



NELSON JÚNIOR DIAS VILELA

**ESTABILIDADE E MANEJO INTEGRADO VISANDO AO
CONTROLE DE FERRUGEM ASIÁTICA POR MEIO DO
EMPREGO DE MULTILINHAS**

**LAVRAS - MG
2019**

NELSON JÚNIOR DIAS VILELA

**ESTABILIDADE E MANEJO INTEGRADO VISANDO AO CONTROLE DE
FERRUGEM ASIÁTICA POR MEIO DO EMPREGO DE MULTILINHAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Adriano Teodoro Bruzi
Orientador

Profa. Dra. Fernanda Carvalho Lopes de Medeiros
Coorientadora

**LAVRAS - MG
2019**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Vilela, Nelson Júnior Dias.

Estabilidade e manejo integrado visando ao controle de
ferrugem asiática por meio do emprego de multilinhas / Nelson
Junior Dias Vilela. - 2019.

95 p. : il.

Orientador(a): Adriano Teodoro Bruzi.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. [Glycine max (L) Merrill].. 2. Phakopsora pachyrhizi. 3.
Adaptabilidade. I. Bruzi, Adriano Teodoro. II. Título.

NELSON JÚNIOR DIAS VILELA

**ESTABILIDADE E MANEJO INTEGRADO VISANDO AO CONTROLE DE
FERRUGEM ASIÁTICA POR MEIO DO EMPREGO DE MULTILINHAS**

**STABILITY AND INTEGRATED MANAGEMENT TO CONTROL ASIAN RUST BY
MULTILINE EMPLOYMENT**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 10 de julho de 2019.

Dra. Flavia Carvalho Santos

REHAGRO

Dr. Silvino Guimarães Moreira

UFLA

Prof. Dr. Adriano Teodoro Bruzi
Orientador

Profa. Dra. Fernanda Carvalho Lopes de Medeiros
Coorientadora

**LAVRAS - MG
2019**

Aos meus pais, Nelson Antonio Vilela e Ilma Maria Leite Dias, e aos demais familiares, pelo carinho e confiança com que sempre me ajudaram, apoiaram e incentivaram para que eu conseguisse chegar até aqui.

Com todo amor, respeito, admiração e gratidão.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Agricultura (DAG), pela oportunidade concedida para a realização do mestrado.

Aos meus pais, Nelson Antonio Vilela e Ilma Maria Leite Dias, pelo apoio incondicional e valores transmitidos.

Aos demais familiares, pelo apoio e ajuda durante todas as etapas da minha formação.

À minha namorada Jéssica Francisco, pelo amor, companheirismo, compreensão e incentivo, e por ser minha fonte de inspiração.

Ao Prof. Dr. Adriano Teodoro Bruzi, pela amizade, orientação, dedicação e ensinamentos que foram essenciais para meu crescimento profissional.

À Prof. Dra. Fernanda Carvalho Lopes de Medeiros, pelos conselhos valorosos, coorientação, ensinamentos e prazerosa convivência.

Aos integrantes do Grupo Pesquisa Soja, pela convivência, amizade, companheirismo, ensinamentos e ajuda na condução dos experimentos.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

A soja é o principal produto do agronegócio brasileiro. No entanto, a cultura é altamente influenciada por fatores decorrentes do meio, como o manejo e os fatores ambientais previsíveis e imprevisíveis. Assim, duas pesquisas foram realizadas neste trabalho com a intenção de ampliar o conhecimento da cultura da soja. No primeiro trabalho objetivou-se comparar o desempenho dos genótipos de soja INOX® com e sem aplicação de fungicida para caracteres agrônômicos, bem como quantificar a eficiência do emprego de multilinhas na cultura da soja, visando o controle da ferrugem asiática. Foram conduzidos dois experimentos distintos, um em casa de vegetação e outro em campo. No primeiro experimento foram avaliadas seis cultivares de soja comerciais (TMG 7060 IPRO, TMG 7063 IPRO, TMG 7262 RR, TMG 7062 IPRO, TMG 7363 RR, TMG 7067 IPRO) e uma multilinha (mistura de linhagens). Os ambientes avaliados foram Lavras e Ijaci na safra 2017/18, e Lavras, Ijaci, Itutinga e Inconfidentes, na safra 2018/19. O delineamento utilizado foi o de blocos completos casualizados, sendo os tratamentos decompostos em parcelas subdivididas em faixas, 4 x 7 (4 manejos de aplicações de fungicida e 6 cultivares + uma multilinha), com três repetições, sendo o número de aplicações nas parcelas e as cultivares nas sub parcelas. O crescente número de aplicações de fungicida foliar aumenta a produtividade de grãos e a maturação absoluta. A cultivar TMG 7067 IPRO apresenta maior média de produtividade de grãos e maturação absoluta. Além dos genótipos utilizados no experimento de campo, foi adicionado uma cultivar suscetível ao segundo experimento, conduzido em casa de vegetação. As plantas foram inoculadas com uredósporos de *P. pachyrhizi*. O delineamento estatístico utilizado foi blocos completos casualizados, com quatro repetições, sendo cada repetição composta por quatro vasos com três plantas por vaso. Não há diferença para os caracteres avaliados entre as cultivares *per se* e a multilinha. Multilinha de cultivares INOX® é eficiente na redução da severidade da ferrugem asiática em soja. No segundo trabalho objetivou-se estudar a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos de soja em diferentes ambientes, bem como a identificação de cultivares que contribuem menos para a interação G x A para as condições de cultivo no Sul de Minas Gerais. Foram avaliadas seis cultivares de soja comerciais e uma multilinha. Os locais avaliados foram Lavras e Ijaci, nas safras 2017/18 e 18/19 e, Itutinga e Inconfidentes, na safra 2018/19, sendo que foram instalados em cada local, quatro experimentos, totalizando vinte e quatro ambientes. O delineamento experimental adotado foi o de blocos completos casualizados com três repetições em esquema fatorial. A mistura de linhagens é uma estratégia eficiente para aumentar a estabilidade fenotípica em soja. A multilinha e a cultivar TMG 7063 IPRO apresentam ampla estabilidade e adaptabilidade. A cultivar TMG 7067 IPRO apresenta o maior índice de confiança com grande contribuição para a interação.

Palavras-chave: [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Phakopsora pachyrhizi*. Adaptabilidade. Fungicida. Severidade. Produtividade de grãos. Maturação absoluta.

ABSTRACT

Soy is the main product of Brazilian agribusiness. However, the culture is highly influenced by environmental factors such as management and predictable and unpredictable environmental factors. Thus, research was carried out in this work with the intention of increasing the knowledge of the soybean crop. The first work aimed to compare the performance of INOX® soybean genotypes with and without application of fungicide to agronomic characters, as well as to quantify the efficiency of the use of multilines in soybean crop aiming at controlling Asian rust. Two different experiments were conducted, one in a greenhouse and another in the field. In the first experiment six commercial soybean cultivars were evaluated (TMG 7060 IPRO, TMG 7063 IPRO, TMG 7262 RR, TMG 7062 IPRO, TMG 7363 RR, TMG 7067 IPRO) and also a multiline (mixture of strains). The evaluated environments were Lavras and Ijaci in the 2017/18 crop, and Lavras, Ijaci, Itutinga and Inconfidentes in the 2018/19 crop. A randomized complete block design was used, and the treatments were divided into plots subdivided into strips, 4 x 7 (4 managements of fungicide applications and 6 cultivars + one multiline), with three replications, being the number of applications in the plots and the cultivars in the subplots. The increasing number of foliar fungicide applications improves on grain yield and absolute maturity. The cultivar TMG 7067 IPRO presented higher average grain yield and absolute maturity. In addition to the genotypes used in the field experiment, a susceptible cultivar was added to the second experiment conducted in a greenhouse. Plants were inoculated with *P. pachyrhizi* uredospores. The statistical design used was a randomized complete block with four replications, each repetition consisting of four pots with three plants per pot. There is no difference for the evaluated characters between the cultivars per se and the multiline. Multiline cultivar INOX® is effective in reducing the severity of Asian rust in soybeans. The second work aimed to study the adaptability and stability of soybean genotypes in different environments as well as the identification of cultivars that contribute less to the G x E interaction for growing conditions in southern Minas Gerais. Six commercial soybean cultivars and one multiline were evaluated. The evaluated sites were in Lavras and Ijaci in the 2017/18 and 2018/2019 crops, and Itutinga and Inconfidentes in the 2018/2019 crop, and four experiments were installed in each location, totaling twenty-four environments. The experimental design was a randomized complete block design with three replications in a factorial scheme. The mixture of strains is an efficient strategy to increase the phenotypic stability in soybean. The multiline and cultivar TMG 7063 IPRO have broad stability and adaptability. The cultivar TMG 7067 IPRO presents the highest confidence index with great contribution to the interaction.

Keywords: [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Phakopsora pachyrhizi*. Adaptability. Fungicide. Severity. Grain Productivity. Absolute maturation.

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1	9
1	INTRODUÇÃO	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	A cultura da soja.....	11
2.2	Ferrugem asiática da soja (FAS).....	13
2.3	Alternativas visando o controle da ferrugem asiática.....	16
2.4	Interação GA e emprego de multilinhas	18
	REFERÊNCIAS	22
	CAPÍTULO 2 – APLICAÇÕES DE FUNGICIDA E CULTIVARES INOX® EM MULTILINHA VISANDO O CONTROLE DE FERRUGEM ASIÁTICA EM SOJA	28
1	INTRODUÇÃO	29
2	MATERIAL E MÉTODOS	32
3	RESULTADOS	41
4	DISCUSSÃO	50
5	CONCLUSÕES	55
	REFERÊNCIAS	56
	CAPÍTULO 3 – HOMEOSTASE DE CULTIVARES <i>PER SE</i> E EM MISTURA EM DIFERENTES AMBIENTES NA CULTURA DA SOJA	60
1	INTRODUÇÃO	62
2	MATERIAL E MÉTODOS	64
3	RESULTADOS	71
4	DISCUSSÃO	76
5	CONCLUSÕES	79
	REFERÊNCIAS	80
	APÊNDICES.....	83
	APÊNDICE A	83

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

O Brasil colheu 236,7 milhões de toneladas de grãos em 2018/2019 em uma área de 62,8 milhões de hectares. A soja [*Glycine max (L.) Merr.*] se destacou como a principal cultura semeada. Atualmente, corresponde a cerca de 57% da área total de grãos no país. Durante a safra 2018/2019, foram colhidas 114,3 milhões de toneladas, o que proporciona ao Brasil o título de segundo maior produtor de soja do mundo (CONAB, 2019).

A cultura da soja é altamente influenciada pelo ambiente. Segundo Soares et al. (2015), o crescimento e desenvolvimento da soja e, conseqüentemente, o rendimento de grãos, resultam da interação entre as cultivares e os fatores decorrentes do meio, como o manejo fitossanitário e os fatores ambientais previsíveis e imprevisíveis.

Por seu turno, Assis (2015), relata que as doenças são um dos principais fatores que limitam o rendimento, a lucratividade e o sucesso de sua produção. Globalmente, mais de 100 doenças são listadas na cultura da soja (JULIATTI, 2018), das quais, aproximadamente, 50 já foram identificadas no Brasil. Com o aumento e a expansão das áreas produtivas de uma única cultura, a importância das doenças aumenta, elevando-se anualmente o risco de impactos econômicos consideráveis, aliado à flutuação das condições climáticas. Estima-se que as perdas anuais de produção devido a doenças sejam de 15 a 20%, porém, algumas podem chegar a até 100% (QUINEBRE, 2014).

A ferrugem asiática da soja (FAS), causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, é um dos principais problemas fitossanitários da cultura (GODOY et al., 2016). O dano causado pela FAS é a redução no número de vagens, grãos e seu peso, devido a desfolha prematura da planta. O controle de doenças exigiu uma combinação de práticas culturais para minimizar danos e perdas. O uso de fungicidas é a estratégia mais utilizada para o controle da FAS, embora algumas populações do patógeno tenham mostrado maior tolerância a certos ingredientes ativos (GODOY et al., 2016; FRAC, 2018). Com esse novo cenário, estratégias de controle, como o uso de resistência genética, são desejáveis para o gerenciamento eficiente da cultura.

Devido a influência dos fatores ambientais na expressão fenotípica, espera-se que exista interação dos genótipos x ambientes, isto é, que o comportamento das diferentes linhagens e/ou cultivares não seja coincidente nos ambientes avaliados (RAMALHO et al., 2012). É esperado também, que a estrutura genética da população influencie a magnitude da

interação genótipo-ambiente. Com isso, a identificação de indivíduos mais estáveis frente às variações ambientais é um fator de grande importância e tem sido alvo de muitos estudos (CARNEIRO, 2017).

Uma possibilidade que tem sido reconhecida para aumentar a estabilidade de cultivo é a diversidade biológica (ALLARD, 1961), devido aos efeitos de compensação, de complementação e de facilitação em material heterogêneo. É esperado que culturas heterogêneas sejam mais estáveis ao longo do tempo do que linhagens, que são geneticamente homogêneas (BECKER; LEON, 1988). Uma alternativa para garantir maior heterogeneidade em culturas completamente homogêneas é a adoção de uma multilinha (CARNEIRO, 2017).

Multilinha corresponde a uma mistura de genótipos que apresentam caracteres morfológicos e fenológicos semelhantes e que, se possível, tenham diferentes alelos de resistência de diferentes genes (BOTELHO et al., 2011).

Diversos trabalhos já foram realizados no intuito de comparar o desempenho entre linhas puras e a mistura de genótipos, como os de Nogueira et al. (2005), em cafeeiro; de Amaral (2016) na cultura do eucalipto, de Botelho et al. (2011) e Bruzi, Ramalho e Abreu (2007), na cultura do feijoeiro, e de Carneiro (2017) na cultura da soja. O sucesso de multilinhas e misturas de cultivares em reduzir a incidência de patógenos quando comparadas às linhas puras, tem sido observado em algumas oportunidades, tais como maçã, arroz, sorgo e feijão (DIDELLOT et al., 2007; BOTELHO et al., 2011; COSTA et al., 2012; RABOIN et al., 2012; SOUZA et al., 2013). No entanto, não foram encontrados relatos da utilização desta estratégia para resistência a doenças na cultura da soja no Brasil, até o presente momento.

Diante do exposto, objetivou-se comparar o desempenho de cultivares INOX® de soja com e sem aplicação de fungicida para os caracteres agrônômicos, quantificar a eficiência do emprego de multilinhas na cultura da soja visando ao controle da ferrugem asiática e estudar a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos de soja em diferentes ambientes, bem como a identificação de cultivares que contribuem menos para a interação G x A para as condições de cultivo em clima tropical de altitude.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura da soja

A soja (*Glycine max (L.) Merrill*) é uma planta originária da China que foi domesticada há cerca de cinco mil anos, à partir da espécie silvestre *Glycine soja* (HYMOWITZ, 1970). A sua comercialização iniciou-se no século XVII, embora restrito aos países orientais, como China e Japão. Segundo Câmara (2011), no final do século XV e início do século XVI, a leguminosa foi trazida para o ocidente através de navios europeus e foi introduzida na Europa como planta ornamental. A partir deste ponto, foram realizados estudos científicos acerca da produtividade e do desenvolvimento da espécie. O interesse pelo cultivo da soja se deu no fim do século XIX e início do século XX, quando os norte-americanos iniciaram a sua exploração comercial, primeiro como forrageira e, posteriormente, como grãos.

No Brasil, as mais antigas citações encontradas na literatura sobre soja se referem a experimentos conduzidos na Bahia por Gustavo Dutra em 1882. No entanto, a cultura apresentou baixa adaptação a latitude do estado, e novas cultivares foram introduzidas nos estados de São Paulo e Rio Grande do Sul, em 1891, as quais obtiveram um melhor desempenho (SEDIYAMA; SILVA; BORÉM, 2015).

No Rio Grande Sul, a soja reencontrou condições favoráveis para se desenvolver e expandir, devido à semelhança climática com o local de origem dos cultivares nos Estados Unidos. Em meados dos anos 50, com a política de incentivos fiscais à produção de trigo, a soja passou a ser praticada em larga escala, sendo adotada como a melhor opção para o cultivo de verão na rotação com o trigo de inverno (EMBRAPA, 2004).

A partir da década de 70, com a melhora do preço no mercado mundial, o cultivo da soja passou a ter maior importância entre as culturas implantadas no Brasil. Nesse momento, os estados do Rio Grande do Sul e Paraná eram os principais produtores do grão no país. O desenvolvimento de cultivares adaptadas para diferentes regiões e investimentos em pesquisas permitiram a expansão do cultivo para áreas de cerrado, o que colocou o Brasil como destaque entre os principais produtores de soja no mundo (BORÉM, 2005).

A sojicultura contribuiu para uma revolução socioeconômica e tecnológica das lavouras brasileiras, proporcionando progresso e desenvolvimento de atividades agrícolas. O processo de mecanização e investimentos em novas tecnologias foi maximizado, o que resultou na expansão da fronteira agrícola, na profissionalização e no incremento de

transações comerciais internacionais. Isso ajudou a impulsionar outras áreas da agroindústria nacional, como a suinocultura e avicultura (EMBRAPA, 2014).

O Brasil colheu 236,7 milhões de toneladas de grãos em 2018/2019, em uma área de 62,8 milhões de hectares, e a soja (*Glycine max (L.) Merr.*) se destacou como a principal cultura semeada. Atualmente, corresponde à cerca de 57% da área total semeada com grãos no país. A boa rentabilidade da cultura estimulou os produtores a cultivá-la (CONAB, 2019).

O Brasil está situado no mercado internacional como o segundo maior produtor mundial de soja, atrás somente dos Estados Unidos. O grão de soja é extremamente importante, não só como fonte de alimento, mas também como fonte de energia renovável (EMBRAPA, 2014). A região Centro-Oeste é responsável por quase metade da produção nacional, e juntamente com a região Sul, contribui com mais de 78% da produção nacional. Em uma visão geral, a soja passou de uma área cultivada de 6,9 milhões de hectares na safra 1976/77, com produção de 12,1 milhões toneladas, para 35,8 milhões de hectares na safra 2018/19, com produção total estimada de 114,3 milhões de toneladas. Nota-se grande aumento na produtividade média nacional, que passou de 1.748 kg.ha⁻¹ para 3.193 kg.ha⁻¹, respectivamente (CONAB, 2019).

O complexo agroindustrial da soja tem expressiva importância socioeconômica para o Brasil, pois movimenta um amplo número de agentes e organizações ligados aos mais diversos setores socioeconômicos, como empresas de pesquisa e desenvolvimento, fornecedores de insumos, indústrias de máquinas e equipamentos, produtores rurais, cooperativas agropecuárias, cooperativas agroindustriais, processadoras, produtores de óleo, fabricantes de ração e usinas de biodiesel, dentre outras. Em outros termos, o supracitado complexo é um vital gerador de riquezas, empregos e divisas, se transformando em um dos principais vetores de desenvolvimento regional do país (EMBRAPA, 2014).

Nesta safra, houve redução na produtividade, ocasionada por adversidades climáticas severas, em importantes estados produtores, como Mato Grosso do Sul, Goiás, São Paulo e Paraná, quando comparada à excelente produtividade da safra passada. Ainda assim, as lavouras com espécies de ciclo médio e tardio foram menos impactadas por essas intempéries climáticas, o que suavizou a previsão de diminuição do rendimento médio (CONAB, 2019).

Visto que a demanda por alimentos e fontes bioenergéticas como a soja é crescente, cada vez mais se torna necessário ampliar a produção brasileira do grão, associando o aumento de produtividade, a adaptação da cultura a novas áreas agricultáveis e sistemas de produção agrícolas mais eficientes e sustentáveis.

2.2 Ferrugem asiática da soja (FAS)

Até 1992, a *P. pachyrhizi* foi reconhecida como a única espécie que causa a ferrugem da soja, mas Ono, Buriticá, Hennen (1992) desenvolveram um estudo detalhado da comparação entre isolados americanos e asiáticos. Eles demonstraram que os isolados da Ásia e Austrália eram morfologicamente distintos da patogênese dos isolados americanos, sendo proposta a separação do agente causal da ferrugem da soja em duas espécies. Então, deram o nome de *Phakopsora pachyrhizi* do Hemisfério Oriental (Ásia e Austrália) e *Phakopsora meibomia* do Hemisfério Ocidental.

P. pachyrhizi foi relatada pela primeira vez no Japão, em 1903. Nas primeiras décadas desse século, a ferrugem da soja foi descrita em todo o Hemisfério Oriental, mas com registros de epidemias severas apenas nas regiões tropicais e subtropicais da Ásia e Austrália (BROMFIELD, 1984; GRAU et al., 1999).

Phakopsora pachyrhizi é nativo do leste da Ásia e Oceania e era exclusivo dessas regiões até o início da década de 50. Em 1951, foi identificada a ferrugem asiática na Índia (SHARMA; MEHTA, 1996), e em 1994 no Havaí, EUA (KILLGORE; HEU; GARDNER, 1994). Durante a segunda metade da década de 90, o patógeno disseminou-se pelo continente africano (LEVY, 2005).

Deslandes (1979) descreveu dentro de campos de teste de soja, a presença de ferrugem na cidade de Lavras (MG), esta questão levantou um risco potencial para a produção dos Brasil. A não confirmação de possíveis danos, ao longo dos anos, reduziu a prioridade da pesquisa em doenças. Na safra 1990/91, a ferrugem desenvolveu epidemias em Minas Gerais e no Distrito Federal. Estes surtos esporádicos, principalmente em cultivares suscetíveis, indicaram o potencial destrutivo da doença. Em áreas experimentais da Universidade Federal de Uberlândia, houve ferrugem severa em cultivares suscetíveis, como a MG/BR 46 (Conquista) (JULIATTI et al., 2003).

Apesar do achado de *P. pachyrhizi* em amostras, o primeiro relato da doença (YORINORI, 2002) é considerado no início dos anos 2000. Esse ano foi marco inicial da ferrugem asiática no continente americano, pois a partir desta data, a doença foi rapidamente disseminada pelo Hemisfério Ocidental e começou a ocorrer em níveis epidêmicos nos principais estados produtores de soja no Brasil, causando danos de 10 a 80% na produção. O custo dos danos causados pela ferrugem, de 2002/2003 a 2016/2017, atingiu o montante de US \$ 15 bilhões (EMBRAPA, 2017).

Os sintomas da doença são caracterizados por pequenos pontos com coloração pardo-avermelhado na parte adaxial (superior) das folhas. Na face abaxial (inferior) das folhas os sintomas iniciais são visualizados com uma ou mais urédias, que ao romper liberam uredosporos, no qual formam pequenas pústulas foliares que são classificadas conforme a coloração da lesão, ou seja, se for do tipo castanho claro, com muitos soros urediniais e muitos esporos, a lesão é denominada do tipo TAN. Se a lesão apresentar coloração castanho avermelhada, com poucos soros urediniais e pouco ou nenhum esporo, a lesão é denominada do tipo *reddish brown* ou RB. Vale ressaltar, que com a lesão do tipo RB, após a infecção do patógeno, as células do hospedeiro próximas ao local de infecção morrem, devido a uma reação de hipersensibilidade (RIBEIRO, 2009).

Em geral, as condições climáticas ideais para a cultura favorecem o estabelecimento e o desenvolvimento da doença. O fungo infecta as plantas em temperaturas que variam de 10 a 27,5°, e quando o período mínimo de orvalho é de 6 horas (NARVAEZ et al., 2007). O molhamento contínuo das folhas, causado pelo orvalho ou pela chuva, também favorece o desenvolvimento da doença, considerando que a chuva é um fator importante na determinação dos níveis epidêmicos no campo (DEL PONTE et al., 2006).

A sobrevivência do fungo ao longo do ano depende da continuidade da produção de uredósporos em um hospedeiro adequado. Juntamente com a soja, mais de 90 outras espécies de leguminosas são hospedeiros de *P. pachyrhizi* (SLAMINKO et al., 2008).

Em todo o mundo, as áreas de produção de soja onde a FAS ocorre podem ser divididas em dois tipos: onde o fungo sobrevive o ano todo se houver um hospedeiro adequado, e onde as epidemias de ferrugem dependem da dispersão de longa distância do inóculo de uma fonte (LI et al., 2010). As condições ambientais em grande parte do Brasil, Paraguai e Bolívia, são propícias à sobrevivência do patógeno durante todo o ano, enquanto a ocorrência de epidemias de ferrugem na Argentina e nos Estados Unidos depende da dispersão de uredósporos produzidos em áreas distantes dessas regiões (PIVONIA; YANG, 2004; LI et al., 2010).

Antes da introdução de *P. pachyrhizi* no Brasil, a semeadura da soja para produção de sementes foi uma prática comum na entressafra sob irrigação (junho a setembro), principalmente na região do Cerrado. Após a introdução da FAS, estas áreas de soja transformaram uma ponte verde para o fungo sobreviver durante a entressafra (EMBRAPA, 2013). Isso foi observado na safra regular, em que a incidência de ferrugem foi registrada durante a fase vegetativa da soja semeada em áreas próximas. Na safra 2003/2004, a ferrugem foi relatada 25 dias após a germinação nos municípios de Sorriso, Campo Novo do Parecis,

Campos de Júlio, Sapezal e Primavera do Leste, no estado de Mato Grosso, e no município de Goiânia, no estado de Goiás, Brasil (GODOY et al., 2016).

Com o objetivo de reduzir o inóculo, a partir de 2005, a recomendação técnica foi adotar um período sem soja, de 90 dias sem a soja irrigada e sem a utilização voluntária de soja nos campos. No entanto, devido a liberação de soja *Roundup Ready* (Monsanto Company, Saint Louis, MO, EUA) no mesmo ano, a soja irrigada foi semeada na entressafra para multiplicar as sementes além do recomendado. Na entressafra de 2005, foram semeados 16.000 ha de soja no município de Primavera do Leste, no estado do Mato Grosso (GODOY et al., 2016).

Na safra 2005/2006, a ferrugem foi reportada novamente no estágio vegetativo, em áreas irrigadas do município de Guaíra, no estado de São Paulo, e dos municípios de Primavera do Leste e Alto Garças, no estado de Mato Grosso. Em Primavera do Leste, a ferrugem foi observada 18 dias após a germinação, exigindo até sete aplicações de fungicida para seu controle (GODOY et al., 2016).

Em 2004, a unidade de pesquisa Embrapa Soja, localizada no estado do Paraná, lançou um projeto de sistema de alerta. Este sistema foi projetado para informar a assistência técnica, pública e privada, sobre os problemas detectados durante a estação de crescimento, para orientar possíveis soluções e capturar informações sobre o desempenho da cultura nas diversas regiões produtoras. De 2004/2005 a 2006/2007, o sistema de alerta hospedou o mapa de ocorrências FAS, um sistema em tempo real usado para monitorar a distribuição da doença em todo o Brasil. Desde 2007/2008, o Consórcio Antiferrugem também está hospedado no site (CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, 2015).

Programas para monitorar doenças são importantes para culturas com ampla distribuição geográfica ou para doenças que podem causar perdas econômicas rápidas e grandes, tais como a requeima da batata (KRAUSE; MASSIE, 1975), ferrugem nas culturas de cereais (VERREET; KLINK; HOFFMANN, 2000), e ferrugem da soja nos Estados Unidos (SIKORA et al., 2014).

A temporada oficial de cultivo de soja no Brasil começa em 16 de setembro, após o término do primeiro período sem soja. Após a implementação da restrição de soja na entressafra, a FAS tende a iniciar em novembro, com exceção de anos com eventos El Niño, como observado em 2009/2010. No entanto, as ocorrências iniciais da doença podem variar entre as estações de crescimento. Portanto, os esforços de monitoramento são para relatar com precisão as primeiras ocorrências, para alertar os produtores sobre a necessidade de iniciar o controle com fungicidas (GODOY et al., 2016).

2.3 Alternativas visando o controle da ferrugem asiática

Dentre as estratégias de manejo que visam o controle da ferrugem asiática da soja no Brasil, pode-se destacar: o vazio sanitário, a utilização de cultivares precoces, a semeadura no início da época recomendada, o uso de cultivares com gene(s) de resistência e o uso de fungicidas (EMBRAPA, 2017).

Em 2006, os estados de Mato Grosso, Goiás e Tocantins implementaram o período sem soja. Em 2007, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil, implementou o Programa Nacional de Controle da Ferrugem Asiática da Soja. De acordo com este programa, todos os estados devem avaliar a necessidade de implementar ou não o período livre de soja com um mínimo de 60 dias no período de entressafra (GODOY et al., 2016).

Atualmente, 12 estados adotaram o período sem soja, três de 60 dias (Pará, Maranhão e Bahia) e nove de 90 dias. O período de 90 dias, recomendado pelo Consórcio Antiferrugem, incluiu uma margem de segurança para o período de sobrevivência dos esporos, que foi de 55 dias em folíolos infectados armazenados à sombra (CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, 2015).

Apesar do período de 60 a 90 dias sem soja, a extensa janela de semeadura fornece uma grande quantidade de inóculo para a soja tardia e um início precoce da doença, o que aumenta o número de aplicações de fungicidas e reduz os intervalos de aplicação. Para reduzir a pressão de seleção para a resistência a fungicidas causada pelo grande número de aplicações de fungicidas em *P. pachyrhizi*, desde 2014, os estados de Goiás e Mato Grosso também estabeleceram um limite de data de semeadura até 31 de dezembro (CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, 2015).

As primeiras semeaduras realizadas após o vazio tendem a apresentar sintomas da doença a partir da fase de formação de vagens/enchimento de grãos. À medida que as semeaduras avançam, esporos do fungo das primeiras áreas semeadas migram para as áreas tardias, antecipando a ocorrência da doença e necessitando de maior número de aplicações para o controle da ferrugem-asiática. Vários estados definiram datas limites de semeadura, visando reduzir o número de pulverizações ao longo da safra e, com isso, reduzir a pressão de seleção de resistência do fungo aos fungicidas (EMBRAPA, 2017).

Além da estratégia do vazio sanitário que consiste no período de ausência de plantas vivas da cultura no campo, com o objetivo de reduzir a quantidade de uredósporos no ambiente na entressafra, outras estratégias adicionais devem ser consideradas para o sucesso do controle da FAS. A resistência natural é uma alternativa comum explorada por melhoristas de plantas para o controle de doenças e envolve a implantação de fontes naturalmente

resistentes. Para FAS, pode reduzir o custo do controle químico, melhorar a eficiência e reduzir a pressão de seleção para resistência a fungicidas (GODOY et al., 2016).

A reação de resistência de plantas de soja a *P. pachyrhizi* é frequentemente controlada por genes de resistência específicos que interagem com genes de avirulência do patógeno. Isso leva a uma interação genética específica que culmina na imunidade desencadeada, envolvendo a produção de espécies reativas de oxigênio e hipersensibilidade, resposta no local da infecção (PETER; JOHN, 2010). Essa interação envolve o desenvolvimento de raças patogênicas que diferem em genes de avirulência para um determinado gene de resistência de plantas.

Para explorar a variação natural da resistência, o rastreamento de germoplasma em larga escala tem sido empregado juntamente com marcadores moleculares e/ou clonagem posicional, para identificar genes de resistência que conferem resistência em uma ampla gama de germoplasma de plantas cultivadas e seus parentes silvestres. Até agora, mais de 1.600 acessos de soja foram testados quanto à resistência ou tolerância à FAS, mas poucas fontes adicionais foram identificadas. Nenhuma linhagem de soja foi encontrada com resistência de amplo espectro a todos os isolados de *P. pachyrhizi* (MILES; FREDERICK; HARTMAN, 2006; MILES et al., 2008).

Embora haja pesquisadores investigando a resistência genética contra *P. pachyrhizi* (WALKER et al., 2011), ainda não estão disponíveis cultivares resistentes a todas as raças desse fungo (CALVO et al., 2008; GOELLNER et al., 2010), sendo o controle através de pulverizações com fungicidas ainda a alternativa mais viável na redução das perdas de produtividade (LEVY, 2005).

Outra alternativa para o controle da FAS é o controle químico. Baseado no espectro de ação, os fungicidas podem ser classificados em sítio-específicos ou multissítios (MCGRATH, 2004).

Fungicidas sítio-específicos são ativos contra um único ponto da via metabólica de um patógeno ou contra uma única enzima ou proteína necessária para o fungo. Uma vez que esses fungicidas são específicos em sua toxicidade, eles podem ser absorvidos pelas plantas e tendem a ter propriedades sistêmicas (MCGRATH, 2004). Dentre os principais modos de ação sítio-específicos utilizados no controle da ferrugem-asiática destacam-se os inibidores da desmetilação (IDM, 'riazóis'), os inibidores de quinona externa (IQe, 'estrobilurinas') e os inibidores da succinato desidrogenase (ISDH, 'carboxamidas'). Como resultado dessa ação específica, os fungos são mais propensos a se tornarem resistentes a tais fungicidas, pois uma única mutação no patógeno pode reduzir a sensibilidade ao fungicida (EMBRAPA, 2017).

A resistência a fungicidas é uma resposta evolutiva natural dos fungos a uma ameaça externa para sua sobrevivência, nesse caso, o fungicida. Quando fungicidas com modo de ação específico começam a ser aplicados, tendem a eliminar populações mais sensíveis do patógeno, aumentando a frequência das populações menos sensíveis. A resistência a fungicidas pode ser cruzada, ou seja, isolados de fungos que são resistentes a um fungicida podem ser resistentes a outros fungicidas com o mesmo modo de ação, mesmo que não tenham sido expostos a esses outros fungicidas (BRENT; HOLLOMON, 2007). Populações de *P. pachyrhizi* menos sensíveis aos IDM, IQe e ISDH já foram relatadas no Brasil (SCHMITZ et al., 2014; KLOSOWSKI et al., 2016; SIMÕES et al., 2018).

Fungicidas multissítios afetam diferentes pontos metabólicos do fungo e apresentam baixo risco de resistência. Não são absorvidos pela planta e formam uma camada protetora na superfície da folha, sendo mais facilmente lavados com chuvas (MCGRATH, 2004). Em razão da menor sensibilidade de fungos aos fungicidas sítio-específicos na cultura da soja, fungicidas multissítios têm sido reavaliados para aumentar as opções de controle de doenças na cultura (EMBRAPA, 2018).

Outro fator que merece atenção no controle da ferrugem asiática é o momento ideal para a realização da primeira aplicação do fungicida, sendo as pulverizações realizadas preventivamente ou imediatamente após a detecção dos primeiros sintomas da doença as mais eficientes (MUELLER et al., 2009).

Em razão das populações de *P. pachyrhizi* menos sensíveis aos IDM, IQe e ISDH relatadas no Brasil, deve-se incluir todas as estratégias de controle para a ferrugem-asiática dentro de um Programa de Manejo Integrado de Doenças (MID) da soja (EMBRAPA, 2017).

2.4 Interação GA e emprego de multilinhas

O fenótipo de um indivíduo é influenciado pelo genótipo que é a constituição genética do mesmo, e pelo ambiente que pode ser definido como o conjunto das condições que afetam o crescimento e desenvolvimento do organismo. Dessa forma, o fenótipo (F) a ser obtido será o resultado da ação do genótipo (G) e do ambiente (A), ou seja, $F = G + A$ (RAMALHO et al., 2012).

Entende-se por interação genótipos x ambientes, o comportamento diferente de genótipos quando cultivados em ambientes distintos. Essas variações podem ser classificadas como: previsíveis, quando decorrem de fatores ambientais sistemáticos ou estão sob o controle do homem, como épocas de semeadura, espaçamento, níveis de adubação, tipo de

solo, dentre outros; ou imprevisíveis, quando flutuam de forma inconsistente ao longo dos anos, como precipitação pluviométrica, ventos, incidência de insetos-praga e doenças, dentre outros (ALLARD; BRADSHAW, 1964).

Devido a influência dos fatores ambientais na expressão fenotípica, espera-se que exista interação dos genótipos x ambientes, isto é, que o comportamento das diferentes linhagens e/ou cultivares não seja coincidente nos ambientes avaliados (RAMALHO et al., 2012).

Na presença da interação é possível se adotar três estratégias distintas, isto é, identificação de cultivares específicas para cada ambiente; realizar a estratificação ambiental em regiões as quais o componente da interação é minimizado; avaliação e identificação de cultivares com mais adaptabilidade/estabilidade fenotípica (PELÚZIO et al., 2008).

O termo estabilidade é empregado para se referir à maior ou à menor habilidade de genótipos em se adaptarem às flutuações climáticas, ao longo de anos agrícolas, dentro de um dado local (RAMALHO et al., 2012).

Existem diversos métodos para se estudar a estabilidade de cultivares (KANG; GAUCH JR., 1996; CRUZ et al., 2004; RAMALHO et al., 2012). No estado de Minas Gerais, alguns trabalhos foram realizados no intuito de avaliar a adaptabilidade e a estabilidade de diferentes genótipos de soja, como os trabalhos de Soares et al. (2015), Silva et al. (2016), e Gesteira et al. (2018).

Uma possibilidade que tem sido reconhecida para aumentar a estabilidade de cultivo é a diversidade biológica (ALLARD, 1961), devido aos efeitos de compensação, de complementação e de facilitação em material heterogêneo. É esperado que a estrutura genética das populações influencie de forma distinta a interação genótipos x ambientes. Genótipos heterozigotos, assim como populações heterogêneas, são menos sensíveis às influências ambientais do que genótipos homozigotos e homogêneos (BECKER; LEON, 1988). Uma alternativa para garantir maior heterogeneidade em culturas completamente homogêneas é a adoção de uma multilinha.

Na literatura é relatado que as cultivares de plantas autógamas, por apresentarem a maioria dos locos em homozigose, denotam menor capacidade de tamponamento individual, ou seja, estão mais suscetíveis aos estresses bióticos e abióticos. Sendo assim, a escolha de estratégias para melhor adaptação ao efeito das flutuações ambientais previsíveis e imprevisíveis requer cuidadosa escolha da estrutura genética das populações (BRUZI et al., 2007). Uma estratégia que vem sendo pesquisada é o uso de uma multilinha, ou seja, uma

mistura de genótipos. Em teoria, a mistura de genótipos teria uma maior homeostase populacional e se mostraria, então, mais estável que a linha pura (CARNEIRO, 2017).

A mistura de plantas visando o controle de doenças consiste em utilizar multilinhas (misturas de linhagens com características fenotípicas e agronômicas semelhantes) ou misturas de cultivares (agronomicamente compatíveis e uniformes), e se assemelha, na realidade, à piramidação de genes de resistência, porém, em diferentes genótipos, e não em um único (WOLFE, 1985; MUNDT, 2002; MUNDT, 2014). A utilização de linhagens agronomicamente semelhantes nas multilinhas torna-se uma estratégia promissora devido à maior durabilidade da resistência e melhor estabilidade no rendimento da cultura quando esta é afetada por alguma patologia e existe grande variabilidade patogênica (WOLFE, 1993; MUNDT, 2002; BOTELHO et al., 2011).

Os princípios da teoria de misturas foram originalmente elaborados para resistência a doenças e seriam uma mistura de dois componentes, que consiste em misturar uma cultivar suscetível e uma cultivar totalmente resistente (LEONARD, 1969). Uma mistura de cultivares com diferentes reações de resistência reduz a taxa de doença, pois um grande número de esporos é depositado em cultivares resistentes, diluindo assim, o inóculo que cai nos hospedeiros suscetíveis. Assim, a heterogeneidade espacial de uma mistura de genótipos cria uma barreira física para a propagação da doença. O que se espera com o uso de multilinhas é reduzir a disseminação de patógenos e, assim, aumentar a durabilidade da resistência (MUNDT, 2002).

Para alcançar êxito na utilização de multilinhas é necessário identificar linhagens com diferentes reações de resistência aos patógenos relevantes de determinada cultura e selecionar as que apresentarem boa capacidade de compensação em mistura, ou seja, linhagens com boa complementação (JENSEN, 1952).

Trabalhos recentes têm relatado a eficiência do uso de misturas de cultivares e de multilinhas como estratégia de controle de doenças em várias culturas. Em maçã, Didelot Brun e Parisi (2007) verificaram redução na incidência e na severidade da sarna, causada pelo fungo *Venturia inaequalis*, quando avaliaram duas misturas diferentes de cultivares e cada cultivar plantadas em monocultivo. Raboin et al. (2012), investigando o uso de misturas com diferentes proporções de cultivares suscetíveis a 100 isolados de *Magnaporthe oryzae*, obtiveram resultados que comprovam eficiência das misturas na redução de brusone do arroz.

Dois trabalhos de referência na utilização de multilinhas na cultura da soja foram realizados por (SCHUTZ; BRIM, 1968; 1971). Em um desses trabalhos estudou-se o desempenho agrônomico das linhagens e das multilinhas e, no outro, a estabilidade das

mesmas. Foram testadas dez possíveis misturas, duas a duas e três a três, entre as cultivares Hill, Lee, Ogden e Jackson, além de suas linhas puras. Todas as dez misturas testadas excederam o rendimento médio de seus componentes, enquanto sete das misturas tiveram rendimento superior (embora não significativamente) ao do melhor componente das misturas.

Os autores concluíram que o aumento da produtividade estava intimamente associado ao fato de não haver prejuízo por competição entre as plantas. Para proceder ao estudo da estabilidade das misturas e seus componentes, foram estimadas as contribuições relativas das linhas puras e das misturas para as interações com o local e com o ano agrícola, por regressão. Foi observado que as misturas eram, geralmente, mais estáveis do que as linhas puras, com o grau de estabilidade aparentemente dependendo do tipo de interação competitiva envolvida. Os autores concluíram que os efeitos de ocorrência de competições complementares e supercompensatórias parecem ser essenciais para se obter um alto grau de estabilidade em uma população heterogênea. Segundo Carneiro (2017), a mistura de linhagens é uma estratégia eficiente para aumentar a estabilidade fenotípica em soja.

Há relatos também da utilização de multilinhas em outras culturas. Nogueira et al. (2005), em estudo para verificar a eficiência da utilização de multilinhas em cafeeiro, concluíram que a mistura de linhagens de Catuaí Vermelho ou de Catuaí Amarelo mostrou-se mais produtiva e vigorosa, em comparação ao plantio individual. Amaral (2016), ao estimar parâmetros de competição entre clones de eucalipto, concluiu que o desempenho produtivo em mistura e em plantio individual foi semelhante, não havendo prejuízo na utilização da multilinha, por isso, a mistura poderia ser um seguro quanto a um possível risco de acometimento de doenças e pragas, diminuindo a vulnerabilidade genética dos plantios monoclonais.

Segundo Helland e Holland (2001), através da adoção de multilinhas é possível reduzir a ocorrência de doenças e aumentar assim, a estabilidade de cultivo, pelo fato de diminuir na população de plantas o número de genótipos suscetíveis, o que reduz a dispersão do agente patogênico. Em feijoeiro, Botelho et al. (2011) concluiu que a utilização de misturas constituídas por linhagens de feijoeiro com diferentes padrões de resistência a *Colletotrichum lindemuthianum*, representa uma boa estratégia para reduzir o progresso de antracnose no campo de cultivo e, conseqüentemente, reduzir a perda de produtividade pelo ataque do patógeno. Em soja não se tem relatos do emprego desta estratégia para resistência a doenças.

REFERÊNCIAS

- ALLARD, R. W. Relationship Between Genetic Diversity and Consistency of Performance in Different Environments 1. **Crop Science**, v. 1, n. 2, p. 127-133, 1961.
- ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding 1. **Crop science**, v. 4, n. 5, p. 503-508, 1964.
- AMARAL, R. G. Competição intergenotípica em clones comerciais de *Eucalyptus* spp. e seleção para plantios multiclonais. 2016. 58 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2016.
- ASSIS, R. **Doenças da soja: melhoramento genético e técnicas de manejo**. São Paulo: Millennium, 2015.
- BECKER, H. C.; LEON, J. Stability analysis in plant breeding. **Plant breeding**, v. 101, n. 1, p. 1-23, 1988.
- BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 2005
- BOTELHO, F. B. S.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. D. F. B.; ROSA, H. J. A. Multiline as a Strategy to Reduce Damage Caused by *Colletotrichum lindemuthianum* in Common Bean.(Report). **Journal of Phytopathology**, v. 159, n. 3, p. 175, 2011.
- BRENT, K. J.; HOLLomon, D. W. **FRAC Monograph No. 2 Fungicide resistance: the assessment of risk**. 2. ed. Bristol: FRAC, 2007.
- BROMFIELD, K. R. Soybean rust, monograph No. 11. American Phytopathological Society, St. Paul, MN, 1984. **Monograph, American Phytopathological Society**, n. 11, p. 65, 1984.
- BRUZI, A. T.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. Desempenho de famílias do cruzamento entre linhagens de feijões andinos e mesoamericanos em produtividade e resistência a *Phaeoisariopsis griseola*. Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em periódico indexado (ALICE), **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 650-655, maio/jun., 2007.
- CALVO, E. S.; KIIHL, R. A. S.; GARCIA, A.; HARADA, A.; HIROMOTO, D. M. Two major recessive soybean genes conferring soybean rust resistance. (RESEARCH) (Author abstract) (Report). **Crop Science**, v. 48, n. 4, p. 1350, 2008.
- CÂMARA, G. M. S. **Introdução ao agronegócio da soja**. Piracicaba: ESALQ, LVP, 2011. p.1-18.
- CARNEIRO, A. K. **Emprego de multilinhas na cultura da soja**. 2017. 55 p. Dissertação (Mestrado Acadêmico) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2017.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Brasília, 2019. Disponível em: < <http://www.conab.gov.br> >. Acesso em: 06 abr. 2019.

CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM. **Ferrugem da soja**. 2015. Disponível em: < www.consorcioantiferrugem.net >. Acesso em: 07 mai. 2019.

COSTA, R. V.; ZAMBOLIM, L.; SILVA, D. D.; COTA, L. V.; CASELA, C. R. Utilização de multilinhas dinâmicas para o manejo da antracnose do sorgo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 2, p. 173-180, 2012.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2004. v. 1.

DEL PONTE, E. M.; GODOY, C. V.; LI, X.; YANG, X. B. Predicting severity of asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. **Phytopathology**, v. 96, n. 7, p. 797, 2006.

DESLANDES, J. A. Ferrugem da soja e de outras leguminosas causada por *Phakopsora pachyrhizi* no Est. Minas Gerais. In: **Fitopatologia Brasileira**. FAO, 1979.

DIDELOT, F.; BRUN, L.; PARISI, L. Effects of cultivar mixtures on scab control in apple orchards. **Plant Pathology**, v. 56, n. 6, p. 1014-1022, 2007.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistemas de Produção, 6: Tecnologia de produção de soja – região central do Brasil 2005**. Londrina - PR, 2004. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54294/1/Sistemas-de-Producao-6.pdf> >. Acesso em: 08 maio 2019.

_____. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de Produção de Soja - região Central do Brasil 2014**. Londrina, 2013. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/95489/1/SP-16-online.pdf> >. Acesso em: 07 maio 2019.

_____. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro 2014**. Londrina, 2014. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/104753/1/O-agronegocio-da-soja-nos-contextos-mundial-e-brasileiro.pdf> >. Acesso em: 08 maio 2019.

_____. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Boas práticas para o enfrentamento da ferrugem-asiática da soja**. Londrina, 2017. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/soja/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1074899/boas-praticas-para-o-enfrentamento-da-ferrugem-asiatica-da-soja> >. Acesso em: 08 mai. 2019.

_____. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Eficiência de fungicidas multissítios no controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2017/18: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos**. Londrina, 2018. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1097030/eficiencia-de-fungicidas-multissitios-no-controle-da-ferrugem-asiatica-da-soja-phakopsora-pachyrhizi-na-safra-201718-resultados-sumarizados-dos-ensaios-cooperativos> >. Acesso em: 05 maio 2019.

FRAC. Fungicide Resistance Action Committee. **Monitoring results and use recommendations available at**. 2018. Disponível em: < <http://www.frac.info/working-group/sdhi-fungicides/general-use-recommendations> >. Acesso em: 08 maio 2019.

- GESTEIRA, G. D. S.; BRUZI, A. T.; ZITO, R. K.; FRONZA, V.; ARANTES, N. E. Selection of early soybean inbred lines using multiple indices. **Crop Science**, v. 58, n. 6, p. 2494-2502, 2018.
- GODOY, C. V.; SEIXAS, C. D. S.; SOARES, R. M.; MARCELINO-GUIMARÃES, F. C.; MEYER, M. C.; COSTAMILAN, L. M. Asian soybean rust in Brazil: Past, present, and future. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 51, n. 5, p. 407-421, 2016.
- GOELLNER, K.; LOEHRER, M.; LANGENBACH, C.; CONRATH, U.; KOCH, E.; SCHAFFRATH, U. *Phakopsora pachyrhizi*, the causal agent of Asian soybean rust. **Molecular Plant Pathology**, v. 11, n. 2, p. 169-177, 2010.
- HARTMAN, G. L.; SINCLAIR, J. B.; RUPE, J. C. ed. Compendium of soybean diseases. 4. ed. St. Paul: American Phytopathological Society, 1999. 100 p.
- HELLAND, S. J.; HOLLAND, J. B. Blend response and stability and cultivar blending ability in oat. (Statistical Data Included). **Crop Science**, v. 41, n. 6, p. 1689, 2001.
- HYMOWITZ, T. On the domestication of the soybean. **Economic botany**, v. 24, n. 4, p. 408-421, 1970.
- JENSEN, N. F. Intra-varietal Diversification in Oat Breeding 1. **Agronomy Journal**, v. 44, n. 1, p. 30-34, 1952.
- JULIATTI, B. C. M. **Biochemical, physiological and epidemiological characterization of soybean genotypes (*Glycine max*) with partial resistance against soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow)**. 2018. 134 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.
- JULIATTI, F. C.; BORGES, E. N.; PASSOS, R. R.; CALDEIRA JÚNIOR, J. C.; JULIATTI, F. C.; BRANDÃO, A. M. Doenças da soja. **Cultivar Caderno Técnico**, Pelotas RS, v. 47, p. 3-14, 2003.
- KANG, M. S.; GAUCH JR, H. G. **Genotype-by-environment interaction**. 1. ed. CRC press, Published February 6, 1996. 416 p.
- KILLGORE, E.; HEU, R.; GARDNER, D. E. First report of soybean rust in Hawaii. **Plant Disease**, v. 78, p. 1216, 1994.
- KLOSOWSKI, A. C.; MAY DE MIO, L. L.; MIESSNER, S.; RODRIGUES, R.; STAMMLER, G. Detection of the F129L mutation in the cytochrome b gene in *Phakopsora pachyrhizi*. **Pest management science**, v. 72, n. 6, p. 1211-1215, 2016.
- KRAUSE, R. A.; MASSIE, L. B. Predictive Systems: Modern Approaches to Disease Control. **Annual Review of Phytopathology**, v. 13, n. 1, p. 31-47, 1975.
- LEONARD, K. J. Factors affecting rates of stem rust increase in mixed plantings of susceptible and resistant oat varieties. In: FAO. **Phytopathology**, 1969.

LEVY, C. Epidemiology and chemical control of soybean rust in southern Africa. **Plant Disease**, v. 89, p. 669-674, 2005.

LI, X.; ESKER, P. D.; PAN, Z.; DIAS, A. P.; XUE, L.; YANG, X. B. The Uniqueness of the Soybean Rust Pathosystem: An improved understanding of the risk in different regions of the world. **Plant Disease**, v. 94, n. 7, p. 796-806, 2010.

MCGRATH, M. T. What are fungicides. **The plant health instructor**, v. 10, p. 109-115, 2004.

MILES, M.; MOREL, W.; RAY, J.; SMITH, J.; FREDERICK, R.; HARTMAN, G. Adult Plant Evaluation of Soybean Accessions for Resistance to *Phakopsora pachyrhizi* in the Field and Greenhouse in Paraguay. **Plant Disease**, v. 92, n. 1, p. 96-105, 2008.

MILES, M. R.; FREDERICK, R. D.; HARTMAN, G. L. **Evaluation of Soybean Germplasm for Resistance to *Phakopsora pachyrhizi***. Evaluation of Soybean Germplasm for Resistance to *Phakopsora pachyrhizi*: Plant Management Network, 2006.

MUELLER, T. A.; MILES, M. R.; MOREL, W.; MAROIS, J. J.; WRIGHT, D. L.; KEMERAIT, R. C.; LEVY, C.; HARTMAN, G. L. Effect of fungicide and timing of application on soybean rust severity and yield. **Plant Disease**, v. 93, n. 3, p. 243-248, 2009.

MUNDT, C. C. Use of multiline cultivars and cultivar mixtures for disease management. **Annual review of phytopathology**, v. 40, n. 1, p. 381-410, 2002.

_____. C. C. Durable resistance: a key to sustainable management of pathogens and pests. **Infection, Genetics and Evolution**, v. 27, p. 446-455, 2014.

NARVAEZ, D.; O'BRIEN, G.; MAROIS, J.; WRIGHT, D. The effects of duration and temperature of leaf wetness periods on Asian soybean rust under field conditions. **Phytopathology**, v. 97, n. 7, p. S83-S83, 2007.

NOGUEIRA, A. M.; DE CARVALHO, S. P.; BARTHOLO, G. F.; GUIMARÃESMENDES, A. N. Avaliação da produtividade e vigor vegetativo de linhagens das cultivares catuai-vermelho e catuai-amarelo (*Coffea arábica* L.) plantadas individualmente e em diferentes combinações. **Revista Ciência e agrotecnologia**, v. 29, n. 1, 2005.

ONO, Y.; BURITICÁ, P.; HENNEN, J. F. Delimitation of *Phakopsora*, *Physopella* and *Cerotelium* and their species on Leguminosae. **Mycological research**, v. 96, n. 10, p. 825-850, 1992.

PELÚZIO, J. M.; FIDELIS, R. R.; GIONGO, P. R.; DA SILVA, J. C.; CAPPELLARI, D. C.; BARROS, H. B. Análise de regressão e componentes principais para estudo da adaptabilidade e estabilidade em soja. **Scientia Agraria**, v. 9, n. 4, p. 455-462, 2008.

PETER, N. D.; JOHN, P. R. Plant immunity: towards an integrated view of plant-pathogen interactions. **Nature Reviews Genetics**, v. 11, n. 8, p. 539, 2010.

PIVONIA, S.; YANG, X. Assessment of the potential year-round establishment of soybean rust throughout the world. **Plant Disease**, v. 88, n. 5, p. 523-529, 2004.

QUINEBRE, S. R. Aplicação de fungicidas no manejo de doenças de soja. **Rev. Attalea Agron. ed.**, v. 98, 2014.

RABOIN, L.M.; RAMANANTSOANIRINA, A.; DUSSERRE, J.; RAZASOLOFONANAHARY, F.; THARREAU, D.; LANNOU, C.; SESTER, M. Two-component cultivar mixtures reduce rice blast epidemics in an upland agrosystem. **Plant Pathology**, v. 61, n. 6, p. 1103-1111, 2012.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, Â. D. F. B.; SANTOS, J. B. D.; NUNES, J. A. R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: UFLA, Lavras, 2012, v. 1, p. 522.

RIBEIRO, A. S. **Estratégias para a obtenção de linhagens com resistência durável à ferrugem asiática da soja**. 2009. 125 p. Tese (Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2009.

SCHMITZ, H. K.; MEDEIROS, C. A.; CRAIG, I. R.; STAMMLER, G. Sensitivity of *Phakopsora pachyrhizi* towards quinone- outside- inhibitors and demethylation- inhibitors, and corresponding resistance mechanisms. **Pest management science**, v. 70, n. 3, p. 378-388, 2014.

SCHUTZ, W. M.; BRIM, C. A. Inter-Genotypic Competition in Soybeans II. Predicted and Observed Performance of Multiline Mixtures 1. **Crop Science**, v. 8, n. 6, p. 735-739, 1968.

_____. Inter-Genotypic Competition in Soybeans. III. An Evaluation of Stability in Multiline Mixtures 1. **Crop science**, v. 11, n. 5, p. 684-689, 1971.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. **Soja do Plantio à Colheita**. Viçosa, MG, 2015. p. 333.

SHARMA, N. D.; MEHTA, S. K. Soybean rust in Madhya Pradesh. **Acta Botanica Indica**, v. 24, p. 115-6, 1996.

SIKORA, E. J.; ALLEN, T. W.; WISE, K. A.; BERGSTROM, G.; BRADLEY, C. A.; BOND, J.; BROWN-RYTLEWSKI, D.; CHILVERS, M.; DAMICONE, J.; DEWOLF, E.; DORRANCE, A.; HARTMAN, G. L. coordinated effort to manage soybean rust in North America: A success story in soybean disease monitoring. **Plant disease**, v. 98, n. 7, p. 864-875, 2014.

SILVA, K. B.; BRUZI, A. T.; ZUFFO, A. M.; ZAMBIAZZI, E. V.; SOARES, I. O.; REZENDE, P. M. D.; FRONZA, V.; VILELA, G. L. D.; BOTELHO, F. B. S.; TEIXEIRA, C. M.; COELHO, M. A. D. O. Adaptability and phenotypic stability of soybean cultivars for grain yield and oil content. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, p. 1-11, 2016.

SIMÕES, K.; HAWLIK, A.; REHFUS, A.; GAVA, F.; STAMMLER, G. First detection of a SDH variant with reduced SDHI sensitivity in *Phakopsora pachyrhizi*. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 125, n. 1, p. 21-26, 2018.

SLAMINKO, T.; MILES, M.; FREDERICK, R.; BONDE, M.; HARTMAN, G. New Legume Hosts of *Phakopsora pachyrhizi* Based on Greenhouse Evaluations. **Plant Disease**, v. 92, n. 5, p. 161-111, 2008.

SOARES, I. O.; REZENDE, P. M. D.; BRUZI, A. T.; ZAMBIAZZI, E. V.; ZUFFO, A. M.; SILVA, K. B.; GWINNER, R. Adaptability of soybean cultivars in different crop years. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, p. 8995-9003, 2015.

SOUZA, B. O.; CASELA, C. R.; NUNES, J. A.; CASTRO, H. A. Management of sorghum anthracnose through diversification of genetic resistance in host population. **Tropical Plant Pathology**, v. 38, n. 1, p. 20-27, 2013.

VERREET, J.; KLINK, H.; HOFFMANN, G. Regional Monitoring for Disease Prediction and Optimization of Plant Protection Measures: The IPM Wheat Model. **Plant Disease**, v. 84, n. 8, p. 816-826, 2000.

WALKER, D. R. et al. Evaluation of USDA soybean germplasm accessions for resistance to soybean rust in the Southern United States.(RESEARCH)(Author abstract)(Report). **Crop Science**, v. 51, n. 2, p. 678, 2011.

WOLFE, M. S. The current status and prospects of multiline cultivars and variety mixtures for disease resistance. **Annual review of phytopathology**, v. 23, n. 1, p. 251-273, 1985.

_____. Can the Strategic Use of Disease Resistant Hosts Protect Their Inherent Durability?. In: JACOBS T., PARLEVLIET J.E. (Eds.) **Durability of Disease Resistance. Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture**. Dordrecht: Springer, 1993. v. 18. 1993.

YORINORI, J. T. Epidemia da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) no Brasil e no Paraguai, em 2001 e 2002. **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, p. 178, 2002.

CAPÍTULO 2 – APLICAÇÕES DE FUNGICIDA E CULTIVARES INOX® EM MULTILINHA VISANDO O CONTROLE DE FERRUGEM ASIÁTICA EM SOJA

RESUMO

A ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, é a doença mais severa da cultura e pode causar perdas de produtividade de até 100%. A necessidade de se manter alto rendimento levou a um aumento no número de aplicações foliares com fungicidas. Assim, o desenvolvimento de novas cultivares resistentes é um passo primordial na preservação do rendimento das plantas e o uso de multilinhas é uma estratégia promissora na busca pela resistência durável. Dois experimentos foram realizados neste trabalho com a intenção de ampliar o conhecimento da cultura da soja. No primeiro trabalho objetivou-se comparar o desempenho dos genótipos com e sem aplicação de fungicida para caracteres agrônômicos. Os ambientes avaliados foram Lavras e Ijaci, na safra 2017/18, e Lavras, Ijaci, Itutinga e Inconfidentes, na safra 2018/19. Foram avaliadas seis cultivares de soja comerciais (TMG 7060 IPRO, TMG 7063 IPRO, TMG 7262 RR, TMG 7062 IPRO, TMG 7363 RR, TMG 7067 IPRO) e uma multilinha, em seis ambientes. O delineamento utilizado foi o de blocos completos casualizados, sendo os tratamentos decompostos em parcelas subdivididas em faixas, 4 x 7 (4 manejos de aplicações de fungicida e 6 cultivares + uma multilinha), com três repetições, sendo o número de aplicações nas parcelas e as cultivares nas subparcelas. O crescente número de aplicações de fungicida foliar aumentou a produtividade de grãos e a maturação absoluta. A cultivar TMG 7067 IPRO apresentou maior produtividade média de grãos e maturação absoluta. No experimento conduzido em casa de vegetação, objetivou-se quantificar a eficiência do emprego de multilinhas na cultura da soja visando o controle da ferrugem asiática. Além dos genótipos utilizados no primeiro estudo adotou-se a cultivar M6410 IPRO como uma testemunha suscetível. A semeadura ocorreu em dezembro de 2018 e a colheita em abril de 2019. As plantas foram mantidas em casa de vegetação localizada no setor de Fitopatologia da UFLA e inoculadas com uredósporos de *Phakopsora pachyrhizi*. O delineamento estatístico utilizado foi blocos completos casualizados, com quatro repetições, sendo cada repetição composta por quatro vasos. As avaliações iniciaram-se quinze dias após a inoculação das plantas com inóculo de *P. pachyrhizi*. Foram realizadas oito avaliações de severidade com o auxílio de escala diagramática no intervalo de dois e três dias entre as avaliações, sendo avaliados dois trifólios por planta (um do terço superior e um do terço inferior/médio), totalizando-se 72 folíolos avaliados por parcela, sendo a média da severidade uma estimativa da média da doença na parcela. Por ocasião da colheita foram avaliados os seguintes caracteres: peso da parte aérea da planta; número de vagens; número de grãos/vagem; peso de 100 grãos; peso total de grãos; e índice de colheita. Não há diferença para os caracteres avaliados entre as cultivares *per se* e a multilinha. A multilinha de cultivares INOX® figura-se como eficiente para a redução da severidade da ferrugem asiática da soja.

Palavras-chave: [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Phakopsora pachyrhizi*. Fungicida.

FUNGICIDE APPLICATIONS AND INOX® MULTI-LINE CULTURE FOR ASIAN RUST CONTROL IN SOYA

ABSTRACT

Asian soybean rust, caused by the fungus *Phakopsora pachyrhizi*, is the most severe crop disease and can cause yield losses of up to 100%. The need to maintain high yields has led to an increase in the number of foliar applications with fungicides. Thus, the development of new resistant cultivars is a primordial step in preserving plant yield and the use of multiple lines is a promising strategy in the search for durable resistance. Two experiments were performed in this work with the intention of increasing the knowledge of soybean crop. The first work aimed to compare the performance of genotypes with and without application of fungicide for agronomic characters. The evaluated environments were Lavras and Ijaci in the 2017/18 crop, and Lavras, Ijaci, Itutinga and Inconfidentes in the 2018/19 crop. Six commercial soybean cultivars (TMG 7060 IPRO, TMG 7063 IPRO, TMG 7262 RR, TMG 7062 IPRO, TMG 7363 RR, TMG 7067 IPRO) and one multi-line were evaluated in six environments. A complete block randomized delineation was used, and the treatments were divided into plots subdivided into strips, 4 x 7 (4 managements of fungicide applications and 6 cultivars + one multi-line), with three replications. Being the number of applications in the plots and the cultivars in the subplots. The increasing number of foliar fungicide applications has increased grain yield and absolute maturity. The cultivar TMG 7067 IPRO presented higher average grain yield and absolute maturity. In the experiment conducted in a greenhouse, the objective was to quantify the efficiency of the use of multi-lines in soybean crop aiming at controlling Asian rust. In addition to the genotypes used in the first study it was adopted to cultivate M6410 IPRO as a susceptible control. Sowing occurred in December 2018 and harvest in April 2019. The plants were kept in a greenhouse located in the UFLA Plant Pathology sector and inoculated with *Phakopsora pachyrhizi* uredospores. The statistical design used was a complete block randomized delineation with four replications, each repetition composed of four pots. Evaluations began fifteen days after inoculation of plants with *P. pachyrhizi* inoculum. Eight evaluations of severity were performed with the aid of a diagrammatic scale in the interval of two and three days between the evaluations, being evaluated two trifoliums per plant (one of the upper third and one of the lower/middle third), totaling 72 leaflets evaluated by plot, being the mean severity an estimate of the mean disease in the plot. At harvest, the following traits were evaluated: plant shoot weight; number of pods; number of grains/pod; weight of 100 grains; total grain weight; and harvest index. There is no difference for the evaluated characters between the cultivars per se and the multi-line. The INOX® cultivar multi-line is efficient for reducing the severity of Asian soybean rust.

Keywords: [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Phakopsora pachyrhizi*. Fungicide.

1 INTRODUÇÃO

Desde o aparecimento/constatação da ferrugem no Brasil nos anos de 2000, a ferrugem asiática da soja vem sendo controlada por fungicida. No entanto, existe baixa disponibilidade de mecanismos de ação para serem rotacionados, a fim de proporcionar maior longevidade aos diferentes produtos. Frequentemente tem sido relatadas perdas de eficiência dos principais produtos comerciais.

A partir da safra 2007/2008, observou-se que as populações de *P. pachyrhizi* em campos brasileiros foram consideradas menos sensíveis à fungicidas (FRAC, 2018). A resistência natural é uma alternativa comum explorada pelos melhoristas de plantas para o controle de doenças e envolve a implantação de fontes naturalmente resistentes.

Para FAS, pode-se reduzir o custo do controle químico, melhorar a eficiência e reduzir a pressão de seleção para resistência a fungicidas (GODOY et al., 2016).

A resistência das plantas pode ser definida como a capacidade do hospedeiro em impedir o crescimento e desenvolvimento do patógeno. A resistência parcial é caracterizada pela redução da taxa epidêmica, pela diminuição do número e tamanho das lesões, pela diminuição da produção de urediniosporos e pelo aumento do período latente. Isso reduz a quantidade de inóculo e a intensidade da doença durante o ciclo da cultura (JULIATTI, 2018). Até o momento, sete genes de locos de resistência dominante foram mapeados (Rpp1 a Rpp7) e são descritos na reação de resistência à infecção por *P. pachyrhizi* com o aparecimento de lesões marrom-avermelhadas (RB), enquanto plantas suscetíveis reagem com a formação de lesões TAN – marrom clara/bronzeada (CHILDS et al., 2018). Alguns autores relataram que esses genes dominantes isolados não são eficazes quando confrontados com diferentes isolados na população de *P. pachyrhizi* (BONDE et al., 2006; YAMANAKA et al., 2008; MILES et al., 2011).

Algumas estratégias podem ser empregadas para ampliar a longevidade dos alelos de resistência vertical, como a piramidação de genes, rotação de genes e multilinha. Devido a diversidade patogênica no fungo e à variação na quantidade de proteção que os genes Rpp individuais fornecem contra diferentes patótipos, pirâmides de genes de resistência têm sido propostas e avaliadas como um meio de obter resistência mais ampla e durável (YAMANAKA et al., 2013). Segundo Mundt (2014) utilizar linhagens com diferentes alelos de resistência para o controle de doenças é uma alternativa eficiente, pois essa mistura de alelos permite reduzir a disseminação da infecção do patógeno. O sucesso de multilinhas em reduzir a incidência de patógenos quando comparadas a linhas puras tem sido observado em

algumas oportunidades, como em maçã, arroz, sorgo e feijão (COSTA et al., 2012; BOTELHO et al., 2011; DIDELOT; BRUNT; PARISI, 2007; RABOIN et al., 2012; SOUZA et al., 2013).

Entre as vantagens do uso das multilinhas, destaca-se a estabilidade em relação a uma única linhagem com vários genes de resistência. De acordo com Mundt (2002), isto ocorre devido a correspondência apropriada entre os alelos de resistência presentes na mistura de linhagens e os genes de avirulência do patógeno. Além disso, é um processo dinâmico, pois possibilita a alteração das linhagens ao longo do tempo, de acordo com o interesse do melhorista e dos agricultores, podendo retardar a seleção de uma raça ou o surgimento de uma super-raça do patógeno, conferindo um ‘valor de proteção’ (MUNDT, 2014).

Diante do exposto, objetivou-se comparar o desempenho de cultivares INOX® de soja com e sem aplicação de fungicida para caracteres agronômicos, e quantificar a eficiência do emprego de multilinhas na cultura da soja visando ao controle da ferrugem asiática.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O primeiro experimento foi conduzido em dois locais no ano agrícola 2017/2018, municípios de Lavras e Ijaci, e em quatro locais no ano agrícola 2018/2019, municípios de Lavras, Ijaci, Itutinga e Inconfidentes. Os dados geodésicos dos locais estão apresentados abaixo:

- a) Área experimental no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária (Fazenda Muquém) da Universidade Federal de Lavras - UFLA, localizada a uma altitude de 954 m, $21^{\circ}12'11''$ de latitude e $44^{\circ}58'47''$ de longitude, no município de Lavras;
- b) Fazenda particular, Fazenda Milanez, localizada no município de Itutinga a uma altitude de 970 m, latitude sul de $21^{\circ}17'53''$ e longitude oeste de $44^{\circ}39'28''$.
- c) Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária – Fazenda Palmital, localizada no município de Ijaci, situada à latitude de $21^{\circ}09' S$, longitude $44^{\circ}54' W$ e altitude de 920 m.
- d) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – IFSULDEMINAS, localizado no município de Inconfidentes, situado à latitude $22^{\circ}19'01'' S$, longitude $46^{\circ}19'40'' W$ e altitude de 869 m.

As características de solo dos ambientes estão apresentadas na Tabela 1. Na Figura 1 estão apresentados os dados climáticos para os seis ambientes conforme a seguinte descrição.

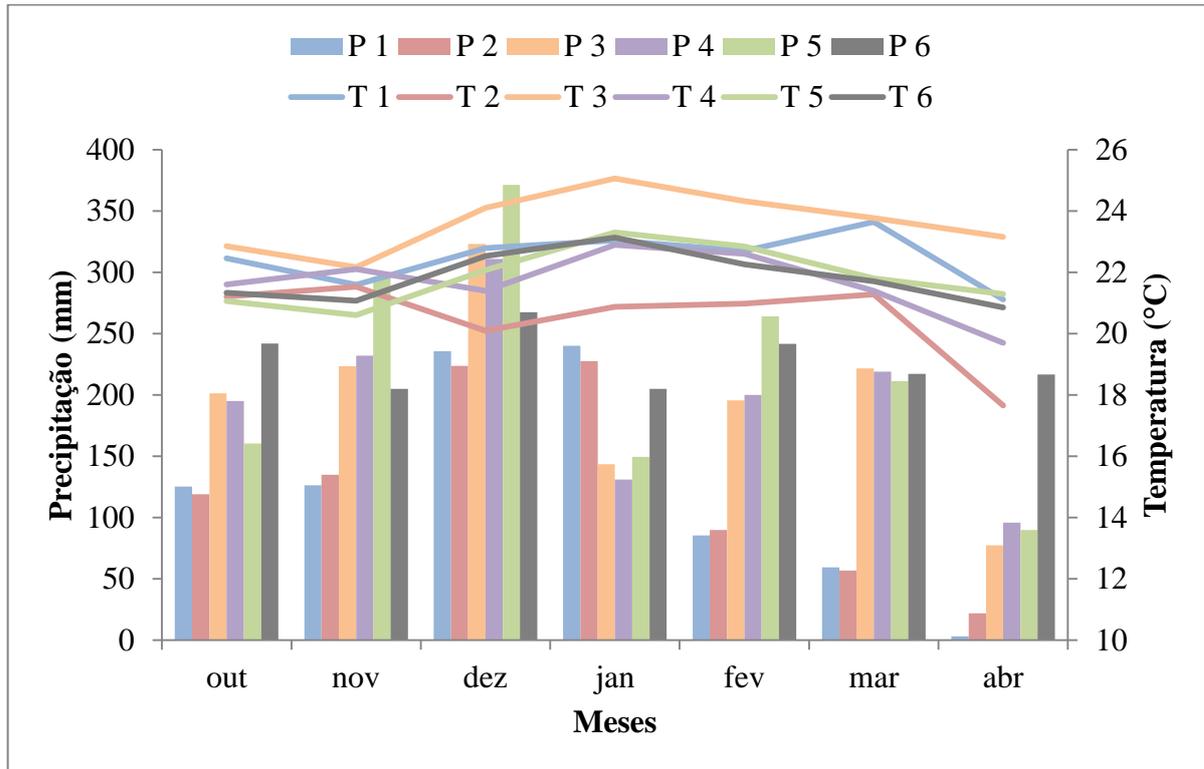
- i) Lavras 2017/18 corresponde ao ambiente 1, sendo a precipitação do ambiente (P1) e temperatura média (T1).
- ii) Ijaci 2017/18 corresponde ao ambiente 2, sendo a precipitação do ambiente (P2) e temperatura média (T2).
- iii) Lavras 2018/19 corresponde ao ambiente 3, sendo a precipitação do ambiente (P3) e temperatura média (T3).
- iv) Ijaci 2018/19 corresponde ao ambiente 4, sendo a precipitação do ambiente (P4) e temperatura média (T4).
- v) Itutinga 2018/19 corresponde ao ambiente 5, sendo a precipitação do ambiente (P5) e temperatura média (T5).
- vi) Inconfidentes 2018/19 corresponde ao ambiente 6, sendo a precipitação do ambiente (P6) e temperatura média (T6).

Tabela 1 - Composição química do solo da camada 0-20cm para Lavras e Ijaci (safra 2017/18) e Lavras, Ijaci, Itutinga e Inconfidentes (safra 2018/19).

Propriedades químicas	Unidade	Ambientes					
		2017/2018		2018/19			
		Lavras	Ijaci	Lavras	Ijaci	Itutinga	Inconfidentes
pH	H ₂ O	5,7	6,3	5,8	6,4	6,3	5,7
Ca ²⁺	cmol _c /dm ³	3,3	5,0	3,7	5,5	2,5	4,2
Mg ²⁺	cmol _c /dm ³	0,6	1,8	1,0	2,0	1,0	1,0
Al ³⁺	cmol _c /dm ³	0,2	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0
H+Al	cmol _c /dm ³	4,0	2,9	2,7	2,9	3,9	2,8
SB	cmol _c /dm ³	4,2	6,7	4,1	7,0	3,5	5,3
P _{rem}	cmol _c /dm ³	24,6	28,4	36,1	30,2	11,0	16,0
K	mg/dm ³	116,0	118,0	96,0	115,0	96,0	41,0
Zn ²⁺	mg/dm ³	2,6	-	3,6	-	1,0	6,5
Mn ²⁺	mg/dm ³	20,6	-	14,1	-	6,0	10,2
Cu ²⁺	mg/dm ³	0,1	-	0,5	-	1,6	0,3
B	mg/dm ³	0,2	-	0,2	-	0,4	0,2
Fe ²⁺	mg/dm ³	54,3	-	74,4	-	46,6	29,5
S	mg/dm ³	9,0	-	9,1	-	15,0	-
MO	dag/kg	2,2	5,4	2,9	5,7	3,6	3,9
V	%	83,5	69,8	64,3	70,0	65,0	65,9

Fonte: Do autor (2019).

Figura 1 - Pluviosidade total e temperatura média no período de outubro a abril nos ambientes avaliados.



Fonte: Do autor (2019) e adaptado de Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2019).

O cultivo foi realizado sob o sistema de plantio direto, com sulcos de semeadura espaçados em 0,50 m. A adubação foi realizada de acordo com as recomendações de (SEDIYAMA; SILVA; BORÉM, 2015). Foram utilizadas seis cultivares de soja comerciais e uma multilinha, ou seja, uma mistura de genótipos com maior homeostase populacional (TABELA 2). Para semear a multilinha, foram misturadas três sementes de cada cultivar INOX®, totalizando-se 18 sementes por metro linear.

Tabela 2 - Descrição das cultivares (Procedência), Grupos de maturidade (GM) e Genes de Resistência (GR).

Procedência	GM	GR
TMG 7060 IPRO	6.0	INTACTA RR2 IPRO/ INOX®
TMG 7063 IPRO	6.3	INTACTA RR2 IPRO/ INOX®
TMG 7262 RR	6.2	RR/ INOX®
TMG 7062 IPRO	6.2	INTACTA RR2 IPRO/ INOX®
TMG 7363 RR	6.3	RR/ INOX® / Resistente à Cisto
TMG 7067 IPRO	6.7	INTACTA RR2 IPRO/ INOX®
MULTILINHAS	-	-

Fonte: Adaptado de TMG (Tropical Melhoramento e Genética)

O delineamento utilizado foi o de blocos completos casualizados, sendo os tratamentos decompostos em parcelas subdivididas em faixas, 4 x 7 (4 manejos de aplicações de fungicida e 6 cultivares + uma multilinha), com três repetições. Sendo o número de aplicações nas parcelas (TABELA 3) e as cultivares nas sub parcelas (TABELA 2).

Tabela 3 - Número de aplicações do fungicida utilizado e estádios de desenvolvimento das plantas de soja.

Número de aplicações	Estádio fenológico das aplicações
0	Sem aplicação (controle)
1	R ₁ *
2	R ₁ e R ₁ + 15 **
3	R ₁ , R ₁ + 15** e R ₁ + 30**

* Início Florescimento, ** Dias após R₁.

Fonte: Do autor (2019).

As parcelas foram constituídas de duas linhas de quatro metros, com espaçamento de 0,5 m entre linhas na safra 2017/18 com 18 sementes por metro. Para a safra 2018/19, as parcelas foram constituídas de quatro linhas de cinco metros, com espaçamento de 0,5 m entre linhas, sendo utilizadas como área útil das parcelas as duas fileiras centrais.

A semeadura foi realizada manualmente em área de sistema de plantio direto na primeira quinzena de novembro de 2017 e a colheita no mês de março de 2018. Para o segundo ano agrícola, a semeadura foi realizada na segunda quinzena de novembro de 2018 e a colheita no mês de março de 2019.

A inoculação via sulco foi realizada com as bactérias *Bradyrhizobium japonicum* após a semeadura, na dose de 18 mL p. c. kg⁻¹ de semente - estirpes SEMIA 5079 e 5080, contendo 10.8 x 10⁶ UFC/sementes do inoculante Nitragin Cell Tech HC® (3x10⁹ UFC.mL⁻¹). Para aplicação, utilizou-se um pulverizador costal motorizado, acoplado a barra com quatro bicos de pulverização XR 11002, aplicando-se volume de calda equivalente a 150 L ha⁻¹.

O controle de pragas na cultura foi realizado de acordo com a necessidade com a utilização de inseticidas com grupo químico de Neonicotinóide, Piretróide e Clorpirifós. O controle de plantas daninhas em pós-emergência foi realizado utilizando-se glifosato na dosagem de 2 L.ha⁻¹.

Foi utilizado apenas o fungicida Fox® (trifloxistrobina; protioconazol), na dose recomendada por bula de 0,4 L p.c. ha⁻¹. Para aplicação, utilizou-se um pulverizador costal motorizado, acoplado a barra com quatro bicos de pulverização XR 11002, espaçados de 50

cm e calibrado para vazão de 150 litros ha⁻¹. No momento da aplicação foi adicionado o adjuvante indicado pelo fabricante na dose recomendada para o fungicida.

Foram avaliados os caracteres maturação absoluta em dias (90% das plantas da parcela apresentando maturação das vagens, estágio R8) e produtividade de grãos (determinada a partir da colheita das parcelas). Após a padronização da umidade de grãos para 13%, foi estimada a produtividade, em kg.ha⁻¹, a partir da conversão da área de cada parcela.

As análises individuais por ambiente, para todos os caracteres, foram realizadas utilizando o modelo estatístico:

$$y_{ijk} = \mu + a_i + b_k + (ab)_{ik} + c_j + (cb)_{jk} + (ac)_{ij} + e_{ijk} \quad (1)$$

em que:

y_{ijk} : valor observado referente a parcela que recebeu a aplicação i na cultivar j no bloco k ;

μ : constante associada a toda observação;

a_i : efeito da aplicação i ;

b_k : efeito do bloco k ;

$(ab)_{ik}$: erro associado a aplicação i no bloco k ;

c_j : efeito da cultivar j ;

$(cb)_{jk}$: erro associado a cultivar j no bloco k ;

$(ac)_{ij}$: efeito da interação aplicações x cultivares;

e_{ijk} : erro associado aplicação i na cultivar j no bloco k .

A análise conjunta envolvendo todos os ambientes seguiu o modelo estatístico:

$$y_{ijkl} = \mu + a_i + b_{k(l)} + l_l + (al)_{il} + (abl)_{(ik)l} + c_j + (cl)_{jl} + cbl_{(jk)l} + (ac)_{ij} + (acl)_{ijl} + e_l \quad (2)$$

em que:

y_{ijkl} : valor observado referente a parcela que recebeu a aplicação i na cultivar j no bloco k no local l .

μ : constante associada a toda observação;

a_i : efeito da aplicação i ;

b_k : efeito do bloco k no local l ;

l_l : efeito do local l ;

$(al)_{il}$: efeito da interação aplicações x locais;

$(abl)_{(ik)l}$: erro associado a aplicação i no bloco k no local l ;

c_j : efeito da cultivar j ;

$(cl)_{jl}$: efeito da interação cultivares x locais;

$cbl_{(jk)l}$: erro associado a cultivar j no local l ;

$(ac)_{ij}$: efeito da interação aplicações x cultivares;

$(acl)_{ijl}$: efeito da interação aplicações x cultivares x locais;

$e_{(ijk)l}$: erro associado a aplicação i na cultivar j no bloco k no local l .

Os dados obtidos foram submetidos a análises estatísticas com auxílio do software Sisvar®, utilizando-se o teste Scott e Knott (1974) a 5% de probabilidade para comparação de médias e análise de regressão para fatores quantitativos (FERREIRA, 2011). Estimativas de coeficiente de variação e acurácia foram utilizados como medida de precisão.

O coeficiente de variação foi obtido através da seguinte modelo:

$$CV = \frac{\sqrt{QME}}{\bar{x}} \quad (3)$$

em que:

QME : quadrado médio do erro;

\bar{x} : média geral.

A acurácia seletiva foi determinada pelo seguinte estimador:

$$r = \sqrt{1 - \frac{1}{F_c}} \times 100 \quad (4)$$

em que:

r : acurácia expressa em percentagem;

F_c : valor de F calculado.

O segundo experimento foi conduzido em Lavras (MG) em casa de vegetação, localizada no setor de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras - UFLA. O delineamento estatístico utilizado foi blocos completos casualizados, com quatro repetições, sendo cada repetição composta por quatro vasos.

Foram utilizadas seis cultivares de soja com a tecnologia INOX®, uma multilinha, ou seja, uma mistura de genótipos com maior homeostase populacional e uma cultivar suscetível (TABELA 4).

Tabela 4 - Descrição das cultivares (Procedência), Grupos de maturidade (GM) e Genes de Resistência (GR).

Procedência	GM	GR
TMG 7060 IPRO	6.0	INTACTA RR2 IPRO/ INOX®
TMG 7063 IPRO	6.3	INTACTA RR2 IPRO/ INOX®
TMG 7262 RR	6.2	RR/ INOX®
TMG 7062 IPRO	6.2	INTACTA RR2 IPRO/ INOX®
TMG 7363 RR	6.3	RR/ INOX® / Resistente à Cisto
TMG 7067 IPRO	6.7	INTACTA RR2 IPRO/ INOX®
MULTILINHAS	-	-
M6410 IPRO	6.4	INTACTA RR2 IPRO

Fonte: TMG (Tropical Melhoramento e Genética)

A condução do experimento iniciou com o preparo dos vasos na casa de vegetação, no qual foi realizada a coleta de terra de subsolo em latossolo vermelho distrófico. Posteriormente, a mesma foi seca ao ar, destorroada, e peneirada para ser realizada a mistura com areia na proporção de 2:1 (duas partes de areia para uma terra). A adubação foi realizada de acordo com as recomendações de Sedyama, Silva e Borém (2015).

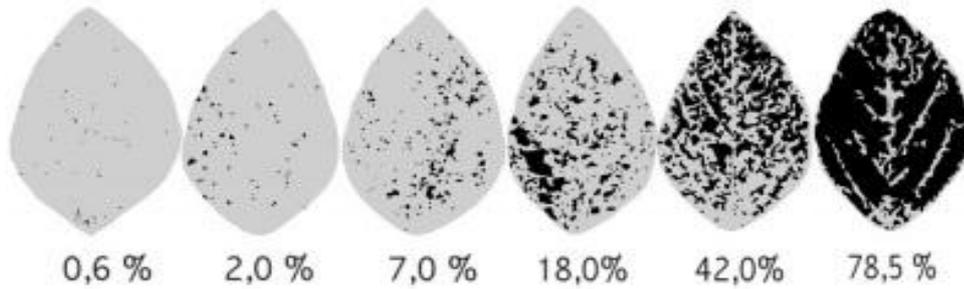
Posteriormente foi realizado o enchimento dos vasos, sendo utilizados 5 litros de substrato/vaso. Para a semeadura, que ocorreu no dia 10 de dezembro de 2018, foram utilizadas seis sementes de soja por vaso e inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*, utilizando-se inoculante turfoso Nitral na proporção de 1.200.000 bactérias por semente. Após a germinação foi realizado o desbaste, deixando-se três plantas/vaso.

O controle de pragas na cultura foi realizado de acordo com a necessidade com a utilização de inseticidas dos grupos químicos Neonicotinóide, Piretróide e Clorpirifós. Não foi realizada nenhuma aplicação de fungicida e não houve necessidade de realizar o controle químico de plantas daninhas.

As plantas foram mantidas em casa de vegetação e inoculadas com uredósporos de *P. pachyrhizi*. Folhas com soros uredinais foram coletadas e mergulhadas em água para retirar os uredósporos. Em seguida, preparou-se suspensão de esporos em água destilada contendo tween 20 (0,1 mL.L⁻¹). Para a inoculação foram utilizados 10 mL da suspensão (9x10⁴ uredósporos.mL⁻¹) por vaso. A suspensão de uredósporos foi pulverizada uma vez, até o ponto de escorrimento na superfície abaxial de um trifólio de cada planta quando estas apresentavam no estágio R3 de desenvolvimento. Após a inoculação as plantas foram mantidas em câmara úmida escura em casa de vegetação com umidade próxima a 100%, para favorecer a germinação e a penetração do patógeno.

Foi realizada a quantificação da severidade, definida como a porcentagem da área foliar coberta com sintomas da doença, com o auxílio de escala diagramática (GODOY; KOGA; CANTERI, 2006).

Figura 1 - Escala diagramática para avaliação da severidade da ferrugem asiática.



Fonte: (GODOY et al., 2006).

As avaliações iniciaram-se quinze dias após a inoculação das plantas com inóculo de *Phakopsora pachyrhizi*. Foram realizadas oito avaliações de severidade com intervalo de dois e três dias entre as avaliações. Foram avaliados dois trifólios por planta (um do terço superior e um do terço inferior/médio), totalizando-se 72 folíolos avaliados por parcela, sendo a média da severidade uma estimativa da média da doença na parcela.

A área abaixo da curva de progresso da doença foi obtida por:

$$AACPD = \sum_{i=1}^n \left[\frac{Y_{i+1} + Y_i}{2} \times (T_{i+1} - T_i) \right] \quad (5)$$

em que:

AACPD: área abaixo da curva de progresso da doença.

Y_i : severidade da doença na época de avaliação i ;

Y_{i+1} : severidade da doença na época de avaliação $i+1$;

T_i : época da avaliação i , em número de dias entre cada avaliação;

T_{i+1} : época da avaliação $i+1$.

As estimativas da AACPD foram submetidas à análise de variância, considerando todos os efeitos como fixos, exceto o erro experimental, conforme o modelo estatístico:

$$y_{ij} = \mu + c_i + b_j + e_{ij} \quad (6)$$

em que:

y_{ij} : valor obtido de AACPD para a cultivar i no bloco j ;

μ : constante associada a toda observação;

c_i : é o efeito do tratamento i ;

b_j : efeito do bloco j ;

e_{ij} : erro experimental.

Por ocasião da colheita em abril de 2019, foram avaliados os seguintes caracteres: peso da parte aérea da planta; número de vagens; número de grãos/vagem; peso de 100 grãos; peso total de grãos; e índice de colheita.

O peso da parte aérea foi determinado a partir da colheita e pesagem das três plantas de cada vaso (12 plantas). Posteriormente, foi realizada a contagem do número de vagens e número de grãos, obtendo-se também a relação do número de grãos por vagem.

O peso de grãos obtidos em cada parcela (quatro vasos) foi corrigido para umidade de 13%, obtendo-se assim o peso total de grãos. Com a contagem de 100 grãos e posterior pesagem obteve-se o peso de 100 grãos. O índice de colheita foi determinado pela relação entre o peso do total de grãos e o peso da parte aérea.

Os dados obtidos foram submetidos a análises estatísticas com auxílio do software Sisvar®, utilizando-se o teste Scott e Knott (1974) a 5% de probabilidade para comparação de médias e análise de regressão para fatores quantitativos (FERREIRA, 2011). Estimativas de coeficiente de variação e acurácia foram utilizados como medida de precisão.

O coeficiente de variação foi obtido através da seguinte modelo:

$$CV = \frac{\sqrt{QME}}{\bar{x}} \quad (7)$$

em que:

QME: quadrado médio do erro;

\bar{x} : média geral.

A acurácia seletiva foi determinada pelo seguinte estimador:

$$r = \sqrt{1 - \frac{1}{F_c}} \times 100 \quad (8)$$

em que:

r : acurácia expressa em percentagem;

F_c : valor de F calculado.

3 RESULTADOS

Os resumos das análises de variância individual do primeiro experimento por ambiente estão apresentados no Apêndice A. Para todos os ambientes, observou-se em geral, boa precisão experimental e elevada acurácia. As estimativas do coeficiente de variação de maior magnitude foram observadas para o caráter produtividade de grãos. A acurácia variou de 84,70% (maturação absoluta em Ijaci 17/18) a 99,34% (maturação absoluta em Inconfidentes 17/18).

É possível observar que dos seis ambientes avaliados, detectou-se diferença significativa (com 5% de probabilidade) para fonte de variação aplicações em quatro ambientes para o caráter produtividade de grãos (TABELAS 1A, 2A, 3A e 6A). Por sua vez, para o caráter maturação absoluta detectou-se diferença significativa para dois ambientes (TABELAS 3A e 4A).

Para o fator cultivares, detectou-se diferença significativa para os dois caracteres avaliados em todos os ambientes (TABELAS 1A, 2A, 3A, 4A, 5A e 6A). Para o caráter produtividade de grãos, houve interação entre os fatores Aplicações x Cultivares em quatro dos seis ambientes estudados (TABELAS 1A, 2A, 5A e 6A). Nenhum ambiente apresentou interação entre os fatores Aplicações x Cultivares para o caráter maturação absoluta (TABELAS 1A, 2A, 3A, 4A, 5A e 6A).

Com o estudo da interação Cultivares x Ambientes (TABELA 7A), é possível observar que para o caráter produtividade de grãos, que as cultivares apresentaram comportamento não coincidente nos diferentes ambientes. A cultivar TMG 7067 IPRO esteve presente no grupo das melhores médias de produtividade em todos os ambientes.

Para o caráter maturação absoluta, com o estudo da interação Cultivares x Ambientes (TABELA 8A) observa-se que a maior amplitude entre as cultivares ocorreu no ambiente de Ijaci 18/19 (sendo a cultivar TMG 7262 RR com maturação aos 114 dias, e a cultivar TMG 7067 IPRO com maturação aos 121 dias após o plantio). O ambiente que apresentou menor variação entre as cultivares foi Inconfidentes 18/19 (maturação aos 118 dias para a cultivar TMG 7262 RR e maturação aos 120 dias para as demais cultivares).

O estudo da interação Aplicações x Ambientes (FIGURA 1A) evidencia comportamento não coincidente dos ambientes em função do número de aplicações de fungicida para o caráter produtividade de grãos. Os ambientes Lavras 17/18 e Ijaci 17/18 apresentaram comportamento quadrático com acréscimo de produtividade em até duas aplicações, com tendência de estabilização/diminuição da produtividade com três aplicações.

Já os ambientes Lavras 18/19 e Inconfidentes 18/19 apresentaram tendência linear em produtividade com o aumento do número de aplicações. Os ambientes Ijaci 18/19 e Itutinga 18/19 não apresentaram parâmetros significativos para regressão linear e/ou quadrática.

Assim como observado para o caráter produtividade de grãos, o caráter maturação absoluta apresentou comportamento não coincidente nos ambientes para a interação Aplicações x Ambientes (FIGURA 2A). Na interação Cultivares x Aplicações para o caráter produtividade de grãos, é possível observar que em geral, o aumento do número de aplicações de fungicida proporciona acréscimo na produtividade das cultivares (FIGURA 3A).

Para a interação Aplicações x Ambientes x Cultivares é possível observar que, através da média geral dos ambientes para cada cultivar, o caráter produtividade de grãos apresentou comportamento não coincidente de acordo com o aumento no número de aplicações de fungicida (FIGURA 4A).

O resumo da análise de variância conjunta (TABELA 5) evidencia que há diferença para os fatores aplicações e cultivares para os caracteres avaliados. A interação Aplicações x Cultivares foi significativa apenas para o caráter produtividade de grãos. Por seu turno as interações Aplicações x Ambientes e Cultivares x Ambientes foram significativas para os dois caracteres avaliados. A interação Aplicações x Cultivares x Ambientes foi significativa para o caráter produtividade. A acurácia foi de 98,66% para produtividade e 98,84% para maturação absoluta. Para o coeficiente de variação observou-se boa precisão experimental.

Tabela 5 - Resumo da análise de variância conjunta para os caracteres produtividade de grãos em kg.ha⁻¹ e maturação absoluta em dias.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade	Maturação absoluta
Ambiente (Amb)	5	0,0000	0,0000
Repetição/Amb	12	0,0592	0,2646
Aplicação (Apl)	3	0,0000	0,0003
Apl x Amb	15	0,0000	0,0000
Erro (a)	36		
Cultivar (C)	6	0,0000	0,0000
C x Amb	30	0,0000	0,0000
Erro (b)	72		
Apl x C	18	0,0159	0,8210
Apl x C x Amb	90	0,0011	0,2301
Erro (c)	216		
Fc (Cultivares)		37,65	43,19
Acurácia (%)		98,66	98,84
CV 1 (%)		15,01	2,58
CV 2 (%)		12,34	1,66
CV 3 (%)		13,35	1,72
Média geral		4006	122

Fonte: Do autor (2019).

As produtividades médias apresentaram ampla variação para as cultivares, sendo a menor, 3535 kg.ha⁻¹, obtida pela cultivar TMG 7262 RR, e a maior estimativa, 4490 kg.ha⁻¹, obtida pela cultivar TMG 7067 IPRO (TABELA 6). O caráter maturação absoluta apresentou variação média de 119 dias para a cultivar TMG 7262 RR a 124 dias para a cultivar TMG 7067 IPRO (TABELA 6).

Tabela 6 - Tabela de médias fenotípicas conjuntas para os caracteres produtividade de grãos em kg.ha⁻¹ e maturação absoluta em dias para as diferentes cultivares.

Cultivares	Produtividade	Maturação absoluta
TMG 7067 IPRO	4490 a	124 d
TMG 7063 IPRO	4262 b	121 b
MULTILINHA	4185 b	122 c
TMG 7062 IPRO	4112 b	121 b
TMG 7363 RR	3886 c	121 b
TMG 7060 IPRO	3573 d	122 c
TMG 7262 RR	3535 d	119 a

As médias seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo grupo pelo teste Scott-Knott (1974) a 95% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

Para os diferentes ambientes observou-se grande variação para produtividade de grãos. O ambiente com maior destaque foi Lavras 17/18, com produtividade média de 4820 kg.ha⁻¹. Por outro lado, Ijaci 17/18 foi o que apresentou a menor produtividade, 3032 kg.ha⁻¹ (TABELA 7). Para o caráter maturação absoluta, observou-se uma variação média de 117 dias para os ambientes Ijaci 18/19 e Itutinga 18/19, a 132 dias para Ijaci 17/18 (TABELA 7).

Tabela 7 - Tabela de médias fenotípicas conjuntas para os caracteres produtividade de grãos em kg.ha⁻¹ e maturação absoluta em dias para os diferentes ambientes.

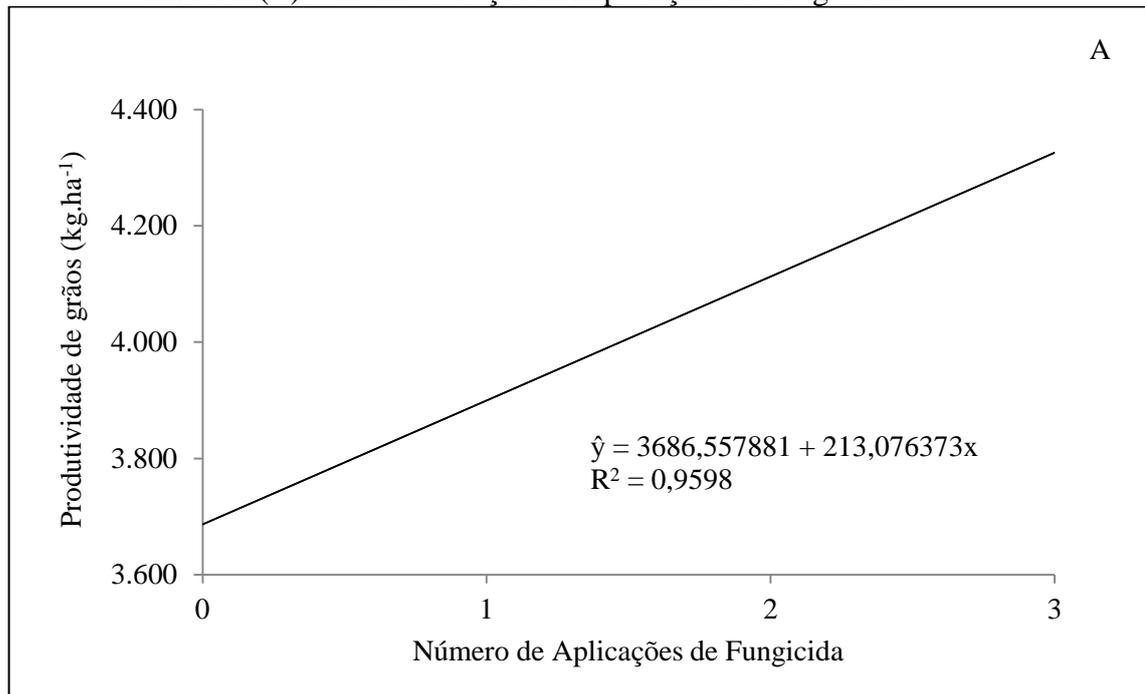
Ambientes	Produtividade	Maturação absoluta
Lavras 2017/18	4820 a	124 c
Lavras 2018/19	4470 b	120 b
Inconfidentes 2018/19	4289 c	120 b
Ijaci 2018/19	4135 c	117 a
Itutinga 2018/19	3291 d	117 a
Ijaci 2017/18	3032 e	132 d

As médias seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo grupo pelo teste Scott-Knott (1974) a 95% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

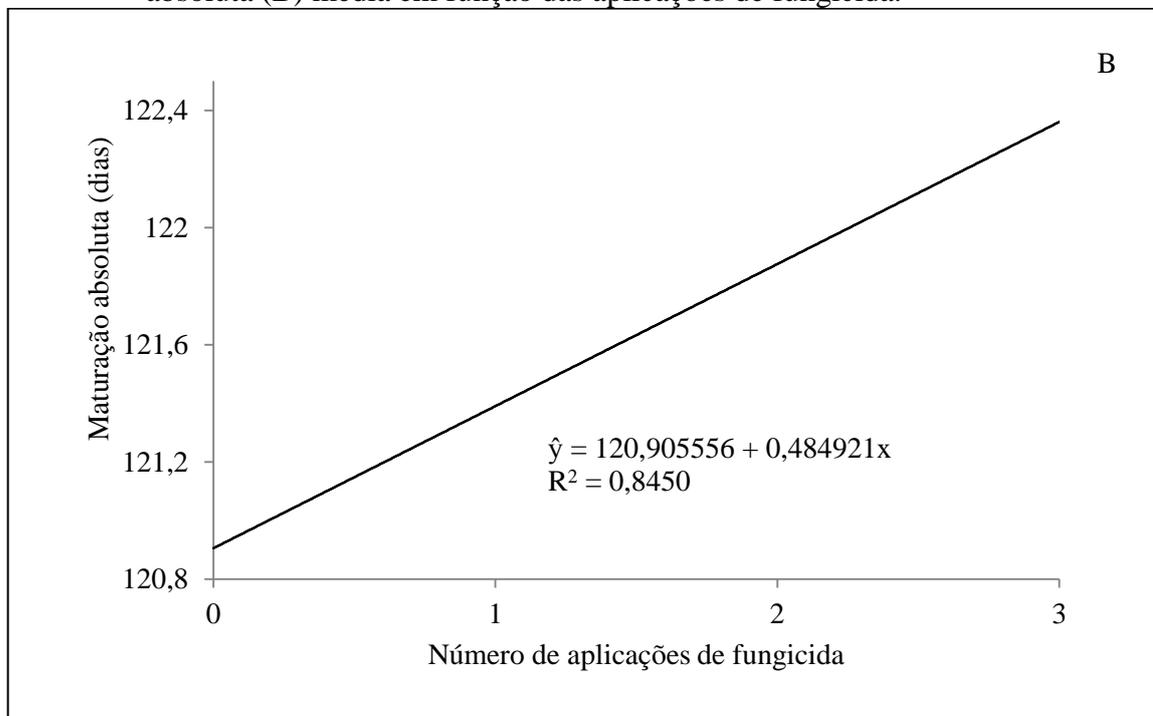
Para o fator aplicações observou-se um aumento linear de 213 kg.ha⁻¹ no caráter produtividade de grãos, à medida que adiciona-se cada aplicação de fungicida (FIGURA 3A). Para o caráter maturação absoluta também houve comportamento linear, com aumento de 0,48 dias à medida que se adiciona cada aplicação de fungicida. Para as duas situações observou-se um bom ajuste do modelo com estimativas de R² superiores a 84% (FIGURA 3B).

Figura 3A - Curva de regressão para os caracteres produtividade de grãos (A) e maturação absoluta (B) média em função das aplicações de fungicida.



Fonte: Do autor (2019).

Figura 3B - Curva de regressão para os caracteres produtividade de grãos (A) e maturação absoluta (B) média em função das aplicações de fungicida.



Fonte: Do autor (2019).

O resumo da análise de variância conjunta do segundo experimento (TABELA 8) evidencia que há diferença para os caracteres severidade de ferrugem (SEV), área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), número de grãos (NG), número de grãos por vagem (NG/V), peso de 100 grãos (P100G), peso total de grãos (PTG), peso da parte aérea (PPA) e índice de colheita (IC). A acurácia variou de 43,85 a 98,28%. Para o coeficiente de variação (CV) obteve-se estimativas de 5,62 a 19,10%.

Tabela 8 - Resumo da análise de variância conjunta para os caracteres severidade de ferrugem (SEV), área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), número de grãos (NG), número de vagens (NV), número de grãos por vagem (NG/V), peso de 100 grãos (P100G) em gramas, peso total de grãos (PTG) em gramas, peso da parte aérea (PPA) em gramas, e índice de colheita (IC) em gramas.

FV	GL	p-valor								
		SEV	AACPD	NG	NV	NG/V	P100G	PTG	PPA	IC
Cultivares	7	0,0044	0,0179	0,0007	0,3270	0,0000	0,0000	0,0001	0,0463	0,0000
Blocos	3	0,0048	0,0047	0,0256	0,1251	0,0073	0,8290	0,5272	0,1239	0,6449
Erro	21									
Fc (Cultivares)		4,28	3,21	5,88	1,24	29,24	13,99	8,08	2,54	11,899
Acurácia (%)		87,54	82,97	91,10	43,85	98,28	96,36	93,60	77,87	95,7
CV (%)		16,15	16,75	15,50	14,58	5,62	8,67	19,10	18,43	12,2
Média geral		21	378	332	188	1,76	13,31	45,34	102,31	0,44

Fonte: Do autor (2019).

É possível observar que a cultivar M6410 IPRO (suscetível) apresentou pior desempenho em relação às demais para os caracteres SEV, AACPD, NG, NG/V, P100G, PTG, PPA e IC (TABELA 9). Apenas para o caráter NV não houve diferença estatística. A média da multilinha para todos os caracteres avaliados não diferiu estatisticamente da média das linhagens pelo intervalo de confiança estimado (TABELA 9).

Os genótipos com tecnologia INOX® apresentaram menor severidade média de ferrugem durante todo o ciclo da cultura quando comparados com a cultivar suscetível (FIGURA 4).

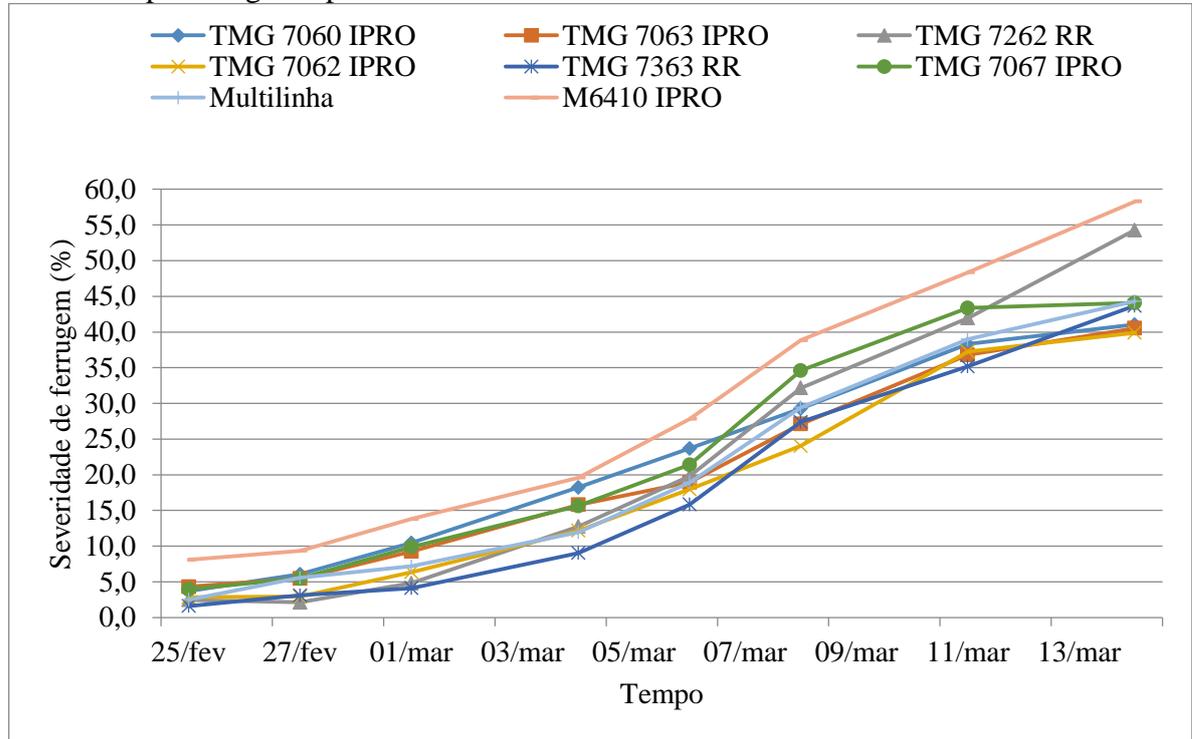
Tabela 9 - Tabela de médias conjuntas para os caracteres severidade de ferrugem (SEV), área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), número de grãos (NG), número de vagens (NV), número de grãos por vagem (NG/V), peso de 100 grãos (P100G) em gramas, peso total de grãos (PTG) em gramas, peso da parte aérea (PPA) em gramas, e índice de colheita (IC) em porcentagem para as diferentes cultivares. UFLA, Lavras, 2019.

Cultivares	SEV	AACPD	NG	NV	NG/NV	P100G	PTG	PPA	IC
TMG 7363 RR	17 a	311 a	364 a	188 a	2,0 a	14,3 a	52,1 a	105,5 a	0,4975 a
TMG 7062 IPRO	18 a	332 a	329 a	196 a	1,7 b	14,8 a	48,5 a	106,5 a	0,4550 a
TMG 7063 IPRO	20 a	353 a	345 a	193 a	2,0 a	12,9 a	44,5 a	100,0 a	0,4325 a
MULTILINHAS	20 a	356 a	329 a	184 a	1,8 b	14,7 a	48,3 a	103,8 a	0,4725 a
TMG 7262 RR	22 a	383 a	362 a	181 a	2,0 a	14,4 a	52,4 a	100,0 a	0,5250 a
TMG 7060 IPRO	21 a	384 a	391 a	197 a	2,0 a	13,2 a	51,9 a	110,5 a	0,4650 a
TMG 7067 IPRO	23 a	410 a	353 a	207 a	1,7 b	13,9 a	49,4 a	119,5 a	0,4150 a
M6410 IPRO	29 b	495 b	186 b	156 a	1,2 c	8,2 b	15,6 b	68,0 b	0,2250 b
Média das cultivares	20	362	357	194	1,9	13,9	49,8	107,8	0,4650
Cultivares vs. Multilinha	0	6	28	10	0,1	-0,8	1,5	4,0	-0,0075
	(-4,49 a 5,19) ¹	(-81,55 a 93,19) ¹	(-34,97 a 91,14) ¹	(-20,89 a 40,39) ¹	(-0,12 a 0,24) ¹	(-2,09 a 0,56) ¹	(-8,96 a 11,96) ¹	(-17,51 a 25,59) ¹	(-0,06 a 0,07) ¹

As médias seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo grupo pelo teste Scott-Knott a 95% de probabilidade. ¹Intervalo de confiança para diferença entre duas médias, adotando 95% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

Figura 4 - Curva de severidade da ferrugem asiática (%) em função das datas de avaliação para os genótipos avaliados.



Fonte: Do autor (2019).

4 DISCUSSÃO

Uma boa precisão experimental é fator chave para que se tenha confiabilidade nos resultados na pesquisa agrícola. Para fazer a recomendação de genótipos com segurança é necessária elevada precisão nos experimentos, pois assim, as estimativas dos parâmetros avaliados são fornecidas de forma mais acurada. No estudo do primeiro experimento utilizou-se, para aferir a precisão experimental, o coeficiente de variação (CV) e a acurácia. O coeficiente de variação, de acordo com Pimentel Gomes (2009), é classificado em baixo (<10%), médio (10%-20%), alto (20%-30%) e muito alto (>30%). Já a acurácia é considerada precisa quando acima de 70%, média entre 30% e 70% e pouco precisa quando abaixo de 30% (RESENDE; DUARTE, 2007).

O caráter produtividade de grãos foi o que obteve a maior estimativa do coeficiente de variação, no entanto, quando se estima a acurácia do caráter, nota-se que os valores são de grande magnitude. Este fato pode ser explicado pela acurácia considerar o valor de F_c (QMT/QME), levando-se em conta também a variação entre as cultivares, e não apenas o erro experimental, como é realizado no cálculo do CV. Assim, quanto maiores os valores de F_c da fonte de variação cultivares, maiores os valores da acurácia. Ficou evidente também que na análise conjunta houve boa precisão experimental, representando uma média do que ocorreu nas análises individuais. Esse fato que pode ser explicado pelo aumento do número de repetições nas análises conjuntas, o que diminui o erro associado às estimativas dos ambientes com maiores valores de CV, aumentando em geral, a precisão do experimento (PIMENTEL; GOMES, 2009).

A condução de experimentos em vários ambientes, para avaliar o desempenho agrônomico de diferentes genótipos, é um dos objetivos básicos dos programas de melhoramento de plantas (ACQUAAH et al., 2016), e uma maneira de avaliar tais experimentos é procedendo-se a análise conjunta entre os ambientes e os anos agrícolas (WARD et al., 2019). Ao proceder as análises conjuntas, observou-se as significâncias para as fontes de variação cultivares, ambientes, aplicações, interações aplicações x ambientes e cultivares x ambientes para os dois caracteres avaliados. Para as interações aplicações x cultivares e aplicações x cultivares x ambientes observou-se significâncias apenas para o caráter produtividade de grãos.

Embora, como mencionado anteriormente, os genótipos sejam semelhantes entre si, existem diferenças genéticas entre cada uma das cultivares avaliadas, devido ao *background* genético diferente, que, associadas aos fatores ambientais, propiciaram diferenças nas observações fenotípicas (GESTEIRA et al., 2018).

A cultivar TMG 7067 IPRO obteve a maior média de produtividade de grãos (4490 kg.ha^{-1}) entre os genótipos avaliados, porém, a maturação absoluta da cultivar foi a mais tardia com 124 dias. Fato esse que já era esperado devido ao maior grupo de maturidade dessa cultivar. Para a cultivar TMG 7262 RR observou-se a menor média de produtividade de grãos com 3535 kg.ha^{-1} associada a maior precocidade (maturação absoluta de 119 dias) entre os genótipos avaliados. GESTEIRA et al. (2015) realizou testes de correlação fenotípica entre a produtividade de grãos e maturação absoluta, sendo significativo e com alta magnitude (0,7417), demonstrando que as cultivares mais tardias foram as mais produtivas, embora seja possível identificar cultivares com menor ciclo e bom desempenho.

Foram testados, neste estudo, seis ambientes (quatro locais e dois anos agrícolas). Sendo assim, neste efeito/fator existe a combinação das flutuações ambientes inerentes aos locais, como também devido aos anos agrícolas. Os fatores ambientais dos locais representam uma variação previsível para fertilidade do solo, por exemplo. Contudo, a ocorrência de chuvas, e até mesmo a incidência de elevadas temperaturas associado às flutuações dos anos agrícolas representam as variações imprevisíveis, isto é, que ocorrem de maneira furtiva e que o pesquisador não possui controle. Portanto, a contribuição fenotípica dada pelo componente ambiental foi devido à combinação de fatores previsíveis e imprevisíveis (SILVA et al., 2017).

Estes efeitos ambientais foram essenciais para que a interação C x A fosse significativa. Sendo assim, estes resultados reforçam a necessidade de se avaliar experimentos em diferentes ambientes, ou seja, locais e anos agrícolas (SOARES et al., 2015). A produtividade média de grãos obtida por ambiente denota estes comentários. Houve variação de 37,10% entre a maior e menor estimativa de produtividade para os ambientes mais contrastantes. Já o caráter maturação absoluta variou 11,36% entre a maior e menor estimativa para os ambientes mais contrastantes.

A interação C x A reporta que as cultivares não apresentaram comportamento coincidente quando avaliadas nos diferentes ambientes. Na existência da interação é possível identificar a melhor cultivar para cada ambiente, ou estabelecer em média qual o genótipo de melhor desempenho considerando todos os avaliados (SOARES et al., 2015). As cultivares TMG 7067 IPRO e TMG 7063 IPRO apresentaram ampla plasticidade, pois foram as de melhor performance média independente do ambiente em questão. Deve-se destacar também, que além de boa produtividade, a TMG 7063 IPRO apresenta boa precocidade quando comparada às demais avaliadas, viabilizando assim, a possibilidade de realização de uma segunda safra (GESTEIRA et al., 2015).

Com o aumento do número de aplicações do fungicida FOX® observa-se que ocorre o aumento para maturação absoluta com ajuste de modelo linear. Mudanças no ciclo da soja devido ao crescente número de aplicações de fungicidas também foram relatadas por Barros et al. (2008) e Zambiazzi et al. (2018), porém, é importante ressaltar que esses trabalhos não utilizaram cultivares INOX®, além das diferentes quantidades de aplicações de fungicida. Segundo Bertelsen et al. (2001), este aumento na maturação absoluta era esperado, pois quando a cultura não recebe a aplicação preventiva de fungicidas, a planta apresenta reações de defesa que causam um custo energético e aceleração da senescência. Entre os efeitos fisiológicos dos fungicidas no metabolismo das culturas, a inibição da biossíntese do etileno resulta no efeito verde, que gera um atraso na senescência (SILVA; CANTERI; SILVA, 2013).

A resposta com o crescente número de aplicações do fungicida FOX® foi linear e positiva para o caráter produtividade de grãos. Resultados semelhantes foram observados por Barros et al. (2008), Finoto et al. (2011) e Zambiazzi et al. (2018), onde o aumento no número de aplicações proporcionou aumento na produtividade de grãos de 23, 22 e 28% respectivamente. Ressalta-se que nos trabalhos citados acima não foram utilizadas cultivares INOX® e o número de aplicações de fungicidas também foram diferentes. Foi observado o aumento do número de aplicações de fungicida reduziu a incidência de algumas doenças, como por exemplo, míldio, antracnose e principalmente oídio. Os fungicidas atuam positivamente na fisiologia das plantas, aumentando os níveis de clorofila e reduzindo a produção de etileno. Estes efeitos contribuem diretamente para menos estresse no campo, garantindo maior qualidade e rendimento para as plantas (ALVES, 2016).

Zambiazzi et al. (2018) relataram que a produtividade de grãos apresentou alta correlação positiva com o número de aplicações de fungicidas. O conhecimento da associação entre os caracteres é muito importante para a pesquisa, principalmente quando a seleção deles apresenta dificuldades devido a problemas de mensuração ou identificação (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Para o segundo experimento, conduzido em casa de vegetação, o coeficiente de variação evidenciou boa precisão (< 20%) para todos os caracteres avaliados. Apenas para o caráter número de vagens a acurácia não foi de alta magnitude. Testar a significância de um caráter por meio de dados de contagem, como o uso de escalas de notas, requer que os pressupostos da análise de variância sejam atendidos. No presente trabalho, os testes aplicados indicaram que as condições para realização das análises foram atendidas e possibilitou a análise das variáveis resposta.

No presente trabalho, a AACPD e a Severidade de ferrugem da multilinha pertenceu ao mesmo grupo das demais cultivares com tecnologia INOX® pelo teste de Scott e Knott (1974) e pelo intervalo de confiança para diferença de duas médias com 95% de probabilidade. A utilização de multilinhas é uma estratégia promissora na obtenção de resistência durável em plantas cultivadas, principalmente no patossistema soja-*P.pachyrhizi*, cujo patógeno apresenta ampla variabilidade. Portanto, é importante avaliar o comportamento de multilinhas na busca por maior estabilidade e resistência à ferrugem asiática em cultivo de soja. O sucesso de multilinhas em reduzir a severidade de patógenos, quando comparadas a linhas puras, também foi observado nas culturas da maçã, arroz, sorgo e feijão (DIDELOT et al., 2007; BOTELHO et al., 2011; COSTA et al., 2012; RABOIN et al., 2012; SOUZA et al., 2013). Além disso, observou-se que a cultivar suscetível apresentou maior severidade da doença quando comparada aos demais genótipos desde o início das avaliações.

Segundo Board e Harville (1994), o número de vagens é determinado durante os estádios vegetativos finais e reprodutivos iniciais. A interceptação de luz pela comunidade de plantas é fundamental para o desenvolvimento de gemas reprodutivas, armazenamento de fotoassimilados e diminuição do aborto de flores e de vagens. Portanto, já era esperado que o caráter número de vagens não apresentasse diferença significativa entre os genótipos avaliados, devido a inoculação do patógeno ter sido realizada em estágio de desenvolvimento mais avançado da cultura (R3).

Para Mauad et al. (2010), o número total de grãos por vagens está relacionado com o número total de vagens por planta. Portanto, um menor número total de vagens afeta diretamente o número de grãos por vagens. Outro fator que afeta diretamente o número de grãos por vagens é o ataque de patógenos, principalmente a ferrugem asiática da soja, que impede o enchimento dos grãos. Como mencionado anteriormente, a inoculação com *P.pachyrhizi* em R3 ocasionou redução significativa no número de grãos formados e conseqüentemente no número de grãos por vagem.

Dentre os componentes de produtividade, o peso de 100 grãos merece destaque, uma vez que cultivares que possuem maior peso em seus grãos poderão converter esse ganho em produtividade. Há relatos na literatura que o peso médio de 100 grãos é de 16 gramas. Valores semelhantes foram observados por Ávila et al. (2008). No presente trabalho, o valor médio para as cultivares INOX® foi de 13,9 g e para a multilinhas foi de 14,7 g, evidenciando-se a eficácia da tecnologia em relação a cultivar susceptível, que obteve peso médio de 100 grãos de 8,2 g. Fato esse muito relevante, pois fica evidente que a produtividade de grãos de uma lavoura de soja INOX® quando comparada à uma cultivar não INOX®, será muito maior. Levando-se apenas o peso de 100 grãos em consideração, observa-se uma redução de 58% no peso dos grãos da cultivar susceptível quando comparada com a cultivar INOX®. Ressalta-se que não houve aplicação de fungicida nesse experimento conduzido em casa de vegetação.

Para as culturas em geral, o acúmulo de massa seca pode ser uma característica importante, pois parte dessa massa seca pode ser remobilizada para grãos durante sua formação, particularmente em períodos de estresse, constituindo um fator importante na determinação do rendimento de grãos (CHAVES et al., 2002). Nem sempre as plantas com o maior peso da parte aérea serão as mais produtivas, pois o índice de colheita considera o peso dos grãos em relação ao peso da parte aérea da planta (ZAMBIAZZI et al., 2018). Neste experimento, a cultivar suscetível obteve as piores médias para os caracteres peso total de grãos e peso da parte aérea, fato que culminou também em pior desempenho desta cultivar no caráter índice de colheita.

5 CONCLUSÕES

Considerando-se três aplicações do fungicida FOX®, o crescente número de aplicações de fungicida foliar aumenta a produtividade de grãos e a maturação absoluta.

A cultivar TMG 7067 IPRO apresenta maior média de produtividade de grãos e maturação absoluta.

Não há diferença para os caracteres avaliados entre as cultivares *per se* e a multilinha.

Multilinha de cultivares INOX® figura-se como eficiente para a redução da severidade de ferrugem asiática em soja.

REFERÊNCIAS

- ACQUAAH, G.; AL-KHAYRI, J. M.; JAIN, S. M.; JOHNSON, D. V. Conventional Plant Breeding Principles and Techniques. **Advances in Plant Breeding Strategies: Breeding, Biotechnology and Molecular Tools**, 2016. p. 115-158.
- ALLARD, R. W. Relationship Between Genetic Diversity and Consistency of Performance in Different Environments 1. **Crop Science**, v. 1, n. 2, p. 127-133, 1961.
- ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding 1. **Crop science**, v. 4, n. 5, p. 503-508, 1964.
- ALVES, V. M. **Fungicidas protetores no manejo da ferrugem da soja, processos fisiológicos e produtividade da cultura**. 2016. 99 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2016.
- AMARAL, R. G. **Competição intergenotípica em clones comerciais de Eucalyptus spp. e seleção para plantios multiclonais**. 2016. 58 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2016.
- ÁVILA, W.; PERIN, A.; GUARESCHI, R. F.; GAZOLLA, P. R. Influência do tamanho da semente na produtividade de variedades de soja. **Agrarian**, v. 1, n. 2, p. 83-89, 2008.
- BARROS, H. B.; SEDIYAMA, T.; SILVA REIS, M.; CECON, P. R. Efeito do número de aplicações de fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 2, 2008.
- BERTELSEN, J. R.; DE NEERGAARD, E.; SMEDEGAARD- PETERSEN, V. Fungicidal effects of azoxystrobin and epoxiconazole on phyllosphere fungi, senescence and yield of winter wheat. **Plant Pathology**, v. 50, n. 2, p. 190-205, 2001.
- BOARD, J. E.; HARVILLE, B. G. A criterion for acceptance of narrow-row culture in soybean. **Agronomy Journal**, v. 86, n. 6, p. 1103-1106, 1994.
- BONDE, M. R.; NESTER, S. E.; AUSTIN, C. N.; STONE, C. L.; FREDERICK, R. D.; HARTMAN, G. L.; MILES, M. R. Evaluation of virulence of *Phakopsora pachyrhizi* and *P. meibomia* isolates. **Plant Disease**, v. 90, n. 6, p. 708-716, 2006.
- BOTELHO, F. B. S.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. D. F. B.; ROSA, H. J. A. Multiline as a Strategy to Reduce Damage Caused by *Colletotrichum lindemuthianum* in Common Bean.(Report). **Journal of Phytopathology**, v. 159, n. 3, p. 175, 2011.
- CHAVES, M. M.; PEREIRA, J. S.; MAROCO, J.; RODRIGUES, M. L.; RICARDO, C. P. P.; OSÓRIO, M. L.; CARVALHO, I.; FARIA, T.; PINHEIRO, C. How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. **Annals of botany**, v. 89, n. 7, p. 907-916, 2002.

- CHILDS, S. P.; KING, Z. R.; WALKER, D. R.; HARRIS, D. K.; PEDLEY, K. F.; BUCK, J. W.; BOERMA, H. R.; LI, Z. Discovery of a seventh Rpp soybean rust resistance locus in soybean accession PI 605823. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 131, n. 1, p. 27-41, 2018/01/01 2018. ISSN 1432-2242.
- COSTA, R. V.; ZAMBOLIM, L.; SILVA, D. D.; COTA, L. V.; CASELA, C. R. Utilização de multilinhas dinâmicas para o manejo da antracnose do sorgo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 2, p. 173-180, 2012.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 5. ed. Viçosa: UFV, 2012.
- DIDELOT, F.; BRUN, L.; PARISI, L. Effects of cultivar mixtures on scab control in apple orchards. **Plant Pathology**, v. 56, n. 6, p. 1014-1022, 2007.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FINOTO, E. L.; CARREGA, W. C.; SEDIYAMA, T.; DE ALBUQUERQUE, J. A. A.; CECON, P. R.; REIS, M. S. Efeito da aplicação de fungicida sobre caracteres agronômicos e severidade das doenças de final de ciclo na cultura da soja. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 5, n. 1, p. 44-49, 2011.
- FRAC. Fungicide Resistance Action Committee. **Monitoring results and use recommendations available at**. 2018. Disponível em: < <http://www.frac.info/working-group/sdhi-fungicides/general-use-recommendations> >. Acesso em: 08 maiO 2019.
- GESTEIRA, G. D. S.; BRUZI, A. T.; ZITO, R. K.; FRONZA, V.; ARANTES, N. E. Selection of early soybean inbred lines using multiple indices. **Crop Science**, v. 58, n. 6, p. 2494-2502, 2018.
- GESTEIRA, G. D. S.; ZAMBIAZZI, E. V.; BRUZI, A. T.; SOARES, I. O.; REZENDE, P. M. D.; SILVA, K. B. Seleção fenotípica de cultivares de soja precoce para a região Sul de Minas Gerais. **Revista Agrogeoambiental**, v. 7, n. 3, 2015.
- GODOY, C. V.; KOGA, L. J.; CANTERI, M. G. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, n. 1, p. 63-68, 2006.
- GODOY, C. V.; SEIXAS, C. D. S.; SOARES, R. M.; MARCELINO-GUIMARÃES, F. C.; MEYER, M. C.; COSTAMILAN, L. M. Asian soybean rust in Brazil: Past, present, and future. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 5, p. 407-421, 2016.
- JULIATTI, B. C. M. **Biochemical, physiological and epidemiological characterization of soybean genotypes (Glycine max) with partial resistance against soybean rust (Phakopsora pachyrhizi Sydow & P. Sydow)**. 2018. 134 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

MILES, M. R.; BONDE, M. R.; NESTER, S. E.; BERNER, D. K.; FREDERICK, R. D.; HARTMAN, G. L. Characterizing resistance to *Phakopsora pachyrhizi* in soybean. **Plant Disease**, v. 95, n. 5, p. 577-581, 2011.

MUNDT, C. C. USE OF MULTILINE CULTIVARS AND CULTIVAR MIXTURES FOR DISEASE MANAGEMENT. **Annual Review of Phytopathology**, v. 40, n. 1, p. 381-410, 2002.

MUNDT, C. C. Durable resistance: a key to sustainable management of pathogens and pests. **Infection, Genetics and Evolution**, v. 27, p. 446-455, 2014.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: ESALQ, 2009. p. 451.

RABOIN, L. M.; RAMANANTSOANIRINA, A.; DUSSERRE, J.; RAZASOLOFONANAHARY, F.; THARREAU, D.; LANNOU, C.; SESTER, M. Two-component cultivar mixtures reduce rice blast epidemics in an upland agrosystem. **Plant Pathology**, v. 61, n. 6, p. 1103-1111, 2012.

RESENDE, M. D. V. D.; DUARTE, J. B. Precision and Quality Control in Variety Trials. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.

SCOTT, A.; KNOTT, M. Cluster-analysis method for grouping means in analysis of variance. **Biometrics**, v. 30, p. 507-512, 1974.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. **Soja do Plantio à Colheita**. Viçosa: UFV, 2015. p. 333.

SILVA, A. J. D.; CANTERI, M. G.; SILVA, A. L. D. Haste verde e retenção foliar na cultura da soja. **Summa Phytopathologica**, v. 39, n. 3, p. 151-156, 2013.

SILVA, K. B.; BRUZI, A. T.; ZAMBIAZZI, E. V.; SOARES, I. O.; PEREIRA, J.; CARVALHO, M. L. M. Adaptability and stability of soybean cultivars for grain yield and seed quality. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 2, p. 1-15, 2017.

SOARES, I. O.; REZENDE, P. M. D.; BRUZI, A. T.; ZAMBIAZZI, E. V.; ZUFFO, A. M.; SILVA, K. B.; GWINNER, R. Adaptability of soybean cultivars in different crop years. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, p. 8995-9003, 2015.

SOUZA, B. O.; CASELA, C. R.; NUNES, J. A.; CASTRO, H. A. Management of sorghum anthracnose through diversification of genetic resistance in host population. **Tropical Plant Pathology**, v. 38, n. 1, p. 20-27, 2013.

WARD, B. P.; GUEDIRA, G. B.; TYAGI, P.; KOLB, F. L.; VAN SANFORD, D. A.; SNELLER, C. H.; GRIFFEY, C. A. Multienvironment and multitrait genomic selection models in unbalanced early-generation wheat yield trials. **Crop Science**, v. 59, n. 2, p. 491-507, 2019.

YAMANAKA, N.; DA SILVA, D. C. G.; PASSIANOTTO, A. L. D. L.; NOGUEIRA, L. M.; POLIZEL, A. M.; PEREIRA, S. D. S.; DOS SANTOS, J. V. M.; BROGIN, R. L.; ARIAS, C. A. A.; HOFFMANN-CAMPO, C. B. **Identification of DNA markers and characterization of the genes for resistance against asian soybean rust.** *Embrapa Soja (ALICE)*, 2008.

YAMANAKA, N.; LEMOS, N.; UNO, M.; AKAMATSU, H.; YAMAOKA, Y.; ABDELNOOR, R.; BRACCINI, A.; SUENAGA, K. Resistance to Asian soybean rust in soybean lines with the pyramided three Rpp genes. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 13, n. 1, 2013.

ZAMBIAZZI, E. V.; BRUZI, A. T.; ZUFFO, A. M.; SOARES, I. O.; BIANCHI, M. C.; DE CARVALHO, M. L. M.; GUILHERME, S. R.; DE CARVALHO, A. H. F.; MENDES, A. E.; MONTEIRO BORGES, I. M. Effects and management of foliar fungicide application on physiological and agronomical traits of soybean. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 2, p. 265, 2018.

CAPÍTULO 3 – HOMEOSTASE DE CULTIVARES *PER SE* E EM MISTURA EM DIFERENTES AMBIENTES NA CULTURA DA SOJA

RESUMO

A interação entre a planta, o ambiente de produção, e o manejo, definirão a produtividade de uma cultura. Altos rendimentos são obtidos quando o genótipo apresenta potencial produtivo e alta estabilidade, tudo isso aliado aos tratos culturais e manejo requerido pela cultura. A interação genótipos x ambientes consiste no comportamento não coincidente de genótipos quando cultivados em ambientes distintos. Existem três formas de se atenuar o efeito da interação: identificação de cultivares específicas para cada ambiente; estratificação ambiental em regiões as quais o componente da interação é minimizado e; avaliação e identificação de cultivares com maior adaptabilidade/estabilidade fenotípica. Sendo assim, objetivou-se estudar a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos de soja em diferentes ambientes bem como a identificação de cultivares que contribuem menos para a interação G x A para as condições de cultivo em clima tropical de altitude. Foram avaliadas seis cultivares comerciais de soja INOX® e uma multilinha. Os locais avaliados foram em Lavras e Ijaci, nas safras 2017/18 e 18/19, e Itutinga e Inconfidentes, na safra 2018/19, sendo que foi instalado em cada local quatro experimentos, totalizando vinte e quatro ambientes. O delineamento experimental adotado foi o de blocos completos casualizados com três repetições em esquema fatorial. De posse das análises individuais, foi feita a análise conjunta agrupando-se as médias fenotípicas pelo teste de Scott Knott. Para as análises de adaptabilidade e estabilidade, adotou-se os métodos da Ecovalência (W_i) e o Índice de Confiança (I_i). A mistura de linhagens é uma estratégia eficiente para aumentar a estabilidade fenotípica em soja. A Multilinha e a cultivar TMG 7063 IPRO apresentam ampla estabilidade e adaptabilidade. A cultivar TMG 7067 IPRO apresenta o maior índice de confiança com grande contribuição para a interação.

Palavras-chave: [*Glycine max (L.) Merril*]. Adaptabilidade. Interação genótipos x ambientes.

HOMEOSTASIS OF CULTIVARS PER SE AND MIXING IN DIFFERENT ENVIRONMENTS IN SOY CULTURE

ABSTRACT

Interaction between plant, production environment and management will define the productivity of a crop. High yields are obtained when the genotype has productive potential and high stability, all combined with the cultural treatments and management required by the crop. The genotype x environment interaction is the non-coincident behavior of genotypes when grown in different environments. There are three ways to mitigate the effect of interaction: identifying cultivars specific for each environment; environmental stratification in regions where the interaction component is minimized; evaluation and identification of cultivars with greater adaptability/stability phenotypic. Thus, the objective was to study the adaptability and stability of soybean genotypes in different environments as well as the identification of cultivars that contribute less to the G x E interaction for cultivation conditions in tropical climate of altitude. Six commercial INOX® soybean cultivars and one multi-line cultivar were evaluated. The evaluated sites were in Lavras and Ijaci in the 2017/18 and 18/19 crops, and Itutinga and Inconfidentes in the 2018/19 crop, and four experiments were installed in each location, totaling twenty-four environments. The experimental design was a complete block randomized delineation with three replications in a factorial scheme. With the individual analyzes, the joint analysis was performed by grouping the phenotypic means by the Scott Knott test. For the adaptability and stability analyzes, the Ecovalence (Wi) and Confidence Index (Ii) methods were adopted. The mixture of strains is an efficient strategy to increase the phenotypic stability in soybean. The multi-line and cultivar TMG 7063 IPRO have broad stability and adaptability. The cultivar TMG 7067 IPRO presents the highest confidence index with great contribution to the interaction.

Keywords: [*Glycine max* (L.) Merrill]. Adaptability. Genotype x environment interaction.

1 INTRODUÇÃO

A interação genótipos x ambientes pode proporcionar a alteração no desempenho dos genótipos causada pelas diferenças ambientais (BORÉM; MIRANDA, 2013). Os ambientes podem ser entendidos como locais, safras, épocas de semeadura, práticas culturais ou até mesmo todos esses fatores reunidos (SILVA et al., 2012). Tal interação é resultante de variados fatores ambientais relacionados entre si e com a planta, resultando em alterações na produtividade e em outros caracteres agronômicos (MEOTTI et al., 2012; PIRES et al., 2012).

A interação G x E constitui-se em um dos principais desafios na seleção e recomendação de cultivares (MARQUES et al., 2011). Uma das alternativas mais utilizadas para amenizar a influência dessa interação é a recomendação de cultivares com estabilidade e ampla adaptabilidade (SOARES et al., 2015). Reduzindo os efeitos da interação G x E, seria possível identificar genótipos específicos para cada ambiente, ou estratificar os ambientes em grupos semelhantes, ou ainda identificar genótipos com maior estabilidade fenotípica (SOUSA, 2015). No processo de seleção e recomendação de genótipos é indicado avaliar o desempenho dos genótipos em diferentes locais, safras e épocas de semeadura (PIRES et al., 2012).

O termo estabilidade é empregado para se referir à maior ou à menor habilidade de genótipos em se adaptarem às flutuações climáticas, ao longo de anos agrícolas, dentro de um dado local (RAMALHO et al., 2012). Há vários conceitos de estabilidade na literatura (LIN et al., 1986). O primeiro refere-se à estabilidade biológica. Neste caso, o genótipo apresenta resposta linear em relação às variações ambientais. O segundo conceito está relacionado à estabilidade agrônômica, isto é, existe resposta do genótipo às flutuações/variações ambientais existentes. Este tipo de estabilidade é desejado pelos melhoristas, pois devido ao estímulo ambiental os genótipos responsivos aumentam a expressão fenotípica do dado caráter. A estabilidade do tipo III está relacionada à previsibilidade de desempenho. Já a estabilidade do tipo IV refere-se à interação genótipos x anos agrícolas (LIN; BINNS, 1988).

Existem diversos métodos para se estudar a estabilidade de cultivares (KANG; GAUCH JR., 1996; CRUZ et al., 2004; RAMALHO et al., 2012). O método da ecovalência, proposto por Wricke (1964), baseia-se na análise de variância e os valores de ecovalência (ω_i) são estimados fazendo-se a decomposição da soma de quadrados da interação genótipos x ambientes. Neste método, é estimada a contribuição de cada genótipo para a interação, os

valores de ω_i são dados em termos percentuais e a soma da contribuição entre todos os genótipos deve ser 100. Os genótipos mais estáveis estão associados aos valores mais baixos de ω_i (CRUZ et al., 2012). Este método tem sido empregado na cultura da soja (SOARES et al., 2015; SILVA et al., 2016; CARNEIRO, 2017).

É possível assim, identificar cultivares que associem produtividade e a estabilidade agrônômica. Já a metodologia de Annicchiarico (1992) possui como estatística o índice de confiança (I_i), cujo resultado é expresso em porcentagem em relação a média dos ambientes analisados. O índice de confiança permite estimar qual o risco em se utilizar cada genótipo.

Na cultura da soja, alguns trabalhos estão reportados na literatura com o objetivo de se estudar a adaptabilidade e a estabilidade (SOARES et al., 2015; SILVA et al., 2016; GESTEIRA et al., 2018). Contudo, relatos com o objetivo de se identificar cultivares com ampla adaptabilidade e estabilidade para o sul do estado de Minas Gerais ainda são escassos.

Sendo assim, objetivou-se estudar a adaptabilidade e estabilidade, bem como a identificação de cultivares que contribuem menos para a interação $G \times A$ para as condições de cultivo em clima tropical de altitude.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em dois locais no ano agrícola 2017/2018, municípios de Lavras e Ijaci, e em quatro locais no ano agrícola 2018/2019, municípios de Lavras, Ijaci, Itutinga e Inconfidentes. Em cada local foram instalados quatro experimentos com 0, 1, 2 e 3 aplicações de fungicida, sendo cada experimento um ambiente distinto. Desse modo, totalizou-se vinte e quatro ambientes (TABELA 2). Os dados geodésicos dos locais serão apresentados abaixo:

- a) Área experimental no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária (Fazenda Muquém) da Universidade Federal de Lavras - UFLA, localizada a uma altitude de 954 m, $21^{\circ}12'11''$ de latitude e $44^{\circ}58'47''$ de longitude, no município de Lavras;
- b) Fazenda particular, Fazenda Milanez, localizada no município de Itutinga a uma altitude de 970 m, latitude sul de $21^{\circ}17'53''$ e longitude oeste de $44^{\circ}39'28''$.
- c) Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária – Fazenda Palmital, localizada no município de Ijaci, situada à latitude de $21^{\circ}09' S$, longitude $44^{\circ}54' W$ e altitude de 920 m.
- d) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – IFSULDEMINAS, localizado no município de Inconfidentes, situado à latitude $22^{\circ}19'01'' S$, longitude $46^{\circ}19'40'' W$ e altitude de 869 m.

As características de solo dos ambientes estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição química do solo para Lavras e Ijaci (safra 2017/18) e Lavras, Ijaci, Itutinga e Inconfidentes (safra 2018/19).

Propriedades químicas	Unidade	Ambientes					
		2017/2018		2018/19			
		Lavras	Ijaci	Lavras	Ijaci	Itutinga	Inconfidentes
pH	H ₂ O	5,7	6,3	5,8	6,4	6,3	5,7
Ca ²⁺	cmol _c /dm ³	3,3	5,0	3,7	5,5	2,5	4,2
Mg ²⁺	cmol _c /dm ³	0,6	1,8	1,0	2,0	1,0	1,0
Al ³⁺	cmol _c /dm ³	0,2	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0
H+Al	cmol _c /dm ³	4,0	2,9	2,7	2,9	3,9	2,8
SB	cmol _c /dm ³	4,2	6,7	4,1	7,0	3,5	5,3
P	cmol _c /dm ³	24,6	28,4	36,1	30,2	11,0	16,0
K	mg/dm ³	116,0	118,0	96,0	115,0	96,0	41,0
Zn ²⁺	mg/dm ³	2,6	-	3,6	-	1,0	6,5
Mn ²⁺	mg/dm ³	20,6	-	14,1	-	6,0	10,2
Cu ²⁺	mg/dm ³	0,1	-	0,5	-	1,6	0,3
B	mg/dm ³	0,2	-	0,2	-	0,4	0,2
Fe ²⁺	mg/dm ³	54,3	-	74,4	-	46,6	29,5
S	mg/dm ³	9,0	-	9,1	-	15,0	-
MO	dag/kg	2,2	5,4	2,9	5,7	3,6	3,9
V	%	83,5	69,8	64,3	70,0	65,0	65,9

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 2 - Correspondência dos experimentos instalados nos seis locais totalizando vinte e quatro ambientes avaliados.

Lavras 2017/18	Ijaci 2017/18	Lavras 2018/19	Ijaci 2018/19	Itutinga 2018/19	Inconfidentes 2018/19
1	5	9	13	17	21
2	6	10	14	18	22
3	7	11	15	19	23
4	8	12	16	20	24

Fonte: Do autor (2019).

Na Figura 1 estão apresentados os dados climáticos para os seis ambientes conforme à seguinte descrição.

- i) Lavras 2017/18 corresponde ao ambiente 1, sendo a precipitação do ambiente (P1) e temperatura média (T1).
- ii) Ijaci 2017/18 corresponde ao ambiente 2, sendo a precipitação do ambiente (P2) e

temperatura média (T2).

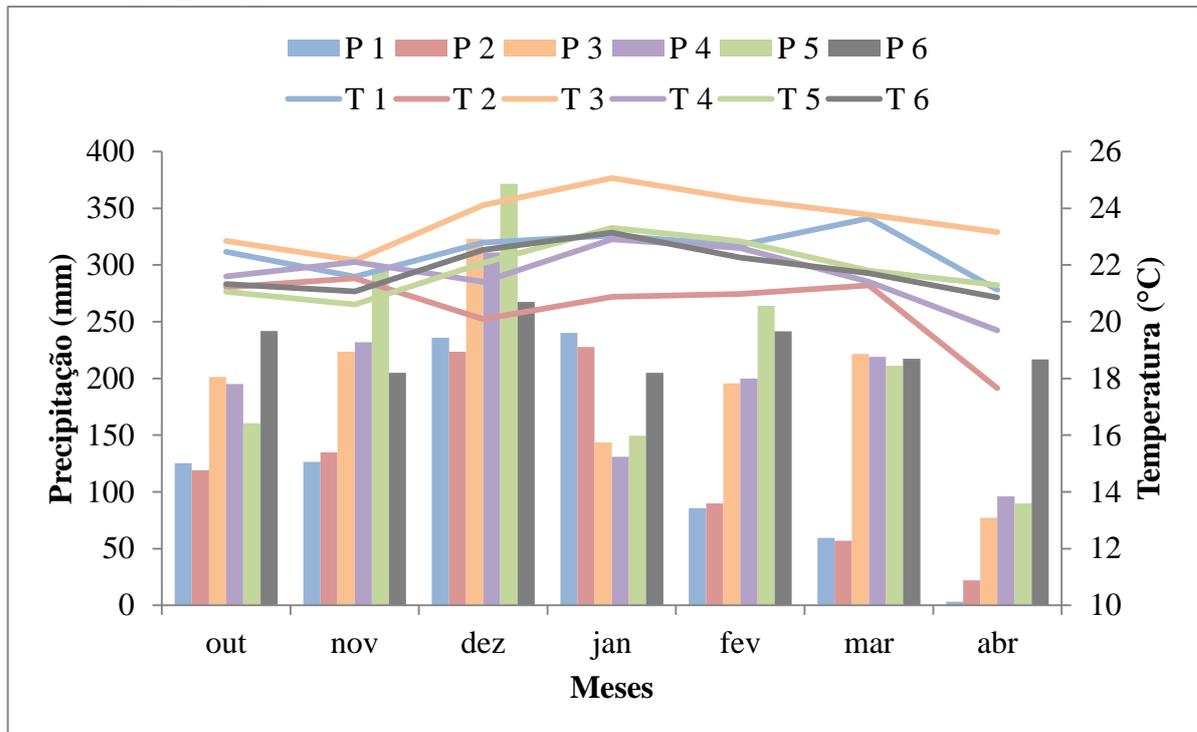
iii) Lavras 2018/19 corresponde ao ambiente 3, sendo a precipitação do ambiente (P3) e temperatura média (T3).

iv) Ijaci 2018/19 corresponde ao ambiente 4, sendo a precipitação do ambiente (P4) e temperatura média (T4).

v) Itutinga 2018/19 corresponde ao ambiente 5, sendo a precipitação do ambiente (P5) e temperatura média (T5).

vi) Inconfidentes 2018/19 corresponde ao ambiente 6, sendo a precipitação do ambiente (P6) e temperatura média (T6).

Figura 1 - Pluviosidade total e temperatura média no período de outubro a abril nos ambientes avaliados.



Fonte: Do autor (2019) e adaptado de Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2019).

Tabela 2 - Descrição das cultivares (Procedência), Grupos de maturidade (GM) e Genes de Resistência (GR).

Procedência	GM	GR
TMG 7060 IPRO	6.0	INTACTA RR2 IPRO/ INOX®
TMG 7063 IPRO	6.3	INTACTA RR2 IPRO/ INOX®
TMG 7262 RR	6.2	RR/ INOX®
TMG 7062 IPRO	6.2	INTACTA RR2 IPRO/ INOX®
TMG 7363 RR	6.3	RR/ INOX® / Resistente à Cisto
TMG 7067 IPRO	6.7	INTACTA RR2 IPRO/ INOX®
MULTILINHAS	-	-

Fonte: Adaptado de TMG (Tropical Melhoramento e Genética)

A cultura foi conduzida sob o sistema de plantio direto, com sulcos de semeadura espaçados em 0,50 m. A adubação foi realizada de acordo com as recomendações de Sedyama, Silva e Borém (2015). Foram utilizadas seis cultivares de soja comerciais e uma multilinha, ou seja, uma mistura de genótipos com maior homeostase populacional (TABELA 3).

Tabela 3 - Descrição das cultivares (Procedência), Grupos de maturidade (GM) e Genes de Resistência (GR).

Número de aplicações	Estádio fenológico das aplicações
0	Sem aplicação (controle)
1	R ₁ *
2	R ₁ e R ₁ + 15 **
3	R ₁ , R ₁ + 15** e R ₁ + 30**

* Início Florescimento, ** Dias após R₁.

Fonte: Do autor (2019).

As parcelas foram constituídas de duas linhas de quatro metros, com espaçamento de 0,5 m entre linhas na safra 2017/18. Para a safra 2018/19 as parcelas foram constituídas de quatro linhas de cinco metros, com espaçamento de 0,5 m entre linhas, sendo utilizadas como área útil das parcelas as duas fileiras centrais. O delineamento experimental adotado foi o de blocos completos casualizados com três repetições em esquema fatorial.

A semeadura foi realizada manualmente em área de sistema de plantio direto, na primeira quinzena de novembro de 2017, e a colheita no mês de março de 2018. Para o segundo ano agrícola, a semeadura foi realizada na segunda quinzena de novembro de 2018 e a colheita no mês de março de 2019.

A inoculação via sulco foi realizada com as bactérias *Bradyrhizobium japonicum* após a semeadura na dose de 18 mL p. c. kg⁻¹ de semente - estirpes SEMIA 5079 e 5080, contendo

10.8×10^6 UFC/sementes do inoculante Nitragin Cell Tech HC® (3×10^9 UFC/mL), utilizando-se um pulverizador costal motorizado, acoplado a barra com quatro bicos de pulverização XR 11002, aplicando-se volume de calda equivalente a 150 L ha^{-1} .

O controle de pragas na cultura foi realizado de acordo com a necessidade, com a utilização de inseticidas dos grupos químicos Neonicotinóide, Piretróide e Clorpirifós. O controle de plantas daninhas em pós-emergência foi realizado utilizando-se glifosato na dosagem de 2 L.ha^{-1} .

Para os experimentos que receberam 1, 2 e 3 aplicações de fungicida, as pulverizações foram realizadas no estágio de desenvolvimento R1, R1+15 e R1+30, respectivamente. Para aplicação do fungicida Fox®, utilizou-se um pulverizador costal motorizado, acoplado a barra com quatro bicos de pulverização XR 11002, espaçados de 50 cm e calibrado para vazão de 200 litros ha^{-1} . No momento da aplicação foi adicionado o adjuvante indicado pelo fabricante na dose recomendada para o fungicida.

Foram avaliados os caracteres maturação absoluta em dias (90% das plantas da parcela apresentando maturação das vagens, estágio R8) e produtividade de grãos (determinada a partir da colheita das parcelas). Após a padronização da umidade de grãos para 13%, foi estimada a produtividade, em kg.ha^{-1} , a partir da conversão da área de cada parcela.

As análises individuais por ambiente, para todos os caracteres, foram realizadas utilizando o modelo estatístico:

$$y_{ij} = \mu + c_i + b_j + e_{ij} \quad (9)$$

em que:

y_{ij} : valor observado referente a parcela que recebeu a cultivar i no bloco j ;

μ : constante associada a toda observação;

c_i : efeito da cultivar i ;

b_j : efeito do bloco j ;

e_{ij} : erro associado a cultivar i no bloco j .

A análise conjunta envolvendo todos os ambientes seguiu o modelo estatístico:

$$y_{ijk} = \mu + a_k + b_{j(k)} + c_i + (ca)_{ik} + e_{ij(k)} \quad (10)$$

em que:

y_{ijk} : valor observado referente a parcela que recebeu a cultivar i no bloco j no local k .

μ : constante associada a toda observação;

a_k : efeito do ambiente k ;

$b_{j(k)}$: efeito do bloco j no ambiente k ;

c_i : efeito da cultivar i ;

$(ca)_{ik}$: efeito da interação cultivares x ambientes;

$e_{ij(k)}$: erro associado a cultivar i no bloco j no local k .

Os dados obtidos foram submetidos a análises estatísticas com auxílio do software Sisvar®, utilizando-se o teste Scott e Knott (1974) a 5% de probabilidade para comparação de médias (FERREIRA, 2011). Estimativas de coeficiente de variação e acurácia foram utilizados como medida de precisão.

O coeficiente de variação foi obtido através da seguinte modelo:

$$CV = \frac{\sqrt{QME}}{\bar{x}} \quad (11)$$

em que:

QME : quadrado médio do erro;

\bar{x} : média geral.

A acurácia seletiva foi determinada pelo seguinte estimador:

$$r = \sqrt{1 - \frac{1}{F_c}} \times 100 \quad (12)$$

em que:

r : acurácia expressa em percentagem;

F_c : valor de F calculado.

De posse das médias fenotípicas para produtividade de grãos, estimou-se a estabilidade das cultivares avaliadas pelo método de Wricke (1964). Foi, portanto, estimada a ecovalência de cada genótipo (W_k) por meio da partição da soma de quadrados da interação cultivares por ambientes, conforme expressão:

$$W_k = \sum_{l=1} (ca_{kl})^2 = \sum_{l=1} (\bar{y}_{kl} - \bar{y}_{k.} - \bar{y}_{.l} + \bar{y}_{..})^2, \quad (13)$$

em que:

\bar{y}_{kl} é a média ajustada k no ambiente l ;

$\bar{y}_{k.}$ é a média ajustada da cultivar k nos ambientes avaliados;

$\bar{y}_{.l}$ é a média ajustada do ambiente l ;

$\bar{y}..$ é a média geral.

A contribuição relativa de cada cultivar para a interação por ambientes é dada por:

$$W_k(\%) = \frac{W_k}{\sum_k W_k} \times 100. \quad (14)$$

A significância da estabilidade das cultivares fornecida pelo método de Wricke ($H_0 : W_k = 0$) foi verificada pelo teste estatístico apresentado em Resende (2002). O teste é baseado na distribuição F-Snedecor. Como no presente trabalho, o efeito da interação linhagens por ambientes é de natureza fixa, utilizou-se como testador o quadrado médio do erro experimental da análise conjunta. Sendo assim, foi utilizada a seguinte expressão:

$$F_c = \frac{\left[\frac{KW_i}{K-1} \right]}{\frac{L-1}{QME}}; F_{(\alpha; L-1; \overline{GLE})}, \quad (15)$$

em que: K é o número de cultivares; L é o número de ambientes; \overline{QME} é o quadrado médio do erro da análise conjunta; \overline{GLE} são os graus de liberdade do erro da análise conjunta; α é o nível de significância pré-definido em 0,05.

Obteve-se também o Índice de Confiança (Ii) de ANNICCHIARICO (1992), utilizou-se o seguinte modelo:

$$I_i = \bar{Y}_i - Z_{(1-\alpha)}(\sigma_i) \quad (16)$$

em que:

\bar{Y}_i é a média;

$Z_{(1-\alpha)}$ valor na distribuição normal estandardizada no qual a função de distribuição acumulada atinge o valor (1- α), com nível de significância α pré-fixado pelo autor em 0,05;

σ_i é o desvio padrão.

3 RESULTADOS

Os resumos das análises de variância individual, por ambiente, estão apresentados no Apêndice B. Em geral, os ambientes apresentaram boa precisão e boa acurácia. A acurácia variou de 45,77 (TABELA 9 B) a 97,87% (TABELA 6 B). Para o coeficiente de variação (CV), obteve-se as estimativas de 0,13 (TABELA 21 B) a 20,96% (TABELA 11 B).

É possível observar, que dos vinte e quatro ambientes estudados, detectou-se diferença significativa para fonte de variação cultivares, para os dois caracteres avaliados, em nove ambientes (TABELAS 7 B, 15 B, 16 B, 17 B, 18 B, 19 B, 20 B, 21 B e 23 B). Em seis ambientes houve diferença significativa apenas para o caráter produtividade (TABELAS 1 B, 2 B, 3 B, 5 B, 6 B e 7 B), e em seis ambientes detectou-se diferença significativa apenas para o caráter maturação absoluta (TABELAS 4 B, 10 B, 12 B, 14 B, 22 B e 24 B).

Para o estudo da interação Ambientes x Cultivares, é possível identificar qual cultivar apresentou melhor desempenho para cada ambiente. A cultivar TMG 7067 IPRO esteve presente nos grupos de melhor desempenho em vinte ambientes para o caráter produtividade. A multilinha apresentou boas médias de produtividade de grãos (TABELA 25 B).

Já para o caráter maturação absoluta, observou-se que a cultivar TMG 7262 RR esteve sempre no grupo das cultivares mais precoces para todos ambientes avaliados (TABELA 26 B), enquanto a cultivar TMG 7067 IPRO, em geral, esteve presente no grupo das cultivares mais tardias.

O resumo da análise de variância conjunta (TABELA 4) evidencia que há diferença para os fatores ambientes e cultivares para os dois caracteres avaliados. A interação Cultivares x Ambientes também foi significativa para os caracteres avaliados. O experimento apresentou boa precisão e elevada acurácia.

Tabela 4 - Resumo da análise de variância conjunta para os caracteres produtividade de grãos em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e maturação absoluta em dias.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Ambientes (A)	23	0,0000	0,0000
Blocos/A	48	0,0085	0,0000
Cultivares (C)	6	0,0000	0,0000
C x A	138	0,0000	0,0005
Erro	288		
Fc (Cultivares)		33,41	41,00
Acurácia (%)		98,49	98,77
CV (%)		13,10	1,71
Média geral		4006	122

Fonte: Do autor (2019).

Para os diferentes ambientes observou-se grande variação para produtividade de grãos. O ambiente 12 foi o que obteve maior destaque, com produtividade média de $5281 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Por outro lado, o ambiente 5 foi o que apresentou a menor produtividade, $2596 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (TABELA 5). Para o caráter maturação absoluta, observou-se uma variação média de 115 dias para os ambientes 13 e 20, aos 132 dias para os ambientes 5, 6 e 7 (TABELA 5).

Tabela 5 - Tabela de médias fenotípicas conjuntas para os caracteres produtividade de grãos em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e maturação absoluta em dias para os diferentes ambientes.

Ambientes	Produtividade de grãos	Maturação absoluta
12	5281 a	123 e
4	5239 a	124 e
3	5144 a	127 f
2	4790 b	124 e
11	4782 b	121 d
24	4581 c	120 c
23	4361 c	120 c
13	4258 d	115 a
16	4215 d	118 b
22	4117 d	120 c
1	4107 d	122 d
21	4097 d	120 c
15	4079 d	118 b
10	4070 d	119 c
14	3989 d	118 b
9	3749 e	118 b
7	3407 f	132 g
19	3390 f	117 b
17	3267 f	117 b
18	3264 f	117 b
20	3242 f	115 a
8	3130 f	131 g
6	2994 g	132 g
5	2596 h	132 g

As médias seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo grupo pelo teste Scott-Knott a 95% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

As produtividades médias apresentaram ampla variação para as cultivares, sendo a menor, $3535 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, obtida pela cultivar TMG 7262 RR, e a maior estimativa, $4490 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, obtida pela cultivar TMG 7067 IPRO (TABELA 6), fato que já era esperado devido ao maior grupo de maturidade da cultivar. O caráter maturação absoluta apresentou variação média de 119 dias para a cultivar TMG 7262 RR a 124 dias para a cultivar TMG 7067 IPRO (TABELA 6). A média das linhagens, para todos os caracteres avaliados, não diferiu estatisticamente da média da multilinha, pelo intervalo de confiança estimado (TABELA 6).

Tabela 6 - Tabela de médias fenotípicas conjuntas para os caracteres produtividade de grãos em kg.ha⁻¹ e maturação absoluta em dias para as diferentes cultivares.

Cultivares	Produtividade de grãos	Maturação absoluta
TMG 7067 IPRO	4490 a	124 d
TMG 7063 IPRO	4262 b	121 b
MULTILINHA	4185 b	122 c
TMG 7062 IPRO	4112 b	121 b
TMG 7363 RR	3886 c	121 b
TMG 7060 IPRO	3573 d	122 c
TMG 7262 RR	3535 d	119 a
Média das cultivares	3976	121,5
Cultivares vs. Multilinha	-209	0,5
	(-458,73 a 41,66) ¹	(-2,25 a 0,74) ¹

As médias seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo grupo pelo teste Scott-Knott a 95% de probabilidade. ¹Intervalo de confiança para diferença entre duas médias, adotando 95% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

Para identificar os genótipos com maior adaptabilidade e estabilidade, utilizou-se a análise de ecovalência de (WRICKE, 1964). Dentre os seis genótipos avaliados, as cultivares TMG 7262 RR e TMG 7067 IPRO foram as que mais contribuíram para a interação Cultivares x Ambientes, com valores de 24,57% e 21,30%, respectivamente. Os genótipos que menos contribuíram para a interação foram MULTILINHA (8,64%), TMG 7063 IPRO (12,96%), sendo estes genótipos considerados os de maior estabilidade fenotípica (TABELA 7).

Com o objetivo de identificar cultivares com menor risco de adoção, procedeu-se também a análise de Annicchiarico (1992). A cultivar TMG 7067 IPRO foi a que apresentou menor risco, índice de confiança superior a 112%, ou seja, na pior das hipóteses esta cultivar apresentará desempenho médio de 12% a mais do que a média das demais cultivares no ambiente (TABELA 7).

Tabela 7- Valores médios de Ecovalência de Wricke (Wi) e Índice de Confiança de Annicchiarico (Ii).

Cultivares	Wi%	Ii%
TMG 7060 IPRO	15,01	89,72
TMG 7063 IPRO	12,96	107,09
TMG 7262 RR	18,18	87,62
TMG 7062 IPRO	15,21	101,83
TMG 7363 RR	13,84	96,45
TMG 7067 IPRO	16,15	112,64
MULTILINHA	8,64	104,66
Total	100	-

Fonte: Do autor (2019).

4 DISCUSSÃO

A precisão experimental aferida pelo coeficiente de variação foi boa, e a acurácia foi elevada. Este fato pode ser justificado pelo grande número de ambientes disponíveis. Quanto maior o número de repetições, melhor serão as estimativas e a precisão com as inferências e as recomendações (RAMALHO et al., 2012).

O fenótipo de qualquer indivíduo se dá pela expressão: $F = G + A + GA$, em que G é o fator genotípico (constituição genética do indivíduo), A é o fator ambiental (condições não controláveis que interferem no desenvolvimento do indivíduo) e GA é a interação genótipos por ambientes. Este efeito é o resultado do comportamento dos diferentes genótipos ao longo de diferentes ambientes de cultivo (RAMALHO et al., 2012). Ao proceder às análises conjuntas, observou-se as significâncias para as fontes de variação cultivares, ambientes e interação cultivares x ambientes para os dois caracteres avaliados.

Para a fonte de variação cultivares, observa-se maior média de produtividade de grãos (4490 kg.ha^{-1}) para a cultivar TMG 7067 IPRO. A menor média de produtividade de grãos (3535 kg.ha^{-1}) foi observada para a cultivar TMG 7262 RR. Ressalta-se ainda, a existência de correlação fenotípica entre os caracteres produtividade de grãos e maturação absoluta, a cultivar mais produtiva obteve maior maturação absoluta, enquanto a cultivar com menor produtividade de grãos apresentou menor maturação absoluta. Fato este que já era esperado devido ao maior tempo para crescimento e acúmulo de carboidratos pela cultivar mais tardia.

A soja é cultivada por praticamente todo o território brasileiro, estando assim, exposta a diferentes ambientes de cultivo. Essas diferenças podem ser em relação ao solo, à temperatura, à pluviosidade ou ao fotoperíodo. Uma mesma cultivar de soja responde diferentemente, quanto aos caracteres agrônômicos, conforme as variações das condições ambientais. Tal condição é chamada interação genótipos x ambientes e ela dificulta a identificação de cultivares superiores e estáveis para uma mesma região de cultivo (BRANQUINHO et al., 2014).

A diferença entre os ambientes pode ser explicada pelos fatores ambientais previsíveis e imprevisíveis (SILVA et al., 2017), pois as cultivares foram testadas em locais e anos agrícolas diferentes. Os ambientes explicaram aproximadamente 15,00% da variação total, evidenciando assim a necessidade da realização de experimentos em vários locais/anos agrícolas.

O estudo da interação genótipos x ambientes utilizando ferramentas estatísticas que sejam precisas contribui inegavelmente para uma maior eficiência dos programas de melhoramento de plantas. Uma das maneiras de proceder ao estudo da interação genótipos x ambientes é identificar cultivares que tenham maior adaptabilidade e estabilidade fenotípica (VAN EEUWIJK et al., 2016).

Neste trabalho, realizou-se duas análises distintas, Wricke e Annicchiarico, porém, complementares. Pelo método de Wricke é possível identificar as cultivares com maior estabilidade agrônômica, isto é, contribuem pouco para a interação e associam responsividade à melhoria dos fatores ambientais.

Observou-se que a multilinha, além de ter sido o genótipo mais estável, contribuindo com 8,64% apenas, para a interação genótipos por ambientes, apresentou, em média, uma das maiores produtividades ($4185 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Döring et al. (2015) testaram o desempenho e a estabilidade entre populações compostas por misturas de variedades e linhas puras de trigo de inverno e observaram que as multilinhas testadas foram mais estáveis que as linhas puras, assim como o observado no presente estudo. Este dado está de acordo com a teoria de Allard e Bradshaw (1964), de que misturas de genótipos são mais estáveis por possuírem maior homeostase individual e populacional.

Quando se utiliza uma mistura de genótipos, espera-se que a média da mistura seja igual ou superior à média das linhas puras que a compõem. Neste trabalho, a média da multilinha não diferiu estatisticamente da média das linhas puras e este resultado está de acordo com o observado por Döring et al. (2015).

Contudo, a cultivar TMG 7063 IPRO, também se apresentou bastante estável, contribuindo para a interação com 12,96%, estando este valor associado ao grupo com boas médias de produtividade. Apesar de constituírem linhas puras, de acordo com Becker e Léon (1988), é possível que linhagens sejam tão estáveis quanto populações heterogêneas, ou seja, estes dados estão de acordo com os relatos na literatura. Uma possível inferência a respeito deve-se ao fato de que nos programas de melhoramento de soja no Brasil, a estratégia adotada para a condução das populações segregantes é o Bulk até F3/F4. Durante as avaliações das progênes adota-se o bulk dentro de famílias. Nesta condição, as cultivares obtidas são, na verdade, uma mistura de linhagens, e não somente uma única linha pura (TOKATLIDIS, 2015). Este fato corrobora os comentários de Becker e Leon (1988) e reforçam que é possível identificar cultivares tão estáveis quanto as populações heterogêneas.

A análise de Annicchiarico permite identificar cultivares com maior índice de confiança, ou seja, menor risco. A cultivar TMG 7067 IPRO demonstra alta produtividade de grãos e baixo risco, corroborando assim, os comentários mencionados anteriormente. Sendo assim, pode se inferir que esta cultivar além de apresentar boa estabilidade, possui desempenho superior à média dos ambientes. No entanto, esta cultivar foi uma das que mais contribuíram para a interação.

Os genótipos TMG 7063 IPRO e Multilinha, além de serem os que menos contribuíram para a interação, também apresentaram baixo risco e boa produtividade de grãos, com desempenho superior à média dos ambientes.

5 CONCLUSÕES

A mistura de linhagens é uma estratégia eficiente para aumentar a estabilidade fenotípica em soja.

A Multilinha e a cultivar TMG 7063 IPRO apresentam ampla estabilidade e adaptabilidade.

A cultivar TMG 7067 IPRO apresenta o maior índice de confiança com grande contribuição para a interação.

REFERÊNCIAS

- ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding 1. **Crop science**, v. 4, n. 5, p. 503-508, 1964.
- ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Breeding**, v. 46, p. 269-269, 1992.
- BECKER, H. C.; LEON, J. Stability analysis in plant breeding. **Plant breeding**, v. 101, n. 1, p. 1-23, 1988.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de Plantas**. 6. ed. Viçosa: UFV, 2013. p. 529.
- BRANQUINHO, R. G.; DUARTE, J.; DE SOUZA, P.; NETO, S.; PACHECO, R. M. Environmental stratification and optimization of a multi-environment trial net for soybean genotypes in Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 10, p. 783-795, 2014.
- CARNEIRO, A. K. **Emprego de multilinhas na cultura da soja**. 2017. 55 p. Dissertação (Mestrado Acadêmico) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2017.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2004. v. 1.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 5. ed. Viçosa: UFV, 2012.
- DÖRING, T. F.; ANNICCHIARICO, P.; CLARKE, S.; HAIGH, Z.; JONES, H. E.; PEARCE, H.; SNAPE, J.; ZHAN, J.; WOLFE, M. S. Comparative analysis of performance and stability among composite cross populations, variety mixtures and pure lines of winter wheat in organic and conventional cropping systems. **Field Crops Research**, v. 183, p. 235-245, 2015.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- GESTEIRA, G. D. S.; BRUZI, A. T.; ZITO, R. K.; FRONZA, V.; ARANTES, N. E. Selection of early soybean inbred lines using multiple indices. **Crop Science**, v. 58, n. 6, p. 2494-2502, 2018.
- KANG, M. S.; GAUCH JR, H. G. **Genotype-by-environment interaction**. 1. ed. CRC press, Published February 6, 1996. 416 p.
- LIN, C.S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar× location data. **Canadian journal of plant science**, v. 68, n. 1, p. 193-198, 1988.

- LIN, C.S.; BINNS, M. R.; LEFKOVITCH, L. P. Stability Analysis: Where Do We Stand? 1. **Crop science**, v. 26, n. 5, p. 894-900, 1986.
- MARQUES, M. C.; HAMAWAKI, O. T.; SEDIYAMA, T.; BUENO, M. R.; REIS, M. S.; CRUZ, C. D.; NOGUEIRA, A. P. O. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja em diferentes épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 1, 2011.
- MEOTTI, G. V.; BENIN, G.; SILVA, R. R.; BECHE, E.; MUNARO, L. B. Épocas de semeadura e desempenho agrônômico de cultivares de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 1, p. 14-21, 2012.
- PIRES, L. P. M.; PELUZIO, J. M.; CANCELLIER, L. L.; SANTOS, G. R. R.; COLOMBO, G. A.; AFFÉRI, F. S. Performance Of Soybean Genotypes In Central-South Region On Tocantins State, Crop Season 2009/2010. **Bioscience Journal (Online)**, v. 23, p. 214-223, 2012.
- RAMALHO, M. A. P.; ABREU, Â. D. F. B.; SANTOS, J. B. D.; NUNES, J. A. R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: UFLA, 2012. v. 1. p. 522.
- RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Embrapa Informação Tecnológica, Colombo: Embrapa Florestas, 2002.
- SCOTT, A.; KNOTT, M. Cluster-analysis method for grouping means in analysis of variance. **Biometrics**, v. 30, p. 507-512, 1974.
- SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. **Soja do Plantio à Colheita**. Viçosa, MG, 2015. p. 333.
- SILVA, K. B.; BRUZI, A. T.; ZAMBIAZZI, E. V.; SOARES, I. O.; PEREIRA, J.; CARVALHO, M. L. M. Adaptability and stability of soybean cultivars for grain yield and seed quality. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 2, p. 1-15, 2017.
- SILVA, K. B.; BRUZI, A. T.; ZUFFO, A. M.; ZAMBIAZZI, E. V.; SOARES, I. O.; REZENDE, P. M. D.; FRONZA, V.; VILELA, G. L. D.; BOTELHO, F. B. S.; TEIXEIRA, C. M.; COELHO, M. A. D. O. Adaptability and phenotypic stability of soybean cultivars for grain yield and oil content. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, p. 1-11, 2016.
- SILVA, R. R.; BENIN, G.; DA SILVA, G. O.; MARCHIORO, V. S.; DE ALMEIDA, J. L.; MATEI, G. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de trigo em diferentes épocas de semeadura, no Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 11, p. 1439-1447, 2012.
- SOARES, I. O.; REZENDE, P. M. D.; BRUZI, A. T.; ZAMBIAZZI, E. V.; ZUFFO, A. M.; SILVA, K. B.; GWINNER, R. Adaptability of soybean cultivars in different crop years. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, p. 8995-9003, 2015.
- SOUSA, I. D. S. Caracterização agromorfológica, adaptabilidade e estabilidade de populações e divergência genética entre linhagens de soja. 2015.

TOKATLIDIS, I. S. Conservation breeding of elite cultivars. **Crop Science**, v. 55, n. 6, p. 2417-2434, 2015.

VAN EEUWIJK, F. A.; BUSTOS-KORTS, D. V.; MALOSETTI, M. What should students in plant breeding know about the statistical aspects of genotype× environment interactions? **Crop Science**, v. 56, n. 5, p. 2119-2140, 2016.

WRICKE, G. Zur berechnung der okovalenz bei sommerweizen und hafer. **Zeitschrift Fur Pflanzenzuchtung-Journal of Plant Breeding**, v. 52, n. 2, p. 127, 1964.

APÊNDICES
APÊNDICE A

Tabela 1A - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para experimento conduzido em Lavras, no ano agrícola 2017/2018.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Aplicações (A)	3	0,0023	0,0658
Repetição	2	0,1055	0,5007
Erro (a)	6		
Cultivares (C)	6	0,0018	0,0051
Erro (b)	12		
A x C	18	0,0072	0,2092
Erro (c)	36		
Fc (Cultivares)		7,31	5,72
Acurácia (%)		92,91	90,83
CV 1 (%)		11,72	3,52
CV 2 (%)		11,06	2,50
CV 3 (%)		9,96	2,05
Média geral		4820	124

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 2A - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para experimento conduzido em Ijaci, no ano agrícola 2017/2018.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Aplicações (A)	3	0,0002	0,4185
Repetição	2	0,1326	0,1209
Erro (a)	6		
Cultivares (C)	6	0,0000	0,0297
Erro (b)	12		
A x C	18	0,0000	0,6709
Erro (c)	36		
Fc (Cultivares)		47,89	3,54
Acurácia (%)		98,95	84,70
CV 1 (%)		7,89	2,26
CV 2 (%)		10,58	1,99
CV 3 (%)		12,11	2,41
Média geral		3032	132

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 3A - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para experimento conduzido em Lavras, no ano agrícola 2018/2019.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Aplicações (A)	3	0,0054	0,0010
Repetição	2	0,8155	0,3600
Erro (a)	6		
Cultivares (C)	6	0,0138	0,0000
Erro (b)	12		
A x C	18	0,8290	0,1700
Erro (c)	36		
Fc (Cultivares)		4,42	10,68
Acurácia (%)		87,96	95,20
CV 1 (%)		20,06	1,97
CV 2 (%)		16,50	1,49
CV 3 (%)		18,12	1,32
Média geral		4470	120

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 4^a - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para experimento conduzido em Ijaci, no ano agrícola 2018/2019.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Aplicações (A)	3	0,7372	0,0236
Repetição	2	0,6519	0,3894
Erro (a)	6		
Cultivares (C)	6	0,0005	0,0000
Erro (b)	12		
A x C	18	0,3155	0,2968
Erro (c)	36		
Fc (Cultivares)		9,64	31,70
Acurácia (%)		94,67	98,41
CV 1 (%)		20,82	2,22
CV 2 (%)		12,50	1,34
CV 3 (%)		14,93	1,58
Média geral		4135	117

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 5A - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para experimento conduzido em Itutinga, no ano agrícola 2018/2019.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Aplicações (A)	3	0,6259	0,4733
Repetição	2	0,5465	0,4026
Erro (a)	6		
Cultivares (C)	6	0,0006	0,0000
Erro (b)	12		
A x C	18	0,0139	0,6934
Erro (c)	36		
Fc (Cultivares)		9,52	24,29
Acurácia (%)		94,60	97,92
CV 1 (%)		11,85	3,68
CV 2 (%)		11,15	1,31
CV 3 (%)		9,40	1,67
Média geral		3291	117

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 6A - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para experimento conduzido em Inconfidentes, no ano agrícola 2018/2019.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Aplicações (A)	3	0,0069	0,1416
Repetição	2	0,0012	1,1780
Erro (a)	6		
Cultivares (C)	6	0,0004	0,0000
Erro (b)	12		
A x C	18	0,0053	0,4362
Erro (c)	36		
Fc (Cultivares)		10,31	76,21
Acurácia (%)		95,03	99,34
CV 1 (%)		7,25	0,16
CV 2 (%)		8,51	0,20
CV 3 (%)		10,84	0,24
Média geral		4289	120

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 7A - Tabela de médias fenotípicas conjuntas para o caráter produtividade de grãos em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ em função da interação Cultivares x Ambientes.

Cultivares	Safrá 2017/18		Safrá 2018/19			
	Lavras	Ijaci	Lavras	Ijaci	Itutinga	Inconfidentes
TMG 7067 IPRO	5252 aA	3858 aC	5162 aA	4814 aB	3361 aD	4494 aB
TMG 7063 IPRO	5221 aA	3794 aC	4385 cB	4331 bB	3353 aD	4487 aB
MULTILINHA	4823 aB	3039 bC	4627 bA	4562 aA	3694 aB	4365 aA
TMG 7062 IPRO	5033 aA	2764 cD	4729 bA	4156 bB	3517 aC	4472 aB
TMG 7363 RR	4896 aA	2624 cD	4459 cB	3580 cC	3276 aC	4482 aB
TMG 7060 IPRO	4204 bA	3091 bC	4204 cA	3712 cB	2653 bD	3575 bB
TMG 7262 RR	4309 bA	2052 dD	3726 dB	3792 cB	3181 aC	4149 aA

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha pertencem ao mesmo grupo pelo teste Scott-Knott (1974) a 95% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 8A - Tabela de médias conjuntas para o caráter maturação absoluta em dias em função da interação Cultivares x Ambientes. UFLA, Lavras, 2019.

Cultivares	Safrá 2017/18		Safrá 2018/19			
	Lavras	Ijaci	Lavras	Ijaci	Itutinga	Inconfidentes
TMG 7060 IPRO	125 cB	132 bC	120 bA	119 cA	119 dA	120 aA
TMG 7063 IPRO	123 bD	132 bE	121 bC	118 cB	115 bA	120 aC
TMG 7262 RR	121 aC	129 aD	117 aB	114 aA	113 aA	118 aB
TMG 7062 IPRO	123 bC	132 bD	120 bB	117 bA	116 bA	120 aB
TMG 7363 RR	125 cD	132 bE	120 bC	115 aA	118 cB	120 aC
TMG 7067 IPRO	127 dC	133 bD	123 cB	121 dB	119 dA	120 aA
MULTILINHA	127 dC	132 bD	121 bB	116 bA	117 cA	120 aB

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha pertencem ao mesmo grupo pelo teste Scott-Knott (1974) a 95% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

APÊNDICE B

Tabela 1B - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para o experimento 1 conduzido em Lavras, no ano agrícola 2017/2018.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Cultivares	6	0,0439	0,2805
Blocos	2	0,3322	0,0475
Erro	12		
Fc (Cultivares)		3,13	1,43
Acurácia (%)		82,49	54,93
CV (%)		11,72	2,68
Média geral		4107	122

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 2B - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para o experimento 2 conduzido em Lavras, no ano agrícola 2017/2018.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Cultivares	6	0,0051	0,0541
Blocos	2	0,0333	0,5933
Erro	12		
Fc (Cultivares)		5,74	2,92
Acurácia (%)		90,87	81,07
CV (%)		12,13	1,89
Média geral		4790	124

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 3B - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para o experimento 3 conduzido em Lavras, no ano agrícola 2017/2018.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Cultivares	6	0,0043	0,2084
Blocos	2	0,4942	0,1189
Erro	12		
Fc (Cultivares)		5,96	1,68
Acurácia (%)		91,23	63,70
CV (%)		6,76	2,36
Média geral		5144	127

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 4B - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para o experimento 4 conduzido em Lavras, no ano agrícola 2017/2018.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Cultivares	6	0,1957	0,0007
Blocos	2	0,6874	0,3918
Erro	12		
Fc (Cultivares)		1,74	8,99
Acurácia (%)		65,14	94,27
CV (%)		10,21	1,60
Média geral		5239	124

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 5B - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para o experimento 5 conduzido em Ijaci, no ano agrícola 2017/2018.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Cultivares	6	0,0001	0,2357
Blocos	2	0,2079	0,5757
Erro	12		
Fc (Cultivares)		14,59	1,58
Acurácia (%)		96,51	60,52
CV (%)		11,44	1,73
Média geral		2596	132

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 6B - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para o experimento 6 conduzido em Ijaci, no ano agrícola 2017/2018.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Cultivares	6	0,0000	0,9138
Blocos	2	0,6182	0,6652
Erro	12		
Fc (Cultivares)		23,74	0,32
Acurácia (%)		97,87	-
CV (%)		8,40	3,35
Média geral		2994	132

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 7B - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para o experimento 7 conduzido em Ijaci, no ano agrícola 2017/2018.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Cultivares	6	0,0000	0,0121
Blocos	2	0,9821	0,5262
Erro	12		
Fc (Cultivares)		30,29	4,59
Acurácia (%)		98,34	88,43
CV (%)		7,97	2,04
Média geral		3407	132

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 8B - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para o experimento 8 conduzido em Ijaci, no ano agrícola 2017/2018.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Cultivares	6	0,0026	0,9580
Blocos	2	0,6099	0,0086
Erro	12		
Fc (Cultivares)		6,74	0,23
Acurácia (%)		92,28	-
CV (%)		16,97	1,74
Média geral		3130	131

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 9B - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para o experimento 9 conduzido em Lavras, no ano agrícola 2018/2019.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Cultivares	6	0,3422	0,0592
Blocos	2	0,3107	0,2601
Erro	12		
Fc (Cultivares)		1,27	2,83
Acurácia (%)		45,77	80,40
CV (%)		17,42	1,32
Média geral		3749	118

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 10B - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para o experimento 10 conduzido em Lavras, no ano agrícola 2018/2019.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Cultivares	6	0,5056	0,0011
Blocos	2	0,0820	0,0348
Erro	12		
Fc (Cultivares)		0,93	8,18
Acurácia (%)		-	93,69
CV (%)		15,90	0,79
Média geral		4070	119

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 11B - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para o experimento 11 conduzido em Lavras, no ano agrícola 2018/2019.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Cultivares	6	0,5932	0,1778
Blocos	2	0,6534	0,3694
Erro	12		
Fc (Cultivares)		0,79	1,82
Acurácia (%)		-	67,10
CV (%)		20,96	1,51
Média geral		4782	121

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 12B - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para o experimento 12 conduzido em Lavras, no ano agrícola 2018/2019.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Cultivares	6	0,0514	0,0039
Blocos	2	0,6514	0,0878
Erro	12		
Fc (Cultivares)		2,97	6,13
Acurácia (%)		81,44	91,48
CV (%)		15,42	1,64
Média geral		5281	123

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 13B - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para o experimento 13 conduzido em Ijaci, no ano agrícola 2018/2019.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Cultivares	6	0,3378	0,2566
Blocos	2	0,7085	0,9802
Erro	12		
Fc (Cultivares)		1,28	1,51
Acurácia (%)		46,51	58,00
CV (%)		19,93	2,33
Média geral		4258	115

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 14B - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para o experimento 14 conduzido em Ijaci, no ano agrícola 2018/2019.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Cultivares	6	0,0568	0,0020
Blocos	2	0,4699	0,0747
Erro	12		
Fc (Cultivares)		2,87	7,13
Acurácia (%)		80,70	92,72
CV (%)		13,64	1,45
Média geral		3989	118

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 15B - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para o experimento 15 conduzido em Ijaci, no ano agrícola 2018/2019.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Cultivares	6	0,0092	0,0000
Blocos	2	0,1104	0,0813
Erro	12		
Fc (Cultivares)		4,93	36,51
Acurácia (%)		89,27	98,62
CV (%)		11,62	0,86
Média geral		4079	118

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 16B - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para o experimento 16 conduzido em Ijaci, no ano agrícola 2018/2019.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Cultivares	6	0,0035	0,0001
Blocos	2	0,0047	0,0034
Erro	12		
Fc (Cultivares)		6,26	13,42
Acurácia (%)		91,67	96,20
CV (%)		9,78	1,06
Média geral		4215	118

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 17B - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para o experimento 17 conduzido em Itutinga, no ano agrícola 2018/2019.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Cultivares	6	0,0149	0,0007
Blocos	2	0,7258	0,0255
Erro	12		
Fc (Cultivares)		4,32	8,98
Acurácia (%)		87,67	94,27
CV (%)		8,85	1,14
Média geral		3267	117

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 18B - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para o experimento 18 conduzido em Itutinga, no ano agrícola 2018/2019.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Cultivares	6	0,0027	0,0065
Blocos	2	0,6319	0,0294
Erro	12		
Fc (Cultivares)		6,65	5,39
Acurácia (%)		92,18	90,25
CV (%)		10,51	1,73
Média geral		3264	117

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 19B - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para o experimento 19 conduzido em Itutinga, no ano agrícola 2018/2019.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Cultivares	6	0,0296	0,0281
Blocos	2	0,3328	0,1367
Erro	12		
Fc (Cultivares)		3,54	3,60
Acurácia (%)		84,72	84,98
CV (%)		10,12	1,90
Média geral		3390	117

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 20B - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para o experimento 20 conduzido em Itutinga, no ano agrícola 2018/2019.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Cultivares	6	0,0219	0,0362
Blocos	2	0,0749	0,0013
Erro	12		
Fc (Cultivares)		3,88	3,33
Acurácia (%)		86,15	83,64
CV (%)		9,87	1,46
Média geral		3242	115

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 21B - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para o experimento 21 conduzido em Inconfidentes, no ano agrícola 2018/2019.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Cultivares	6	0,0036	0,0000
Blocos	2	0,0050	0,0000
Erro	12		
Fc (Cultivares)		6,23	0,28
Acurácia (%)		91,62	-
CV (%)		8,87	0,13
Média geral		4097	120

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 22B - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para o experimento 22 conduzido em Inconfidentes, no ano agrícola 2018/2019.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Cultivares	6	0,0933	0,0004
Blocos	2	0,3268	0,0000
Erro	12		
Fc (Cultivares)		2,39	10,43
Acurácia (%)		76,31	95,08
CV (%)		11,74	0,28
Média geral		4117	120

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 23B - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para o experimento 23 conduzido em Inconfidentes, no ano agrícola 2018/2019.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Cultivares	6	0,0035	0,0498
Blocos	2	0,1229	0,3966
Erro	12		
Fc (Cultivares)		6,29	3,00
Acurácia (%)		91,71	81,65
CV (%)		10,56	0,32
Média geral		4361	120

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 24B - Resumo da análise de variância individual para os caracteres produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e maturação absoluta em dias, para o experimento 24 conduzido em Inconfidentes, no ano agrícola 2018/2019.

FV	GL	p-valor	
		Produtividade de grãos	Maturação absoluta
Cultivares	6	0,1394	0,0000
Blocos	2	0,0556	0,3966
Erro	12		
Fc (Cultivares)		2,03	25,00
Acurácia (%)		71,27	97,98
CV (%)		9,85	0,18
Média geral		4581	120

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 25B - Tabela de médias fenotípicas conjuntas para o caráter produtividade de grãos em kg.ha⁻¹ em função da interação Cultivares x Ambientes.

Ambientes	Cultivares						
	7060 IPRO	7063 IPRO	7262 RR	7062 IPRO	7363 RR	7067 IPRO	MULT
12	4931 aB	5679 aB	3905 bC	5359 aB	5227 aB	6607 aA	5259 aB
4	4359 aB	5385 aA	5375 aA	5230 aA	5502 aA	5572 bA	5250 aA
3	4952 aB	5728 aA	4367 aB	5773 aA	5152 aB	4892 cB	5147 aB
2	3715 bC	5042 bB	3756 bC	5607 aA	4869 aB	5747 bA	4790 aB
11	4377 aB	4293 cB	4057 bB	5190 aA	5188 aA	5134 cA	5237 aA
24	3813 bA	4933 bA	4784 aA	4443 bA	4763 bA	4606 cA	4725 aA
23	3150 cC	4174 cB	4742 aA	4541 bA	3931 cB	5039 cA	4951 aA
13	4637 aA	4216 cB	3511 bB	3907 cB	3844 cB	5120 cA	4570 aA
16	3220 cB	4519 bA	3943 bB	4718 bA	3873 cB	4241 dA	4989 aA
22	3582 bB	3977 cB	3571 bB	4576 bA	4642 bA	4254 dA	4215 aA
1	3788 bB	4731 bA	3738 bB	3522 cB	4061 bB	4799 cA	4107 bB
21	3752 bB	4863 bA	3498 bB	4329 bA	4591 bA	4077 dB	3567 bB
15	3408 bB	4515 bA	3764 bB	4217 bA	3326 cB	4985 cA	4341 aA
10	3875 bA	3781 cA	3646 bA	4546 bA	4227 bA	4517 dA	3896 bA
14	3584 bB	4075 cB	3950 bB	3780 cB	3278 cB	4910 cA	4348 aA
9	3635 bA	3788 cA	3295 bA	3822 cA	3194 cA	4390 dA	4115 bA
7	3172 cB	4385 cA	2346 dC	4158 bA	2374 dC	4215 dA	3200 cB
19	2810 cA	3239 dA	3728 bA	3489 cA	3572 cA	3051 eA	3840 bA
17	2769 cA	3461 dA	2899 cA	3391 cA	3336 cA	3795 eA	3219 cA
18	2505 cB	3349 dB	2954 cB	3785 cA	3016 cB	3231 eB	4008 bA
20	2530 cA	3361 dA	3144 cA	3404 cA	3179 cA	3367 eA	3708 bA
8	3301 bA	3673 dA	1882 dB	2730 dB	2503 dB	4186 dA	3633 bA
6	2703 cC	4221 cA	2196 dC	2340 dC	3195 cB	3514 eB	2790 cC
5	3188 cA	2898 dA	1783 dB	1829 dB	2425 dB	3518 eA	2533 cB

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha pertencem ao mesmo grupo pelo teste Scott-Knott (1974) a 95% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019)