, Catalão e Ipameri, o primeiro destaca-se como uma região tradicional do plantio de milho safrinha, enquanto que os demais são classificados como região de expansão ou não tradicionais, onde mais recentemente os produtores de milho verão estão começando a plantar soja na primeira safra e investir no plantio de milho para ter rendimentos na safrinha.

Campo Alegre de Goiás, Catalão e Ipameri, áreas de chapada que se configuraram em “ilhas de modernidade” devido às características técnicas presentes no processo produtivo e, portanto, também se tornaram importantes territórios para o agronegócio. Atualmente, o município de Catalão é o maior produtor de soja do Sudeste Goiano e a produção de milho também registrou enorme crescimento, pois o milho é um cultivo tradicional no Cerrado (MATOS; PESSÔA, 2012).

2.2 Mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba e Noroeste de Minas

A região conhecida como Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba é uma das 12 mesorregiões do estado brasileiro de Minas Gerais. A importância sócio-econômica das atividades agropecuárias em Minas Gerais e, mais especificadamente, na mesorregião Triângulo Mineiro, data do seu período de formação histórica, que como destaca Brandão (1989), compreende quatro grandes momentos: ocupação, expansão comercial, transição e diversificação produtiva. Esse processo contribuiu significativamente para a formação de uma elite agrária que possui grande poder político e econômico local (SOUZA, 2017).

O Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, em comparação com as demais mesorregiões do estado, dispõe do terceiro maior contingente populacional e da segunda maior área (IBGE, 2017) e tem a segunda maior economia de Minas Gerais, com elevado índice de desenvolvimento humano, localização estratégica entre os principais estados brasileiros e infraestrutura que consolida o agronegócio desta região por meio da formação de importantes complexos agroindustriais (RESENDE; ROSOLEN, 2013).

A mesorregião está inserida no bioma cerrado e é circundada pelas bacias dos rios Grande e Paranaíba. Sete de seus municípios estão entre os mais populosos do estado: Uberlândia, Uberaba, Patos de Minas, Araguari, Ituiutaba, Araxá e Patrocínio, sendo que Uberlândia é o maior município do interior mineiro (IBGE 2017; DANTAS, 2014). O clima da região é o tropical, caracterizado pela alternância de estações úmidas e secas, por influência sazonal de massas de ar. A precipitação média anual é de 1.550 milímetros e a temperatura média anual é de 22° C (ANA, 2017).

Atualmente, a região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba se destaca como uma das principais regiões do agronegócio nacional, tendo destaque para os seguintes produtos: cana-de-açúcar, soja, milho, café e laranja, além da criação de gado (SOUZA, 2017).

A mesorregião do Noroeste de Minas pela qual rio São Francisco permeia, tem clima tropical quente e é formada por depressões. A economia é altamente agrícola e tem destaque para a produção de milho, mandioca e feijão e assim como o Triângulo Mineiro, tem muitas áreas de criação de gado. Constitui a região menos populosa e menos densamente povoada do estado (IBGE, 2017).

O milho é o principal produto agrícola de Minas Gerais e a safra apresenta crescimento a cada ano. Com localização geográfica no centro do país e condições de ordem geomorfológica que favorecem agricultura, de acordo com a CONAB (2017), a região Noroeste e o Triângulo Mineiro são regiões com grandes perspectivas de crescimento.

Grande parte do que é produzido no estado de Minas Gerais é destinado ao mercado externo, assim, pode-se afirmar que as mesorregiões citadas acima são tidas como estratégicas na expansão do agronegócio brasileiro. Com a expansão dos plantios de soja no verão, muitos produtores do Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba e Noroeste de Minas, estão fazendo o cultivo de milho na safrinha, nesta região que antes não era tradicional para a segunda safra.

2.3 Cultivo de Milho

No começo da década de 90, o cultivo de trigo entrou em decadência no Brasil, o estado de Mato Grosso do Sul, junto com o Paraná foram dos mais afetados, uma vez que a produção de grãos desses estados estava baseada na sucessão soja-trigo. Desta forma no mesmo período buscou-se uma alternativa de cultura que apresentasse elevado rendimento econômico.

Nesse cenário, surgiu a hipótese alternativa de semear milho após o cultivo da soja com as primeiras semeaduras em meados de março, se estendendo pelo mês de abril. Durante essa primeira etapa, até o fim dessa década, o Milho Safrinha era cultivado muitas vezes sem aporte de fertilizantes, com “sementes de paiol” ou cultivares desenvolvidas para semeaduras de verão e escasso controle de pragas (NETO NETO, 2015).

Tsunechiro e Ferreira (2007), analisando dados de 1993 a 2007 dos principais estados produtores do Brasil, constataram que há uma elevada correlação entre as áreas cultivadas de soja e de milho safrinha, principalmente em Mato Grosso, Paraná e Goiás.

Atualmente, a soja e o milho figuram entre as cinco principais culturas agrícolas de grãos do país, ao lado de arroz, feijão e trigo, utilizados desde a alimentação humana e animal até a produção de energia como o biodiesel (NETO NETO, 2015).

Nas regiões produtoras os principais eventos climáticos responsáveis por perdas de produtividades são a deficiência hídrica, as temperaturas elevadas, as temperaturas abaixo de 13 °C e baixa radiação solar. Estas três variáveis podem ser ajustadas através da escolha da época de semeadura e a deficiência hídrica pode ser contornada por meio da irrigação, aumentando a faixa temporal de cultivo tanto para a soja como para o milho (BATTISTI, 2013).

No início do Século XXI várias empresas nacionais que possuíam banco de germoplasma foram vendidas para empresas multinacionais, e assim, houve estímulo por parte dessas empresas e do setor de pesquisa para investimento na cultura de milho e devido às condições econômicas no mesmo período o cultivo de soja tornou-se mais técnico e o processo de integração dessas duas culturas teve início (NETO NETO, 2015).

O cultivo de milho é comumente realizado no Brasil na safra e safrinha, sendo que em maior escala na safrinha. O milho safrinha recebeu esta denominação devido às condições menos favoráveis, especialmente quanto à disponibilidade hídrica, na época de cultivo após a colheita da safra de verão, normalmente explorada com a cultura da soja. Dessa forma, o milho safrinha

tem menor potencial de produção se comparado ao seu cultivo na safra normal, no período primavera/verão.

Atualmente a safrinha vem sendo conduzida com técnicas de produção capazes de permitir desempenho satisfatório do milho, o que tem levado à ampliação de área dessa modalidade, sobretudo na região do Cerrado. Dentre essas técnicas destaca-se a utilização de cultivares de soja precoce, permitindo a antecipação da semeadura do milho em sucessão para épocas com menores riscos climáticos (CRUZ et al., 2013; AGRITEMPO, 2016).

Diversos produtores adotam a antecipação da semeadura, para viabilizar sucessão de culturas da soja com o “milho safrinha” (STULP et al., 2009), o que só é possível devido às novas características de algumas cultivares como o tipo de crescimento indeterminado e continue com seu crescimento normalmente sem afetar o porte das plantas e as produções. Em outros casos adotada-se o cultivo tardio em algumas situações como produção de sementes, que segundo Siqueira et al. (2010), não é a época de melhores produtividades mas é a época em que se consegue semente de melhor qualidade fisiológica.

Além da época de cultivo, também deve-se considerar a capacidade do solo reter umidade, justificando que a produção de milho safrinha se dê, predominantemente, em regiões de solos argilosos que conservam mais a umidade, amenizando, assim, os efeitos da falta de chuva ao longo do ciclo (Duarte, 2004). Mesmo com a evolução deste sistema de produção ainda existem riscos para o cultivo do milho safrinha.

Conforme relatado por Broch e Ranno (2009), o milho safrinha deve ser semeado apenas em solos com fertilidade construída, pois não existe tempo hábil para se manejá-los em busca de correção das suas características químicas, físicas e biológicas, entre a colheita da cultura da primeira safra e a semeadura de uma segunda. Deve-se considerar ainda, que o risco de produção na safrinha não justifica grandes investimentos na lavoura; por essa razão, busca-se redução de custos para a viabilidade deste sistema de produção e dentro desse contexto o estudo evidencia a possibilidade de atuar com milho safrinha em reposição à cultura de soja no Triângulo mineiro.

O milho é uma das culturas mais importantes no mundo em função da produtividade de grãos, composição química e valor nutritivo. No Brasil, este cereal é cultivado em todas as regiões, com destaque às regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul, as quais são responsáveis pelo maior percentual de produção do país (SOARES, 2010). A elevada produção do país é dada pela aptidão agrícola e multiplicidade de aplicações do milho, seja na alimentação humana ou animal,

assumindo relevante papel socioeconômico (BARBOSA, 2011; EIRAS; COELHO, 2011).

2.4 Genótipos para o milho safrinha

O cultivo do milho no Brasil é realizado em uma ampla diversidade de ambientes. Existem, desde empresários rurais que cultivam extensas áreas e utilizam de todas as tecnologias disponíveis, como também os agricultores familiares que cultivam pequenas áreas e normalmente empregam baixa tecnologia. Além das características tecnológicas empregadas no ambiente de produção, temos as condições edafo-climáticas que são peculiares para cada local de produção. Devido a esses fatores a interação genótipos x ambientes (GxA) é de fundamental importância, exigindo que os melhoristas utilizem todas as estratégias visando atenuar seus efeitos, e até mesmo aproveitá-la em benefício dos agricultores (MACHADO, 2008).

No Brasil, são vários os tipos de cultivares comercializadas, destacando os híbridos simples (HS), triplos (HT) e duplos (HD). O questionamento normalmente realizado, é se os híbridos duplos, devido à maior heterogeneidade genética, teriam maior estabilidade do que os HS (BECKER; LÉON, 1988; GUILLEN-PORTAL et al., 2003). Contudo há alguns relatos de HS que foram tão ou mais estáveis do que os HD (RIBEIRO et al., 2000; CARVALHO et al., 2005). Os genótipos e os grupos de genótipos diferem quanto à adaptabilidade e estabilidade de produção de espigas despalhadas.

Os híbridos triplos são os que apresentam menor risco de baixa produção. Por isso a escolha de cultivares é de fundamental importância. Tendo em vista a disponibilidade no mercado de um grande número de materiais, a escolha da melhor semente é embasada na sua produtividade de grãos (CRUZ; PEREIRA FILHO, 2008), sem considerar ciclo e resistência a doenças, fatores de menor importância. Contudo, há um outro fator crítico que é a interação genótipo x ambiente que ocorre em virtude dos genótipos não manterem um mesmo padrão de comportamento devido à variabilidade espaço-temporal dos ambientes. Portanto é necessário delimitar as áreas em ambientes mais homogêneos possíveis, e ter culturas bem ajustadas a cada um desses ambientes e/ou obter cultivares que possuam um elevado grau de estabilidade (ALLARD; BRADSHAW, 1964). Um outro aspecto importante a ser considerado como fundamental para o zoneamento, é a caracterização da planta como instrumento de medida das

variações ambientais previsíveis e adaptar as reações das cultivares ao ambiente (BYTH et al., 1976; THORNLEY, 1976).

No Brasil há diversas instituições públicas e privadas na área de melhoramento do milho, cujo objetivo é desenvolver e recomendar genótipos que combinem características agronômicas desejáveis com elevado potencial para a produtividade (RIBEIRO et al., 2000).

Grupos de híbridos de ciclo precoce apresentam maior produtividade, mas com ciclo e umidade de grãos semelhante a híbridos super-precoces e variedades. A incidência e severidade de doenças foliares é variável entre grupos de genótipos. Em todos os grupos de genótipos há predomínio de grãos amarelos, mas com grande variedade em textura (RIBEIRO, 2013).

Então, uma das grandes oportunidades que se enfrenta é que, quando os genótipos são postos a competir em vários ambientes, a classificação relativa entre eles pode não ser coincidente, o que dificulta de forma substancial a identificação daqueles efetivamente superiores. A essa oscilação no comportamento dos genótipos, frente às variações ambientais, dá-se o nome de interação genótipos por ambientes. Diversos são os relatos que destacam a importância da interação genótipos por ambientes em trabalhos realizados com a cultura do milho no Brasil (RIBEIRO et al., 2000).

Na safra 2018, da área destinada à cultura do milho, 55% serão cultivados com milho híbrido geneticamente modificado *Bt*, caracterizado pela introdução de genes específicos de *Bacillus thuringiensis*, denominado milho *Bt*; 30% com milho híbrido geneticamente modificado *Bt*, acrescido de genes *RoundupReady*® (RR), denominado milho *Bt* + RR; e 15% com milho convencional. A produtividade estimada para o milho *Bt* e milho *Bt*+ RR é de 5.400 kg ha⁻¹, enquanto a do milho convencional é de 4.800 kg ha⁻¹ (RICHETTI, 2017).

Além do fator genético, a obtenção de maiores rendimentos dos grãos com a cultura do milho está na dependência das condições climáticas e do manejo adotado na cultura (CARVALHO et al., 2005; HASHEMI et al., 2005; FORSTHOFER et al., 2006), como a aplicação de fungicidas para controle das doenças foliares (JARDINE; LACA-BUENDÍA, 2009; COSTA et al., 2012; GONÇALVES et al., 2012).

Para se constatar a presença e também estimar a magnitude da interação GxA é necessário avaliar os genótipos em vários ambientes. Contudo, é possível reduzir os custos e o tempo de experimentação simulando variações ambientais por meio de níveis de fertilizantes e épocas de semeaduras além de outros fatores que podem ser controlados. Uma vez detectada a

interação, há alternativas para se atenuar os seus efeitos, como por exemplo a seleção de híbridos com maior estabilidade.

2.5 Adaptabilidade e Estabilidade em híbridos de milho

Para a safra 2017/2018 o USDA (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos) projeta a produção de 90 milhões de toneladas de milho no Brasil, sendo a 1ª safra responsável por cerca de um terço do total, já que o milho safrinha representa cerca de 70% da produção total de milho no país.

O aumento da produção brasileira de milho safrinha deve-se preponderantemente à expansão da área cultivada e ao incremento de produtividade de grãos nos principais estados produtores que são Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e São Paulo (TSUNECHIRO et al., 2012).

Na safra de milho desse ano há expectativa de redução de 5,6%. Em 2017/2018, poderão ser 92,3 milhões de toneladas em comparação com 97,8 milhões de toneladas da safra anterior. A primeira safra, com números menores nesta fase, poderá ser de 25,2 milhões de toneladas, enquanto a safrinha poderá alcançar 67,2 milhões de toneladas, registro próximo da produção passada de 67,4 milhões de toneladas (CONAB, 2017).

Junto à expansão da cultura do milho, cresce a exigência por cultivares adaptadas a estes novos ambientes, que agreguem em produtividade para cultivo em condições diversas. Entretanto, em sua grande maioria, os genótipos apresentam comportamentos diferenciados quanto aos distintos ambientes de cultivo. Por esta razão, é fundamental a identificação de genótipos de comportamento previsível e adaptados às variações ambientais para condições amplas ou específicas de cultivo (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004; SILVEIRA, 2012).

Cultivares de adaptabilidade ampla perdem espaço para cultivares regionalizadas, à medida que um maior volume de cultivares são lançadas e o grau de tecnificação dos produtores aumenta. Na estratégia de seleção e recomendação regional, é importante integrar as áreas de genética, estatística, climatologia e pedologia de modo a caracterizar mais eficientemente a variabilidade ambiental. Daí a importância de se estabelecer e estudar redes experimentais a partir de regiões pré-caracterizadas. Este tipo de trabalho demanda um alto nível de recursos e estrutura experimental (LEITE, 2011).

A interação do tipo G x A consiste em um dos maiores desafios dos programas de melhoramento, seja durante a seleção ou na recomendação de cultivares. Entre as alternativas para se amenizar a influência dessa interação, recomenda-se o emprego de cultivares com ampla adaptabilidade e boa estabilidade (CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014). Além disso, identificar as cultivares que são indicadas para ambientes favoráveis e para os ambientes desfavoráveis, isto é, uma recomendação mais regionalizada.

As metodologias para estudo da adaptabilidade e estabilidade são várias e, à medida que foram sendo criadas, houve uma tendência de aumento no número de parâmetros para se avaliar a *performance* genotípica (desempenho, comportamento e flutuações de um genótipo quando exposto a vários ambientes) das cultivares, o que tem tornado a interpretação mais difícil. Metodologias simples, com base em uma só informação, apresentam grande facilidade de interpretação. Entretanto, os parâmetros estimados por esses métodos deixam a desejar quanto à análise da *performance* genotípica (CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014).

As diversas metodologias disponíveis para análise da adaptabilidade e estabilidade, variam quanto ao conceito, princípio estatístico e número mínimo de ambientes. Entre estes, destacam-se os métodos paramétricos baseados em regressão, os métodos multivariados e os métodos não paramétricos.

2.6 Cultivo de Soja

Atualmente os grãos de soja e de milho figuram entre as cinco principais culturas agrícolas de grãos do país, ao lado de arroz, feijão e trigo, utilizados desde a alimentação humana e animal até a produção de energia como o biodiesel (NETO, 2015).

A soja é a cultura agrícola brasileira que mais cresceu nas últimas décadas firmando-se como um dos produtos mais destacados da agricultura nacional e na balança comercial, e pode-se inferir que o aumento de sua produtividade está associado aos avanços tecnológicos do melhoramento genético de plantas (GOMES; BORÉM, 2013). A produção de soja brasileira atingiu mais de 96 milhões de toneladas e uma área colhida de mais de 33 milhões de ha no ano de 2016 (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO, 2018).

Os cultivares são classificados em grupos de maturação, e são denominados, em geral, como precoce, semiprecoce, médio, semitardio e tardio. Entretanto, em relação ao número de dias para maturação, esses grupos divergem entre as variadas regiões de adaptação. Desta maneira, uma mesma cultivar pode alcançar diferentes ciclos, conforme as condições de manejo e, principalmente, das condições edafoclimáticas de regiões distintas (EMBRAPA, 2006).

A necessidade total de água na cultura da soja, para obtenção do máximo rendimento, varia entre 450 a 800 mm/ciclo, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do ciclo. O aumento de produtividade da soja nos últimos anos se deve principalmente ao melhoramento genético, o qual também possibilitou a expansão da soja a novas fronteiras agrícolas pois esta cultura mostra grande capacidade de se adaptar a uma ampla diversidade de ambientes, períodos e solos (CATTELAN e DALL'AGNOL, 2018).

Com a crescente necessidade de se expandir as áreas para produção de alimentos, novas regiões agrícolas, notadamente o Cerrado, passaram a ser exploradas com vistas ao aumento dessas áreas (ALCÂNTARA NETO et al., 2010)

As tecnologias de produção de soja no Brasil são os resultados do esforço conjunto e participação efetiva de Instituições de Pesquisa, Ensino e Extensão Rural. No cultivo da soja recomenda-se, na maioria dos estados produtores do Brasil, plantar entre a segunda quinzena de setembro podendo se estender até meados de dezembro, como época de semeadura preferencial. Contudo, muitos produtores adotam a antecipação da semeadura, para viabilização da sucessão de culturas da soja com o “milho safrinha” (STULP et al., 2009). Isto só é possível devido às novas características de algumas cultivares como o hábito de crescimento indeterminado, a qual permite que a soja floresça ao receber o estímulo mesmo que antecipadamente e continue com seu crescimento normalmente sem afetar o porte das plantas e as produções. Em outros casos adotada-se o cultivo tardio, como para produção de sementes, que segundo Siqueira et al. (2010), não é a época de melhores produtividades mas é a época em que se consegue semente de melhor qualidade fisiológica.

A soja tem alto potencial de produção de grãos e grande variabilidade entre as cultivares quanto à resposta aos fatores ambientais, o que proporciona que a mesma tenha ótima adaptação nas mais variadas regiões e épocas no Brasil, justificando a necessidade de pesquisas no sentido de aperfeiçoar o seu cultivo e de reduzir os riscos de prejuízos (CARVALHO et al., 2010).

2.7 Genótipos de soja

O desempenho final de uma cultivar de soja é determinado pela combinação de características agronômicas positivas em uma mesma planta, por meio da recombinação genética obtida pelo cruzamento entre diferentes linhagens da mesma espécie. O desempenho, portanto, é oriundo da resposta dos genótipos ao ambiente em que estão. Quanto maior for a adaptabilidade, a capacidade dos genótipos responderem à melhoria do ambiente de forma a se obter bons resultados de rendimento, espera-se que melhor seja o desempenho das cultivares (BARROS et al., 2012).

A espécie *Glycine max* (L). Merrill possui $2n=40$ cromossomos e pertence à classe Dicotyledonea e, ordem Rosales, família Leguminosa e, subfamília Papilionacea e, tribo Phaseoleae, gênero *Glycine* (Moench) (DONG et al., 2004). A soja cultivada (*G.max*) e a soja selvagem (*G. soja*) estão alocadas dentro do gênero *Glycine*. Essas espécies são alotetraplóides ($2n = 40$), com comportamento meiótico de um diplóide normal e são facilmente cruzadas, constituindo-se efetivamente em uma espécie simples (PROBST; JUDD, 1973; SINGH e HYMOWITZ, 1988), apresentando alto grau de autopolinização e assim são consideradas como linhagens endogâmicas. Outras 22 espécies perenes são reconhecidas dentro do gênero *Glycine*, das quais *Glycine tabacina* e *Glycine tomentella* são neopoliploides ($2n=78, 80$) (HYMOWITZ, 1970).

A ampliação da base genética (genótipos ancestrais) das cultivares de soja aumenta a heterogeneidade e diminui os riscos de vulnerabilidade genética e, conseqüentemente, o risco na redução da produtividade. Situação contrária a esta é passível de ocorrer quando se trabalha com alta similaridade entre parentais empregados nos cruzamentos para desenvolvimento de novas cultivares (WYSMIERSKI, 2013).

Apesar do grande número de cultivares de soja existentes no Brasil, algumas pesquisas realizadas (ALCÂNTARA NETO, 2010; MIRANDA et al., 2007; WYSMIERSKI, 2013) relatam a diminuição da base genética em razão, principalmente, de poucos genótipos ancestrais utilizados nos desenvolvimentos das cultivares atuais da oleaginosa.

Ao avaliar as genealogias de 444 cultivares de soja, Wysmierski (2013) constatou que quatorze genótipos parentais contribuíram com mais de 90% da base genética das cultivares

brasileiras. Ainda, segundo Wysmierski (2013), a base genética das cultivares de soja no Brasil é bastante similar àquelas cultivares de soja dos Estados Unidos.

A variabilidade genética entre populações é criada pela segregação cromossômica independente e pela recombinação genética durante a meiose. A busca pelo aumento da variabilidade genética se torna importante e necessária e, desta forma, implica maior número de alelos favoráveis incorporados a recombinação intracromossomal (REZENDE et al., 2011).

Para promover a variabilidade genética necessária para o desenvolvimento das cultivares, para que estas sejam cada vez mais produtivas e adaptadas, podem-se introduzir novas fontes de germoplasma no melhoramento, como *Plant Introductions* – PIs. A utilização de germoplasmas exóticos é fundamental para o aumento da variabilidade da soja, bem como para a introdução de alguma característica desejada (SNELLER et al., 1997). No entanto, apesar do número de cultivares ter apresentado grande crescimento no Brasil nos últimos anos há pouca dissimilaridade genética entre elas em razão, principalmente, de serem originárias de poucos ancestrais, o que resultou em uma base genética estreita (ALCÂNTARA NETO, 2007).

2.8 Adaptabilidade e Estabilidade em soja

O valor fenotípico de um indivíduo, quando avaliado em um ambiente, é o resultado da ação do efeito genotípico sob influência do meio ao qual é submetido. Todavia, ao ensaiar o mesmo indivíduo em vários ambientes, surge, seguidamente, um componente extra que influencia o seu valor fenotípico, que é denominado interação entre os efeitos genotípicos e os ambientais. Essa interação quantifica o comportamento diferenciado dos genótipos diante das variações ambientais (CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014).

A seleção de genótipos com alta produtividade de grãos e elevados teores de proteína e óleo é o principal objetivo dos programas de melhoramento (ROCHA; VELLO, 1999). Porém, a interação GxA constitui-se num dos maiores problemas dos programas de melhoramento de qualquer espécie, seja na fase de seleção ou na de recomendação de cultivares. A interação GxA pode ser reduzida utilizando-se cultivares específicas para cada ambiente, ou utilizando-se cultivares com ampla adaptabilidade e boa estabilidade. (ALLARD; BRADSHAW, 1964; RAMALHO et al., 1993)

Quando o comportamento de duas cultivares são concordantes em dois ambientes distintos, a interação é chamada de interação simples. Entretanto, quando as cultivares possuem comportamento diverso, a interação é denominada complexa. Considerando um número maior de ambientes e de cultivares, a presença de interação complexa quase sempre indica a existência de cultivares especificamente adaptadas a ambientes particulares, bem como de outros com adaptação mais ampla, porém sem alto potencial produtivo (PELÚZIO et al., 2008).

Para obtenção de resposta sobre a cultivar, deve-se primeiro avaliar a adaptabilidade e estabilidade fenotípica através de estudos utilizando metodologias específicas. Diversos métodos têm sido propostos para avaliar a adaptabilidade e a estabilidade de genótipos. De acordo com Cruz et al.(2006), a escolha do método para avaliação depende dos dados experimentais, da precisão requerida e do tipo de informação desejada pelo melhorista. Cada método possui particularidades, portanto, é importante a utilização de mais de um método, em alguns casos, os métodos podem ser complementares entre si.

O método mais utilizado para avaliação da interação $G \times A$ é a análise de variância, através da análise conjunta de experimentos. A magnitude das interações $G \times A$ é determinada pelo teste F. As interações $G \times A$ são detectadas como um padrão de resposta diferencial e significativo dos genótipos, entre ambientes. No sistema biológico, isto ocorre quando as contribuições ou nível de expressão dos genes regulando o caráter diferem entre ambientes. De acordo com Basford e Cooper (1998), essa contribuição dos genes para a expressão de um caráter é considerada ser a base biológica das interações $G \times A$. As causas da interação $G \times A$ também têm sido atribuídas a fatores fisiológicos e bioquímicos próprios de cada genótipo cultivado (CRUZ; REGAZZI, 1994).

As metodologias para estudo da adaptabilidade e estabilidade são várias e, à medida que foram sendo criadas, houve uma tendência de aumento no número de parâmetros para se avaliar a performance genotípica (desempenho, comportamento e flutuações de um genótipo quando exposto a vários ambientes) das cultivares, o que tem tornado a interpretação mais difícil. Metodologias simples, com base em uma só informação, apresentam grande facilidade de interpretação. Entretanto, os parâmetros estimados por esses métodos deixam a desejar quanto à análise da performance genotípica (CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014).

2.9 Métodos de estudos de Adaptabilidade e Estabilidade

Os métodos de Eberhart e Russel (1966), Lin e Binns (1988), o qual foi modificado por Carneiro (1998), Centróide (Rocha et al., 2005) e AMMI (ZOBEL et al., 1988) estão referenciados abaixo:

O método de Eberhart e Russell (1966) é um método paramétrico que se baseia em uma análise de regressão linear simples da média genotípica em cada ambiente com um índice ambiental, função da média dos ambientes para todos os genótipos. Os coeficientes de regressão e os desvios de regressão proporcionam estimativas de parâmetros de estabilidade e adaptabilidade. Desse modo, um genótipo ideal é aquele que possui média alta, coeficiente de regressão igual a 1,0 e desvio de regressão tão pequeno quanto possível. O modelo matemático é expresso a seguir:

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}I_j + \delta_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$$

Em que:

Y_{ij} : média do genótipo i no ambiente j ;

β_{0i} : média geral do genótipo i ;

β_{1i} : coeficiente de regressão linear, que descreve a resposta do i -ésimo genótipo à variação do ambiente;

I_j : índice ambiental codificado ($\sum_i I_i = 0$);

δ_{ij} : desvio de regressão;

$\bar{\epsilon}_{ij}$: erro experimental médio.

O método de Lin e Binns (1988), modificado por Carneiro (1998), baseia-se em uma análise não paramétrica e tem sido empregado pela sua facilidade de análise e simplicidade dos resultados obtidos. Além de ser uma boa alternativa na avaliação da estabilidade, pois não apresenta as limitações mencionadas com uso da regressão e possibilita identificar uma cultivar ou mais cultivares com desempenho próximo do máximo nos vários ambientes testados. O

método foi modificado por Carneiro (1998) para suprir as necessidades de identificar genótipos superiores nos grupos de ambientes favoráveis e desfavoráveis.

Nessa metodologia, o parâmetro principal de estabilidade é definido como índice de estabilidade (P_i), que é a medida de superioridade máxima de um genótipo. Esse parâmetro corresponde ao quadrado médio da distância entre a resposta de determinado genótipo que apresenta produtividade máxima comparada com a dos demais genótipos, em um dado ambiente. Dessa forma, o quadrado médio indica uma superioridade geral do genótipo em questão, pois quanto menor for o valor de P_i , mais estável é o genótipo (DAHER et al., 2003). O modelo matemático é dado por:

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^n (X_{ij} - M_j)^2}{2n}$$

Em que:

P_i : estimativa do parâmetro da estabilidade e adaptabilidade do genótipo i ;

X_{ij} : produtividade do i -ésimo genótipo no j -ésimo ambiente;

M_j : resposta máxima observada entre todos os genótipos no ambiente j ;

n : número de ambientes.

Assim, para o parâmetro P_i em ambientes favoráveis P_{if} :

$$P_{if} = \frac{\sum_{j=1}^f (X_{ij} - M_j)^2}{2f}$$

Em que:

f : é o número de ambientes favoráveis;

X_{ij} : produtividade do i -ésimo genótipo no j -ésimo ambiente;

M_j : resposta máxima observada entre todos os genótipos no ambiente j ;

E para o parâmetro P_i decomposto em ambientes desfavoráveis P_{id} :

$$P_{id} = \frac{\sum_{j=1}^d (X_{ij} - M_j)^2}{2d}$$

Em que: d : é o número de ambientes desfavoráveis.

O método Centróide, por sua vez, baseou-se em uma metodologia de análise multivariada utilizando componentes principais, que se caracterizam por associar as vantagens dessa

metodologia a estudos da interação G x A. Além disso, ele se fundamenta na comparação de valores de distância cartesiana entre os genótipos e quatro referências ideais (de máxima ou mínima resposta em relação ao conjunto de dados avaliados) em uma dispersão de componentes principais, visando facilitar a recomendação de genótipos. Esse método difere em relação aos métodos baseados em análise de variância por permitir o direcionamento dos cultivares em relação à variação ambiental e pela facilidade de identificação dos genótipos, dispensando a análise simultânea de vários parâmetros como nos métodos baseados em regressão (ROCHA et al., 2005).

O método multivariado AMMI (*Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis*), proposto inicialmente por Mandel (1971), é um tipo de análise que permite um detalhamento maior da soma de quadrados da interação e, conseqüentemente, traz vantagens no entendimento desse efeito, quando comparados a outros métodos tradicionais de análise (ZOBEL et al., 1988).

CAPÍTULO 2

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE HÍBRIDOS DE MILHO EM REGIÕES TRADICIONAIS E NÃO TRADICIONAIS DE CULTIVO DE SAFRINHA

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE HÍBRIDOS DE MILHO EM REGIÕES TRADICIONAIS E NÃO TRADICIONAIS DE CULTIVO DE SAFRINHA

RESUMO

A interação genótipos por ambientes (G x A) influencia no processo de melhoramento, especialmente para indicação e recomendação de cultivares. Neste trabalho avaliou-se a interação G x A para produtividade de grãos em híbridos de milho cultivados em ambientes tradicionais e não tradicionais no cultivo de safrinha; e determinar a adaptabilidade e estabilidade dos híbridos por métodos paramétricos, não paramétricos e multivariados. Na safra 2016, avaliaram-se 24 híbridos em 7 ambientes; e em 2017 avaliaram-se 13 híbridos em 6 ambientes. Os ambientes foram localizados entre as regiões do Sudoeste de Goiás; Sudeste de Goiás; Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba; Noroeste de Minas. Em todos os ensaios, adotou-se o delineamento de blocos completos casualizados e a produtividade de grãos foi determinada em cada parcela, cujos valores foram corrigidos para 13% de umidade. As análises estatísticas foram realizadas no Programa Genes e Estabilidade. Verificou-se existência de interação G x A para as duas safras, bem como a predominância de decomposição de interação do tipo complexa. Observou-se que nas duas safras, os locais considerados como tradicionais no cultivo de milho em safrinha, Jataí-GO e Montividiu-GO, favoreceram o desempenho produtivo dos híbridos, cujas médias foram superiores as médias nacionais de produtividade de 3859 kg ha⁻¹ em 2016 e 5562 kg ha⁻¹ em 2017. Os métodos Eberhart e Russel (1966), Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), Centróide e AMMI apresentaram coincidências nas classificações quanto à adaptação e estabilidade de alguns híbridos. De acordo com Eberhart e Russel (1966) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), os híbridos DAS2B512PW, MG652PW e AG8700PRO3 avaliados na safrinha 2016 e os híbridos AS1633PRO3, AS1757PRO3 e DKB335PRO3 na safrinha 2017 atingiram alta produtividade de grãos, adaptação ampla e alta estabilidade. De acordo com o método Centróide, em 2016, 38% dos híbridos foram classificados como média adaptabilidade geral e a mesma classificação foi observada para 38,5% dos híbridos testados no ano de 2017, porém observou-se baixa probabilidade para ambos os anos de teste. Pelo método AMMI os híbridos superiores quanto à estabilidade foram AG8700PRO3, AG8677PRO3 e AS1757PRO3, AG8690PRO3 respectivamente para safra 2016 e 2017. Conclui-se que a interação G x A para produtividade de grãos de híbridos de milho cultivados em safrinha é de natureza complexa; que para safra 2016 o híbrido AG8700PRO3 apresentou elevada produtividade de grãos, adaptação ampla e alta estabilidade; para safra 2017 o híbrido AS1757PRO3.

Palavras-chaves: Adaptação. Interação G x A. *Zea mays*

ADAPTABILITY AND STABILITY IN CORN HYBRIDS GROWN IN TRADITIONAL AND NON TRADITIONAL AREAS OF SECOND SEASON

ABSTRACT

The genotype–environment interaction (G x E) influences the process of breeding, especially as far as selection and recommendation of cultivars are concerned. Thus, this study aims at evaluating the G x E interaction regarding grain productivity in maize hybrids grown in traditional and non-traditional environments in second season; and determine the adaptability and stability of hybrids by parametric, nonparametric as well as multivariate methods. In 2016, 24 hybrids were evaluated in 7 environments; and in 2017, 13 hybrids were evaluated in 6 environments. The environments were located between the regions of Southwestern Goiás, Southeast of Goiás, Triângulo Mineiro Alto Paranaíba and the Northwest of Minas. In all trials, complete randomized blocks were adopted, and the productivity of grain was determined in each installment, whose values were fixed to 13% moisture. The statistical analyses were performed on two different software: Estabilidade and Genes. It was verified the existence of G x E interaction for the two seasons, as well as the predominance of decomposition of complex type interaction. It was observed that in both seasons, the locals considered as traditional in the cultivation of second season corn, Jataí-GO and Montividiu-GO favored the higher yields, whose averages were higher than national averages of yield of 3859 kg ha⁻¹ in 2016 and 5562 kg ha⁻¹ in 2017. The methods of Eberhart and Russell (1966), Lin and Binns (1988) modified by Carneiro (1998), Centroid and AMMI presented coincidences in the rankings as the adaptation and stability of some hybrids. According to Eberhart and Russell (1966) and Lin and Binns (1988) modified by Carneiro (1998), hybrids, MG652PW DAS2B512PW and AG8700PRO3 evaluated in 2016 and hybrids AS1633PRO3, AS1757PRO3 and DKB335PRO3 evaluated in 2017 have broad adaptation and high stability. According to the Centroid method, in 2016, 38% of the hybrids were classified as general adaptability and the same average rating was observed for 38.5% of the hybrids tested in the year 2017, but low probability was observed for both years. By AMMI superior hybrids as to stability were AG8700PRO3, AG8677PRO3 and AS1757PRO3, AG8690PRO3, respectively for year 2016 and 2017. It is concluded that G x E interaction for grain productivity of corn hybrids grown in second season is complex in nature; that to 2016 corn hybrid AG8700PRO3 showed high productivity, high stability and broad adaptation; for 2017 hybrid AS1757PRO3.

Keywords: Adaptation. Interaction GxA. *Zea mays*

3.1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) devido a sua utilização para a alimentação humana, animal e como matéria-prima para a indústria é um dos principais cereais produzidos no mundo (MORAES; BRITO, 2010) e é cultivado em grande parte do território brasileiro empregando-se diferentes sistemas de produção (FARINELLI et al., 2003).

O cultivo de milho ocorre praticamente em todo o território nacional e a produção pode-se dar em diferentes épocas do ano (safras agrícolas) a depender da região do Brasil (BRASIL, 2015). A 1ª safra ou safra de verão se desenvolve principalmente entre os meses de setembro e março, enquanto a 2ª safra, safra de outono ou safrinha, se desenvolve principalmente entre os meses de janeiro e maio (FIGUEIREDO, 2014).

O Cerrado é um bioma brasileiro com imensa relevância socioambiental. Destaca-se pela biodiversidade e por ser reconhecidamente área de expansão agrícola. A crescente expansão da safrinha nos estados de Goiás e Minas Gerais justifica-se inicialmente pela existência de áreas aptas para o plantio da cultura na época indicada e locais para onde poderão ser direcionados esforços nesse sentido, já constam em novas versões do zoneamento agrícola publicadas (EMBRAPA, 2015).

Analisando dados históricos, observa-se que a produção de milho na safrinha tem seu primeiro registro na década de 80. Nos últimos anos, a safrinha está se tornando cada vez mais relevante (LANDAU et al., 2012) e já é possível identificar produtores e regiões tradicionais na escolha do sistema agrônomo soja verão e milho safrinha.

Com a soja tornando-se o principal cultivo em muitas regiões do país devido ao seu desempenho econômico, observou-se a diminuição da área plantada com milho verão e o aumento da área com milho safrinha ao longo dos anos. Na safra 2010/11, a área plantada com milho na safrinha ultrapassou a área cultivada no verão, sendo que na safra 2017/18 as estimativas apontaram que a safrinha de milho foi cerca de 2 vezes maior que a safra verão e representou 72,6% do total do cereal cultivado no Brasil. A produção nacional da safrinha 2018 foi estimada em mais de 58 milhões de toneladas, com uma produtividade média de 5029 kg ha⁻¹, valor muito próximo da produtividade média nacional para o cultivo de milho verão. (CONAB, 2017).

O milho de safrinha é desenvolvido em sistema de sequeiro, e é cultivado geralmente após soja de ciclo precoce. A adoção do sistema de plantio direto na palha da cultura da soja, permite redução do tempo entre a colheita da lavoura de verão e a semeadura do milho safrinha (TSUNECHIRO; GODOY, 2001), entretanto, seu rendimento e produção são fortemente dependentes das condições meteorológicas.

As condições edafoclimáticas do cultivo de safrinha e de verão variam bastante, porém a grande maioria dos cultivares plantados na 1ª safra são também recomendados para a safrinha já que os programas de melhoramento de milho para safrinha são mais recentes e menores que os programas de melhoramento de milho verão e muitos cultivares oriundos dos programas de melhoramento da safra verão apresentam bom desempenho e adaptação na safrinha (FIGUEIREDO, 2014). Segundo FRITSCHÉ-NETO et al. (2010) o sucesso de um cultivar no mercado está associado ao elevado desempenho produtivo, às características agronômicas desejáveis e sua elevada estabilidade.

A grande diversidade de híbridos de milho disponíveis no mercado agrícola e a ocorrência da interação G x A influenciando a adaptabilidade e estabilidade desses materiais, faz a avaliação dessa interação nos programas de melhoramento ser de grande importância, no sentido de quantificar a magnitude e a significância de seus efeitos (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012), assim como a seleção de híbridos com maior estabilidade fenotípica (RAMALHO; SANTOS; ZIMMERMANN, 1993) e o desenvolvimento de cultivares com adaptação específica para cada região (BACKES et al., 2005).

Considerando que os estudos sobre a interação G x A e de adaptabilidade e estabilidade são de grande relevância para os programas de melhoramento, e permitem identificar cultivares de comportamento previsível às variações ambientais em condições específicas ou amplas (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014), o objetivo deste trabalho foi avaliar a adaptabilidade e estabilidade de híbridos de milho cultivados no Sudoeste goiano, região tradicional de safrinha e no Sudeste goiano, Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, regiões consideradas não tradicionais no plantio do milho safrinha.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em ambientes de produção de safrinha nos anos de 2016 e 2017 na região do Sudoeste Goiano, em locais representativos para uma região tradicional (TRAD) no cultivo de milho safrinha e nas regiões do Sudeste Goiano, Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba e Noroeste de Minas, em locais representativos para uma região não-tradicional (NTRAD) no cultivo de milho safrinha (Tabela 1).

Tabela 1. Ambientes, Unidades federativas, altitudes médias (m), tipo e ano safrinha de milho.

#	Ambiente	UF	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Tipo	Safrinha
A1	Araguari	MG	-18.6459014	-48.1979841	890	NTRAD	2016
A2	Catalão	GO	-18.1661075	-47.9444777	835	NTRAD	2016
A3	Indianópolis	MG	-19.0380618	-47.9178625	971	NTRAD	2016
A4	Jataí	GO	-17.8796049	-51.7206735	867	TRAD	2016
A5	Montividiu	GO	-17.4494387	-51.1760652	897	TRAD	2016
A6	Santana de Patos	MG	-18.832624	-46.5939409	851	NTRAD	2016
A7	Uberlândia	MG	-18.9127534	-48.275484	863	NTRAD	2016
A1	Catalão	GO	-18.1661075	-47.9444777	835	NTRAD	2017
A2	Jataí	GO	-17.8796049	-51.7206735	867	TRAD	2017
A3	Montividiu	GO	-17.4494387	-51.1760652	897	TRAD	2017
A4	Patos de Minas	MG	-18.5872582	-46.5146749	842	NTRAD	2017
A5	Uberlândia	MG	-18.9127534	-48.275484	863	NTRAD	2017
A6	Unaí	MG	-16.3596675	-46.902586	946	NTRAD	2017

Os híbridos avaliados nas safras constam na Tabela 2. Adotou-se o delineamento experimental de blocos completos casualizados, com duas repetições. Cada parcela foi constituída por quatro fileiras de plantas de milho com 8,20 m de comprimento, espaçadas em 0,5 m, sendo as duas linhas centrais consideradas parcela útil.

A semeadura foi mecanizada, em sistema de plantio direto sem revolvimento do solo e as datas de semeadura estão dentro da janela de plantio predominantes em cada região. O estande de plantas variou de 50000 a 65000 plantas ha⁻¹. Os tratos culturais foram realizados conforme recomendação para a cultura do milho. O controle de plantas infestantes e pragas foi realizado por meio da aplicação de herbicida pré-emergente, pós-emergente e inseticidas para que a cultura de milho pudesse se desenvolver sem interferência das mesmas.

Tabela 2. Híbridos de milho semeados nos experimentos de safrinha nos anos 2016 e 2017.

#	Híbridos	Safrinha	#	Híbridos	Safrinha
1	3400RR2	2016	1	AG8677PRO3	2017
2	AG7088PRO3	2016	2	AG8690PRO3	2017
3	AG8070PRO3	2016	3	AG9050PRO3	2017
4	AG8677PRO3	2016	4	AS1555PRO3	2017
5	AG8700PRO3	2016	5	AS1633PRO3	2017
6	AS1581PRO	2016	6	AS1735PRO3	2017
7	AS1656PRO3	2016	7	AS1757PRO3	2017
8	AS1777PRO3	2016	8	AS1780PRO3	2017
9	DAS2B512PW	2016	9	DKB290PRO3	2017
10	DAS2B610PW	2016	10	DKB310PRO3	2017
11	DAS2B688PW	2016	11	DKB335PRO3	2017
12	DAS2B810PW	2016	12	DKB390PRO3	2017
13	DKB290PRO3	2016	13	H5	2017
14	DKB310PRO3	2016			
15	DKB390PRO2	2016			
16	DKB390PRO3	2016			
17	H1	2016			
18	H2	2016			
19	H3	2016			
20	H4	2016			
21	MG652PW	2016			
22	P30F53YHR	2016			
23	P3646LEP	2016			
24	RIB9110PRO	2016			

A produtividade de grãos foi determinada em cada parcela, e corrigido a umidade dos grãos conforme consta na fórmula abaixo, sendo posteriormente extrapolada para kg ha⁻¹:

$$PF = PI \frac{100 - UI}{100 - UF}$$

Em que:

PF: peso final corrigido da amostra;
PI: peso inicial da amostra;
UI: umidade inicial da amostra;
UF: umidade final da amostra (13%).

Os dados foram submetidos à análise de variância individual conforme o modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + B_j + G_i B_j + \varepsilon_{ijk}$$

Em que:

μ : média geral

B_j : efeito do bloco j

G_i : efeito do híbrido i

ε_{ijk} : erro aleatório.

Em cada safra, posterior às análises de variância individuais, analisou-se a razão entre o maior e menor quadrado médio do resíduo para avaliar a homogeneidade das variâncias residuais (RAMALHO et al., 2012) e conforme a necessidade ajustaram-se os graus de liberdade para proceder a análise de variância conjunta (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Na análise de variância conjunta, adotaram-se efeitos fixos para híbridos e locais de cultivo no seguinte modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + B/A_{jk} + G_i + A_j + GA_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Em que:

μ : média geral;

B/A_{jk} : efeito do bloco k dentro do ambiente j;

G_i : efeito do híbrido i;

A_j : efeito do ambiente (local) j;

GA_{ij} : efeito da interação genótipos por ambientes;

ε_{ijk} : erro aleatório.

A partir de dados da análise da variância conjunta foi estimado o coeficiente de determinação genotípico (H^2), dado por:

$$H^2 = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{QMG/r}$$

$$\hat{\sigma}_g^2 = \frac{(QMG - QMR)}{r}$$

Em que:

H^2 : coeficiente de determinação genotípico;

$\hat{\sigma}_g^2$: componente quadrático genético;

QMG: quadrado médio de genótipos;

QMR: quadrado médio do resíduo,

r: número de repetições.

O estudo da interação G x A foi realizado por decomposição em parte complexa entre pares de ambientes, conforme descrito por Cruz e Castoldi (1991), pelo estimador:

$$C = \sqrt{(1-r)^2} \sqrt{Q_1 Q_2}$$

Em que, Q1 e Q2 correspondem aos quadrados médios dos genótipos nos ambientes 1 e 2, respectivamente, e r a correlação entre as médias dos genótipos nos dois ambientes.

Uma vez detectada a interação G x A significativa procedeu-se a análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica pelos métodos de Eberhart e Russel (1966), Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), Centróide (Rocha et al., 2005) e AMMI (ZOBEL et al., 1988).

As análises foram realizadas utilizando o Programa Computacional em Genética e Estatística (GENES) (CRUZ, 2016), e Estabilidade (FERREIRA, D.F., 2002).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se nas análises de variâncias individuais para o ano de 2016 (Tabela 3) e para o ano de 2017 (Tabela 4) a oportunidade de seleção de híbridos conforme potencial produtivo na maioria dos locais de plantio de safrinha, sejam esses locais tradicionais ou não-tradicionais.

Tabela 3. Produtividade média de ambientes, quadrados médios, coeficiente de variação e coeficiente de determinação genotípico obtidos na avaliação de 24 genótipos de milho safrinha cultivados em sete ambientes em 2016.

#	Ambiente	QMG ¹	QMR ¹	CV(%) ¹	Produtividade (kg ha ⁻¹)
A1	Araguari-MG	1117430,10**	135321,14	10,05	3676,42
A2	Catalão-GO	890991,89**	49331,90	9,35	2376,24
A3	Indianópolis-MG	2411558,20**	242787,46	15,24	3233,09
A4	Jataí-GO	732573,60 ^{ns}	184623,27	6,39	6723,66
A5	Montividiu-GO	2436535,20**	316483,01	9,60	5861,08
A6	Santana de Patos-MG	1197852,73 ^{ns}	394702,83	19,51	3220,45
A7	Uberlândia-MG	461168,02 ^{ns}	346676,82	11,06	5325,27

^{ns}: não significativo; * e **: significativo a 5% e 1%, respectivamente, pelo teste de F; QMG: quadrado médio de genótipos; QMR: quadrado médio do erro; CV (%): coeficiente de variação;

¹Resultados obtidos pela análise de variância individual.

Tabela 4. Produtividade média de ambientes, quadrados médios, coeficiente de variação e coeficiente de determinação genotípico obtidos na avaliação de 13 genótipos de milho safrinha cultivados em seis ambientes em 2017.

#	Ambiente	QMG ¹	QMR ¹	CV(%) ¹	Produtividade (kg
A1	Catalão-GO	435376,62**	113218,87	4,76	7062,06
A2	Jataí-GO	625832,52**	73806,35	3,43	7911,94
A3	Montividiu-GO	1261886,82 ^{ns}	1193793,11	10,41	10496,62
A4	Patos de Minas-MG	1260766,12**	269094,09	7,11	7300,31
A5	Uberlândia-MG	3461598,21**	317906,41	9,81	5746,14
A6	Unaí-MG	615130,22**	194862,86	9,51	4642,15

^{ns}: não significativo; * e **: significativo a 5% e 1%, respectivamente, pelo teste de F; QMG: quadrado médio de genótipos; QMR: quadrado médio do erro; CV (%): coeficiente de variação;

¹Resultados obtidos pela análise de variância individual.

Para o ano de 2016, os locais analisados apresentaram coeficiente de variação (CV) entre 6,39% a 19,51% (Tabela 3), enquanto para o ano de 2017 o CV variou entre 3,43% a 10,41%. Nos dois anos de teste avaliados neste trabalho, a precisão experimental foi classificada de média a alta. O coeficiente de variação, que mede a precisão experimental indica a qualidade da precisão experimental. Experimentos com coeficientes de variação baixos, ou de alta precisão, são almejados pelos melhoristas, visto que proporcionam a obtenção de estimativas de parâmetros genéticos mais fidedignos, ou acurados, as quais são importantes nas tomadas de decisões no andamento do programa de melhoramento (CARGNELUTTI FILHO et al., 2012). Segundo Pimentel-Gomes (1990), um CV (%) é considerado baixo e com elevada precisão (<10%); médio (10% a 20%); alto (20% a 30%) e, muito alto (> 30%).

Jataí-GO e Montividiu-GO, locais classificados como tradicionais no plantio de milho safrinha, foram os locais que apresentaram o maior potencial produtivo nas duas safrinhas avaliadas (Tabela 3 e Tabela 4). O rendimento médio dos experimentos nestes locais, foi semelhante aos valores encontrados por Silva e Francischini (2013) para a mesma região na safrinha de 2013.

A razão entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo das análises de variância individuais para os anos 2016 e 2017 (Tabela 3 e Tabela 4) foi de 8 e 16,17, respectivamente. Portanto, para proceder com a análise conjunta foram realizados os ajustes de grau de liberdade conforme sugerido por CRUZ et al. (2012).

O resumo da análise de variância conjunta encontra-se nas Tabela 5 e Tabela 6, onde nota-se a ocorrência de efeitos significativos para interação entre genótipos e ambientes ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F. Nos trabalhos de Silva et al. (2014) e Faria (2016), também foi relatada a ocorrência significativa de interação G x A para produtividade de grãos.

Os coeficientes de determinação genotípico que expressam a proporção da variabilidade fenotípica atribuída às causas genéticas foram de 58,54% para 2016 e 31,04% para 2017 (Tabela 5 e Tabela 6), sendo, portanto, de média magnitude para o caráter produtividade de grãos. De acordo com Cruz, Regazzi e Carneiro (2012) o coeficiente de determinação genotípico é considerado de alta magnitude quando superior a 70%. Mariz et al. (2014) verificaram estimativa de 82,86% ao avaliarem 30 híbridos de milho em 5 locais, na safrinha 2014.

Tabela 5. Análise de variância conjunta para o caráter produtividade de grãos (kg ha⁻¹) avaliada em 24 genótipos de milho safrinha cultivados em sete ambientes em 2016.

Fontes de Variação	Grau de Liberdade	Quadrado Médio
Blocos/Ambientes	7	1328592,18
Genótipos (G)	23	2992026,99 **
Ambientes (A)	6	125931384,78 **
Interação G x A	116	1240430,20 **
Erro	131	293193,19
Média		4345,17
CV (%)		12,46
H ²		58,54

**: significativo a 1%, pelo teste de F; H²: coeficiente de determinação genotípico.

Tabela 6. Análise de variância conjunta para o caráter produtividade de grãos (kg ha⁻¹) avaliada em 13 genótipos de milho safrinha cultivados em seis ambientes em 2017.

Fontes de Variação	Grau de Liberdade	Quadrado Médio
Blocos/Ambientes	6	1608116,55
Genótipos (G)	12	2698455,06 ^{ns}
Ambientes (A)	5	104310470,25**
Interação G x A	32	1860800,79 **
Erro	34	763299,42
Média		7193,20
CV (%)		12,14
H ²		31,04

**: significativo a 1%, pelo teste de F; H²: coeficiente de determinação genotípico.

A ocorrência de interação G x A é um indicativo do comportamento diferencial dos genótipos, em relação à produtividade de grãos, com a oscilação ambiental. Nesse contexto o estudo da interação G x A se torna importante para determinar sua natureza. De acordo com as Tabela 7 e Tabela 8, observou-se que, nos dois anos, a interação G x A foi predominantemente de natureza complexa, pois a decomposição da interação G x A, em parte complexa, pelo método de Cruz e Castoldi (1991) mostrou que entre os 21 pares de ambientes avaliados no ano de 2016 e os 15 pares de ambientes avaliados em 2017, apenas 3 ambientes em cada ano tiveram decomposição da interação inferior a 50%, indicando predominância de interação do tipo simples e, todas as demais interações foram de natureza complexa, evidenciando a importância de realizar os estudos de adaptabilidade e estabilidade. Martinelli (2013) também verificou interação G x A complexa nos testes realizados com milho nas safrinhas 2012 e 2013.

Tabela 7. Estimativa da parte complexa da decomposição da interação G x A (%) pelo método de Cruz e Castoldi (1991) (abaixo da diagonal) e classificação da interação entre simples e complexa (acima da diagonal) na análise de 24 genótipos de milho safrinha cultivados em 7 ambientes em 2016.

Ambientes	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6	A 7
A 1	-	C	S	C	C	C	C
A 2	57,22	-	S	C	C	C	C
A 3	40,64	36,60	-	C	C	C	S
A 4	57,71	63,53	61,72	-	C	C	C
A 5	112,92	95,88	105,60	94,58	-	C	C
A 6	83,04	72,56	72,68	92,67	71,43	-	C
A 7	79,19	86,33	49,82	92,64	80,39	81,00	-

Ambientes: A1 (Araguari-MG), A2 (Catalão-GO), A3 (Indianópolis-MG), A4 (Jataí-GO), A5 (Montividiu-GO), A6 (Santana de Patos-MG), A7 (Uberlândia-MG); C: interação complexa; S: interação simples.

Tabela 8. Estimativa da parte complexa da decomposição da interação G x A (%) pelo método de Cruz e Castoldi (1991) (abaixo da diagonal) e classificação da interação entre simples e complexa (acima da diagonal) na análise de 13 genótipos de milho safrinha cultivados em 6 ambientes em 2017.

Ambientes	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6
A 1	-	C	C	S	S	C
A 2	94,34	-	C	C	S	C
A 3	88,50	87,78	-	C	C	C
A 4	31,57	67,26	109,61	-	C	C
A 5	19,37	48,27	88,58	55,35	-	C
A 6	67,53	88,07	90,99	72,83	61,79	-

Ambientes: A1 (Catalão-GO), A2 (Jataí-GO), A3 (Montividiu-GO), A4 (Patos de Minas-MG), A5 (Uberlândia-MG), A6 (Unaí-MG), C: interação complexa; S: interação simples.

Um dos métodos muito empregados na avaliação de adaptabilidade e estabilidade é um método baseado em regressão linear simples de Eberhart e Russel (1966). Esse método também permite classificar os ambientes em favoráveis e desfavoráveis conforme o índice ambiental. Quando esse índice resultar em valor negativo, indica que o ambiente é desfavorável e quando o índice for positivo, o ambiente é classificado como favorável.

Nas Tabelas 9 e 10, estão apresentados os índices ambientais e a classificação dos ambientes estudados para os anos de 2016 e 2017, respectivamente. Observa-se que no ano de 2016, 43% dos locais foram classificados como favoráveis ao plantio de milho safrinha, enquanto para o ano de 2017 esse índice foi de 50%. Nos dois anos de teste, 100% dos ambientes da região considerada como tradicional para o plantio de safrinha foram avaliados como

favoráveis, enquanto a maioria dos locais das regiões não tradicionais foi classificada como desfavorável. Locais favoráveis ocorrem em virtude da influência do ambiente que, para o caso da cultura do milho, passou provavelmente por algum estresse biótico ou abiótico. Faria (2016) classificou ambientes em favoráveis ao avaliar híbridos na safrinha de Minas Gerais.

Tabela 9. Índice ambiental, na análise de 24 genótipos de milho safrinha cultivados em 7 ambientes em 2016.

Ambientes	Média (kg ha⁻¹)	Índice	Classe
Araguari-MG	3676,42	-668,75	Desfavorável
Catalão-GO	2376,24	-1968,93	Desfavorável
Indianópolis-MG	3233,09	-1112,08	Desfavorável
Jataí-GO	6723,66	2378,49	Favorável
Montividiu-GO	5861,08	1515,91	Favorável
Santana de Patos-MG	3220,45	-1124,73	Desfavorável
Uberlândia-MG	5325,27	980,09	Favorável

Tabela 10. Índice ambiental, na análise de 13 genótipos de milho safrinha cultivados em 6 ambientes em 2017.

Ambiente	Média (kg ha⁻¹)	Índice	Classe
Catalão-GO	7062,06	-131,14	Desfavorável
Jataí-GO	7911,94	718,74	Favorável
Montividiu-GO	10496,62	3303,42	Favorável
Patos de Minas-MG	7300,61	107,10	Favorável
Uberlândia-MG	5746,14	-1447,06	Desfavorável
Unaí-MG	4642,15	-2551,06	Desfavorável

O método Eberhart e Russel (1966) permite também identificar os genótipos com adaptação específica a ambientes favoráveis ($B_1 > 1$) e desfavoráveis ($B_1 < 1$). De acordo com esse método o genótipo ideal é aquele que apresenta adaptação ampla ($B_1 = 1$) e alta estabilidade (variância dos desvios da regressão nula). Em relação à análise simultânea dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade (β_{1i} e σ^2_{di}) obtidos por esse método, verificou-se que a maioria dos híbridos mostraram alta previsibilidade de comportamento e ampla adaptabilidade. Pela Tabela 11, observa-se que 13 dos 24 genótipos testados em 2016 são de adaptação ampla, porém apenas quatro desses tem alta estabilidade, enquanto para o ano de 2017, nove em 13 genótipos testados (Tabela 12) são de adaptação ampla e sete dos nove tem alta estabilidade. Ao utilizar o método

Eberhart e Russel (1966) para análise de híbridos de safrinha, Faria (2016) também verificou que a maioria dos híbridos mostraram alta previsibilidade de comportamento e ampla adaptabilidade.

O híbrido que apresentou maior produtividade de grãos foi o RIB9110PRO no ambiente de Montividiú-GO, chegando a 8470 kg ha^{-1} na safrinha de 2016, enquanto no ambiente de produção de Araguari-MG está entre os híbridos que menos produziram. Este fato indica que há uma interação do tipo complexa entre híbridos e ambientes de produção. (Tabela 11). Este resultado é justificado pelo fato de Montividiú ser uma região Tradicional no cultivo de milho safrinha, o que indica que historicamente há a presença de condições edafoclimáticas e de emprego de tecnologias que favorecem o melhor desempenho dos híbridos. Por outro lado, no ambiente de produção de Araguari, que é considerada uma região Não-tradicional para o cultivo do milho safrinha, constamos uma menor produtividade que é resultado de um ambiente de produção menos favorável para a expressão do genótipo.

Na safrinha de 2017, o híbrido AS1780PRO3 foi o que se destacou em termos de produtividade no ambiente de produção de Montividiú-GO, chegando a 11673 kg ha^{-1} (Tabela 12). Nesta mesma safra, Montividiú apresentou as melhores produtividades para a maioria dos híbridos, como pode ser observado na Tabela 12). Este resultado confirma Montividiú como uma região com condições favoráveis à expressão do potencial do híbrido e reafirmando sua posição de região Tradicional para o cultivo de milho safrinha.

A análise de estratificação ambiental também permite tomar decisões acerca de descartes de ambientes, quando há problemas técnicos ou escassez de recursos, e identificar grupos de ambientes onde a interação GxA pode não ser significativa para o conjunto de genótipos disponíveis (Cruz et al., 2012).

Tabela 11. Produtividade média (kg ha⁻¹) de genótipos de milho safrinha cultivados em 7 ambientes em 2016.

Genótipos	Locais						
	Araguari-MG	Catalão-GO	Indianópolis-MG	Jataí-GO	Montvidiu-GO	Santana de Patos-MG	Uberlândia-MG
3400RR2	4539,41Ca	2809,17Da	4638,32Ca	6991,96Aa	6008,76Bc	3761,44Db	5115,48Cb
AG7088PRO3	3922,98Cb	2710,97Da	3656,83Cb	6703,21Aa	5905,06Ac	4537,68Ca	5010,44Bb
AG8070PRO3	5027,29Ba	3994,78Ca	4976,56Ba	7255,81Aa	5415,8Bd	4766,53Ba	5788,89Ba
AG8677PRO3	3884,09Bb	2635,85Ca	3041,65Cc	7274,29Aa	6976,69Ab	4071,44Ba	4709,42Bb
AG8700PRO3	3864,1Cb	2587,22Da	3071,05Dc	7094,91Aa	6784,51Ab	3752,01Cb	5105,47Bb
AS1581PRO	2836,6Dc	2121,25Db	1969,49Dd	7135,73Aa	5920,19Bc	2519,74Dc	4375,86Cb
AS1656PRO3	3372,09Cc	1444,94Db	2900,54Cc	5222,87Bb	6303,92Ac	3224,91Cb	4850,13Bb
AS1777PRO3	5131,94Ba	2640,86Da	4443,19Ca	7259,84Aa	5187,36Bd	3568,37Cb	5234,21Bb
DAS2B512PW	4418,16Ca	2596,36Da	4431,76Ca	7087,15Aa	6186,09Bc	3345,78Db	5734,86Ba
DAS2B610PW	3964,96Cb	2528,95Da	4410,44Ca	7121,7Aa	5733,05Bc	2758,2Dc	6012,81Ba
DAS2B688PW	3040,08Cc	2198,63Db	1621,93Dd	6275,3Ab	5043,64Bd	3489,17Cb	4758,43Bb
DAS2B810PW	3853,59Cb	2341,03Da	3501,29Cb	6692,44Aa	4734,88Bd	1685,2Dd	4975,88Bb
DKB290PRO3	3919,18Cb	3192,63Ca	3696,26Cb	6897,64Aa	5170,51Bd	3210,76Cb	5299,92Bb
DKB310PRO3	3123,29Cc	1722,29Db	2827,92Cc	6882,51Aa	6297,49Ac	2602Cc	5395,12Bb
DKB390PRO2	2820,13Bc	1639,76Cb	1603,43Cd	6081,98Ab	5764,06Ac	3361,64Bb	5952,22Aa
DKB390PRO3	2628,37Bc	1268,74Cb	1593,5Cd	5569,57Ab	5502,51Ad	2532,74Bc	5581,21Aa
H1	4353,9Ca	3169,17Da	3446,82Db	7380,9Aa	2855,57Df	1625,18Ed	5247,24Bb
H2	4446,73Ba	2650,48Ca	4240,72Ba	7072,52Aa	4124,93Be	3789,38Bb	6318,07Aa
H3	2854,74Cc	1952,39Db	1493,09Dd	6734,03Aa	7377,22Ab	2799,54Cc	4711,87Bb
H4	3224,29Cc	1495,26Db	2202,91Dd	7247,69Aa	5860,23Bc	2691,13Cc	5746,08Ba
MG652PW	3857,43Cb	2661,12Da	4014,85Cb	6979,11Aa	6722,93Ab	3215,06Db	5627,86Ba
P30F53YHR	2552,54Dc	1929,42Db	4061,9Cb	5454,87Bb	6389,13Ac	3021,56Dc	5293,96Bb
P3646LEP	3771,65Cb	1561,61Db	2042,32Dd	6461,57Aa	5930,65Ac	2887,6Cc	5207,99Bb
RIB9110PRO	2826,67Dc	3176,97Da	3707,55Cb	6490,32Ba	8470,86Aa	4073,7Ca	5753,08Ba

¹Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 12. Produtividade média (kg ha⁻¹) de genótipos de milho safrinha cultivados em 7 ambientes em 2017.

Genótipos	Locais					
	Catalão-GO	Jataí-GO	Montividiu-GO	Patos de Minas-MG	Uberlândia-MG	Unaí-MG
AG8677PRO3	6835,45Ba	8042Aa	9044,69Ab	7259,06Ba	6232,94Ca	4584,83Da
AG8690PRO3	6654,62Ba	7217,93Ba	10386,02Ab	6823,6Bb	4413,7Cb	4039,12Ca
AG9050PRO3	7626,7Ba	7123,45Ba	9274,06Ab	8019,55Ba	6659,56Ba	4684,17Ca
AS1555PRO3	7177,44Ba	6992,75Ba	11066,9Aa	6698,56Bb	4950,57Cb	4744,92Ca
AS1633PRO3	7550,42Ba	8103,04Ba	11016,56Aa	7694,71Ba	6926,04Ba	5242,42Ca
AS1735PRO3	7233,17Ca	8901,23Ba	10499,35Ab	8244,63Ba	7444,49Ca	4638,77Da
AS1757PRO3	7691,93Ba	7740,68Ba	10504,85Ab	7694,95Ba	6213,48Ca	5017,46Ca
AS1780PRO3	6957,12Ba	8199,75Ba	11673,81Aa	7699,25Ba	4336,32Cb	5316,19Ca
DKB290PRO3	6860,39Ba	8098,8Ba	10287,02Ab	7540,37Ba	4588,21Cb	3872,31Ca
DKB310PRO3	6639,24Ca	7857,57Ba	11619,36Aa	6365,75Cb	6606,31Ca	3471,4Da
DKB335PRO3	7497,74Ba	8453,02Ba	10953,68Aa	7426,06Ba	7616,91Ba	5249,38Ca
DKB390PRO3	6074,61Ca	7684,09Ba	10275,59Ab	5401,41Cb	3531,03Db	4702,11Da
H5	7008,02Ca	8440,97Ba	9854,2Ab	8036,1Ba	5180,27Db	4784,87Da

¹Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 13. Produtividade de grãos e parâmetros de estabilidade e adaptabilidade pelos métodos de Eberhart e Russel (1966) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), em 24 genótipos milho safrinha cultivados em 7 ambientes em 2016.

Genótipos	Produtividade (kg ha ⁻¹)	Eberhart e Russel (1966)			Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998)		
		B _{li}	S ² di	R ² (%)	Pi geral	Pi favorável	Pi desfavorável
3400RR2	4837,79	0,81*	98297,25 ^{ns}	90,53	752913,33	1276572,24	360169,15
AG7088PRO3	4635,31	0,81*	81129,06 ^{ns}	91,06	975452,40	1458751,41	612978,15
AG8070PRO3	5317,95	0,57**	95850,59 ^{ns}	82,77	688573,39	1604845,98	1368,95
AG8677PRO3	4656,2	1,06 ^{ns}	292185,77 ⁺⁺	89,65	890180,87	805279,92	953856,59
AG8700PRO3	4608,46	1,07 ^{ns}	53526,91 ^{ns}	95,43	903203,24	732665,73	1031106,38
AS1581PRO	3839,83	1,22*	163197,76 ⁺	94,28	2371961,77	1723037,48	2858654,99
AS1656PRO3	3902,77	0,94 ^{ns}	343909,92 ⁺⁺	85,7	1985199,89	1917928,40	2035653,51
AS1777PRO3	4780,82	0,81*	400247,39 ⁺⁺	79,71	1108852,48	1995131,65	444143,1
DAS2B512PW	4828,59	0,96 ^{ns}	39595,59 ^{ns}	94,8	744785,07	941099,97	597548,89
DAS2B610PW	4647,16	1,01 ^{ns}	223572,28 ⁺	90,34	1108595,60	1275995,32	983045,81
DAS2B688PW	3775,31	0,96 ^{ns}	280575,87 ⁺⁺	87,93	2563423,44	2566784,01	2560903,01
DAS2B810PW	3969,18	0,95 ^{ns}	446345,56 ⁺⁺	83,48	2305220,90	2705499,62	2005011,87
DKB290PRO3	4483,84	0,81*	34158,41 ^{ns}	93,14	1309738,04	2027084,66	771728,08
DKB310PRO3	4121,51	1,25**	-83537,77 ^{ns}	99,28	1737467,63	970629,28	2312596,4
DKB390PRO2	3889,03	1,17 ^{ns}	455508,91 ⁺⁺	88,17	2385011,41	1524632,72	3030295,43
DKB390PRO3	3525,23	1,16 ^{ns}	266256,67 ⁺⁺	91,59	3054931,56	2105831,35	3766756,72
H1	4011,25	0,78*	2196444,32 ⁺⁺	45,01	3298097,19	5446369,14	1686893,23
H2	4663,26	0,77**	796134,03 ⁺⁺	67,01	1625369,38	3163708,21	471615,25
H3	3988,98	1,35**	663693,02 ⁺⁺	88,00	2111070,38	699060,20	3170078,01
H4	4066,8	1,35**	-48402,64 ^{ns}	98,77	2074819,96	1193388,54	2735893,53
MG652PW	4725,48	1,04 ^{ns}	-2453,19 ^{ns}	96,7	744861,03	615514,54	841870,91
P30F53YHR	4100,48	0,92 ^{ns}	590712,44 ⁺⁺	78,83	1706610,80	1515332,37	1850069,62
P3646LEP	3980,48	1,17 ^{ns}	65977,51 ^{ns}	95,85	2031496,53	1421688,05	2488852,89
RIB9110PRO	4928,45	1,08 ^{ns}	1255089,11 ⁺⁺	72,92	656131,63	185392,01	1009186,34

^{ns}: não significativo; * e **: significativo a 5% e 1%, pelo teste t. ^{ns}: não significativo; ⁺ e ⁺⁺: significativo a 5% e 1%, pelo teste F; B_{li}: parâmetro de adaptabilidade; S²di: variância dos desvios da regressão; R²: coeficiente de determinação da regressão.

Tabela 14. Produtividade de grãos e parâmetros de estabilidade e adaptabilidade pelos métodos de Eberhart e Russel (1966) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), em 13 genótipos milho safrinha cultivados em 6 ambientes em 2017.

Genótipos	Produtividade (kg ha ⁻¹)	Eberhart e Russel (1966)			Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998)		
		B _{li}	S ² di	R ² (%)	Pi geral	Pi favorável	Pi desfavorável
AG8677PRO3	6999,83	0,74**	26624,39 ^{ns}	92,98	983810,00	1436981,30	530638,71
AG8690PRO3	6589,16	1,13 ^{ns}	-55524,87 ^{ns}	98,09	1623223,91	1085202,12	2161245,69
AG9050PRO3	7231,25	0,70**	311395,41 ⁺	83,30	857513,01	1494987,21	220038,80
AS1555PRO3	6938,52	1,10 ^{ns}	218250,57 ^{ns}	93,85	1175117,29	1066828,02	1283406,55
AS1633PRO3	7755,53	0,93 ^{ns}	-65817,46 ^{ns}	97,43	156188,71	228581,30	83796,13
AS1735PRO3	7826,94	0,92 ^{ns}	379437,28 ⁺	88,30	173203,03	229890,76	116515,31
AS1757PRO3	7477,22	0,91 ^{ns}	-104982,38 ^{ns}	98,23	422861,05	502580,03	343142,07
AS1780PRO3	7363,74	1,22*	547011,72 ⁺⁺	91,16	1007646,93	131584,42	1883709,44
DKB290PRO3	6874,52	1,16 ^{ns}	72711,44 ^{ns}	96,36	1251027,37	510506,78	1991547,96
DKB310PRO3	7093,27	1,27**	552355,24 ⁺⁺	91,67	846260,73	770398,23	922123,23
DKB335PRO3	7866,13	0,88 ^{ns}	212628,70 ^{ns}	90,82	119308,92	231588,63	7029,21
DKB390PRO3	6278,14	1,10 ^{ns}	907589,32 ⁺⁺	84,89	2600631,04	1920053,79	3281208,30
H5	7217,40	0,94 ^{ns}	195276,34 ^{ns}	92,19	854462,47	594384,44	1114540,50

^{ns}: não significativo; * e **: significativo a 5% e 1%, pelo teste t. ^{ns}: não significativo; + e ++: significativo a 5% e 1%, pelo teste F; B_{li}: parâmetro de adaptabilidade; S²di: variância dos desvios da regressão; R²: coeficiente de determinação da regressão.

O método não paramétrico de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), permite analisar a adaptação e estabilidade dos genótipos por apenas um parâmetro (P_i), conforme demonstrado nas Tabelas 13 e 14. Considerando as menores estimativas de P_i geral, para o ano de 2016 (Tabela 13) observou-se que dentre os 5 híbridos com maior produtividade e adaptação geral, RIB9110PRO e MG652PW tem adaptação específica a ambientes favoráveis e AG8070PRO3, 3400RR2 e DAS2B512PW tem adaptação específica a ambientes desfavoráveis. Com relação ao ano de 2017 (Tabela 14) dentre os 5 híbridos com maior produtividade e adaptação geral, os híbridos DKB335PRO3, AS1633PRO3, AS1735PRO3 e AS1557PRO3 classificaram também entre os melhores na adaptação específica a ambientes desfavoráveis.

O método Centróide consiste na comparação de valores e da distância cartesiana entre os genótipos e genótipos ideais, designados como ideótipo, permitindo a classificação desses quanto à adaptabilidade geral, adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis e pouco adaptado (ROCHA et al., 2005), conforme apresentado nas Tabelas 15 e 16. Em 2016, 38% dos híbridos foram classificados com Adaptabilidade geral alta indicando possibilidade de recomendação para todas os ambientes testados. 46% dos híbridos foram classificados como Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis ou ambientes desfavoráveis e 16% dos híbridos foram classificados como Pouco adaptados. No ano de 2017, 38,5% dos híbridos foram classificados com Adaptabilidade geral alta indicando possibilidade de recomendação para todas os ambientes testados. 38,5% dos híbridos foram classificados como Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis ou ambientes desfavoráveis e 23% dos híbridos foram classificados como pouco adaptados. Em linha com o observado nesta pesquisa, Faria (2016) utilizando o método do Centróide, observou que 72,4% dos genótipos avaliados na safrinha de Minas Gerais em 2016, foram classificados com adaptabilidade geral.

De acordo com Rocha et al. (2005), valores de probabilidade próximos ou superiores a 0,50 indicam boa confiabilidade nos agrupamentos dos genótipos em relação aos ideótipos. Neste estudo, os valores de probabilidade que permitiram a classificação dos genótipos entre os grupos oscilaram de 0,06 a 0,45 no ano de 2016 (Tabela 17) e 0,05 a 0,35 (Tabela 18).

Tabela 17. Produtividade de grãos e parâmetros de estabilidade e adaptabilidade pelo método Centróide (Rocha et al., 2005), em 24 genótipos de milho safrinha cultivados em 7 ambientes em 2016.

Genótipos	Média (kg ha ⁻¹)	Classificação	Prob(I)	Prob(II)	Prob(III)	Prob(IV)
3400RR2	4837,79	I	0,33	0,20	0,26	0,18
AG7088PRO3	4635,31	I	0,30	0,21	0,27	0,20
AG8070PRO3	5317,95	I	0,35	0,16	0,31	0,16
AG8677PRO3	4656,2	I	0,31	0,27	0,20	0,19
AG8700PRO3	4608,46	I	0,30	0,28	0,20	0,20
AS1581PRO	3839,83	II	0,19	0,32	0,18	0,29
AS1656PRO3	3902,77	II	0,22	0,28	0,21	0,27
AS1777PRO3	4780,82	III	0,29	0,19	0,30	0,20
DAS2B512PW	4828,59	I	0,33	0,23	0,23	0,19
DAS2B610PW	4647,16	I	0,29	0,25	0,24	0,21
DAS2B688PW	3775,31	IV	0,18	0,25	0,21	0,34
DAS2B810PW	3969,18	IV	0,20	0,23	0,24	0,31
DKB290PRO3	4483,84	III	0,25	0,22	0,28	0,23
DKB310PRO3	4121,51	II	0,21	0,35	0,18	0,24
DKB390PRO2	3889,03	II	0,19	0,32	0,18	0,29
DKB390PRO3	3525,23	IV	0,16	0,29	0,17	0,35
H1	4011,25	IV	0,18	0,19	0,29	0,32
H2	4663,26	III	0,24	0,19	0,33	0,22
H3	3988,98	II	0,19	0,43	0,15	0,21
H4	4066,8	II	0,20	0,35	0,17	0,26
MG652PW	4725,48	I	0,33	0,26	0,20	0,18
P30F53YHR	4100,48	II	0,24	0,28	0,22	0,25
P3646LEP	3980,48	II	0,20	0,31	0,19	0,28
RIB9110PRO	4928,45	I	0,37	0,28	0,17	0,16

Classe I: Adaptabilidade geral alta; Classe II: Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis; Classe III: Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis; Classe IV: Pouco adaptado.

Tabela 18. Produtividade de grãos e parâmetros de estabilidade e adaptabilidade pelo método Centróide (Rocha et al., 2005), em 13 genótipos de milho safrinha cultivados em 6 ambientes em 2017.

Genótipos	Média (kg ha ⁻¹)	Classi- ficação	Prob(I)	Prob(II)	Prob(III)	Prob(IV)
AG8677PRO3	6999,8258	III	0,25	0,20	0,31	0,23
AG8690PRO3	6589,1633	IV	0,18	0,28	0,19	0,34
AG9050PRO3	7231,2458	III	0,28	0,19	0,31	0,20
AS1555PRO3	6938,5208	IV	0,23	0,26	0,23	0,26
AS1633PRO3	7755,5283	I	0,50	0,16	0,20	0,13
AS1735PRO3	7826,9375	I	0,51	0,16	0,19	0,13
AS1757PRO3	7477,2242	I	0,35	0,20	0,25	0,17
AS1780PRO3	7363,7367	II	0,25	0,36	0,17	0,20
DKB290PRO3	6874,5158	II	0,20	0,35	0,18	0,26
DKB310PRO3	7093,2675	I	0,29	0,24	0,24	0,21
DKB335PRO3	7866,1292	I	0,54	0,13	0,20	0,11
DKB390PRO3	6278,1383	IV	0,14	0,22	0,17	0,44
H5	7217,4025	II	0,27	0,29	0,21	0,22

Classe I: Adaptabilidade geral alta; Classe II: Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis; Classe III: Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis; Classe IV: Pouco adaptado.

Para a análise AMMI, os dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) explicaram 73% da variação devido à interação G x A no ano de 2016 e 78,9% da variação devido à interação G x A no ano de 2017. De acordo com Pereira et al. (2009), os primeiros componentes principais devem explicar acima de 70% da soma dos quadrados da interação, para serem considerados satisfatórios. Ao avaliar 29 híbridos de milho na safrinha de 2016, Faria (2016) observou valores de 72,6% de CP1 e CP2 acumulados.

A interpretação da estabilidade pelo método AMMI foi realizada a partir da distância dos pontos representativos dos híbridos e ambientes ao escore zero (Figura 1 e Figura 2). Assim, a menor distância indica maior estabilidade (DUARTE; VENCOVSKY, 1999).

Os híbridos mais distantes do eixo, são os que contribuíram pouco para a interação G x A total e foram considerados mais estáveis e também com adaptabilidade geral, por interagirem menos com os ambientes (CHAVES, 2001). Para o ano de 2016 (Figura 1), 2 dos híbridos que estão posicionados mais próximos à origem dos eixos e foram, portanto, classificados como mais estáveis e de adaptabilidade geral, estão entre os 5 híbridos mais produtivos, para o ano de 2017 (Figura 2), essa mesma proporção foi de 3 dos híbridos classificados como mais estáveis e de adaptabilidade geral e também mais produtivos. Em 2016 (Figura 1), os ambientes tradicionais em sua maioria, foram os que contribuíram para a interação G x A, enquanto para o ano de 2017 (Figura 2), observou-se maior contribuição dos ambientes de região não tradicional para o plantio de milho safrinha na interação G x A, uma vez que, esses estavam mais afastados da origem dos eixos.

Os resultados mostraram que o híbrido AG8700PRO3 apresentou alta produtividade de grãos, adaptação ampla e alta estabilidade na safra de 2016, já na safra de 2017 o mesmo ocorreu para o híbrido AS1757PRO3.

3.4 CONCLUSÕES

A interação genótipo por ambiente para a produtividade de grãos em híbridos de milho cultivados na safrinha é do tipo complexa.

Nos anos de 2016 e 2017, observou-se elevada produtividade de grãos de milho na safrinha de milho nos ambientes de Jataí-GO e Montividiu-GO, ambos considerados como região tradicional no plantio de safrinha.

Na safrinha de 2016 os híbridos DAS2B512PW, MG652PW e AG8700PRO3 apresentaram alta produtividade de grãos, adaptação ampla e alta estabilidade.

Na safrinha de 2017 os híbridos AS1633PRO3, AS1757PRO3 e DKB335PRO3 apresentaram alta produtividade de grãos, adaptação ampla e alta estabilidade.

CAPÍTULO 3

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE SOJA EM GOIÁS E MINAS GERAIS

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE SOJA EM GOIÁS E MINAS GERAIS

RESUMO

O desenvolvimento de cultivares de soja requer inúmeras etapas e entra elas a comprovação da superioridade agrônômica da linhagem, bem como a análise da sua adaptabilidade e estabilidade produtiva. Nesta perspectiva o objetivo desse trabalho foi analisar a interação genótipos por ambientes (G x A) para a produtividade de grãos em soja e determinar a adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja por métodos paramétricos, não paramétricos e multivariados. Os experimentos foram realizados nas safras 2016/2017 e 2017/2018 em sete municípios localizados nos estados de Goiás e Minas Gerais. Avaliaram-se dezoito genótipos de soja, sendo oito linhagens desenvolvidas pelo Programa melhoramento de soja e oito cultivares referências comerciais: BMX Desafio RR, BMX Flecha IPRO, Maradona-Anta82, AS3680IPRO, M7110IPRO, M6972IPRO, M7198IPRO, AS3730IPRO, M7739IPRO, TMG 7062 IPRO. Verificou-se interação genótipos por ambientes significativa e de natureza complexa. O coeficiente de determinação genotípico para produtividade de grãos foi de elevada magnitude, cuja estimativa foi 95,23%. Observou-se elevada produtividade de grãos de soja nos ambientes de Araguari-MG, Rio Verde-GO e Uberlândia para safra 2016/17 e nos ambientes de Cristalina-GO, Santa Helena de Goiás-GO e Uberlândia-MG para safra 2017/18. Os genótipos que apresentaram maiores produtividades foram Soy-13, Soy-03, Soy-11, Soy-09 e Soy-10. Concluiu-se que de acordo com as análises dos métodos Lin and Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), Eberhart e Russel (1966) e o método AMMI, o Genótipo Soy-09 apresentou alta produtividade de grãos, adaptação ampla e alta estabilidade.

Palavras-chave: *Glycine max*. Interação G x A. Potencial produtivo

ADAPTABILITY AND STABILITY IN SOYBEAN CULTIVATED GOIAS AND MINAS GERAIS

ABSTRACT

The development of soybean cultivars requires numerous steps and they include the proof of the agronomic superiority of the lines, as well as the analysis of its adaptability and yield stability. In this perspective, the purpose of this work was to analyze the genotype interaction by environments (G x E) for yield in soybean and to determine the adaptability and stability of soybean genotypes by parametric, nonparametric and multivariate methods. The experiments were carried out in the 2016/2017 and 2017/2018 seasons in seven locations between the states of Goiás and Minas Gerais, Brazil. Eighteen soybean genotypes were evaluated, with eight lines developed by soybean breeding program and eight commercial checks: BMX Desafio RR, BMX Flecha IPRO, Maradona-Anta82, AS3680IPRO, M7110IPRO, M6972IPRO, M7198IPRO, AS3730IPRO, M7739IPRO, TMG 7062 IPRO. Genotype environments interaction was significant and verified as complex. The genotypic coefficient for yield was of high magnitude, whose estimate was 95.23%. It was observed high yield of soybean grains in the environments of Araguari-MG, Rio Verde-GO and Uberlândia for season 2016/17 and in the environments of Cristalina-GO, Santa Helena de Goiás-GO and Uberlândia-MG for season 2017/18. The genotypes that presented the highest yields were Soy-13, Soy-03, Soy-11, Soy-09 and Soy-10. It is concluded that according to the analyzes of the methods Lin and Binns (1988) modified by Carneiro (1998), Eberhart and Russel (1966) and the AMMI method, the Soy-09 Genotype presented high grain yield, wide and high adaptation stability.

Keywords: *Glycine max*. Interaction G x E. Potential yield

4.1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) ocupa posição de destaque na economia brasileira devido a sua importância na produção de farelo, alimentos proteicos alternativos e óleo vegetal, além de representar considerável fonte de divisas na exportação para outros países. Segundo dados da FAO, o país produziu em 2017 114,96 milhões de toneladas do grão, o que o caracteriza um dos maiores produtores mundiais.

Muitos fatores contribuíram para o estabelecimento da cultura da soja em várias regiões brasileiras. Dentre eles, ressalta-se o desenvolvimento de um bem-sucedido pacote tecnológico, com destaque para o desenvolvimento de novas cultivares adaptadas à baixa latitude como as da região do Centro-Oeste (BIGHI et al., 2006).

O desenvolvimento de novas cultivares é uma das tecnologias que mais tem contribuído para os aumentos de produtividade e estabilidade de produção. Uma cultivar de soja deve ter alta produtividade, estabilidade de produção de grãos e ampla adaptabilidade aos mais variados ambientes existentes na região onde é recomendada (HAMAWAKI et al., 2010). A produtividade agrícola é um caráter quantitativo complexo, governado por grande número de genes e bastante influenciado por variações ambientais. Assim, é fundamental realizar ensaios em vários locais e anos agrícolas, para que o efeito da interação de genótipos por ambientes seja mensurado e possa ser explorado (SOUSA, 2015). É essencial desenvolver um estudo detalhado da resposta de cada genótipo, objetivando a identificação daqueles com comportamento previsível e que sejam responsivos às variações ambientais, em condições ampla e específica (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

A interação genótipo x ambiente é definida por um conjunto de fatores ambientais que reagem entre si e interagem com a planta, promovendo variações na produção e afetando outras características agronômicas. Semeados em diferentes ambientes, os cultivares expressam suas potencialidades em relação às condições ocorridas, que mudam no espaço e no tempo (BARROS, et al., 2003; MARTINS et al., 2002; PELUZIO et al., 2008; SCHLUCHTING; TEIXEIRA, 2002).

Dessa forma essa interação deve ser encarada como um fenômeno biológico com suas aplicações no melhoramento de plantas e não como um simples efeito estatístico. Considerando a

afirmação do geneticista Theodosius Dobzhansky (DOBZHANSKY, 1973), de que “nada em biologia faz sentido a não ser à luz da evolução”, cumpre buscar a explicação evolutiva do fenômeno se é desejado aproveitá-lo no melhoramento e, conseqüente produção de sementes.

É desejável que no cultivo da soja, além do aspecto da produção de grãos, o genótipo utilizado no plantio apresente grau de acamamento, altura de inserção do primeiro legume e de planta favoráveis à colheita. Essas características podem ser influenciadas pela época de florescimento, que ocorrendo precocemente pode provocar uma redução significativa no porte das plantas e na altura de inserção do legume, causando, com isso, uma drástica redução no rendimento da lavoura.

Neste trabalho, objetivou-se avaliar cultivares de soja, em cultivo de verão, quanto ao rendimento de grãos, em locais distribuídos entre as regiões do Sudoeste Goiano, Sudeste Goiano e Triângulo Mineiro.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados nas safras 2016/2017 e 2017/2018 em sete municípios dos estados de Goiás e Minas Gerais (Tabela 1).

Tabela 2. Ambientes, Unidades federativas e altitudes médias (m)

Safr 2016/2017					
#	Ambiente	UF	Latitude	Longitude	Altitude (m)
A1	Araguari	MG	-18.6459014	-48.1979841	890
A2	Cristalina	GO	-16.7754839	-47.6126678	1189
A3	Jataí	GO	-17.8796049	-51.7206735	867
A4	Rio Verde	GO	-17.79272	-50.9196585	748
A5	Santa Helena de Goiás	GO	-17.8175727	-50.6065661	570
A6	Uberaba	MG	-19.7473668	-47.939154	823
A7	Uberlândia	MG	-18.9127534	-48.275484	863
Safr 2017/2018					
#	Ambiente	UF	Latitude	Longitude	Altitude (m)
A8	Araguari	MG	-18.6459014	-48.1979841	890
A9	Cristalina	GO	-16.7754839	-47.6126678	1189
A10	Jataí	GO	-17.8796049	-51.7206735	867
A11	Rio Verde	GO	-17.79272	-50.9196585	748
A12	Santa Helena de Goiás	GO	-17.8175727	-50.6065661	570
A13	Uberaba	MG	-19.7473668	-47.939154	823
A14	Uberlândia	MG	-18.9127534	-48.275484	863

Avaliaram-se dezoito genótipos de soja (oito linhagens do programa de melhoramento de soja e oito cultivares referências comerciais), conforme consta na Tabela 2. O delineamento experimental foi de blocos completos casualizados, com duas repetições. As parcelas foram constituídas de quatro fileiras de plantas de soja com 5m de comprimento, sendo as duas linhas centrais consideradas parcelas úteis. Adotou-se 1m de corredor entre as parcelas. O espaçamento entre linhas utilizado foi de 0,5m.

A semeadura foi mecanizada, em sistema de plantio direto sem revolvimento do solo e as datas de semeadura estão dentro da janela de semeadura predominantes em cada região. De

acordo com a recomendação comercial de cada cultivar para a região, a densidade de plantio variou de 15 a 21 sementes por metro e ocorreu dentro da janela ideal de plantio para cada região.

O controle de plantas infestantes e pragas foi realizado por meio da aplicação de herbicida pré-emergente, pós-emergente e inseticidas para que a cultura de milho pudesse se desenvolver sem interferência das mesmas.

Tabela 1. Genótipos de soja semeados nos experimentos das safras 2016/17 e 2017/18.

#	Genótipos	Grupo Maturação
1	BMX DESAFIO RR	7.5
2	BMX FLECHA IPRO	6.9
3	Soy-01	6.6
4	Soy-02	6.6
5	Soy-03	6.6
6	MARADONAANTA82	7.6
7	AS3680IPRO	6.8
8	M7110IPRO	6.9
9	M6972IPRO	6.9
10	M7198IPRO	7.3
11	Soy-08	7.1
12	Soy-09	7.3
13	Soy-10	7.3
14	Soy-11	7.4
15	AS3730IPRO	7.3
16	Soy-13	7.5
17	M7739IPRO	7.7
18	TMG7062IPRO	6.2

Em cada parcela útil foi determina a produtividade de grãos, cuja umidade foi corrigida para 13% e transformado para kg ha⁻¹, conforme a equação abaixo:

$$PF = PI \frac{100 - UI}{100 - UF}$$

Em que:

PF: peso final corrigido da amostra;

PI: peso inicial da amostra;

UI: umidade inicial da amostra;

UF: umidade final da amostra (13%).

Os dados foram submetidos à análise de variância individual conforme o modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + B_j + G_i + \varepsilon_{ijk}$$

Em que:

μ : média geral;

B_j : efeito do bloco j;

G_i : efeito do genótipo i;

ε_{ijk} : erro aleatório.

Em cada safra, posterior às análises de variância individuais, analisou-se a razão entre o maior e menor quadrado médio do resíduo para avaliar a homogeneidade das variâncias residuais (RAMALHO et al., 2012) e conforme a necessidade ajustaram-se os graus de liberdade para proceder a análise de variância conjunta (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Na análise de variância conjunta, adotaram-se efeitos fixos para genótipo e ambientes de cultivo no seguinte modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + B/A_{jk} + G_i + A_j + GA_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Em que:

μ : média geral;

B/A_{jk} : efeito do bloco k dentro do ambiente j;

G_i : efeito do genótipo i;

A_j : efeito do ambiente (local) j;

GA_{ij} : efeito da interação genótipos por ambientes;

ε_{ijk} : erro aleatório.

Os efeitos de ambientes foram considerados a combinação dos locais de cultivos e as safras.

A partir de dados da análise da variância conjunta foi estimado o coeficiente de determinação genotípico (H^2), dado por:

$$H^2 = \frac{\sigma_g^2}{QMG/r}$$

$$\sigma_g^2 = \frac{(QMG-QMR)}{r}$$

Em que:

H^2 : coeficiente de determinação genotípico;

σ_g^2 : componente quadrático genético;

QMG: quadrado médio de genótipos;

QMR: quadrado médio do resíduo;

r: número de repetições.

O estudo da interação G x A foi realizado por decomposição em parte complexa entre pares de ambientes, conforme descrito por Cruz e Castoldi (1991), pelo estimador:

$$C = \sqrt{(1-r)^2} \sqrt{Q_1 Q_2}$$

Em que, Q1 e Q2 correspondem aos quadrados médios dos genótipos nos ambientes 1 e 2, respectivamente, e r a correlação entre as médias dos genótipos nos dois ambientes.

Uma vez detectada a interação G x A significativa procedeu-se a análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica pelos métodos de Eberhart e Russel (1966), Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), Centróide (Rocha et al., 2005) e AMMI (ZOBEL et al., 1988).

As análises foram realizadas utilizando o Programa Computacional em Genética e Estatística (GENES) (CRUZ, 2016), e Estabilidade (FERREIRA, D.F., 2002).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se nas análises de variâncias individuais (Tabela 3) a oportunidade de seleção de genótipos conforme potencial produtivo na maioria dos ambientes.

Os locais analisados apresentaram coeficiente de variação (CV) entre 2,80 e 8,98% (Tabela 3). O coeficiente de variação indica a qualidade da precisão experimental. Experimentos

com coeficientes de variação baixos, ou de alta precisão, são almejados pelos melhoristas, visto que proporcionam a obtenção de estimativas de parâmetros genéticos mais fidedignos, ou acurados, as quais são importantes nas tomadas de decisões no andamento do programa de melhoramento (CARGNELUTTI FILHO et al., 2012). Segundo Pimentel-Gomes (1990), um CV (%) é considerado baixo e com elevada precisão (<10%); médio (10% a 20%); alto (20% a 30%) e, muito alto (> 30%).

Os ambientes que apresentaram o maior potencial produtivo foram os ambientes 4, 7, 9, 12 e 14 (Tabela 3). O rendimento médio dos experimentos nestes locais, foi semelhante aos valores encontrados por Hamawaki et al. (2015) ao avaliar produção de grãos em diferentes genótipos de soja.

Tabela 3. Produtividade média de ambientes, quadrados médios, coeficiente de variação e coeficiente de determinação genotípico obtidos na avaliação de 18 genótipos de soja cultivados em 14 ambientes nas safras de 2016/17 e 2017/18.

Safra	Ambiente	QMG ¹	QMR ¹	CV(%) ¹	Produtividade (kg ha ⁻¹)
2016/17	Araguari-MG	425010,37**	63929,23	5,20	4865,64
2016/17	Cristalina-GO	168150,98**	45867,85	5,10	4200,14
2016/17	Jataí-GO	195414,98**	58371,56	5,14	4701,08
2016/17	Rio Verde-GO	247838,70**	19658,03	2,83	4957,22
2016/17	Santa Helena de	302592,54**	57061,95	8,98	2659,66
2016/17	Uberaba-MG	377226,84**	61560,95	5,79	4286,65
2016/17	Uberlândia-MG	321723,00*	129456,70	7,13	5049,60
2017/18	Araguari-MG	395658,80*	139692,20	8,11	4608,95
2017/18	Cristalina-GO	416325,06**	20321,71	2,80	5085,96
2017/18	Jataí-GO	635082,95**	63177,52	6,22	4041,05
2017/18	Rio Verde-GO	276723,77**	71735,71	5,97	4489,77
2017/18	Santa Helena de Goiás	407356,64**	116186,90	6,14	5549,70
2017/18	Uberaba-MG	215365,63*	72651,12	5,96	4525,87
2017/18	Uberlândia-MG	503242,50*	166668,50	7,83	5216,74

ns: não significativo; * e **: significativo a 5% e 1%, respectivamente, pelo teste de F; QMG: quadrado médio de genótipos; QMR: quadrado médio do erro; CV (%): coeficiente de variação;

¹Resultados obtidos pela análise de variância individual.

A razão entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo das análises de variância individuais (Tabela 3) foi de 8,48. Portanto, para proceder com a análise conjunta foi realizado os ajustes de grau de liberdade conforme sugerido por CRUZ et al. (2012).

O resumo da análise de variância conjunta encontra-se na Tabela 4. Notou-se a ocorrência de efeitos significativos para os genótipos, ambientes e para a interação entre genótipo e

ambiente ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F. Nos trabalhos de Silva et al. (2014) e Faria (2016), também foi relatada a ocorrência significativa de interação G x A para produtividade de grãos.

Tabela 4. Análise de variância conjunta para o caráter produtividade de grãos (kg ha⁻¹) avaliada em 18 genótipos de soja cultivados em 7 ambientes nas safras de 2016/17 e 2017/18.

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio
Blocos/Ambientes	14	97829,83
Genótipos (G)	17	1646516,74**
Ambientes (A)	13	17391511,15**
Interação G x A	221	249322,74**
Erro	238	77595,70
Média		4588,43
CV (%)		6,07
H ² (%)		95,23

**: significativo a 1%, pelo teste de F; H²: coeficiente de determinação genotípico.

Os coeficientes de determinação genotípicos que expressam a proporção da variabilidade fenotípica atribuída às causas genéticas foram de 95,23% (Tabela 4), sendo, portanto, de alta magnitude para o caráter produtividade de grãos. Esse resultado assemelha-se ao obtido por Soares et al. (2015) que verificaram estimativa de 78,72% ao avaliarem 38 cultivares de soja em Minas Gerais, em duas safras. De acordo com Cruz, Regazzi e Carneiro (2012) o coeficiente de determinação genotípico é considerado de alta magnitude quando superior a 70%.

A ocorrência de interação G x A é um indicativo do comportamento diferencial dos genótipos, em relação à produtividade de grãos, com a oscilação ambiental. Nesse contexto, o estudo da interação G x A se torna importante para determinar sua natureza. De acordo com a Tabela 5, observou-se que, a interação G x A foi predominantemente de natureza complexa, pois a decomposição da interação G x A, em parte complexa, pelo método de Cruz e Castoldi (1991) mostrou que entre os 90 pares de ambientes avaliados, apenas 6 ambientes tiveram decomposição da interação inferior a 50%, indicando predominância de interação do tipo simples e, todas as demais interações foram de natureza complexa, evidenciando a importância de realizar os estudos de adaptabilidade e estabilidade para fazer uma recomendação uniforme para todos os locais. Barros et al. (2012) também verificou interação G x A complexa nos testes realizados com 29 genótipos de soja em 4 ambientes do Mato Grosso e concluiu que nesse caso,

não se pode fazer uma recomendação geral sem prejuízo considerável na produção obtida, relativamente à produção possível.

Tabela 5. Estimativa da parte complexa da decomposição da interação G x A (%) pelo método de Cruz e Castoldi (1991) (abaixo da diagonal) e classificação da interação entre simples e complexa (acima da diagonal) na análise de 18 genótipos de soja cultivados em 7 ambientes nas safras de 2016/17 e 2017/18.

	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6	A 7	A 8	A 9	A 10	A 11	A 12	A 13	A 14
A 1	-	C	C	S	C	C	S	C	C	C	C	C	C	C
A 2	>50	-	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
A 3	>50	>50	-	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
A 4	<50	>50	>50	-	C	C	S	C	S	C	S	S	C	C
A 5	>50	>50	>50	>50	-	C	C	C	C	C	C	C	C	C
A 6	>50	>50	>50	>50	>50	-	C	C	C	C	C	C	C	C
A 7	<50	>50	>50	<50	>50	>50	-	C	C	C	C	C	C	C
A 8	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	-	C	C	C	C	C	C
A 9	>50	>50	>50	<50	>50	>50	>50	>50	-	C	C	C	C	C
A 10	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	-	C	C	C	C
A 11	>50	>50	>50	<50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	-	C	C	C
A 12	>50	>50	>50	<50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	-	C	C
A 13	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	-	C
A 14	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	-

Ambientes: A1 (Araguari-MG 2016), A2 (Cristalina-GO 2016), A3 (Jataí-GO 2016), A4 (Rio Verde-GO 2016), A5 (Santa Helena de Goiás-GO 2016), A6 (Uberaba-MG 2016), A7 (Uberlândia-MG 2016); Ambientes: A8 (Araguari-MG 2017), A9 (Cristalina-GO 2017), A10 (Jataí-GO 2017), A11 (Rio Verde-GO 2017), A12 (Santa Helena de Goiás-GO 2017), A13 (Uberaba-MG 2017), A14 (Uberlândia-MG 2017); C: interação complexa; S: interação simples.

Um dos métodos muito empregados na avaliação de adaptabilidade e estabilidade é um método baseado em regressão linear simples de Eberhart e Russel (1966). Esse método também permite classificar os ambientes em favoráveis e desfavoráveis conforme o índice ambiental. Quando esse índice resultar em valor negativo, indica que o ambiente é desfavorável e quando o índice for positivo, o ambiente é classificado como favorável.

Na Tabela 6, estão apresentados os índices ambientais e a classificação dos ambientes estudados. Observa-se que, 57% dos locais foram classificados como favoráveis ao plantio dos genótipos de soja estudados. Locais favoráveis ocorrem em virtude da influência do ambiente que, para o caso da cultura da soja, passou provavelmente por algum estresse biótico ou abiótico.

Tabela 6. Índice ambiental, na análise de 18 genótipos de soja cultivados em sete ambientes nas safras de 2016/17 e 2017/18.

Ambiente	Média (kg ha ⁻¹)	Índice	Classe
Araguari-MG	4865,64	277,21	Favorável
Cristalina-GO	4200,14	-388,29	Desfavorável
Jataí-GO	4701,08	112,65	Favorável
Rio Verde-GO	4957,22	368,79	Favorável
Santa Helena de GoiásGO	2659,66	-1928,77	Desfavorável
Uberaba-MG	4286,65	-301,78	Desfavorável
Uberlândia-MG	5049,60	461,17	Favorável
Araguari-MG	4608,95	20,52	Favorável
Cristalina-GO	5085,96	497,53	Favorável
Jataí-GO	4041,05	-547,38	Desfavorável
Rio Verde-GO	4489,77	-98,67	Desfavorável
Santa Helena de Goiás	5549,70	961,27	Favorável
Uberaba-MG	4525,87	-62,56	Desfavorável
Uberlândia-MG	5216,74	628,31	Favorável

O método Eberhart e Russel (1966) permite também identificar os genótipos com adaptação específica a ambientes favoráveis ($B_1 > 1$) e desfavoráveis ($B_1 < 1$). De acordo com esse método o genótipo ideal é aquele que apresenta adaptação ampla ($B_1 = 1$) e alta estabilidade (variância dos desvios da regressão nula). Em relação à análise simultânea dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade (β_{1i} e σ^2_{di}) obtidos por esse método, verifica-se que a maioria dos genótipos de soja testados mostraram alta previsibilidade de comportamento e ampla adaptabilidade. Pela Tabela 7, observa-se que 12 dos 18 genótipos testados são de adaptação ampla, porém nenhum apresentou alta estabilidade.

Ao utilizar o método Eberhart e Russel (1966) para análise de genótipos de soja, Felici (2017) também verificou que apesar da classificação como adaptação ampla, a maioria dos genótipos apresentou baixa estabilidade.

O método não paramétrico de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), permite analisar a adaptação e estabilidade dos genótipos por apenas um parâmetro (P_i), conforme demonstrado na Tabela 7. Considerando as menores estimativas de P_i geral (Tabela 7), observa-se que dentre os 5 genótipos com maior produtividade, Soy-13, Soy-03, Soy-09 e Soy-10 tem adaptação ampla.

No que se refere à produtividade dos genótipos de soja, destaca-se o Soy-13 no ambiente de produção de Uberlândia-MG na safra de 2017, onde produziu mais de 6600 kg ha⁻¹. Para a safra de 2016, o mesmo genótipo apresentou a maior produtividade, sendo de 5968 kg ha⁻¹ no ambiente de produção de Araguari-MG (Tabela 8). Este resultado é justificado pela combinação de fatores favoráveis ao desempenho do genótipo existentes em Uberlândia-MG, que foi classificado como ambiente Favorável pelo Índice Ambiental nos dois anos de avaliação, 2016 e 2017.

Tabela 7. Produtividade de grãos e parâmetros de estabilidade e adaptabilidade pelos métodos de Eberhart e Russel (1966) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), em 18 genótipos de soja cultivados em 7 ambientes nas safras de 2016/17 e 2017/18.

Genótipos	Produtividade (kg ha ⁻¹)	Eberhart e Russel (1966)			Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998)		
		B _{li}	S ² di	R ² (%)	Pi geral	Pi favorável	Pi desfavorável
BMX DESAFIO RR	4425,77	1,25 ^{ns}	107101,60 ⁺⁺	84,77	532177,07	417612,98	684929,19
BMX FLECHA IPRO	4581,16	0,97 ^{ns}	41056,94 ⁺⁺	86,02	403834,94	483545,86	297553,71
Soy-01	4199,85	0,85 ^{ns}	69116,41 ⁺⁺	77,72	855083,70	930396,52	754666,59
Soy-02	4438,51	0,85 ^{ns}	31523,18 ⁺⁺	84,26	587614,16	637613,71	520948,10
Soy-03	4974,58	0,97 ^{ns}	164404,40 ⁺⁺	70,84	155112,33	199364,50	96109,45
MARADONAANTA82	4202,26	0,88 ^{ns}	49930,11 ⁺⁺	82,02	759709,72	881226,99	597686,69
AS3680IPRO	4502,41	0,95 ^{ns}	40991,45 ⁺⁺	85,61	513528,52	492459,27	541620,86
M7110IPRO	4599,76	0,85*	55100,55 ⁺⁺	79,93	461547,86	480437,35	436361,88
M6972IPRO	4310,20	0,91 ^{ns}	66087,82 ⁺⁺	80,39	666791,20	809632,65	476335,93
M7198IPRO	4613,49	0,87 ^{ns}	100484,73 ⁺⁺	73,91	357958,53	433661,19	257021,66
Soy-08	4789,01	0,87 ^{ns}	37763,07 ⁺⁺	83,88	318701,88	336797,91	294573,83
Soy-09	4763,51	1,03 ^{ns}	56491,03 ⁺⁺	85,32	285161,58	368224,14	174411,49
Soy-10	4797,61	1,30**	54859,54 ⁺⁺	90,44	291350,92	229080,72	374377,85
Soy-11	4746,77	1,24**	64818,65 ⁺⁺	88,52	262416,78	151849,58	409839,70
AS3730IPRO	4532,55	1,17*	95659,60 ⁺⁺	84,29	471804,61	512727,20	417241,16
Soy-13	5089,14	1,34*	91915,57 ⁺⁺	87,71	97760,66	31410,45	186227,60
M7739IPRO	4586,14	0,81*	120992,38 ⁺⁺	68,25	422012,32	408274,30	440329,68
TMG7062IPRO	4439,03	0,91 ^{ns}	74295,49 ⁺⁺	79,26	545883,02	59616,81	478837,98

^{ns}: não significativo; * e **: significativo a 5% e 1%, pelo teste t. ^{ns}: não significativo; + e ++: significativo a 5% e 1%, pelo teste F; B_{li}: parâmetro de adaptabilidade; S²di: variância dos desvios da regressão; R²: coeficiente de determinação da regressão.

Tabela 8. Produtividade média (kg ha⁻¹) de 18 genótipos de soja cultivados em 7 ambientes nas safras de 2016/17 e 2017/18.

Genótipos	Locais													
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14
BMX DESAFIO	4524,79B	4162,23B	5272,51	4658,38B	1880,55	3906,05C	4955,06	4497,31B	5261,48	4193,76B	3554,08C	5308,49	4227,28	5558,87
RR	c	a	Aa	b	Db	b	Aa	b	Aa	c	b	Ab	Bb	Ac
BMX FLECHA	4775,07B	4391,71B	4929,85	4939,28	2648,64C	4121,95B	5207,39	4362,94B	4294,75B	4240,58B	4435,56B	5740,83	4717,49	5330,27
I PRO	c	a	Aa	Ab	a	b	Aa	b	b	c	a	Aa	Ba	Ac
Soy-01	4683,19	4378,92	4591,56	4294,37	2384,32B	4253,82	4537,42	4192,19	4452,32	3085,61B	4003,13	4778,09	4559,94	4603,02
	Ac	Aa	Ab	Ab	b	Ab	Ab	Ab	Ab	d	Ab	Ac	Aa	Ad
Soy-02	4678,7Ac	4010,22B	4839,68	4877,4A	2955,02C	3918,23B	5105,52	4537,24	4582,86	3581,67B	4356,46	5434,9A	4712,05	4549,2A
	5222,21B	b	Aa	b	a	b	Aa	Ab	Ab	d	Aa	b	Aa	d
Soy-03	b	4106,7Cb	5044,7Ba	5331,44B	2977,6Da	4178,67C	5511,42B	5326,65B	5057,04B	5594,73B	5042,53B	6293,07	4626,04	5331,37B
	4719,76	3894,85B	4933,57	4462,15	2171,88C	4228,06B	4603,22	4130,72B	4521,13	4015,92B	3954,18B	4609,86	3913,15	4673,19
MARADONAANTA82	Ac	b	Aa	Ab	b	b	Ab	b	Ab	c	b	Ac	Bb	Ad
AS3680I PRO	4504,17B	4510,24B	4723,64B	4707,84B		3959,92C	4635,39B	4594,48B	5019,25	3400,83C	4593,39B	5521,73	4763,57	5321,66
	c	a	a	b	2777,6Da	b	b	b	Aa	d	Ab	Ab	Ba	Ac
M7110I PRO	5074,35	4394,94B	4335,19B	4901,64	3024,82C	4420,07B	5284,59	5022,47	4817,05	3456,02C	4654,78B	5345,2A	4800,86	4864,67
	Ab	a	b	Ab	a	a	Aa	Aa	Ab	d	a	b	Aa	Ad
M6972I PRO	3938,75C		4449,98B	4422,75B	2557,95	3660,91C	4500,79B		4516,19B	4046,52C	4384,96B	5573,04	4759,23	5109,18
		3938,2Cb	b	b	Da	b	b	4484,4Bb	b	c	a	Aa	Ba	Ac
M7198I PRO	4846,56	3693,24C	5214,68	5164,48	2819,35	4430,77B	5106,81	4560,65B	5236,68	4874,05	4479,73B	5265,35	4008,39	4888,13
	Ac	b	Aa	Aa	Da	a	Aa	b	Aa	Ab	a	Ab	Cb	Ad
Soy-08	4915,59B	4528,42B	4530,27B	5346,31	3146,63C	4982,02B	5241,68	5075,66B			4729,93B	5717,78	4789,37	5005,37B
	c	a	b	Aa	a	a	Aa	a	5279,5Aa	3757,7Cc	a	Aa	Ba	d
Soy-09	4460,46C	4330,14C	4294,11C		2689,61	4702,11C	5151,14B			4405,23C	4795,33C	6045,66	4732,31	5253,79B
	c	a	b	5198,7Ba	Da	a	a	5209,6Ba	5421Ba	c	a	Aa	Ca	c
Soy-10	5074,72B	4444,45C		5212,76B	2132,45	5028,04B	5582,81	5132,22B	5550,07	3930,26C	4858,72B	6016,34	4461,67	5403,05
	b	a	4339Cb	a	Db	a	Aa	a	Aa	c	a	Aa	Ca	Ac
Soy-11	5384,88B	3603,72	4896,46B	5107,59B	2869,76E	4071,11C	5522,46	4414,07C	5555,81	4030,93C	4523,53C	6103,81	4541,26	5829,44
	b	Db	a	a	a	b	Aa	b	Aa	c	a	Aa	Ca	Ab
AS3730I PRO	5283,54	4414,83B	4215,74B	5036,12	2144,58C			3799,54B	5397,47	3986,28B	4310,14B	5660,41	4398,05	4873,46
	Ab	a	b	Aa	b	4640Ba	5295,6Aa	b	Aa	c	a	Aa	Ba	Ad
Soy-13	5968,34B	4255,24C		5611,55B	2655,83	4970,42C	5552,58B		5901,28B		4953,69C	5995,75B	4683,67	6667,38
	a	a	4744,2Ca	a	Da	a	a	4960,4Ca	a	4327,7Cc	a	a	Ca	Aa
M7739I PRO	5179,3A	4556,8Ba	4689,79B	5150,82	3332,13C	4076,87C	4797,29B	3909,52C	5390,98	3864,51C	4694,32B	5243,37	3823,51	5496,75
	b		a	Aa	a	b	b	b	Aa	c	a	Ab	Cb	Ac
TMG7062I PRO	4347,11B	3987,74C	4574,62B	4806,36B		3610,63C	4301,74B	4751,05B	5292,48		4491,35B	5241,02	4947,92	5142,58
	c	b	b	b	2705,2Da	b	b	a	Aa	3946,6Cc	a	Ab	Aa	Ac

¹Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

O método Centróide consiste na comparação de valores e da distância cartesiana entre os genótipos e quatro genótipos ideais, designados como ideótipo, permitindo a classificação desses quanto à adaptabilidade geral, adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis e pouco adaptado (ROCHA et al., 2005). Conforme apresentado na Tabela 9, 27% dos genótipos foram classificados com adaptabilidade geral, enquanto 55% foi considerado pouco adaptado. 100% dos genótipos com as maiores produtividades, foram classificados com adaptabilidade geral alta.

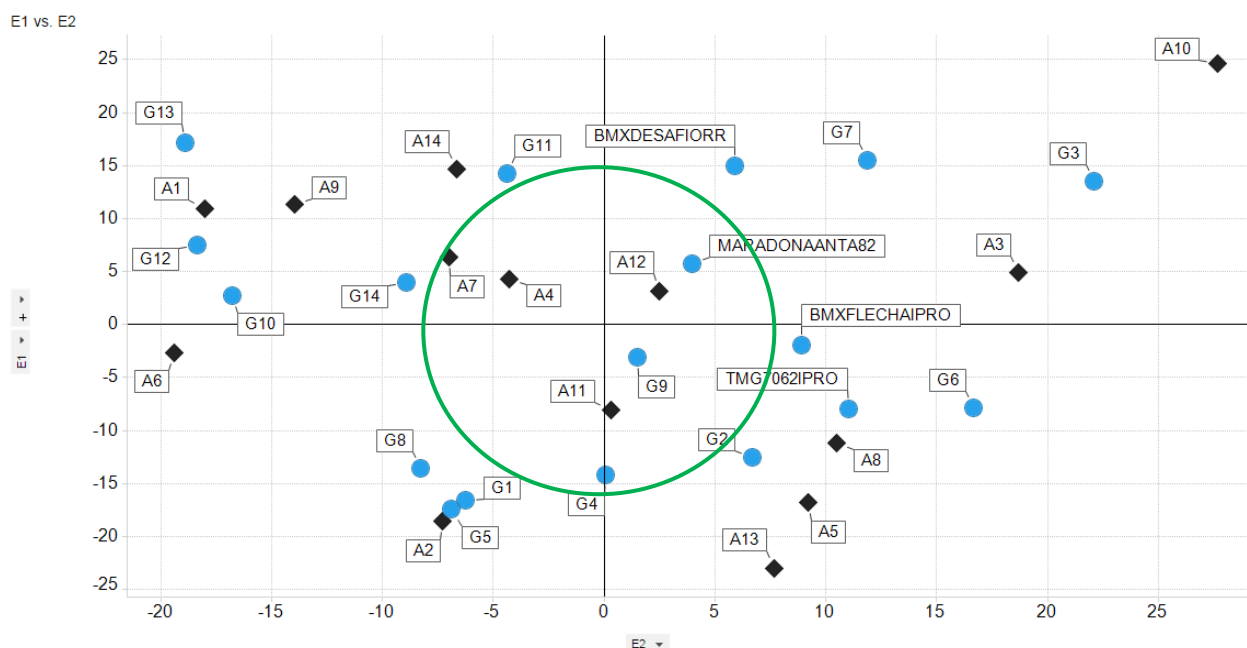
De acordo com Rocha et al. (2005), valores de probabilidade próximos ou superiores a 0,50 indicam boa confiabilidade nos agrupamentos dos genótipos em relação aos ideótipos. Neste estudo, os valores de probabilidade que permitiram a classificação dos genótipos entre os grupos oscilaram de 0,14 a 0,43.

Tabela 9. Produtividade de grãos e parâmetros de estabilidade e adaptabilidade pelo método Centróide (Rocha et al., 2005), em 18 genótipos de soja cultivados em 7 ambientes nas safras de 2016/17 e 2017/18.

Genótipos	Média (kg ha⁻¹)	Classificaçã o	Prob (I)	Prob (II)	Prob (III)	Prob (IV)
BMX DESAFIO RR	4425,77	IV	0,21	0,27	0,22	0,30
BMX FLECHA						
IPRO	4581,16	III	0,23	0,23	0,28	0,26
Soy-01	4199,85	IV	0,15	0,18	0,24	0,43
Soy-02	4438,51	IV	0,20	0,22	0,26	0,32
Soy-03	4974,58	I	0,39	0,21	0,23	0,17
MARADONAANTA82	4202,26	IV	0,16	0,18	0,25	0,42
AS3680IPRO	4502,41	IV	0,21	0,24	0,25	0,30
M7110IPRO	4599,76	IV	0,23	0,24	0,26	0,27
M6972IPRO	4310,20	IV	0,18	0,19	0,28	0,35
M7198IPRO	4613,49	III	0,25	0,23	0,28	0,24
Soy-08	4789,01	I	0,28	0,24	0,26	0,22
Soy-09	4763,51	I	0,29	0,23	0,26	0,22
Soy-10	4797,61	I	0,29	0,27	0,22	0,21
Soy-11	4746,77	II	0,28	0,32	0,20	0,21
AS3730IPRO	4532,55	IV	0,23	0,24	0,25	0,27
Soy-13	5089,14	I	0,44	0,26	0,16	0,14
M7739IPRO	4586,14	IV	0,24	0,24	0,26	0,26
TMG7062IPRO	4439,03	IV	0,21	0,22	0,27	0,31

Classe I: Adaptabilidade geral alta; Classe II: Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis; Classe III: Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis; Classe IV: Pouco adaptado.

Com intuito de inferir sobre a estabilidade dos genótipos pela análise AMMI (ZOBEL et al., 1988), foi representado no plano cartesiano os dois primeiros componentes principais (CP1, CP2) (Figura 1).



1991). Assim, Duarte e Vencovsky (1999) concluem que uma inspeção nos biplots será sempre positiva, e que a análise AMMI seja útil também nas situações que requerem um maior número de componentes principais.

A interpretação da estabilidade pelo método AMMI foi realizada a partir da distância dos pontos representativos dos genótipos e ambientes ao escore zero (Figura 1). Assim, a menor distância indica maior estabilidade (DUARTE; VENCOVSKY, 1999).

Os genótipos mais distantes do eixo, são os que contribuíram pouco para a interação G x A total e foram considerados mais estáveis e também com adaptabilidade geral, por interagirem menos com os ambientes (CHAVES, 2001).

De acordo com a Figura 1, o genótipo Soy-09 é um dos genótipos que está posicionado mais próximo à origem dos eixos e foi, portanto, classificado como mais estável e de adaptabilidade geral e está entre os 5 genótipos mais produtivos. Os ambientes A4, A11 e A12, foram os que menos contribuíram para a interação G x A, uma vez que, estão localizados mais próximos a origem dos eixos.

4.4 CONCLUSÕES

A interação genótipo por ambiente para a produtividade de grãos em genótipos de soja cultivados nas regiões do Sudoeste Goiano, Sudeste Goiano e Triângulo Mineiro é do tipo complexa.

Observou-se elevada produtividade de grãos de soja nos ambientes de Araguari-MG, Rio Verde-GO e Uberlândia para safra 2016/17 e nos ambientes de Cristalina-GO, Santa Helena de Goiás-GO e Uberlândia-MG para safra 2017/18.

Os genótipos que apresentaram maiores produtividades foram Soy-13, Soy-03, Soy-11, Soy-09 e Soy-10.

O Genótipo Soy-09 apresentou alta produtividade de grãos, adaptação ampla e alta estabilidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cultivo de milho safrinha no Brasil em sucessão ao plantio de soja é um sistema de produção com presença cada vez maior nas regiões agrícolas especializadas em grãos.

Junto à expansão do cultivo de milho safrinha, cresce a exigência por híbridos de milho e por cultivares de soja adaptadas a estes novos ambientes, e que tenham estabilidade de produção em condições diversas.

Em sua grande maioria, os genótipos apresentam comportamentos diferenciados quanto aos distintos ambientes de cultivo. É fundamental a identificação de genótipos de comportamento previsível e adaptados às variações ambientais para condições amplas ou específicas de cultivo.

Interação do tipo G x A consiste em um dos maiores desafios dos programas de melhoramento.

Observa-se um aumento da demanda por cultivares de soja de ciclo precoce, visando o cultivo da segunda-safra após a colheita do cultivo de verão, uma vez que, existe a necessidade do aproveitamento das chuvas antes do início da seca para desenvolvimento da cultura sucessora.

Nas últimas safras, os agricultores que estão obtendo altas produtividades de soja precoce e de milho safrinha estão considerando as duas culturas como safra. Por isso, buscam híbridos de alta performance, com elevado potencial produtivo e específicos para o ambiente de safrinha das suas regiões.

A identificação de híbridos de milho que sejam adaptados às condições climáticas características da safrinha e aos ambientes de produção de certas regiões produtoras é de fundamental importância para o melhor desempenho e produtividade do sistema.

Sistemas agrícolas de alta produtividade com o cultivo de soja na safra de verão e de milho na safrinha se constituem em modelo eficiente de produção nos municípios goianos de Rio Verde, Montividiu, Jataí, considerados tradicionais na adoção deste sistema.

A existência de regiões tradicionais e não tradicionais no cultivo de milho safrinha, mostra que é necessário o estudo de diferentes híbridos para caracterizar sua adaptabilidade a diferentes ambientes de produção.

No que se refere aos híbridos de milho, a maioria deles mostram alta previsibilidade de comportamento e ampla adaptabilidade. Verificou-se que 54% do genótipos testados na safra de 2016 são de adaptação ampla, porém apenas 17% desses tem alta estabilidade de acordo com o método de Ebeher e Russel (1966).

REFERÊNCIAS

- AGRITEMPO**: Sistema de Monitoramento Agrometeorológico: zoneamento de risco climático: culturas-GO. Campinas, 2002-2016. Disponível em: <http://www.agritempo.gov.br/zoneamento/mapas/GO.html>>. Acesso em: 13 jan. 2016.
- ALCÂNTARA NETO, F. et al. Adubação fosfatada na cultura da soja na microrregião do alto médio Gurguéia. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 266-271, 2010.
- ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype: environmental interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, Madison, v. 4, n. 5, p. 503-508, 1964.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). 2017. Disponível em: <http://www3.ana.gov.br/>. Acesso em: 25 maio 2018.
- BARROS, H. B.; PELUZIO, J. M.; SANTOS, M. M.; BRITO, E. L.; ALMEIDA, R. D. Efeito de épocas de semeadura no comportamento de cultivares de soja, no sul do Estado do Tocantins. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 50, n. 291, p. 565-572, 2003.
- BARROS, H. B.; SEDIYAMA, T.; MELO, A. V.; FIDELIS, R. R.; CAPONE, A. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja por meio de métodos uni e multivariado. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Gurupi, v. 3, n. 2, p. 49-58, 2012.
- BACKES, R. L. et al. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijoeiro no Estado de Santa Catarina. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 2, p. 309-314, 2005.
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C.; PILAU, F. G.; WOLLMANN, C. A. Eficiência climática para as culturas da soja e do trigo no estado do Rio Grande do Sul em diferentes datas de semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 3, p. 390-396, 2013.
- BECKER, H. C.; LÉON, J. Stability analysis in plant breeding. **Plant Breeding**, Berlin, v. 101, n. 1, p. 1-23, 1988.
- BYTH, D. E.; EISEMANN, R. L.; DE LACY, H. I. Two-way pattern analysis of a large data set to evaluate genotype adaptation. **Heredity**, Harlow, v. 37, n. 2, p. 215-230, 1976.
- BIGHI, W.; CENTURION, M. A. P. C.; BÁRBARO, M. I.; DI MAURO, A. O. Comportamento de genótipos de soja (*Glycine max* (L.) merrill) cultivados em Jaboticabal/SP e Ipameri/GO. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 53, n.310, p. 682-687, 2006

BASFORD, K. E.; COOPER, M. Genotype x environment interactions and some considerations of their implications for wheat breeding in Australia. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 49, n. 2, p. 153-174, 1998.

BORGES, R. E. Complexos agroindustriais e desenvolvimento regional: o caso do sudoeste de Goiás. In: ENCONTRO NACIONAL DE GEOGRAFIA AGRÁRIA, 21., 2012, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2012. Disponível em: <http://www.lagea.ig.ufu.br/xx1enga/anais_enga_2012/gts/1217_1.pdf>.

BROCH, D. L.; RANNO, S. K. Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura do milho safrinha. In: TECNOLOGIA de produção: milho safrinha e culturas de inverno. Maracaju: Fundação MS, 2009. p. 5-29.

CARGNELUTTI FILHO, A., MARCHESAN, E. SILVA, L.S., TOEBE, M. Medidas de precisão experimental e número de repetições em ensaios de genótipos de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, p.336-343. 2012.

CARNEIRO, P. C. S. **Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento**. 1998. 155 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1998.

CARVALHO, H. W. L. de; CARDOSO, M. J.; LEAL, M. L. S. da; SANTO, M. X. dos; TABOSA, J. N.; SOUZA, E. M. de. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho no nordeste brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 5, p.471-477, 2005.

CARVALHO, E. R.; RESENDE, P. M.; OGOSHI, F. G. A.; BOTREL, E. P.; ALCANTRA, H. P.; SANTOS, J. P. Desempenho de cultivares de soja [Glycine max (L.) Merrill] em cultivo de verão no sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 892-899, 2010.

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

CATTELAN, A. J.; DALL'AGNOL, A. The rapid soybean growth in Brazil. *Oil & Fat Crops and Lipids*, [s.l.], v. 25, p. 1-12, 2018.

ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA GRÃOS. Brasília, DF: CONAB, v. 4, n. 4, jan. 2017. Safra 2016/17. Quarto levantamento. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=20>>. Acesso em: 14 jan. 2017.

OLIVEIRA NETO, A. A. (Org.). **Evolução dos custos de produção de soja no Brasil**. Brasília, DF: CONAB, 2016. (Compêndio de estudos Conab, v. 2).

COSTA, D. F.; VIEIRA, B. S.; LOPES, E. A.; MOREIRA, L. C. B. Aplicação de fungicidas no controle de doenças foliares na cultura do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 11, n. 1, p. 98-105, 2012.

- CROSSA, J.; FOX, P. N.; PFEIFFER, W. H.; RAJARAM, S.; GAUCH JR., H.G. AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 81, n. 1, p. 27-37, Jan. 1991.
- CRUZ, J. C.; SILVA, G. H. da; PEREIRA FILHO, I. A.; GONTIJO NETO, M. M. MAGALHÃES, P. C. Caracterização do cultivo de milho safrinha de alta produtividade em 2008 e 2009. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 9, n. 2, p. 177-188, 2010.
- CRUZ, J. C.; PINTO, L. B. B.; PEREIRA FILHO, I. A.; GARCIA, J. C.; QUEIROZ, L. R. **Sistemas de produção de milho para alta produtividade. 2009**. Disponível em: <http://riberkws.com/public/pdf/Sistemas_de_producao_de_milho_para_alta_produtividade.pdf>. Acesso em: 25 maio 2016.
- CRUZ C. D.; CASTOLDI F. L. Decomposição da interação genótipo x ambiente em parte simples e complexa. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 38 n. 219 p. 422-430, 1991.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária, 1994.
- CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2006.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa, MG: Imprensa Universitária. 2012. v. 1,
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa, MG: Imprensa Universitária. 2014. v. 2,
- CRUZ, J. C.; GARCIA, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; SIMÃO, E. P. Safrinha deve superar a safra de verão. **Revista Campo & Negócio**. Uberlândia, n. 127, 24-29, 2013.
- CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. **Cultivares de milho disponíveis no mercado de sementes do Brasil para a safra 2006/07**. 2006. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/milho/cultivares/index.php>>. Acesso em: 31 jan. 2007.
- USDA. **United States Department of Agriculture**. 2018. Disponível em: <<https://www.usda.gov/>> Acesso em: 3 mar. 2018.
- DUARTE, J.B.; VENCOSKY, R. **Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise AMMI**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. (Série Monografias, 9).
- DUARTE, A.P. Milho safrinha: características e sistema de produção. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G.V. (Ed.). **Tecnologias de produção do milho**. Viçosa, MG: UFV, 2004. p.109-138.

DONG, Y. S.; ZHAO, B. L.; WANG, Z. W.; JIN, Z. Q.; SUN, H. The genetic diversity of cultivated soybean grown in China. **Theoretical Applied Genetics**, Berlin, v. 108, p. 931-936, 2004.

DOBZHANSKY, T. Nothing in biology makes sense except in the light of evolution. **American Biology Teacher**, [s.l.], v. 35, p. 125-129, 1973.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. **Milho**. Sete Lagoas, 2015. Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_1_ed/mercado.htm Acesso em: 10 maio 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema de produção 11: tecnologias de produção de soja: região central do Brasil**. Londrina: EMBRAPA SOJA, 2006.

FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. 2018. Disponível em: <http://faostat.fao.org>. Acesso em: 10 set. 2018.

FARIA, S. V. **Adaptabilidade e estabilidade de híbridos comerciais de milho pelos métodos de Eberhart & Russell, Centróide, AMMI e modelos mistos**. 2016. 33 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2016.

FARINELLI, R.; PENARIOL, F. G.; BORDIN, L.; COICEV, L.; FORNASIERI FILHO, D. Desempenho agrônomo de cultivares de milho nos períodos de safra e safrinha. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 2, p. 235-241, 2003.

FRITSCHÉ-NETO, R. et al. Factor analysis and SREG GGE biplot for the genotype×environment interaction stratification in maize. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 5, p. 1043-1048, 2010.

FIGUEIREDO, A. G. et al. Application of mixed models for evaluating stability and adaptability of maize using unbalanced data. **Euphytica**, Wageningen, v. 202, n. 3, p. 393-409, 2014.

FORSTHOFER, E. L.; SILVA, P. R. F.; STRIEDER, M. L.; MINETTO, T.; RAMBO, L.; ARGENTA, G.; SANGOI L.; SUHRE, E.; SILVA, A. A. Desempenho agrônomo e econômico do milho em diferentes níveis de manejo e épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 3, p. 399-407, 2006.

GUILLEN-PORTAL, F. R.; RUSSELL, W. K.; BALTENSPERGER, D. D.; ESKRIDGE, K. M.; D'CROZ-MASON, N. E.; NELSON, L. A. Best types of maize hybrids for the western high plains of the USA. **Crop Science**, Madison, v. 43, n. 6, p. 2065-2070, 2003.

GOMES, W. S.; BORÉM, A. Biotecnologia: novo paradigma do Agronegócio brasileiro. **Revista de Economia e Agronegócio**, Viçosa, MG, v.11, n. 1. p. 115-136, 2013.

GONÇALVES, M. E. M. P.; GONÇALVES JUNIOR, D.; SILVA, A. G.; CAMPOS, H. D.; SIMON, G. A.; SANTOS, C. J. L.; SOUSA, M. A. de. Viabilidade do controle químico de doenças foliares em híbridos de milho no plantio de safrinha. **Nucleus**, Ituverava, v. 9, n. 1, p. 49-62, 2012.

HAMAWAKI, R. L.; HAMAWAKI, O. T.; NOGUEIRA, A. P. O.; SOUSA, L. B.; FELICI, P. H. N.; ALCÂNTARA NETO, F.; TAVARES, S. O.; SILVA, R. H. O. Coeficiente de determinação genotípico e variabilidade fenotípica para caracteres agronômicos em soja. **Horizonte Científico**, Uberlândia, v. 8, p. 69-70, out. 2014. Suplemento 1. Trabalho apresentado no I Simpósio Nacional de Aplicações Biológicas e II Simpósio Nacional de Nanotecnologia e Nanomedicina, 2014, Uberlândia. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/horizontecientifico/issue/download/1180/40>>. Acesso em: 4 dez. 2016.

HASHEMI, A. M.; HERBERT, S. J.; PUTNAM, D. H. Yield response of corn to crowding stress. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, p. 839-846, 2005.

HYMOWITZ, T. On the domestication of the soybean. **Economic Botany**, Bronx v. 24, n. 2, p. 408-421, 1970.

IBGE. **Levantamento Sistemático Da Produção Agrícola**. Uberlândia, 2016. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf/default.asp>>. Acesso em: 28 maio 2016.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Rio de Janeiro: IBGE. 1994-2013.

JARDINE, D. F.; LACA-BUENDÍA, J. P. Eficiência de fungicidas no controle de doenças foliares na cultura do milho. **FAZU em Revista**, Uberaba, n. 6, p. 11-52, 2009.

LANDAU, E. C.; HIRSCH, A.; CRUZ, J. C.; DUARTE, J. O.; GARCIA, J. C.; MENDES, S. M. **Áreas de concentração da produção de milho no Brasil entre 2008 e 2010**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012a. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 58).

LANDAU, E. C.; CRUZ, R. K. M.; HIRSCH, A.; GUIMARAES, D. P.; SOARES, G. P. **Perfil espaço-temporal da produção de milho no Brasil entre 1999 e 2010**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012b. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 47).

LEITE, M. S. O. **Análise multiambiental visando a recomendação regionalizada de clones de cana-de-açúcar**. 2011. 72 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

LIN, C. S.; BINNS, M. R. A method of analyzing cultivar x location x year experiment: a new stability parameter. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 76, n. 3, p. 425-430, 1988.

MARTINELLI, A.P. Métodos AMMI, GGE Biplot, REML/BLUPE análise de fatores na estabilidade e estratificação de ambientes de safrinha para seleção de híbridos de milho. 2013. Dissertação de mestrado (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia.

MATOS, P. F.; PESSÔA, V.L.S. Agronegócio no cerrado do sudeste goiano: uma leitura sobre Campo Alegre de Goiás, Catalão e Ipameri. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v. 24, n. 1, p. 37-50, 2012.

MARTINS, M. C; CÂMARA, G. M. S; PEIXOTO, C. P; MARCHIORI, L. F. S; HEIFFIG, L. S. Épocas de semeadura e componentes da produção de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA E MERCOSOJA, 2., 2002, Foz do Iguaçu. **Resumos...** Foz do Iguaçu: EMBRAPA Soja, 2002. p. 117.

MIRANDA, Z. F. S.et. al. Genetic characterization of ninety elite soybean cultivars using coefficient of parentage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, p. 363-396, 2007.

MORAES, D.F., BRITO, C.H. Análise de possível correlação entre as características morfológicas do colmo do milho e o acamamento. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 16 p., 2011.

NETO NETO, A L Produção do milho safrinha no Mato Grosso do Sul. In: XIII Seminário Nacional de Milho Safrinha, 13. 2004, Maringá-PR. Resumos pag 578 a 591, 2004.

PELUZIO, J. M.et. al. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em quatro épocas de semeadura no sul do Estado do Tocantins. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 55, n. 1, p. 34-40, jan./fev.2008.

PEREIRA, H.S., MELO, L.C., FARIA, L.C., DEL PELOSO, M.J. et al. (2009). Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum com grãos tipo carioca na Região Central do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.**, v.44, n.1, p.29-37.

PIMENTEL-GOMES, F. Curso de estatística experimental.13.ed. Piracicaba: Nobel, 1990. 468p.

PINTO, H. E., WANDER, A.E. A formação econômica do sudoeste goiano e suas implicações à luz da teoria dos custos de transação. **Revista de Economia**, Anápolis, v. 12, n. 2, p. 29-41 jul./dez. 2016.

PROBST, A. H.; JUDD, R. W. Origin U.S. history and development and world distribution. In: CALDEWELL, B. E. **Soybeans, improvement, production and uses**. Madison: ASA, 1973. p. 1-15.

- RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. O. **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. Goiânia: UFG, 1993.
- REZENDE, D. F. et. al. Efeito do ambiente no comportamento de genótipos de soja. **Revista Verde**, Mossoró, v. 6, n. 3, p. 1-5, jul./set. 2011.
- RICHETTI, A. **Viabilidade econômica da cultura do milho Safrinha 2018, em Mato Grosso do Sul**. Dourados: EMBRAPA Agropecuária Oeste, 2017. (EMBRAPA Agropecuária Oeste. Comunicado Técnico, 231). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1087320/1/Comunicado_231.pdf>. Acesso em: 29 de setembro de 2018.
- RIBEIRO, P. H. E.; RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de milho em diferentes condições ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 11, p. 2213-2222, 2000.
- RIBEIRO, L.M., SANTOS, P.C.M., PRATA, J. J. T. M., CECCON, G. Caracterização de grupos de genótipos de milho safrinha avaliados em dourados, MS. In: SEMINÁRIO NACIONAL MILHO SAFRINHA, 12., 2013. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2013. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/94833/1/24.LUANCARACTERIZACAO.pdf>>. Acesso em: 29 de setembro de 2018.
- ROCHA, R. B.; MURO-ABAD, J. I.; ARAÚJO, E. F.; CRUZ, C. D. Avaliação do método centroidal para estudo de adaptabilidade ao ambiente de clones de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 3, p. 255-266. 2005.
- ROCHA, M. M.; VELLO, N. A. Interação genótipos e locais para rendimento de grãos de linhagens de soja com diferentes ciclos de maturação. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 1, p. 69-81, 1999.
- SILVA, P.R. da; BISOGNIN, D.A.; LOCATELLI, A.B.; STORCK, L. Adaptability and stability of corn hybrids grown for high grain yield. **Acta Scientiarum**. Agronomy, v.36, p.175-181, 2014.
- SILVA, A.G., FRANCISCHINI, R., MARTINS, P.D.S. Desempenhos agrônomo e econômico de cultivares de milho na safrinha. **Revista Agrarian** 8: 1-11, 2015.
- SIQUEIRA, P. R. E.; COLLARES, A. L.; PERES, G. S. Desempenho de genótipos de soja em semeadura tardia na região da Campanha do Rio Grande do Sul. **Revista Congrega Unicamp**, Bagé, v. 6, n. 4, p. 1-13, 2010.
- SCHLUCHTING, D; TEIXIRA, M. R. O. O. Influência de três épocas de semeadura na região de Dourados –MS, sobre os aspectos fenológicos de cinco cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA E MERCOSOJA, 2., 2002, Foz do Iguaçu. **Resumos...** Foz do Iguaçu: EMBRAPA Soja, 2002.

SINGH, R.J.; HYMOWITZ, T. The genomic relationship between Glycine max (L.) Merr. and G. soja Sieb. and Zucc. as revealed by pachytene chromosome analysis. **Theoretical Applied Genetics**, Berlin, v. 76, p. 705-711, 1988.

SOUSA, L. B.; MATSUO, E.; BORÉM, A. Vulnerabilidade genética da soja às doenças. In: LEMES, E.; CASTRO, L.; ASSIS, R.; (Ed.). **Doenças da soja: melhoramento genético e técnica de manejo**. Campinas: Millennium, 2015, p. 1–14.

STÜLP, M.; BRACCINI, A. L.; ALBRECHT, L. P.; ÁVILA, M. R.; SCAPIM, C.A.; SCHUSTER, I. Desempenho agrônômico de três cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura em duas safras. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, p. 1240-1248, 2009.

THORNLEY, J. H. M. **Mathematical models on plant physiology**. London: Academic Press, 1976.

TSUNECHIRO, A.; COELHO, P. J.; CASER, D.V., BUENO, C. R. F.; PINATTI, E., FILHO, E. P.C.; BINI, D. L. C. Valor da produção agropecuária e florestal do Estado de São Paulo em 2011. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 7, n. 4, abr. 2012. Disponível em: <<http://www.iaa.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=12349>>. Acesso em: 15 maio 2012.

TSUNECHIRO, A.; FERREIRA, C. R. R. P. T. Sucessão soja-milho safrinha no Brasil, 1993–2007. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 9., 2007, Dourados. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007. p. 219-224. (EMBRAPA Agropecuária Oeste. Documentos, 89). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/254934/1/DOC200789.pdf>>. Acesso em: 15 de agosto de 2018.

TSUNECHIRO, A.; GODOY, R. C. B. Histórico e perspectivas do milho safrinha no Brasil. In: SHIOGA, P. S.; BARROS, A. S. R. **A cultura do milho safrinha**. Londrina: IAPAR, 2001.

ZOBEL, R.W., WRIGHT, M.J., GAUCH, H.G. (1988) Statistical Analysis of a Yield Trial. *Agronomy Journal*, 80, 388-393.

WYSMIERSKY, P. T.; VELLO, N.A. The genetic base of Brazilian soybean cultivars: evolution over time and breeding implications. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 36, n.4, p. 547-555, 2013.