Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Reação à ferrugem de linhagens obtidas de cruzamentos entre genitores
adaptados e exóticos de soja

Fernando Garcia Espolador

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Genética e
Melhoramento de Plantas

Piracicaba
2016

Fernando Garcia Espolador
Engenheiro Agrônomo

Reação à ferrugem de linhagens obtidas de cruzamentos entre genitores adaptados e exóticos
de soja

Orientador:
Prof. Dr. **NATAL ANTONIO VELLO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Genética e
Melhoramento de Plantas

Piracicaba
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Espolador, Fernando Garcia

Reação à ferrugem de linhagens obtidas de cruzamentos entre genitores adaptados e exóticos de soja / Fernando Garcia Espolador. - - Piracicaba, 2016.

66 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. *Glycine max* 2. *Phakopsora pachyrhizi* 3. Dialelo parcial 4. Introduções de Plantas (PI) 5. Tolerância em manejos da ferrugem com fungicidas I. Título

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por guiar meus passos. Aos meus pais, Carlos Maschio Espolador e Maria de Fatima Garcia Espolador, pelo amor, dedicação e por me apoiar na minha jornada. Ao meu irmão, Murilo Garcia Espolador pela amizade e companheirismo. À minha namorada, Júlia Silva Morosini, pelo carinho, dedicação e por ajudar a conquistar meus sonhos.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, pela oportunidade da realização do mestrado e pela formação profissional. Ao Prof. Dr. Natal Antonio Vello, pela orientação, apoio e ensinamentos. Ao CNPq, pela bolsa de estudos. Aos professores do Departamento de Genética, em especial do Programa de Pós-Graduação em “Genética e Melhoramento de Plantas” (PPG-GMP), pelos ensinamentos. Aos técnicos do Setor de Genética Aplicada às Espécies Autógamas (SGAEA), Antonio Roberto Cogo, Claudinei Antonio Didoné e Marcos Custódio Nekatschalow, pelo apoio e pelo auxílio na realização dos experimentos.

Aos amigos do SGAEA, doutorandos Elesandro Bornhofen, Pedro Augusto Medeiros Barbosa e Felipe Maniero Nazato, mestrandos Renan Silva e Souza e Rafael Massahiro Yassue e aos doutores Philip Traldi Wysmierski, Fernanda Aparecida Castro Pereira, Gabriela Antônia de Freitas Rocha, José Ribamar de Assunção Filho, Iradenia da Silva Sousa, Renato Sérgio Batista Carvalho e Nelson Enrique Casas-Leal, pela amizade, colaboração e ensinamentos. E a todos que me ajudaram direta ou indiretamente neste trabalho e na minha formação pessoal e profissional, muito obrigado.

SUMÁRIO

RESUMO.....	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUÇÃO.....	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1. SOJA	11
2.2. FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA.....	11
2.3. INTRODUÇÃO DE FONTES DE RESISTÊNCIA EXÓTICAS	13
2.4. RESISTÊNCIA E TOLERÂNCIA À FERRUGEM ASIÁTICA	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1. MATERIAL GENÉTICO	17
3.2. AMBIENTE DA CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS.....	18
3.3. CARACTERES AVALIADOS.....	19
3.3.1. Número de dias para a maturidade (NDM)	19
3.3.2. Altura da planta na maturidade (APM)	19
3.3.3. Acamamento (AC)	19
3.3.4. Valor Agrônomo (VA)	19
3.3.5. Estande (EST).....	20
3.3.6. Peso de cem sementes (PCS).....	20
3.3.7. Produtividade de Grãos (PG)	20
3.3.8. Efeito Ferrugem (EF).....	20
3.4. EXPERIMENTAÇÃO NA GERAÇÃO F _{5,6}	21
3.5. EXPERIMENTAÇÃO NA GERAÇÃO F _{5,7}	22
3.6. ANÁLISES DOS DADOS	22
3.7. ANÁLISE DA VARIÂNCIA INDIVIDUAL PELO MODELO DE BLOCOS AUMENTADOS DE FEDERER COM DADOS OBTIDOS EM 2010/11 EM LINHAGENS F _{5,6}	23
3.8. ANÁLISE CONJUNTA DOS EXPERIMENTOS COM MANEJOS DISTINTOS DE FUNGICIDAS DE DADOS OBTIDOS EM 2010/11 EM LINHAGENS F _{5,6}	24
3.9. ANÁLISE DA VARIÂNCIA EM BLOCOS AO ACASO COM REPETIÇÕES ESTRATIFICAS EM CONJUNTOS EXPERIMENTAIS DE DADOS OBTIDOS EM 2011/12 EM LINHAGENS F _{5,7}	24
3.10. ANÁLISE CONJUNTA DOS EXPERIMENTOS COM MANEJOS DISTINTOS DE FUNGICIDAS DE DADOS OBTIDOS EM 2011/12 EM LINHAGENS F _{5,7}	25
3.11. ANÁLISE DOS EXPERIMENTOS COM GENITORES	26
3.12. ANÁLISE CONJUNTA DOS EXPERIMENTOS COM MANEJOS DISTINTOS DE FUNGICIDAS NOS ANOS AGRÍCOLAS DE 2010/11 E 2011/12	26
3.13. AGRUPAMENTO DE MÉDIAS PARA EF E CARACTERES AGRONÔMICOS	27
3.14. SIGNIFICÂNCIA DO EFEITO FERRUGEM.....	27
3.15. HERDABILIDADE REALIZADA NO SENTIDO AMPLO E GANHO GENÉTICO.....	28
3.16. CORRELAÇÃO ENTRE CARACTERES	29
3.17. CAPACIDADE MÉDIA DE COMBINAÇÃO PARA PG E EF	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1. CONDIÇÕES CLIMATOLÓGICAS.....	31
4.2. ANO AGRÍCOLA 2010/11	31
4.3. ANO AGRÍCOLA 2011/12.....	33
4.4. GENITORES NO ANO AGRÍCOLA 2011/12	36
4.5. ANÁLISE CONJUNTA.....	37
4.6. HERDABILIDADE REALIZADA.....	38
4.7. CAPACIDADE MÉDIA DE COMBINAÇÃO	39
4.8. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	39
5. CONCLUSÕES.....	41
REFERÊNCIAS.....	43

ANEXOS	49
---------------------	-----------

RESUMO

Reação à ferrugem de linhagens obtidas de cruzamentos entre genitores adaptados e exóticos de soja

A ferrugem asiática é a principal doença da cultura da soja. Uma das estratégias para contornar este problema é o uso da tolerância genética. Este trabalho visou avaliar a reação à ferrugem asiática de linhagens avançadas, $F_{5:6}$ e $F_{5:7}$, advindas de um dialelo parcial entre um grupo de genitores exóticos resistentes à ferrugem asiática e outro grupo de genitores adaptados e susceptíveis, por meio de estimativas de parâmetros genéticos em caracteres agronômicos, com ênfase na produtividade de grãos. Os experimentos foram conduzidos em dois manejos: o manejo 1 com fungicidas Opera & Nativo que controlam doenças de final de ciclo (DFC), incluindo-se a ferrugem; e o manejo 2 com o fungicida Derosal que controla as DFC, exceto a ferrugem. Em 2010/11, foram avaliadas 488 linhagens $F_{5:6}$ para os caracteres produtividade de grãos (PG) e peso de cem sementes (PCS), este último representando o tamanho das sementes. Foram selecionadas 260 linhagens $F_{5:7}$ mais tolerantes e estas foram avaliadas em 2011/12 para PG, altura de planta na maturidade (APM), número de dias para a maturidade (NDM), acamamento (AC) e valor agrônômico (VA). Realizou-se o teste de agrupamento de médias de Scott-Knott para todos os caracteres em ambos os anos, assim como foi verificada para cada genótipo a significância do efeito ferrugem (EF ou diferença entre as médias ajustadas entre os manejos 2 e 1, através do teste t pareado). Estimou-se a capacidade média de combinação (CMC) para as médias de PG e EF_PG, além do ganho de seleção e a herdabilidade realizada. As interações genótipo x manejo foram significativas para PG, PCS e NDM, indicando que a variabilidade genética oscilou entre os manejos, para estes caracteres. Os valores das correlações entre os EF foram baixos, embora parte deles tenha sido significativos. Estimativas de CMC para PG e EF_PG indicaram que os genitores que mais contribuíram para o aumento de PG e da tolerância foram BRS-232 como adaptado e Shiranuí como exótico, enquanto que os melhores cruzamentos foram Orba x BRS-232 e Shiranuí x Conquista. A seleção realizada não trouxe ganho para a PG, contudo aumentou a tolerância. Quatorze linhagens mostraram-se promissoras, visto terem apresentado PG superior a das testemunhas e tolerância à ferrugem. Assim, foi possível a seleção de linhagens produtivas e tolerantes à ferrugem nos cruzamentos dialélicos entre genitores adaptados e exóticos.

Palavras-chave: *Glycine max*; *Phakopsora pachyrhizi*; Dialelo parcial; Introduções de Plantas (PI); Tolerância em manejos da ferrugem com fungicidas

ABSTRACT

Reaction to rust of lines obtained from crosses between adapted and exotic soybean parents

The soybean rust is the main disease in soybean crop. One strategy to overcome this problem is the use of genetic tolerance. This research aimed to evaluate soybean rust reaction in advanced lines ($F_{5:6}$ and $F_{5:7}$ generations), obtained in partial diallel crosses between one group of rust resistant exotic parents and another group of adapted susceptible parents of soybean, through genetic parameters estimated for agronomic traits, with emphasis in seed yield. The experiments were conducted in two types of managements: the management 1, with the fungicides Opera & Nativo which control late season leaf diseases (DFC) including rust; and management 2, with Derosal fungicide that controls DFC except rust. In 2010/11, 488 $F_{5:6}$ lines were evaluated for seed yield (PG) and one hundred seed weight (PCS), the last trait representing the seed size. The 260 most tolerant $F_{5:7}$ lines were selected and evaluated in 2011/12 to PG, plant height at maturity (APM), number of days to maturity (NDM), lodging (AC) and agronomic value (VA). The clustering Scott-Knott test was performed for all traits in both agricultural years, and the significance of rust effect (EF = difference between adjusted means of managements 2 and 1, for each genotype) was verified through the paired t test. The average combining ability (CMC), selection gain and realized heritability were estimated for PG and EF_PG. The genotype x management interactions were significant for PG, PCS and NDM, showing that the genetic variability oscillated in the two managements. The correlation coefficients among EF mean values were low, although some of them were significant. CMC estimates for PG and EF_PG indicated that the parents who contributed most to the increase in PG and tolerance were BRS-232 as adapted and Shiranuí as exotic, while the best crosses were Orba x BRS-232 and Shiranuí x Conquista. The selection did not bring gain in seed yield, but increased the tolerance. Fourteen lines were promising, since they presented higher means of PG than the experimental checks and tolerance to rust. Thus, it was possible to select productive and tolerant lines from the diallel crosses between adapted and exotic parents.

Keywords: *Glycine max*; *Phakopsora pachyrhizi*; Partial diallel; Plant Introductions (PI); Tolerance in rust managements with fungicides

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma proteoleaginosa de importância mundial, principalmente devido a sua utilização na produção de óleo e farelo. Este último é rico em proteínas, o que permite seu uso na formulação de rações e na indústria alimentícia. O óleo da soja é o segundo óleo vegetal mais produzido no mundo (FAO, 2016), sendo utilizado para alimentação, uso industrial e, mais recentemente, como matéria prima para o biodiesel.

Na safra 2015/16, a área plantada com a cultura da soja no Brasil correspondeu a 33,08 milhões de hectares, o que representou 56,9% da área cultivada no país (CONAB, 2016). A produção nacional foi de 96,91 milhões de toneladas de grãos, correspondendo a 30,2% da produção mundial de soja (USDA 2015; CONAB, 2016).

A produtividade de uma cultura é limitada por estresses abióticos (déficit hídrico, deficiência nutricional, temperaturas extremas) e estresses bióticos (doenças, insetos, nematoides, vírus) (VELLO e CARVALHO, 2013). Um dos principais fatores limitantes da cultura da soja é o fungo *Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow, causador de uma das doenças mais graves da cultura, a ferrugem asiática da soja, através de testes realizados durante dois anos, Kumundini et al. (2008) estimaram as perdas de produção na ordem de 37% a 67 % quando não é feito controle fitossanitário.

O melhoramento genético é uma ferramenta fundamental que permite contornar o problema causado pela ferrugem por meio da resistência/tolerância genética. As principais vantagens dessa abordagem compreendem a redução de gastos do produtor com fungicidas, a possibilidade de ganho da produção, impactando de forma positiva na viabilidade econômica da cultura, e na redução de danos ambientais.

Três estratégias são passíveis de serem exploradas visando à resistência à ferrugem: resistência vertical, resistência horizontal e tolerância. Quando as cultivares comerciais não apresentam resistência ou apresentam baixa tolerância, podem ser utilizados cruzamentos e retrocruzamentos com genótipos exóticos como PIs (*Plant Introductions*). Porém, de modo geral, essas possíveis fontes de resistência compreendem genótipos exóticos com baixa produtividade e sem adaptação às condições edafoclimáticas brasileiras e transmitem para a descendência os alelos indesejáveis que controlam os caracteres agronômicos.

A resistência vertical tem como características ser raça-específica e ser controlada por um ou poucos genes, sendo *Rpp1*, *Rpp2*, *Rpp3*, *Rpp4*, *rpp5* e *Rpp6* os genes mais conhecidos para a ferrugem asiática (BROMFIELD e HARTWIG 1980, MCLEAN e BYTH 1980, HARTWIG e BROMFIELD 1983, HARTWIG 1986, GARCIA et al 2008; LI et al 2012). Contudo, os alelos *Rpp1* e *Rpp3* tiveram sua

resistência superada na safra 2003/04 (CALVO et al., 2008), mostrando que este tipo de resistência pode ser vencido em pouco tempo pelo patógeno.

A resistência horizontal não é raça-específica e ocorre pela presença de múltiplos genes. Ela é uma alternativa interessante por dificultar o aparecimento de raças virulentas do patógeno. Todavia, ainda há poucas informações sobre a utilização desta estratégia para o manejo da ferrugem.

A tolerância está relacionada à capacidade da planta de, apesar de ser atacada e apresentar os sintomas da doença, não ter redução significativa da produtividade e dos caracteres a ela relacionados, com destaque para o tamanho das sementes e o ciclo (LEVY, 2004 e 2005; TICHAGWA, 2004). Além disso, é possível o uso da tolerância em programas de melhoramento junto à utilização de genes principais. A tolerância pode ser mensurada por meio da comparação da produtividade e dos caracteres a ela relacionados em manejos com fungicidas que controlam e não controlam a doença (LEVY, 2004 e 2005; TICHAGWA, 2004; ARAÚJO e VELLO, 2010; WYSMIERSKI, 2015).

Diante do cenário apresentado, o objetivo deste trabalho foi avaliar linhagens obtidas em gerações avançadas de cruzamentos dialélicos entre genitores adaptados e suscetíveis à ferrugem asiática da soja e genitores exóticos e resistentes, por meio de parâmetros genéticos estimados para reação à ferrugem asiática e para caracteres agrônômicos, com ênfase na produtividade de grãos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. SOJA

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma proteoleaginosa pertencente à família Fabaceae, sendo uma planta autógama com conjunto gênico $2n = 40$. Registros históricos mostram que a soja já era cultivada desde períodos anteriores ao século XI a.C. na China. O centro primário de diversidade genética da soja compreende a região centro-este da China, entre o vale do rio Amarelo ao norte e o vale do rio Yangtzé ao sul; o seu centro secundário compreende a porção oriental do norte da China e a Manchúria (HYMOWITZ, 1970).

O primeiro registro histórico da soja no Brasil remete a 1882, quando Gustavo Dutra realizou os primeiros estudos com a espécie na Escola de Agronomia da Bahia. Eventos como a chegada de imigrantes japoneses, a introdução de cultivares estrangeiras, o incentivo à pesquisa e ao cultivo da soja em sucessão ao trigo na primeira metade do século XX no sul do país deram início à sojicultura brasileira (MIYASAKA E MEDINA, 1981).

Inicialmente, a cultura teve a sua adaptação restrita ao estado do Rio Grande do Sul devido a sua sensibilidade ao fotoperíodo. Porém, através do aprimoramento de condições tecnológicas e do melhoramento de plantas (em especial para a adaptação ao fotoperíodo) conseguiu-se que a cultura fosse implantada em menores latitudes (menores que 15 graus). Durante o estabelecimento da sojicultura brasileira, buscou-se o melhoramento para obtenção de plantas com período juvenil longo (P JL), mais resistentes a estresses e mais produtivas.

Sua composição é, em média, de 20% de óleo e 40% de proteína nos grãos. Esses teores, adicionados à alta produtividade (média nacional safra 2014/15 = 3.000 kg ha⁻¹), fazem com que esta cultura tenha destaque mundial e seja a principal fonte de proteína vegetal do mundo (VELLO; SILVA, 2006).

Atualmente, a soja é a principal *commodity* agrícola produzida pelo Brasil, com o montante de 96,9 milhões de toneladas na safra 2015/16, produzidas em pouco mais de 33 milhões de hectares, de forma que os principais estados produtores são Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul com 27,0, 17,1 e 15,6 milhões de toneladas, respectivamente (CONAB, 2016).

2.2. FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA

A ferrugem asiática da soja é causada pelo fungo basidiomiceto *Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow. O centro de origem desta doença remete à Ásia e à Austrália, visto que os

primeiros relatos desta doença foram no Japão em 1902 (BROMFIELD E HARTWIG, 1980). A doença tem seu primeiro registro nas Américas em 1994, quando chegou ao Hawaii (KILLGORE E HUE, 1994), e no ano de 2001 foi relatado o primeiro registro no Brasil, mais especificamente no estado do Paraná (GOELLNER et al., 2010; YORINORI et al., 2005). Atualmente, a ferrugem asiática está dispersa por todas as regiões produtoras de soja do Brasil, com exceção de Roraima (SMIDERLE, 2010).

A ferrugem vem causando grandes prejuízos econômicos e danos à cultura, em ambos os cenários nacional e internacional. Segundo Soares *et al.* (2009), ela causou perdas econômicas para o Brasil de US\$ 12 bilhões até a safra 2008/09.

A ferrugem é uma doença biotrófica, ou seja, o fungo só se desenvolve em tecidos vivos. Portanto, necessita da própria soja ou de hospedeiros alternativos para sobreviver. Foram identificadas mais de 150 espécies de fabáceas pertencentes à subfamília *Papilionoidae* que podem ser infectadas pelo *P. pachyrhizi* (LYNCH et al., 2006; ONO et al., 1992; SCONYERS et al., 2006; SLAMINKO 2008).

O ciclo inicia-se após as plantas hospedeiras liberarem urediósporos que se disseminam pela chuva e principalmente pelo vento. Os esporos depositam-se em plantas de soja e, sob condições favoráveis, emitem seu tubo germinativo e posteriormente seu apressório. O apressório penetra diretamente a cutícula e a parede celular da planta através de ação enzimática e força mecânica, infectando a planta (AMORIM et al., 2005).

O período mínimo de molhamento foliar para se iniciar o processo de infecção é de seis horas, com temperaturas entre 20 e 25° C (ALVES et al., 2006). Condições favoráveis para o desenvolvimento da ferrugem são temperaturas variando entre 15° C e 29° C e alta umidade, sendo que as urédias são visíveis após cinco a oito dias da infecção. Os urediósporos são produzidos a partir do nono dia da infecção e continuam esporulando por três semanas.

Os sintomas da ferrugem podem aparecer em qualquer parte da planta, entretanto são mais comuns nas folhas. Eles iniciam-se com pontuações de cerca de um milímetro de diâmetro na face superior da folha, com coloração mais escura que o tecido sadio, e na parte inferior da folha apresentam protuberâncias que correspondem às urédias. Com o desenvolvimento das lesões, elas podem atingir entre dois e cinco milímetros de diâmetro apresentando formato angular, mas sem halo amarelo em torno da lesão. As urédias passam a ter coloração castanho-clara a castanho-escura e apresentam poros por onde são dispersos os urediósporos. Em uma única safra de soja, podem ocorrer seis a oito ciclos da doença (YORINORI et al., 2004).

As respostas que um genótipo de soja pode apresentar diante da ferrugem são três: a imunidade, demonstrada pela ausência de lesões ou pela presença de pequenas marcas (*flecks*) acinzentadas; a resistência, observada pelo desenvolvimento de poucas lesões com coloração vermelho-amarronzada (RB = *Reddish brown*); e a suscetibilidade, com desenvolvimento de muitas

lesões de coloração bege (TAN) (HARTMAN et al., 1999; VELLO e CARVALHO, 2013). A evolução da doença leva à diminuição da área fotossinteticamente ativa da planta e à desfolha precoce, o que compromete a formação das vagens, seu enchimento e o peso final de grãos, além da morte prematura da planta.

A ferrugem asiática é uma doença de fácil disseminação e de difícil controle. Para fazê-lo de modo efetivo, é necessário adotar diversas medidas de controle, como utilização de cultivares precoces, semeadura no início da época recomendada, eliminação de plantas espontâneas, vazio sanitário (60 a 90 dias sem cultivo de soja), monitoramento da lavoura desde o início do desenvolvimento da cultura, utilização de fungicidas no aparecimento dos sintomas ou previamente e a utilização de materiais com genes de resistência (EMBRAPA, 2013). Outra estratégia, considerada de maior longevidade, é o uso de cultivares que possuam tolerância à doença.

2.3. INTRODUÇÃO DE FONTES DE RESISTÊNCIA EXÓTICAS

A domesticação e o melhoramento genético da soja levaram a um estreitamento da base genética da espécie. Grande parte das cultivares presentes no Brasil, por exemplo, advém de poucos ancestrais. Hiromoto e Vello (1986) encontraram genealogias para 69 cultivares da época e observaram que elas eram derivadas de apenas 26 linhagens ancestrais, sendo que 11 ancestrais contribuíam com 89% da base genética. Em um trabalho mais recente, Wysmierski e Vello (2013) analisaram 444 cultivares brasileiras de soja e detectaram 60 ancestrais, dos quais apenas 14 ancestrais contribuíam individualmente com mais de 1% e representando em conjunto 92,4% da base genética.

Esta base genética estreita influi fixando alelos em diversos locos e consequentemente diminuindo a variabilidade genética das cultivares, o que pode eliminar alguns alelos interessantes que poderiam fornecer resistência a doenças e a outros estresses. Uma das formas de aumentar a variabilidade para um caráter ou introduzir um caráter inexistente na população de interesse é o uso de germoplasma exótico.

De acordo com Vello et al. (1984), o germoplasma exótico pode conter genes úteis a um programa de melhoramento que não estão presentes nas cultivares comercializadas, mas, muitas vezes, o genótipo exótico não apresenta boas características agronômicas, principalmente em relação à produtividade. É o caso da PI 567102B, que contém o gene de resistência à ferrugem *Rpp6* (LI et al., 2012). Além de estes genótipos possuírem alguns genes principais que lhes conferem a resistência, existe também a possibilidade de apresentarem genes de efeito menor que possam também lhes conferir tolerância a essa doença.

A introdução dos genes de interesse em cultivares comerciais pode ser feita por diversos métodos de melhoramento, com destaque para cruzamentos simples, retrocruzamentos e seleção recorrente.

2.4. RESISTÊNCIA E TOLERÂNCIA À FERRUGEM ASIÁTICA

Os termos resistência e tolerância têm sido utilizados de maneira semelhante, entretanto, eles são conceitos diferentes. A resistência genética a fungos é definida como a capacidade da planta evitar ser infectada ou dificultar o desenvolvimento da doença. Por sua vez, a tolerância é definida como a capacidade da planta suportar o ataque do patógeno e não apresentar redução significativa da produtividade (SCHAFFER, 1971).

A resistência pode ser dividida em duas classes: a resistência vertical, que é raça específica e, geralmente mono ou oligogênica (controlada por um ou poucos genes); e a resistência horizontal, que é raça inespecífica e controlada por vários genes.

A resistência vertical é geralmente utilizada nos programas de melhoramento, comumente pelo emprego de cruzamentos, retrocruzamentos e seleção com marcadores. Porém, devido à interação entre um gene de resistência (geralmente dominante) presente na planta e um gene (comumente recessivo) de virulência no patógeno, este tipo de resistência é susceptível à quebra via aparecimento de novos genes de virulência mais agressivos no patógeno.

No caso da ferrugem asiática, os genes de resistência identificados são nominados como *Rpp* (*Resistance to P. pachyrhizi*). Até o momento, há conhecimento dos genes *Rpp1* (PI 200492), *Rpp2* (PI 230970), *Rpp3* (PI 462312), *Rpp4* (PI 459025) e *rpp5* (PI 224270) e, mais recentemente, foi identificado o gene *Rpp6* (PI 567102B) (GARCIA et al., 2008; LI et al., 2012). Além destes, existem referências a um gene recessivo *rpp2*[?] (PI 224270) (CALVO et al., 2008) e a um outro dominante *Rpp_Hyuuga* (*Hyuuga*) (MONTEROS et al., 2007).

Apesar de efetiva, a resistência vertical pode ser facilmente superada pelo patógeno (SOARES et al., 2009; HARTMAN et al., 2004). Os genes *Rpp1*, *Rpp2* e *Rpp3*, por exemplo, são susceptíveis a determinadas estirpes brasileiras (YAMANAKA et al., 2010). Os genes *Rpp1* e *Rpp3* tiveram sua resistência quebrada na safra 2002/03 (CALVO et al., 2008). Dessa forma, caracteres sob esse tipo de controle genético (mono ou oligogênico) para resistência tendem a ter duração limitada e breve nos programas de melhoramento genético.

A resistência horizontal é um mecanismo de resistência parcial e inespecífico às raças do patógeno. Seu efeito faz com que a doença se desenvolva em uma taxa mais lenta (VAN DER PLANK, 1966). Dificilmente o patógeno consegue superar esta resistência, pois são necessárias várias

mutações em diversos locos (CAMARGO e BERGAMIM FILHO, 1995). Entretanto, essa resistência apresenta dificuldades de identificação e incorporação nos genótipos em programas de melhoramento por ser geralmente poligênica e difícil de quantificar, fazendo com que ela não seja muito explorada para o controle da ferrugem asiática.

Para evitar perdas associadas a doenças e altos custos no controle (uso de fungicidas), existe a possibilidade do uso da tolerância. Fenotipicamente, a planta tolerante assemelha-se a uma planta suscetível, mas não apresenta redução significativa na produtividade quando colonizada/atacada. Deve-se tomar cuidado porque, como não se consegue distingui-las pela aparência, as tolerantes podem multiplicar o inóculo do fungo e vir a contaminar lavouras vizinhas. O controle genético da tolerância à ferrugem asiática da soja não é bem elucidado, mas há evidências de que ele seja poligênico (ARAÚJO, 2009; UNFRIED, 2007).

A tolerância é mensurada via quantificação da produção (produtividade ou peso das sementes) de modo relativo, ou seja, comparando tratamentos com e sem controle da doença (LEVY, 2004 e 2005; TICHAGWA, 2004). Uma maneira de fazer a comparação é a realização de dois experimentos: um com fungicida que controle a ferrugem e um outro sem fungicida (LEVY, 2004 e 2005; TICHAGWA, 2004). Uma modificação deste método observada em alguns trabalhos (ARAÚJO, 2009; ARAÚJO e VELLO, 2010; UNFRIED, 2007; VIEIRA, 2009) é a comparação de dois experimentos, um com o uso de um fungicida que controle a ferrugem e as doenças de final de ciclo, e o outro com um fungicida que controle apenas as doenças de final de ciclo, sendo esta comparação denominada de “Efeito Ferrugem” (UNFREID, 2007).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. MATERIAL GENÉTICO

Os genótipos utilizados como genitores foram advindos de dois grupos distintos. O primeiro grupo é composto por cinco genitores adaptados às condições edafoclimáticas do Brasil (cultivares comerciais) e suscetíveis à ferrugem asiática da soja. O segundo grupo corresponde a quatro genótipos exóticos (PIs ou *Plant Introductions*) com resistência à ferrugem, mas não adaptados às condições ambientais brasileiras. As sementes das cultivares adaptadas multiplicadas e fornecidas pelo programa de ampliação da base genética e melhoramento da soja do Setor de Genética Aplicada às Espécies Autógamas do Departamento de Genética da ESALQ/USP e as sementes dos genótipos exóticos foram fornecidas pela TMG - Tropical Melhoramento e Genética Ltda. (MEDEIROS, 2009).

Os genitores adaptados são IAC-100, Conquista (MGBR 46), BRSMT-Pintado, BRS-154 e BRS-232. Segundo Silva et al. (2007), a cultivar IAC-100 apresenta evidências de resistência parcial. Os genitores exóticos são PI 200.487 (Kinoshita), PI 471.904 (Orba), PI 459.025 (Bing-Nan) e PI 200.526 (Shiranuí). Bing-Nan possui o gene de resistência *Rpp4* (BROMFIELD E HARTWIG, 1980), enquanto os outros três genótipos exóticos possuem o gene de resistência *rpp5* (BATISTA, 2008; MORCELLI et al., 2008; CAMARGO et al., 2008).

Os cruzamentos entre os genitores dos dois grupos distintos foram realizados no ano agrícola 2005/2006 em um esquema de dialelo parcial com recíprocos. No inverno de 2006 foram retiradas possíveis autofecundações na geração F_1 , através da identificação da coloração das flores e da pubescência. Do total dos possíveis 40 cruzamentos, foram obtidos 27, sendo dez cruzamentos com recíprocos (20 combinações) e sete cruzamentos sem recíprocos. Em 2007 foi semeada a geração F_2 com base no método SHDT (descendência de cova simples desbastada, ALLIPRANDINI e VELLO, 2004) em seis repetições, sendo selecionadas 1200 plantas para compor a geração $F_{2:3}$ (MEDEIROS, 2009). Devido às características agronomicamente indesejáveis herdadas dos genitores exóticos por parte das plantas F_2 , realizou-se outra seleção, reduzindo-se o número total de progênies para 414 nas gerações $F_{2:4}$ e $F_{2:5}$. Na geração $F_{2:5}$, foram selecionadas as melhores plantas das progênies, obtendo-se 488 linhagens $F_{5:6}$, as quais estão listadas na Tabela 1. As duas gerações avaliadas neste trabalho correspondem a $F_{5:6}$ e $F_{5:7}$, as quais foram semeadas e avaliadas nos anos agrícolas de 2010/11 e 2011/12 (ESPOLADOR et al., 2011 e 2012).

Tabela 1. Número de linhagens advindas dos cruzamentos do dialelo parcial presentes na geração $F_{5;6}$. Dentro de cada retângulo, os números da linha abaixo correspondem aos cruzamentos que têm como fêmeas genitores adaptados e como machos genitores exóticos, enquanto que os números da linha de cima representam os cruzamentos entre genitores exóticos como fêmeas e adaptados como machos.

		Genitores Exóticos			
		Bing-Nan	Kinoshita	Orba	Shiranuí
Genitores Adaptados	BRS-154	-	-	-	18
		37	31	16	37
	BRS-232	-	-	11	-
		-	-	11	-
	Conquista	9	23	7	31
		-	-	6	14
	IAC-100	6	20	15	7
		33	15	24	34
	Pintado	12	6	14	14
		29	8	-	-

3.2. AMBIENTE DA CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Os experimentos foram conduzidos no Departamento de Genética da ESALQ/USP nos anos agrícolas de 2010/11 e 2011/12. O solo é do tipo NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico, textura argilosa, com horizonte A moderado (Nvef1). A localização geográfica corresponde a 22° 42' 28" de latitude Sul e 47° 38' 11" de longitude Oeste, com altitude média de 539 m acima do nível do mar (VIDAL-TORRADO et al. 2004). O clima da região é subtropical úmido (Cwa), segundo a classificação de Köppen, com verão chuvoso e inverno seco e precipitações médias anuais de 1230 mm. As temperaturas médias mensais variam de 25,4°C no verão a 17,9°C no inverno, com temperatura média anual de 21,6°C.

O preparo de solo foi semelhante nos dois anos agrícolas, para uso em sistema de cultivo convencional. A adubação seguiu as recomendações técnicas, utilizando-se na adubação de base uma mistura de grânulos com formulação 04-20-20. A semeadura foi realizada manualmente, utilizando 50 sementes por parcela (uma fileira com 2 m x 0,5 m). Foi feita irrigação pelo sistema de aspersão, após a semeadura e em outros momentos em que foi necessária. O controle de plantas emergentes foi realizado com herbicidas pré e pós-emergentes e o de insetos foi realizado quando necessário, através de técnicas de controle biológico e químico.

3.3. CARACTERES AVALIADOS

Todos os caracteres foram avaliados na maturidade plena das plantas ou estágio fenológico R8 (FEHR e CAVINESS, 1977) e estão descritos a seguir:

3.3.1. Número de dias para a maturidade (NDM)

O número de dias para a maturidade foi mensurado pelo período entre a semeadura do experimento e o estágio R8, ou seja, quando mais de 95% das vagens da parcela apresentavam coloração padrão da cultivar na maturidade plena;

3.3.2. Altura da planta na maturidade (APM)

A altura da planta na maturidade foi mensurada, em centímetros, pela distância entre o colo da planta (superfície do solo) e a extremidade da haste principal quando a planta estava no estágio R8; as medidas foram tomadas em três plantas representativas da parcela e a média aritmética destes valores compôs a APM média da parcela.

3.3.3. Acamamento (AC)

O acamamento foi avaliado por notas com base na inclinação das plantas presentes na parcela em R8; as notas variaram de 1 para parcelas com plantas eretas até 5 para parcelas com plantas totalmente acamadas.

3.3.4. Valor Agronômico (VA)

O valor agronômico foi avaliado através de uma escala de notas visuais, variando de 1 (parcela com plantas agronomicamente inadequadas ao cultivo) a 5 (parcela com plantas plenamente adequadas ao cultivo); esta medida é subjetiva e representa um índice visual reunindo vários caracteres, com destaque para arquitetura das plantas, quantidade de ramificações, altura de inserção da primeira vagem, retenção folhar na maturidade, vigor, sanidade, quantidade de vagens.

3.3.5. Estande (EST)

O estande foi avaliado através de notas visuais entre 1 (parcela com muitas falhas) a 5 (parcela sem falhas e boa uniformidade de plantas). Este parâmetro foi estimado para auxiliar na correção de dados de PG, caso houvesse grande número de falhas de estande.

3.3.6. Peso de cem sementes (PCS)

O peso de cem sementes foi mensurado através da amostragem e mensuração da massa de 100 sementes sadias (inteiras) de cada parcela.

3.3.7. Produtividade de Grãos (PG)

A produtividade de grãos foi mensurada através da massa de grãos produzida na área útil da parcela; após a trilhagem das plantas, as sementes passaram por uma pré-secagem à sombra e ventilada por cerca de três semanas para atingir a umidade interna de 13% e, posteriormente, foram pesadas; os valores obtidos em g parcela⁻¹ foram transformados para kg ha⁻¹.

3.3.8. Efeito Ferrugem (EF)

O efeito ferrugem estima a perda relativa de cada genótipo causada pela ferrugem asiática; o cálculo é obtido de modo semelhante ao proposto por Araújo e Vello (2010) para os diferentes caracteres, principalmente para PG e PCS, por meio da diferença entre as médias ajustadas de cada genótipo em dois experimentos vizinhos com manejos distintos de fungicidas, ou seja, a média do caráter ajustada no experimento em que foram controladas as doenças de final de ciclo exceto a ferrugem (Manejo 2) menos a média do mesmo caráter no experimento no qual foi feito controle de todas as doenças de final de ciclo, incluindo-se a ferrugem (Manejo 1), conforme a Equação 1:

$$EF = ('Manejo 2' - 'Manejo 1') \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo:

EF: Efeito Ferrugem, valor que estima a tolerância de cada linhagem à ferrugem; o EF estima as perdas de produtividade e variações na média de outros caracteres provocadas pela ferrugem; valores de EF próximos a zero indicam tolerância à ferrugem.

Manejo 1: média ajustada do caráter no ambiente com fungicidas que controlam todas as doenças de final de ciclo, incluindo-se a ferrugem asiática.

Manejo 2: média ajustada do caráter no ambiente com fungicidas que controlam as doenças de final de ciclo, exceto a ferrugem.

3.4. EXPERIMENTAÇÃO NA GERAÇÃO F_{5:6}

As linhagens da geração F_{5:6} foram cultivadas na ESALQ – sede (fazenda São João da Montanha), no ano agrícola 2010/11, em dois experimentos com manejos distintos de fungicidas; no primeiro experimento (manejo 1), foram feitas aplicações sucessivas dos fungicidas Opera® (133 g/L Piraclostrobina + 50 g/L Epoxiconazol) e Nativo® (100g/L Trifloxistrobina + 200 g/L Tebuconazol) para controle de todas as doenças de final de ciclo, incluindo-se a ferrugem, enquanto que no segundo experimento (manejo 2) foram feitas duas aplicações do fungicida Derosal 500 SC® (500 g/L Carbendazim) para controle de doenças de final de ciclo, exceto a ferrugem.

Cada experimento foi delineado em um bloco aumentado de Federer (apenas uma repetição), sendo estratificado em oito conjuntos experimentais com três testemunhas em comum (Abura, BRS-133 e M-Soy 6101) distribuídas de maneira sistemáticas ao longo dos conjuntos. Cada conjunto experimental conteve 64 genótipos, sendo três testemunhas e 61 linhagens.

As testemunhas permitem o ajustamento das médias dos genótipos, de acordo com o delineamento de blocos aumentados de Federer, por meio das diferenças entre a média das testemunhas em cada conjunto e a média geral das testemunhas em todos os conjuntos, caso o efeito de conjuntos fosse significativo; nos conjuntos em que a média das testemunhas for maior que a média geral, a diferença estimada é diminuída das médias de todas as linhagens; por outro lado, nos conjuntos em que a média das testemunhas for menor que a média geral, a diferença estimada é adicionada às médias de todas as linhagens (PIMENTEL-GOMES, 2000).

Em cada experimento foram cultivadas 512 parcelas experimentais (488 linhagens advindas do dialelo e 24 testemunhas). Cada parcela foi composta por uma fileira de 2 m de comprimento e 0,5 m de largura (1 m²), havendo corredores de 1m entre as extremidades das parcelas.

Nesta geração, foram avaliados os caracteres PG e PCS, os quais também serviram de base para se estimar o EF através da comparação dos dois experimentos, de acordo com o relatado

anteriormente. Além disso, foi realizada a seleção dentro de cruzamentos a favor de linhagens com alta PG e tolerância à ferrugem asiática (EF_PG e EF_PCS próximos de zero).

3.5. EXPERIMENTAÇÃO NA GERAÇÃO F_{5:7}

As 260 linhagens F_{5:7} selecionadas como superiores no ano anterior foram semeadas na ESALQ – sede no ano agrícola 2011/12, em dois experimentos de modo semelhante ao realizado ao ano anterior, ou seja, um experimento com manejo 1 para controle de todas as doenças de final de ciclo, incluindo-se a ferrugem asiática e o segundo experimento com manejo 2 para controle de doenças de final de ciclo exceto a ferrugem.

O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso com duas repetições, cada uma delas estratificada em cinco conjuntos experimentais. Foram utilizadas quatro testemunhas comuns a cada conjunto (Abura, BRS-133, Msoy-6101 e IAC-100) sendo distribuídas de modo sistemático, com finalidade de ajuste caso fosse necessário.

Foram avaliados os caracteres PG, APM, VA, AC e NDM, além do estande. A partir dos valores médios obtidos em cada manejo, foi calculado para cada genótipo o EF para os caracteres PG, APM, NDM, VA e AC.

Ao lado dos dois experimentos principais com as linhagens, também foram conduzidos dois experimentos auxiliares com os nove genitores e as quatro testemunhas anteriormente relatadas; o delineamento foi em blocos ao acaso com duas repetições. Nos dois experimentos com genitores, as parcelas tiveram as dimensões de 2 m de comprimento e 0,5 m de largura, com corredores de 1 m nas extremidades.

3.6. ANÁLISES DOS DADOS

Os dados experimentais obtidos foram organizados em planilhas eletrônicas no programa Microsoft Excel 2010, o qual também foi utilizado para a confecção dos gráficos apresentados neste trabalho. Para análise dos dados utilizou-se o programa R (R CORE TEAM, 2016), verificando se os dados atendem aos pressupostos para a realização da análise estatística. Os pacotes utilizados no programa R foram 'lattice', 'car', 'MASS', 'plantbreeding', 'agricolae', 'ExpDes' e 'laercio'.

Um problema para as análises foram os dados perdidos. Quando possível, os dados ausentes foram preditos a partir dos efeitos gerados pelo modelo da análise de variância individual com as ausências e então imputados no conjunto de dados. Com o conjunto de dados completo o modelo foi analisado novamente de maneira definitiva.

3.7. ANÁLISE DA VARIÂNCIA INDIVIDUAL PELO MODELO DE BLOCOS AUMENTADOS DE FEDERER COM DADOS OBTIDOS EM 2010/11 EM LINHAGENS F_{5:6}

Antes da realização da análise dos dados das linhagens, foi realizada a análise de variância das testemunhas comuns para verificar se havia necessidade de ajustamento dos dados entre os diferentes conjuntos experimentais. Considerando-se o delineamento utilizado de blocos ao acaso, o modelo estatístico é o seguinte:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + c_j + e_{ij} \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo:

Y_{ij} o valor observado referente à testemunha i dentro do conjunto j ;

μ uma constante comum a todos os tratamentos;

t_i o efeito fixo da testemunha i , com $(i = 1, \dots, t)$;

c_j o efeito aleatório do conjunto j , com $(j = 1, \dots, c)$;

e_{ij} o efeito aleatório do resíduo experimental da parcela com a testemunha i dentro do conjunto j , admitindo-se que os resíduos são independentes e normalmente distribuídos com média zero e variância σ^2 .

Quando houve necessidade (teste F significativo ao fator conjunto), fez-se o ajustamento das médias das linhagens F_{5:6}, com base nas médias das testemunhas nos diferentes conjuntos experimentais, de acordo com o relatado anteriormente. Após o ajustamento das médias das linhagens (se necessário), as análises de variância foram realizadas segundo o delineamento experimental de blocos aumentados de Federer, de acordo com o modelo estatístico abaixo:

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + c_j + e_{ijk} \quad (\text{Equação 3})$$

Sendo:

Y_{ijk} o valor observado referente à parcela k , do conjunto j e da linhagem i ;

μ a constante comum a todos os tratamentos;

g_i o efeito fixo da linhagem i , com $(i = 1, \dots, g)$;

c_j o efeito aleatório do conjunto j , com $(j = 1, \dots, c)$;

e_{ijk} o efeito aleatório do resíduo experimental da parcela k no conjunto j e com a linhagem i , admitindo-se que os resíduos são independentes e normalmente distribuídos com média zero e variância σ^2 .

3.8. ANÁLISE CONJUNTA DOS EXPERIMENTOS COM MANEJOS DISTINTOS DE FUNGICIDAS DE DADOS OBTIDOS EM 2010/11 EM LINHAGENS F_{5:6}

Antes do procedimento da análise, testou-se a homogeneidade das variâncias residuais das análises individuais, utilizando-se a razão entre o maior e o menor quadrados médios dos resíduos; no caso do valor obtido ser menor que sete (PIMENTEL-GOMES, 2009), foi dado prosseguimento normal a esta análise; caso a razão fosse superior a sete, seria necessário fazer compensação, por meio da redução do número de graus de liberdade do resíduo.

O modelo para a análise conjunta dos experimentos com manejos distintos de fungicidas para 2010/11 foi o seguinte:

$$Y_{ijp} = \mu + g_i + f_p + (fg)_{ip} + c_j(f)_p + e_{ijp} \quad (\text{Equação 4})$$

Sendo:

Y_{ijp} o valor observado referente à linhagem i no manejo p ;

μ a constante comum a todos os tratamentos;

g_i o efeito fixo da linhagem i , com $(i = 1, \dots, g)$;

f_p o efeito fixo do manejo p , com $(p = 1, \dots, f)$;

$(fg)_{ip}$ o efeito fixo da interação entre o manejo p e a linhagem i ;

$c_j(f)_p$ o efeito aleatório do conjunto j dentro do manejo p ;

e_{ijk} o efeito aleatório do resíduo experimental da parcela com o genótipo i e com o manejo p , admitindo-se que os resíduos são independentes e normalmente distribuídos com média zero e variância σ^2 .

3.9. ANÁLISE DA VARIÂNCIA EM BLOCOS AO ACASO COM REPETIÇÕES ESTRATIFICADAS EM CONJUNTOS EXPERIMENTAIS DE DADOS OBTIDOS EM 2011/12 EM LINHAGENS F_{5:7}

Verificou-se a necessidade de ajustamento dos dados entre os diferentes conjuntos experimentais através da realização da análise das testemunhas comuns conforme a Equação 2 para cada bloco. Uma vez realizado o ajustamento (se o teste F fosse significativo para o fator conjuntos), realizou-se a análise dos genótipos considerando o delineamento experimental de blocos ao acaso, de acordo com o modelo estatístico a seguir:

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + b_k + c_j(b)_k + e_{ijk} \quad (\text{Equação 5})$$

Sendo:

Y_{ijk} o valor observado referente ao genótipo i do conjunto j e repetição k ;

μ a constante comum a todos os tratamentos;

g_i o efeito fixo do genótipo i , com $(i = 1, \dots, t)$

b_k o efeito aleatório do bloco k , com $(k = 1, \dots, b)$;

$c_j(b)_k$ o efeito aleatório do conjunto j , com $(j = 1, \dots, c)$, no bloco k ;

e_{ijk} o efeito aleatório do resíduo experimental da parcela com a testemunha i dentro do conjunto j do bloco k , admitindo-se que os resíduos são independentes e normalmente distribuídos com média zero e variância σ^2 .

3.10. ANÁLISE CONJUNTA DOS EXPERIMENTOS COM MANEJOS DISTINTOS DE FUNGICIDAS DE DADOS OBTIDOS EM 2011/12 EM LINHAGENS F_{5:7}

Inicialmente, a homogeneidade das variâncias residuais das análises individuais dos dois experimentos com manejos distintos de fungicidas em 2011/12 foi analisada através da razão entre o maior e o menor quadrado médio dos resíduos; se caso a razão obtida fosse menor que sete (PIMENTEL-GOMES, 2009), seria dado prosseguimento normal a esta análise; se ocorresse uma razão superior a sete seria necessário fazer compensação, por meio da redução do número de graus de liberdade do resíduo.

O modelo genético-estatístico para a análise conjunta dos experimentos envolvendo diferentes manejos para o ano 2011/12 pode ser representado pelo modelo genético-estatístico da Equação 6:

$$Y_{ijpk} = \mu + g_i + f_p + (fg)_{ip} + b_k(f_p) + c_j(bf)_{kp} + e_{ijpk} \quad (\text{Equação 6})$$

Sendo:

Y_{ijpk} o valor observado referente ao genótipo i do conjunto j e repetição k ;

μ a constante comum a todos os tratamentos;

g_i o efeito fixo do genótipo i , com $(i = 1, \dots, t)$

f_p o efeito fixo do manejo p , com $(p = 1, \dots, f)$;

$(fg)_{ip}$ o efeito fixo da interação entre o manejo p e a linhagem i ;

$b_k(f_p)$ o efeito aleatório do bloco k , com $(k = 1, \dots, b)$, no fungicida p ;

$c_j(bf)_{kp}$ o efeito aleatório do conjunto j , com $(j = 1, \dots, c)$, no bloco k e manejo p ;

e_{ijk} o efeito aleatório do resíduo experimental da parcela com a testemunha i dentro do conjunto j do bloco k , admitindo-se que os resíduos são independentes e normalmente distribuídos com média zero e variância σ^2 .

3.11. ANÁLISE DOS EXPERIMENTOS COM GENITORES

Realizou-se a análise de variância dos genitores utilizando o delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições, de acordo com modelo genético-estatístico anteriormente relatado na Equação 3 para as análises individuais em cada manejo e na Equação 4 para a análise conjunta.

3.12. ANÁLISE CONJUNTA DOS EXPERIMENTOS COM MANEJOS DISTINTOS DE FUNGICIDAS NOS ANOS AGRÍCOLAS DE 2010/11 E 2011/12

Para a realização da análise conjunta das linhagens em diferentes manejos e anos, utilizou-se apenas os dados referentes às linhagens selecionadas no ano agrícola 2010/11, após serem ajustadas. Sequencialmente, a homogeneidade das variâncias residuais das análises individuais dos quatro experimentos foi analisada através da razão entre o maior e o menor quadrado médio dos resíduos; caso a razão obtida fosse menor que sete (PIMENTEL-GOMES, 2009), seria dado prosseguimento normal a esta análise; caso contrário, realizar-se-ia a compensação por meio da redução do número de graus de liberdade do resíduo.

O modelo genético-estatístico para a análise conjunta dos experimentos envolvendo diferentes manejos para os anos 2010/11 e 2011/12 foi o da seguinte equação:

$$Y_{ijklp} = \mu + g_i + f_p + a_l + fg_{pi} + fa_{pl} + ag_{li} + afg_{lpi} + b_k(af)_{lp} + c_j(baf)_{klp} + e_{ijklp} \quad (\text{Equação 7})$$

Sendo:

Y_{ijklp} o valor observado referente ao genótipo i , repetição k , manejo p e ano l ;

μ a constante comum a todos os tratamentos;

g_i o efeito fixo da linhagem i , com $(i = 1, \dots, t)$

f_p o efeito fixo do manejo p , com $(p = 1, \dots, p)$;

a_l o efeito fixo do ano agrícola l , com $(a = 1, \dots, l)$;

fg_{pi} o efeito fixo da interação entre o genótipo i e o manejo p ;

fa_{pl} o efeito fixo da interação entre o manejo p e o ano agrícola l ;

ag_{li} o efeito fixo da interação entre o genótipo i e o ano agrícola l ;

af_{ip_i} o efeito fixo da interação entre genótipo i , manejo p e ano agrícola l ;

$b_k(af)_{lp}$ o efeito aleatório do bloco k , dentro do ano agrícola l e manejo p ;

$c_j(baf)_{klp}$ o efeito aleatório do conjunto j , dentro do bloco k , ano agrícola l e manejo p ;

e_{ijklp} o efeito aleatório do resíduo experimental da parcela com a testemunha i dentro do conjunto j do bloco k , manejo p e ano l , admitindo-se que os resíduos são independentes e normalmente distribuídos com média zero e variância σ^2 .

A priori ressalta-se a existência de confundimento entre gerações ($F_{5:6}$ e $F_{5:7}$) com anos agrícolas (2010/11 e 2011/12); entretanto, ele não foi contabilizado no modelo, visto serem gerações avançadas e, conseqüentemente, com diferenças desprezíveis entre os componentes genéticos da variância. De particular interesse foram as estimativas das interações linhagem x manejo e linhagem x ano agrícola.

3.13. AGRUPAMENTO DE MÉDIAS PARA EF E CARACTERES AGRONÔMICOS

Após a realização das análises de variância dos modelos genético-estatísticos, para os casos nos quais o teste F foi significativo para o fator genótipos, foi realizado o agrupamento das médias dos genótipos (linhagens e testemunhas) pelo método de Scott-Knott, via programa estatístico R pacote ExpDes.

3.14. SIGNIFICÂNCIA DO EFEITO FERRUGEM

Uma vez que a interação genótipo x manejo tenha dado significativa realizou-se o teste t pareado, com significância a 5%, para confirmar se a diferença observada entre os experimentos, manejo 2 (Derosal) menos o manejo 1 (Opera & Nativo), foi estatisticamente significativa. A equação utilizada para realização do teste foi:

$$T_{calculado} = \frac{EF}{\sqrt{\frac{2 \cdot QMRes}{R}}} \quad (\text{Equação 8})$$

Sendo:

T calculado o valor calculado para a estatística T ;

EF o efeito ferrugem calculado para o caráter em questão;

$QMRes$ o quadrado médio do resíduo da análise conjunta para o caráter;

R o número de repetições do genótipo em cada manejo.

Caso T calculado fosse menor ou igual ao valor de T tabelado (para uma distribuição bicaudal e com grau de liberdade igual ao do resíduo da análise conjunta), EF seria considerado igual a zero e consequentemente classificado como um genótipo tolerante.

Uma vez que T calculado $> T$ tabelado e o EF fosse positivo, o genótipo seria considerado sensível à ferrugem asiática; já se T calculado $> T$ tabelado e o EF negativo, infere-se que o genótipo apresenta uma possível fitotoxidez ao fungicida Opera e/ou Nativo, que controlam a ferrugem, ou ainda que o genótipo seja sensível a alguma doença controlada pelo fungicida Derosal apenas.

Para o delineamento de blocos aumentados de Federer, o valor de T calculado apresenta uma pequena modificação de seu cálculo (FEDERER, 1956,1961), de modo que é obtido pela seguinte equação:

$$T_{calculado} = \frac{EF}{\sqrt{\frac{2(t+1)QM_{res}}{t}}} \quad (\text{Equação 9})$$

Sendo:

T calculado o valor calculado para a estatística T ;

EF o efeito ferrugem calculado para o caráter em questão;

QM_{res} o quadrado médio do resíduo da análise conjunta para o caráter;

t o número de testemunhas comuns utilizadas.

3.15. HERDABILIDADE REALIZADA NO SENTIDO AMPLO E GANHO GENÉTICO

Para a obtenção da herdabilidade no sentido amplo para o efeito ferrugem e produtividade de grãos, calculou-se inicialmente o diferencial de seleção com a seguinte fórmula:

$$ds = \mu_s - \mu_o \quad (\text{Equação 10})$$

Sendo:

ds o diferencial de seleção;

μ_s a média da população selecionada, em $F_{5;6}$;

μ_o a média da população inicial, em $F_{5;6}$.

Após este procedimento, calculou-se o ganho de seleção observado, através da equação:

$$GS = \mu_m - \mu_o \quad (\text{Equação 11})$$

Sendo:

GS o ganho de seleção observado;

μ_m a média da população selecionada, em $F_{5;7}$;

μ_o a média da população inicial, em $F_{5;6}$.

Para contornar o efeito de anos agrícolas foi realizada uma correção do GS com base nas testemunhas comuns aos dois anos. Portanto, o ganho de seleção corrigido pode ser representado por:

$$GScor = GS + (\mu_{Ta} - \mu_{Tb}) \quad (\text{Equação 12})$$

Sendo:

GScor o ganho de seleção realizado corrigido;

μ_{Ta} a média geral das testemunhas no ano agrícola 2010/11;

μ_{Tb} a média geral das testemunhas no ano agrícola 2011/12.

Por fim, foi calculada a herdabilidade realizada no sentido amplo (h^2_a), através da seguinte equação:

$$h^2_a = \frac{GScor}{ds} \quad (\text{Equação 13})$$

3.16. CORRELAÇÃO ENTRE CARACTERES

A partir dos valores médios dos caracteres avaliados foram obtidas correlações de Pearson dentro de cada ano agrícola, assim como os EF dos caracteres. Os valores das correlações obtidas foram submetidos ao teste t pareado a 5% de significância.

3.17. CAPACIDADE MÉDIA DE COMBINAÇÃO PARA PG E EF

Com o intuito de analisar a contribuição de cada genitor na média dos cruzamentos do dialelo, estimou-se a capacidade média de combinação. Para tal, foram calculadas as médias ponderadas das linhagens que estavam presentes em todos os manejos e anos para cada genitor, sendo este o valor da capacidade de combinação média para o genitor.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CONDIÇÕES CLIMATOLÓGICAS

O ano agrícola de 2010/11 caracterizou-se por apresentar a precipitação total de 1072,4 mm, com alto índice pluviométrico para o mês de janeiro (421,7 mm), umidade relativa (UR) média de 76,4% e a temperatura média de 24,9°C (ESALQ, 2016)(Figura 1). Estas condições ambientais auxiliaram a doença, visto que o ideal para seu desenvolvimento são temperaturas médias entre 18 e 28°C e umidade relativa entre 75 e 80% (MARCHETTI, MELCHING, BROMFIELD, 1976; DEL PONTE et al., 2006). Aponta-se também a realização de irrigação suplementar na fase inicial do cultivo para garantir a emergência e o estabelecimento da cultura devido ao baixo índice pluviométrico de novembro.

No segundo ano, as condições climáticas para o desenvolvimento da soja também foram favoráveis, entretanto a pluviosidade neste ano agrícola foi 30,0% inferior ao período anterior, com 752,6 mm (Figura 2). Este fato impactou na produção de grãos que foi menor que o ano anterior. Teoricamente, as condições para desenvolvimento da doença teriam sido menos favoráveis, visto que a temperatura média foi menor (24,4°C) e, principalmente, a umidade relativa média de todos os meses esteve fora do considerado ideal. Entretanto, foi constatada a presença da doença no local, visto que Wysmierski (2015) encontrou valores próximos a 18% de severidade em experimentos conduzidos no mesmo ambiente.

4.2. ANO AGRÍCOLA 2010/11

A partir da análise dos dados da geração F_{5:6} observou-se a ocorrência de dados atípicos e perda de algumas parcelas, conforme relatado a seguir. Para os dados de produtividade de grãos (PG), houve a necessidade de predição de cinco parcelas de testemunhas e foi constatada a perda de sete parcelas de tratamentos regulares. Já em relação ao peso de cem sementes (PCS), houve a predição de três valores para as testemunhas e sete parcelas regulares perdidas. A porcentagem de valores com algum problema representou uma proporção pequena dos dados, 1,2% para PG e 1,0% para PCS, permitindo a continuidade das análises.

As variáveis PG e PCS apresentaram distribuição normal dos resíduos e homocedasticidade, atendendo aos pressupostos e permitindo a realização das análises de variância. Os coeficientes de variação para análises individuais (Tabela 4 e Tabela 5) ficaram abaixo de 25% para PG, o que é considerado uma variação moderada, e abaixo de 6% para PCS. Para ambos os manejos, os

caracteres PG e PCS apresentaram ausência de significância para o fator conjunto para a análise das testemunhas, este fato permitiu prosseguir a análise sem a realização de ajuste de médias conforme o modelo proposto por Federer (1956). Entretanto, para o caráter PCS o fator conjunto/manejo apresentou-se significativo em ambos os manejos quando analisadas as linhagens.

Os valores dos coeficientes de variação (CV) das análises conjuntas (Tabela 6) foram de 23,98% para PG e 5,24% para PCS, valores estes considerados moderados e próximos aos encontrados por CARVALHO (2015) em experimentos no mesmo ano. A realização da análise conjunta pôde ser realizada sem penalidades tanto para PG, quanto para PCS.

A análise de variância conjunta da PG apresentou significância para o fator manejo, de forma que a média do manejo 1 (2.547 kg ha^{-1}) foi superior à média do manejo 2 (2.016 kg ha^{-1}). Esta diferença demonstra a presença do patógeno no local e seu impacto negativo na PG, visto uma redução de 20,7% do potencial produtivo (manejo 1).

O fator genótipo e suas derivações demonstraram-se significativos, mostrando haver diferença entre as linhagens. Outro fato importante é que as interações genótipo x manejo foram significativas, remetendo à existência de respostas diferenciais dos genótipos à ferrugem asiática e possibilitando a seleção de genótipos tolerantes. Entretanto, a partir da decomposição da interação genótipo x manejo, observa-se que esta variação está presente apenas nas linhagens.

O teste de agrupamento de Scott-Knott não distinguiu agrupamentos para a média de PG, atestando uma dispersão homogênea das médias. O teste t para o EF_PG classificou 18 genótipos como sensíveis à ferrugem ($\text{EF} > 2479,5 \text{ kg ha}^{-1}$), dois genótipos com possível fitotoxidez (ou sensíveis às doenças controladas pelo manejo 2, $\text{EF_PG} < -2479,5 \text{ kg ha}^{-1}$) e uma grande classe com 464 genótipos considerados tolerantes, visto que seus valores de EF não diferiram de zero.

A análise do caráter PCS discriminou o fator manejo como significativo, com a média para o manejo 1 superior ao manejo 2 em 2,01 g, corroborando que a ferrugem impactou reduzindo o PCS. O fator genótipo também foi significativo, assim como seus desdobramentos para testemunhas e para linhagens, demonstrando haver alta variabilidade para este caráter.

Observa-se que a interação genótipo x manejo para PCS foi significativa, assim como para os desdobramentos linhagem x manejo e testemunha x manejo, o que leva a concluir que existe variabilidade para a tolerância à ferrugem asiática para o caráter PCS tanto nas linhagens quanto nas testemunhas.

O agrupamento de PCS médio dividiu os genótipos em quatro grupos: um grupo com baixo PCS englobando 266 genótipos com PCS médio de 7,959 g até 14,826 g, um segundo grupo intermediário com 98 genótipos com média entre 14,854g e 16,214g, um terceiro grupo com um único genótipo com média de 16,214g (MSOY-6101) e um quarto grupo com os genótipos com 119 genótipos de alto PCS médio com valores de 16,234g até 25,164g. Estas características podem ser

utilizadas para futura destinação dos materiais, por exemplo, uso de genótipos com alto PCS para uso alimentício *in natura*, como edamame ou soja salada.

O EF para PCS foi testado pelo teste t e valores entre -5,30g e 5,30g não diferem estatisticamente de zero, sendo os genótipos considerados tolerantes. Enquadraram-se nesta classe 446 genótipos. Dos demais, 37 genótipos foram discriminados como sensíveis e um apresentou problemas devido à fitotoxidez ao manejo 1.

A correlação de Pearson entre PG e PCS foi significativa ao teste t e positiva, embora apresente um valor pequeno de 0,136. Este fato implica que a seleção de genótipos mais produtivos elevará levemente os valores de PCS. Por sua vez, o cálculo da correlação entre as tolerâncias (EF) para PG e PCS foi de 0,230, sendo também baixa, mas estatisticamente significativa. Esta é uma característica desejada, pois permite que a seleção de genótipos com maior tolerância para um caráter impacte em aumento de tolerância também para o outro caráter. Todavia ganhos indiretos possivelmente não serão muito expressivos visto a baixa correlação.

Pode-se simular uma seleção a favor de genótipos tolerantes e produtivos a partir de dois parâmetros: a) PG média superior à PG média das testemunhas; b) Valor de EF para os caracteres PG e PCS iguais a zero. Assim obtemos 152 linhagens que atendem estes requisitos, ou seja, 31,6% das linhagens apresentaram-se potencialmente produtivas e tolerantes em relação aos dois caracteres. Os 20% tolerantes e mais produtivos foram representados na Tabela 8. As linhagens que mais se destacaram neste ano agrícola foram '221-325-11-1' (4426 kg ha⁻¹; 15,38 g); '221-432-09-1' (4201 kg ha⁻¹, 15,96g) e '221-134-05-1' (4132 kg ha⁻¹, 17,18 g). Além disto, pode-se observar que entre os 20% mais tolerantes havia maior número de linhagens advindas dos cruzamentos BRS-154 x Orba e Shiranuí x Conquista.

4.3. ANO AGRÍCOLA 2011/12

O segundo ano de experimentação foi conduzido com as linhagens selecionadas no ano agrícola anterior. A seleção foi realizada com o objetivo de aumentar a tolerância à ferrugem asiática e a produtividade de grãos. A seleção foi realizada dentro de cruzamentos de modo que cada cruzamento ainda fosse representado no ano agrícola 2011/12. O número de linhagens selecionadas por cruzamento está exposto na Tabela 2.

Tabela 2. Número de linhagens advindas dos cruzamentos do dialelo parcial presentes na geração $F_{5:7}$. Dentro de cada retângulo, os números da linha de baixo correspondem aos cruzamentos que têm como fêmeas genitores adaptados e como machos genitores exóticos, enquanto que os números da linha de cima representam os cruzamentos entre genitores exóticos como fêmeas e adaptados como machos.

		Genitores Exóticos			
		Bing-Nan	Kinoshita	Orba	Shiranuí
Genitores Adaptados	BRS-154	-	-	-	7
		14	18	11	18
	BRS-232	-	-	6	-
		-	-	11	-
	Conquista	5	12	6	22
		-	-	5	10
	IAC-100	3	13	6	5
		16	7	8	15
	Pintado	6	5	8	8
		7	8	-	-

Em relação aos dados das linhagens, houve a perda de três dados de PG, cujos valores foram substituídos pelos valores preditos, correspondendo a 0,3% dos dados. Observou-se que cada uma das repetições apresentou homocedasticidade e normalidade dos resíduos. As análises individuais (Tabela 8 e Tabela 9) apresentaram CV entre 1,20 (NDM) e 39,77% (AC). A partir de dados compilados por Carvalho (2015), observa-se que o CV de acamamento e valor agrônomo são superiores aos encontrados pelo autor, todavia, ressalta-se que estas linhagens advêm de cruzamento utilizando genitores exóticos e apresentam características agrônomicas indesejáveis e muito discrepantes entre elas. Para a análise conjunta (Tabela 10), a razão entre o maior quadrado médio do resíduo e o menor apresentou-se menor que sete, permitindo o prosseguimento da análise sem penalizações.

O fator manejo foi significativo apenas para os caracteres altura de planta (APM) e número de dias para maturidade (NDM), o que pode ser explicado principalmente pelo fator ambiental que se mostrou mais restritivo ao desenvolvimento da doença (menores valores de precipitação e umidade relativa) e pela realização de seleção para tolerância à doença com base na PG e no PCS. Os genótipos sob manejo 2 apresentaram em média 5,1cm de altura a mais que as plantas sob manejo 1, observação encontrada também por Wysmierski (2015) e Carvalho (2015). O motivo desta diferença não é claro, mas provavelmente está relacionado a um efeito fisiológico causado pelos fungicidas. Os genótipos sob o manejo 2 tiveram a maturidade antecipada 1,6 dias, visto a morte precoce de plantas.

A interação genótipo x manejo foi significativa apenas para as variáveis PG e NDM, indicando que os genótipos apresentaram diferentes respostas a ferrugem asiática nos diferentes manejos e tornando possível, a seleção de linhagens mais tolerantes para estes caracteres. O

acamamento (AC) foi relacionado ao fator genótipo, mas também a questões espaciais, visto conjunto e bloco significativos, além do CV% relativamente alto. As notas de valor agrônomo (VA) foram significativas apenas em relação aos genótipos.

As correlações de Pearson entre os valores médios dos caracteres (Tabela 11) demonstram que o valor agrônomo teve um valor moderado e positivo de correlação com a produtividade de grãos (0,507), mostrando que a seleção visual é uma boa ferramenta para auxiliar a seleção de linhagens mais produtivas.

A maior correlação encontrada foi entre AC e VA, sendo alta e negativa (-0,704). A correlação entre acamamento e produção de grãos foi negativa e moderada (-0,399), já entre AC e APM foi moderada e positiva (0,419). Não houve correlação significativa entre APM e PG, o que pode ser explicado pelo fato de plantas muito altas tenderem a acamar e produzirem menos, enquanto plantas muito pequenas geralmente não apresentam um bom potencial produtivo. VA e NDM não apresentaram correlação significativa.

A correlação de Pearson entre EF_AC x EF_APM (Tabela 12) foi significativa, baixa e positiva (0,213), mostrando que plantas que tiveram maiores diferenças entre altura para os tratamentos, também apresentaram maior tendência para acamar. Já as correlações de EF_AC x EF_PG e EF_AC x EF_VA foram negativas e baixas (-0,205 e -0,362, respectivamente), o que se explica pelo manejo 1 ter apresentado maior PG, logo o acamamento neste implicaria em maior perda em valor absoluto que se ocorresse acamamento no manejo 2. Outra correlação significativa foi entre EF_PG x EF_VA, a qual foi positiva e baixa (0,187). Em consequência disto, a estabilidade do caráter valor agrônomo pode servir como um auxílio para a seleção de linhagens mais tolerantes para produtividade de grãos.

O teste de Scott-Knott não distinguiu agrupamentos para PG (Figura 5), apesar da produtividade média ter apresentado grande variação (933 kg ha⁻¹ até 3673 kg ha⁻¹). Em relação ao teste t para EF_PG, observa-se que valores entre -1033,4 e 1033,4 kg ha⁻¹ são estatisticamente iguais a zero e tolerantes, agrupando 222 genótipos.

O NDM médio foi classificado em dois grupos (Figura 6): um com 183 genótipos de ciclo mais curto (125 a 134,5 dias) e um com 81 genótipos de ciclo longo (134,75 a 142,75 dias). Esta informação é interessante, pois a separação em dois grupos pode melhorar a experimentação visto se tratarem de genótipos com grupos de maturação distintos e, consequentemente, com regiões de adaptação diferentes. O teste t para EF_NDM classificou 213 genótipos como tolerantes (valores entre -3,8 e 3,8 dias). O teste de Scott-Knott não discriminou agrupamentos para VA ou para AC.

Para o caráter altura de plantas foi possível distinguir quatro grupos (Figura 7): o primeiro com 193 genótipos de estatura baixa (83,75 cm a 118,75 cm,) um segundo grupo com 32 genótipos de alturas entre 120 e 127,75 cm, um terceiro com um genótipo de 128,5 cm e um quarto grupo com

38 genótipos de estatura alta (128,75 até 192,5 cm). Dado que a estatura de plantas desejada para cultivo esteja entre 60 cm (possibilitando a colheita mecanizada) e 120 cm (menor chance de acamamento), o grupo de menor estatura é o melhor em termos agronômicos.

Em resumo, de todas as linhagens avaliadas, 183 linhagens apresentaram-se tolerantes para EF_PG e EF_NDM simultaneamente. Para estimar quais foram as linhagens tolerantes e mais produtivas nesta geração, simulou-se uma seleção com base em quatro critérios: a) Tolerância para os caracteres PG e NDM (durante este ano agrícola); b) Menor ciclo, pois têm melhor chance de escape à ferrugem asiática; c) Menor altura de planta, pois têm maior resistência ao acamamento; d) Produtividade de grãos igual ou superior à média das testemunhas comuns.

De acordo com esses parâmetros 28 linhagens podem ser selecionadas (Tabela 13), além da testemunha BRS 133 (2459 kg ha⁻¹), de forma que as linhagens mais produtivas foram '221-209-03-3' (3434 kg ha⁻¹), '221-430-04-03' (3247 kg ha⁻¹), '221-223-07-2' (3053 kg ha⁻¹), '221-230-02-04' (2880 kg ha⁻¹). Os cruzamentos que tiveram mais linhagens selecionadas foram Shiranuí x Conquista e BRS – 154 x Kinoshita, com seis e cinco linhagens respectivamente.

4.4. GENITORES NO ANO AGÍCOLA 2011/12

O número de falhas nas parcelas para o experimento com genitores foi alto. Por isso, foi realizada uma correção para produtividade com base nas notas de estande. Os dados dos genitores apresentaram um dado atípico para PG (1,0% do total de dados) e três para altura (3,1%), os quais foram substituídos por seus preditos. Os resíduos dos dados apresentaram distribuição normal e homocedasticidade.

As análises de variância individuais para o manejo 1 (Tabela 14) e manejo 2 (Tabela 15) demonstraram valores de CV% valores moderados, com exceção aos de AC que chegaram a 48,21% no manejo 1. O possível motivo dos altos valores seria a presença de genótipos não adaptados ao cultivo. Além disto, foi possível observar que o fator de variação genótipo foi significativo para todos os caracteres.

Observa-se na análise conjunta dos genitores (Tabela 16) que o fator manejo só foi significativo para o fator NDM, de forma que o manejo 1 apresentou 1,6 dias a mais de ciclo que o manejo 2, evidenciando a mortalidade precoce pela ferrugem. O fator genótipo foi significativo para os cinco caracteres avaliados, porém apenas PG e VA mostraram interação genótipo x manejo significativa, mostrando haver variabilidade na resposta para estes dois caracteres com possibilidade de seleção para tolerância à ferrugem asiática.

Na Tabela 17, nota-se que o genitor com maior PG foi BRS 133 com 4470 kg ha^{-1} , contudo, IAC-100 e Conquista não diferiram estatisticamente do mesmo. Entre estes três genótipos, apenas a testemunha BRS 133 demonstrou efeito ferrugem estatisticamente igual a zero, ou seja, tolerante. Por outro lado, a menor produtividade média de grãos foi de Shiranuí com 1664 kg ha^{-1} , todavia estatisticamente não diferiu dos outros genitores exóticos Orba, Kinoshita e Bing-Nan (além dos genótipos BRS-154, BRS-232, M-SOY 6101 e Pintado), isto mostra que os genitores exóticos apresentam um menor potencial produtivo, mas todos os eles apresentaram tolerância para PG segundo o parâmetro EF.

Os cultivares com melhor valor agrônomo foram BRS 133, IAC-100, Conquista e BRS-154. O genótipo Pintado apresentou o pior VA, sendo estatisticamente igual aos genitores exóticos e BRS-232. O EF_VA foi significativo apenas para o genitor Shiranuí, todavia a diferença visual não impactou estatisticamente na diferença de produtividade de grãos.

Houve grande variação no NDM e APM para os genótipos, com intervalos de 126 a 140,5 dias e 66 a 144 cm, respectivamente. Isto exemplifica a alta variabilidade encontrada nos cruzamentos advindos destes genitores, além da alta produtividade de grãos dos genitores adaptados e da tolerância a ferrugem asiática dos genitores exóticos. Vale ressaltar que os genitores Pintado, BRS 133 e BRS 154 demonstram ser tolerantes segundo o parâmetro EF_PG.

4.5. ANÁLISE CONJUNTA

Para realização da análise conjunta utilizou-se apenas genótipos que foram semeados em ambos os anos e não apresentaram parcelas perdidas, totalizando 260 genótipos (257 linhagens e três testemunhas). A razão entre o quadrado médio dos resíduos entre os anos foi menor do que sete, permitindo assim a realização da análise de variância sem penalizações.

A partir da Tabela 18 observa-se que o fator ano foi significativo, uma vez que o ano 2010/11 apresentou maior produtividade em relação a 2011/12 (a diferença de 542 kg ha^{-1}), mostrando que as condições foram mais favoráveis para o desenvolvimento da cultura no primeiro ano. O fator manejo também se mostrou significativo, com o manejo 1 produzindo 419 kg ha^{-1} a mais que o manejo 2. Entretanto, não houve interação entre manejo e ano, mostrando que em ambos os anos a doença ocorreu de modo semelhante.

Observa-se que o fator genótipo (e linhagens) e suas interações com manejo e ano apresentaram-se significativas, mostrando que a seleção para este carácter é muito complexa e dependente de vários fatores locais e temporais.

O teste de Scott-Knott mostrou que esses genótipos só formaram um agrupamento para PG, enquanto o teste t para EF demonstrou que há presença de genótipos tolerantes e sensíveis à ferrugem (Figura 8). Foram identificadas 205 linhagens (e três testemunhas) como tolerantes à ferrugem asiática, visto que estatisticamente não diferiram de zero. Uma linhagem foi identificada como sensível a fitotoxidez, ou possivelmente apresenta susceptibilidade às doenças controladas pelo manejo 2. Já 51 linhagens foram consideradas como sensíveis a ferrugem.

A análise conjunta apontou 80 linhagens com valores de PG média superiores à média das testemunhas e que também apresentam tolerância, visto que seus valores de EF_PG não diferiram de zero. As linhagens mais produtivas deste grupo estão discriminadas na Tabela 19.

As cinco linhagens mais produtivas e tolerantes para PG foram '221-432-09-1' (3618 kg ha⁻¹), '221-404-01-1' (3471 kg ha⁻¹), '221-430-04-3' (3247 kg ha⁻¹), '221-610-02-1' (3233 kg ha⁻¹) e '221-120-05-1' (3211 kg ha⁻¹). Os cruzamento que mais tiveram linhagem de interesse foram 'BRS – 154 x Kinoshita', 'BRS – 232 x Orba', 'Kinoshita x Conquista' e 'Shiranuí x Conquista'.

4.6. HERDABILIDADE REALIZADA

Os resultados para a seleção realizada no ano agrícola 2010/11 com intuito de aumento da tolerância e produtividade de grãos podem ser observados na Tabela 3. Ressalta-se que para os cálculos foram utilizadas 481 linhagens em F_{5;6} e 257 linhagens em F_{5;7} e a correção do ganho de seleção foi feita a partir a PG média das testemunhas, visto que se desejava retirar apenas o efeito de ano e a interação Ano x Manejo não foi significativa na análise de variância.

Tabela 3. Ganho de seleção absoluto (GS cor, kg ha⁻¹) e relativo (GS cor %) corrigidos e herdabilidade realizada no sentido amplo (h^2_{ampla}) para o caráter peso de grãos (PG)

	GS cor	GS cor %	h^2_{ampla}
PG Manejo 1	-20.7	-0.82%	-7.53%
PG Manejo 2	19.7	0.98%	3.93%
PG Média	-0.2	-0.01%	-0.06%
EF PG	40.4	-7.79%	17.80%

Nota-se que o ganho de seleção (com correção para ano) para a média de produtividade foi praticamente nulo. Observando-se separadamente os ganhos de seleção para a PG nos manejos 1 e 2 se contrapõem: houve ganho de seleção para PG no manejo 2 de 19,7 kg ha⁻¹, enquanto no manejo 1 houve perda de 20,7 kg ha⁻¹. Por outro lado, ocorreu uma diminuição do efeito ferrugem médio em 40,4 kg.ha⁻¹ o que leva a concluir que a média da população não foi alterada. Ainda assim, a seleção aumentou a sua tolerância à ferrugem asiática, pois melhorou a estabilidade de produção.

A herdabilidade realizada para o caráter PG média foi praticamente zero, visto que o ganho de seleção próximo a zero. Por sua vez a herdabilidade para EF_PG foi 17,80%, mostrando que este caráter está sujeito a grande variabilidade ambiental, mas ainda assim é possível selecionar genótipos mais tolerantes.

4.7. CAPACIDADE MÉDIA DE COMBINAÇÃO

A capacidade média de combinação (CMC) para a PG média pode ser observada na Tabela 20. Os genitores BRS-232 e Conquista foram os que apresentaram CMC de PG maior que a média geral, todavia o genitor BRS-232 foi composto por cruzamentos apenas com o genótipo Orba. Em relação aos genitores exóticos, os que tiveram produção de grãos mais elevada foram Kinoshita e Shiranuí. Os cruzamentos BRS -154 x Kinoshita, Orba x BRS -232, BRS – 232 x Orba, Shiranuí x BRS – 154, Kinoshita x Conquista, Conquista x Orba, Shiranuí x Conquista, Conquista x Shiranuí, Pintado x Bing-Nan, Kinoshita x Pintado apresentaram PG superior à média das testemunhas (2449 kg ha⁻¹), e aparentam ser os mais promissores.

A capacidade média de combinação para o efeito ferrugem (Tabela 21), mostra que todos os cruzamentos apresentaram valores negativos, o que indica que todas as linhagens apresentaram maior produtividade de grãos no manejo 1 do que no manejo 2. Além disto, a média dos cruzamentos foi mais próxima de zero do que a média das testemunhas (-464 kg ha⁻¹), portanto as linhagens são mais tolerantes. Os genitores exóticos Orba e Shiranuí apresentaram menor efeito ferrugem médio (em módulo), mostrando-se assim mais tolerantes. Os genitores BRS-154, BRS-232 e IAC-100 apresentaram EF (absoluto) menor que a média geral também. Em relação aos cruzamentos específicos observa-se que 14 cruzamentos mostraram-se promissores, pois apresentaram EF menor que a média, sendo o cruzamento Orba x IAC – 100 o que demonstrou o menor valor absoluto de EF.

De modo geral, para um aumento da tolerância e da produtividade, os melhores genitores foram BRS-232 como adaptado e Shiranuí como exótico, visto que apresentaram cruzamentos com maior produtividade e maior tolerância. Os cruzamentos que se mostraram mais promissores foram Orba x BRS-232 e Shiranuí x Conquista, já que tiveram produção média acima da média das testemunhas e, em módulo, efeito ferrugem menor que a média.

4.8. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A ferrugem asiática afetou os caracteres PG, PCS, APM, AC, NDM, seja pelo efeito de manejos ou pela interação genótipos x manejos, possibilitando a identificação de variações para cada

um destes caracteres. Os caracteres PG, PCS e NDM apresentaram interações genótipos x manejos significativas, demonstrando que eles podem ser importantes para auxiliar a seleção de genótipos mais tolerantes através dos seus efeitos ferrugem (EF).

As correlações entre os EF dos caracteres foram baixas ou não significativas, indicando que para selecionar as melhores linhagens tolerantes deve-se realizar uma seleção conjunta para todos os caracteres.

Estimativas de CMC para PG e EF_PG indicaram que os genitores que mais contribuíram para o aumento de PG e da tolerância foram BRS-232 como adaptado e Shiranuí como exótico, enquanto que os melhores cruzamentos foram Orba x BRS-232 e Shiranuí x Conquista. A seleção realizada não trouxe ganho para a PG, contudo aumentou a tolerância média.

Em uma simulação para seleção em que se levou em conta todos os parâmetros utilizados anteriormente (PG média acima das testemunhas para cada ano e para a média geral e EF não significativo para PCS, NDM e PG), 14 linhagens foram selecionadas, advindas de nove dos 27 cruzamentos (Tabela 22).

Discriminando-se os cruzamentos recíprocos, o cruzamento Shiranuí x Conquista mostrou-se o melhor por apresentar alta quantidade de linhagens promissoras em ambos os anos agrícolas, por ter se destacado na capacidade média de combinação e por ter originado três das 14 linhagens elites superiores na seleção simulada.

A seleção realizada não trouxe ganhos de PG, mas permitiu o aumento da estabilidade da população de linhagens pela obtenção de EF_PG mais próximos de zero.

5. CONCLUSÕES

1. As condições climáticas em ambos os anos foram favoráveis ao desenvolvimento da cultura, com produção maior no ano 2010/11. Além disto, a produtividade de grãos (PG) foi maior no manejo com controle da ferrugem em ambos os anos.

2. Constatou-se variabilidade genética para todos os caracteres.

3. Foi possível identificar genótipos tolerantes à ferrugem e também promissores em PG.

4. O ganho de seleção observado na geração $F_{5:6}$ foi nulo para PG, enquanto que para o efeito ferrugem (EF_PG) foi de -7,79%, indicando a obtenção de genótipos mais estáveis com valores de EF_PG mais próximos de zero.

5. Foram identificadas 14 linhagens promissoras, com maior destaque para o cruzamento mais promissor Shiranuí x Conquista.

REFERÊNCIAS

- ALLIPRANDINI, L.F.; VELLO, N.A. Heritability and correlations among trait in four-way soybean crosses. **Euphytica**, Dordrecht, v.136, n.1, p. 81-91, 2004.
- ALVES, S.A.M.; FURTADO, G.Q.; BERGAMIN FILHO, A. Influência das condições climáticas sobre a ferrugem da soja. *In*: ZAMBOLIM, L. **Ferrugem asiática da soja**. Viçosa: UFV, 2006, cap. 3, p. 37-59.
- AMORIM, L. Infecção. *In*: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H. AMORIM, L. **Manual de Fitopatologia**. 3ª ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995, v.1, cap. 15, p. 295-307.
- ARAÚJO, M.M, **Caracterização e seleção de linhagens de soja resistentes ou tolerantes à ferrugem asiática**. 2009. 77p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- ARAÚJO, M.M.; VELLO, N.A. Characterization of soybean genotypes for Asian soybean rust reaction. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v.10, n.3, p. 197-203, 2010.
- BATISTA, C. E. A. **Mapeamento de genes associados à resistência da soja à ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*)**. 2008. 56p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2008.
- BROMFIELD, K.R.; HARTWIG, E.E. Resistance to soybean rust and mode of inheritance. **Crop Science**, Madison, v. 20, n. 2, p. 254–255, 1980.
- CALVO, E. S.; KIHIL, R.A.S.; GARCIA, A.; HARADA, A.; HIROMOTO, D.M. Two major recessive soybean genes conferring soybean rust resistance. **Crop Science**, Madison, v. 48, n.4, p.1350-1354, 2008.
- CAMARGO, L.E.A.; BERGAMIN FILHO, A. Controle genético. *In*: Bergamin Filho, A.; Kimati, H.; Amorim, L. **Manual de Fitopatologia**. São Paulo: Ceres, 1995. Cap. 37, p. 729-760.
- CAMARGO, P. O.; CATELLI, L. L.; YAMANAKA, N.; ARIAS, C. C.; ABDELNOOR, R. V. Mapeamento do loco de resistência à ferrugem asiática no genótipo PI 200526 (Shiranuí). *In*: JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA, 3., 2008, Londrina. **Resumos expandidos...** Londrina: Embrapa Soja, p.86-90. 2008.
- CARVALHO, R.S.B. **Performance de cruzamentos de soja em gerações sucessivas de endogamia, com ênfase em produtividade, reação à ferrugem e precocidade**. 2015. 177p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.
- CONAB – Companhia Brasileira de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos – v.3. Safra 2015/16 – N. 8 Oitavo Levantamento**, Brasília, 178 p. 2016.

DEL PONTE, E.M.; GODOY, C.V.; LI, X.; YANG, X.B. Predicting severity of Asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. **Phytopathology**, St. Paul, v.96, n , p. 979-803, 2006.

EMBRAPA. **Sistemas de produção 15: tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil 2012 e 2013**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 261p.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ” – ESALQ. Departamento de Engenharia de Biosistemas. Base de dados do posto agrometeorológico. Disponível em <<http://www.leb.esalq.usp.br/descar.html>>. Acesso em: 24 out 2016.

ESPOLADOR, F.G.; VELLO, N.A.; WYSMIERSKI, P.T.; NEKATSCHALOW, M.C. Reação à ferrugem asiática em cruzamentos de soja envolvendo fontes exóticas de genes principais de resistência e genitores adaptados. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (SIICUSP), **19**, 2011, Piracicaba. **Resumos...** Piracicaba: ESALQ/USP, 1p. Disponível em:

<<https://uspdigital.usp.br/siicusp/cdOnlineTrabalhoVisualizarResumo?numeroInscricaoTrabalho=1251&numeroEdicao=19>>. Acesso: 31 mai 2016

ESPOLADOR, F.G.; VELLO, N.A.; NEKATSCHALOW, M.C.; COGO, A.R. Potencial de cruzamentos entre genitores adaptados e exóticos de soja para produtividade de grãos e resistência à ferrugem. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (SIICUSP), **20**, 2012, Pirassununga. **Resumos...** Pirassununga: FZEA/USP, 1p. Disponível em: <<https://uspdigital.usp.br/siicusp/cdOnlineTrabalhoVisualizarResumo?numeroInscricaoTrabalho=2140&numeroEdicao=20>>. Acesso: 31 mai 2016

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS). FAOSTAT – Statistics Database: Crops processed. 2016. Disponível em <<http://faostat3.fao.org/download/Q/QD/E>>. Acesso: 31 out 2016

FEDERER, W.T. Augmented (or hoonuiaku) designs. **Hawaiian Planter's Record**, Aiea, v. 55, n 2, p. 191-208, 1956

FEDERER, W.T. Augmented designs with one-way elimination of heterogeneity. **Biometrics**, Washington, v. 17, n. 3,p.447-473, 1961.

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development (Special Report, 80)**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 12p.

GARCIA, A.; CALVO, E.S.; KIIHL R.A.S.; HARADA, A; HIROMOTO, D.M.; VIEIRA, L.G.E. Molecular mapping of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) resistance genes: discovery of a novel locus and alleles. **Theoretical Applied Genetics**, New York, v. 117, n.4, p. 545–553, 2008.

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. **Compendium of soybean diseases**. 4th Edt. APS Press, The American Phytopathological Society, St. Paul MN, USA. 1999. 100p.
- HARTMAN, G.L.; BONDE, M.R.; MILES, M.M. FREDERICK, R.D. Variation of *Phakopsora pachyrhizi* isolates on soybean. VII World Soybean Research Conference, 2004, Foz do Iguaçu. **Proceedings ... Londrina: Embrapa, 2004. p.440-446.**
- HARTWIG, E.E.; BROMFIELD, K.R. Relationships among three genes conferring specific resistance to rust in soybeans. **Crop Science**, Madison, v. 23, n.2, p. 237–239, 1983.
- HARTWIG, E.E. Identification of a fourth major gene conferring resistance to soybean rust. **Crop Science**, Madison, v. 26, n.4, p. 1135–1136, 1986.
- HIROMOTO, D.M.; VELLO, N.A. The genetic base of Brazilian soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivars. **Brazilian Journal of Genetics**, Ribeirão Preto, v.9, n.2, p.295-306, 1986.
- HYMOWITZ, T. Domestication of soybean. **Economic Botany**, v. 24, n. 4, p. 408-42, 1970.
- KILLGORE, E.; HEU, R. First reporter of soybean rust in Hawaii. **Plant Disease**, St. Paul, v.78, n.1, p. 12-16, 1994.
- KUMUNDINI, S.; GODOY, C.V.; BOARD, J.E.; OMIELAN, J.; TOLLENAAR, M. Mechanism involved in soybean rust-induced yield reduction. **Crop Science**, Madison, v. 48, n.1, p. 2334-2324, 2008.
- LEVY, C. Zimbabwe – a country report on soybean rust control. In: VII World Soybean Research Conference, VI International Soybean Processing and Utilization Conference, III Congresso Brasileiro de Soja, 3, 2004, Foz do Iguaçu, PR. **Proceedings ... Londrina: Embrapa, 2004. P.340-348.**
- LEVY, C. Epidemiology and chemical control of soybean rust in Southern Africa. **Plant Disease**, St. Paul, v. 89, n.6, p. 669-674, 2005.
- LI, S.; SMITH, J.R; RAY, J.D.; FREDERICK, R.D. Identification of a new soybean rust resistance gene in PI 567102B. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 125, n.1, p. 133-142, 2012.
- LYNCH, T. N., MAROIS, J. J., WRIGHT, D. L., HARMON, P. F., MILES, M. R., AND HARTMAN, G. L.. First report of soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* on *Phaseolus* spp. in the United States. **Plant Disease**, St. Paul, v. 90, n. 7, p. 970, 2006.
- MARCHETTI, M.A.; MELCHING, J.S.; BROMFIELD, K.R. The effects of temperature and dew period on germination and infection by uredospores of *Phakopsora pachyrhizi*. **Phytopathology**, St. Paul, v. 66, n. 4, p. 461-463, 1976.
- McLEAN, R.J.; BYTH, D.E. Inheritance of resistance to rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in soybeans. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 31, n. 5, p. 951–956, 1980.
- MEDEIROS, A.G. **Parâmetros genéticos e potencial agrônômico de cruzamentos tipo adaptado x exótico em soja, com ênfase na reação à ferrugem asiática**. 2009. 157p. Dissertação (Mestrado

- em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. (Eds.) **A soja no Brasil**. Campinas: ITAL, 1981, 1062 p.
- MONTEROS, M.J.; MISSAOUI, A.M.; PHILIPS, D.V.; WALKER, D.R.; BOERMA, H.R. Mapping and confirmation of the ‘Hyyuga’ red-brown lesion resistance gene for Asian soybean rust. **Crop Science**, Madison, v. 47, n.2, p. 829-836, 2007.
- MORCELI, T.G.S.; TREVISOLI, S.H.U.; MORCELI JUNIOR, A. A.; KIHIL, R.A.S.; CALVO, E.S.; MAURO, A. I.; GARCIA, A. Identificação e validação de marcadores microssatélites ligados ao gene Rpp5 de resistência à ferrugem-asiática-da-soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 11, p 1525-1531. 2008.
- ONO, Y., BURITICA, P., AND HENNEN, J. F. Delimitation of *Phakopsora*, *Physopella* and *Cerotelium* and their species on *Leguminosae*. **Mycological Research**, Cambridge, v. 96, p.825-850, 1992.
- PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 15 ed. Piracicaba, 2009, 477p.
- R CORE TEAM. **A language and environment for statistical computing**. Viena, 2016. Disponível em <<http://r-project.org>>. Acesso em 02 feb 2016.
- ROSS, H. Potato breeding – problems and perspectives. Berlin and Hamburg: Verlag Paul Parey, 1986, 132p.
- SCHAFER, J.F. Tolerance to plant disease. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 9, n.1, p. 232-252, 1971.
- SCONYERS, L. E., KEMERAIT, R. C., BROCK, J. H., GITAITIS, R. D., SANDERS, F. H., PHILLIPS, D. V., AND JOST, P. H. First report of *Phakopsora pachyrhizi*, the causal agent of Asian Soybean Rust, on Florida beggarweed in the United States. **Plant Disease**, St. Paul, v. 90, n. 7, p. 972, 2006.
- SILVA, V.A.S.; JULIATTI, F.C.; SILVA, L.A.S. Interação entre resistência genética parcial e fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.9, p.1261-1268, 2007.
- SLAMINKO, T. L., MILES, M. R., FREDERICK, R. D., BONDE, M. R., AND HARTMAN, G. L. New legume hosts of *Phakopsora pachyrhizi* based on greenhouse evaluations. **Plant Disease**, St. Paul, v. 92, n.5, p.767-771. 2008.
- SMIDERLE, O.J. Relatos por Estado sobre o comportamento da cultura de soja na safra 2010/11 – Estado de Roraima. In: **Ata da XXXI Reunião de Pesquisa de Soja da Região Central do Brasil. (Documento n.324)** Londrina: Embrapa Soja, 2010. 325p.
- SOARES, R.M; AKAMATSU, H.; YAMANAKA, N.; KAZUHIRO, S.; YAMAOKA, Y.; IVANCOVICH, A.; MOREL, W.; JANEGITZ, T. Variabilidade patogênica do fungo *Phakopsora pachyrhizi*. Parte I – Projeto Ferrugem da Soja, JIRCAS/Embrapa Soja/CRIA/INTA/Tsukuba University. In: Reunião do Consórcio Antiferrugem, 1, 2009, Londrina. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, p. 93-101, 2009.

- TICHAGWA, J.S. Breeding for resistance to soybean rust in Zimbabwe. *In*: VII World Soybean Research Conference, VI International Soybean Processing and Utilization Conference, III Congresso Brasileiro de Soja, 3, 2004, Foz do Iguaçu, PR. **Proceedings ...** Londrina: Embrapa, p.349-353, 2004
- UNFRIED, J.R. **Estratégias para seleção de linhagens experimentais de soja para tolerância à ferrugem e associações com outras doenças**. 2007. 220p.Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- USDA – United States Department of Agriculture. **World Agricultural Supply and Demand Estimates**. WASDE – 548. Disponível em <<http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/current/wasde/wasde-12-09-2015.pdf>> Acesso em 16 dez 2015.
- VAN DER PLANK, J.E. Horizontal (polygenic) and vertical (oligogenic) resistance against blight. **American Potato Journal**, Orono, v.43, n.2, p.43-52, 1966.
- VELLO, N.A.; FEHR, W.R.; BAHRENFUS, J.A. Genetic viability and agronomic performance of soybean populations developed from plant introductions. **Crop Science**, v. 24, p. 511-514, 1984.
- VELLO, N. A.; SILVA, L.A.S. Genética busca atender o consumo humano crescente. **Visão Agrícola**. Piracicaba, v. 3, n. 5, p. 60-62, 2006.
- VELLO, N.A.; CARVALHO, R.S.B. Melhoramento da soja para resistência genética a doenças. In.: Grupo de Estudos Avançados em Fitopatologia (GEAFIP) da Universidade de Viçosa (Eds.). **Melhoramento genético no manejo de doenças de plantas**. Visconde do Rio Branco: Suprema, p. 81-104, 2013.
- VIDAL-TORRADO, P; FARIA, L.E.O; SPAROWEK, G; COOPER, M. **Mapa pedológico detalhado do campus “Luiz de Queiroz” ESALQ – USP**. Piracicaba, 2004. 1 mapa. Escala 1:10.000
- VIEIRA, P.F.M.J. **Dialelo entre genitores de soja tolerantes à ferrugem asiática**. 2009. 85p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- YAMANAKA, N.; YAMAOKA, Y.; KATO, M; LEMOS, N.G.; PASSIANOTTO, A.L.L.; SANTOS, J.V.M.; BENITEZ, E.R.; ABDELNOOR, R.V.; SOARES, R.M.; SUENAGA, K. Development of classification criteria for resistance to soybean rust and differences in virulence among Japanese and Brazilian rust populations. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 35, n. 3, p. 153–162, 2010.
- YORINORI, J.T.; NUNES JUNIOR, J.; LAZZAROTTO, J.J. **Ferrugem "asiática" da soja no Brasil: evolução, importância econômica e controle (Embrapa Soja. Documentos, 247)**. Londrina: Embrapa Soja, 2004. 36p.

- YORINORI, J.T.; PAIVA, W.M.; FREDERICK, R.D.; COSTAMILAN, L.M.; BERTAGNOLLI, P.F.; HARTMAN, G.E.; GODOY, C.V.; NUNES JUNIOR, J. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. **Plant Disease**, St. Paul, v. 89, n. 6, p. 675-677, 2005.
- WYSMIERSKI, P.T. **Seleção de linhagens experimentais de soja para tolerância à ferrugem asiática e produtividade**. 2015. 168p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.
- WYSMIERSKI, P.T.; VELLO, N.A. The genetic base of Brazilian soybean cultivars: evolution over time and breeding implications. **Genetics and Molecular Biology** v.36, n.4, p.547-555, 2013.

ANEXOS

ANEXO A. Figuras

Figura 1. Condição climática do ano agrícola 2010/11

Figura 2. Condição climática do ano agrícola 2011/12

Figura 3. Produtividade de grãos (PG) média e efeito ferrugem da PG (valores entre as linhas horizontais estatisticamente não são distintos de zero), ano agrícola 2010/11

Figura 4. Peso de Cem Sementes (PCS) médio e efeito ferrugem da PCS (valores entre as linhas horizontais estatisticamente não distintos de zero, linhas verticais representam limites dos agrupamentos por Scott-Knott), ano agrícola 2010/11

Figura 5. Produtividade de grãos (PG) média e efeito ferrugem da PG (valores entre as linhas horizontais estatisticamente não distintos de zero), ano agrícola 2011/12

Figura 6. Número de dias para maturidade (NDM) média e efeito ferrugem da NDM (valores entre as linhas horizontais estatisticamente não distintos de zero, linhas verticais representam limites dos agrupamentos por Scott-Knott), ano agrícola 2011/12

Figura 7. Altura de plantas na maturidade (APM) média e efeito ferrugem da APM (linhas verticais representam limites dos agrupamentos por Scott-Knott), ano agrícola 2011/12

Figura 8. Produtividade de grãos (PG) média e efeito ferrugem da PG (valores entre as linhas horizontais estatisticamente não distintos de zero), anos agrícolas 2010/11 e 11/12

ANEXO B. Tabelas

Tabela 4. Análise de variância individual para produtividade de grãos (PG, em kg ha⁻¹) e peso de cem sementes (PCS, em g), manejo 1, ano agrícola 2010/11

Fator de Variação	GL	QM PG	QM PCS
Conjuntos	7	614180 ns	36,44 *
Genótipos Ajustado	486	890105 *	8,24 *
Linhagens Ajustada	483	881987 *	8,22 *
Testemunhas	2	1991496 *	14,14 *
Linh. vs Test.	1	2608035 *	4,07 *
Resíduo	14	393924	0,71
Média		2543	15,62
CV(%)		24,68	5,38

ns: Não significativo, * Significativo para o teste F a 5%

Tabela 5. Análise de variância individual para produtividade de grãos (PG, em kg ha⁻¹) e peso de cem sementes (PCS, em g), manejo 2, ano agrícola 2010/11

Fator de Variação	GL	QM PG	QM PCS
Conjunto	7	252578 ns	25,82 *
Genótipo Ajustado	487	656097 *	7,95 *
Linhagem Ajustada	484	657692 *	7,93 *
Testemunha	2	16730 ns	17,47 *
Linh. vs Test.	1	1162990 *	1,29 ns
Resíduo	14	204606	0,47
Média		2016	13,64
CV(%)		22,43	5,01

ns: Não significativo, * Significativo para o teste F a 5%

Tabela 6. Análise de variância conjunta para produtividade de grãos (PG, em kg ha⁻¹), ano agrícola 2010/11

Fator de Variação	GL	QM PG		QM PCS
Conjunto/Manejo	14	429679	ns	5,48 *
Manejo	1	71267103	*	992,10 *
Genótipo	483	969554	*	14,28 *
Linhagem	480	963520	*	14,24 *
Testemunha	2	1113801	*	31,48 *
Linhagem vs Testemunha	1	3577430	*	0,36 ns
Genótipo x Manejo	483	569335	*	2,55 *
Linhagem x Manejo	480	568903	*	2,55 *
Testemunha x Manejo	2	894426	ns	0,13 ns
(Linh. Vs Test.) x Manejo	1	126744	ns	5,05 *
Resíduo	28	299265		0,59
Média Testemunhas		2548	a	14,54 a
Média Linhagens		2268	b	14,63 a
Média Manejo 1		2547	a	15,62 a
Média Manejo 2		2016	b	13,63 b
Média Geral		2281		14,62
CV %		23,98		5,24

ns: Não significativo, * Significativo para o teste F a 5%;

Média com mesmas letras na seção não diferem entre si ao teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 7. Classificação das linhagens mais produtivas e tolerantes à ferrugem asiática da soja, ano agrícola 2010/11

Linhagem	Cruzamento (♀ x ♂)	Classif.	PG	PCS
221-325-11-1	Conquista x Orba	1	4426	15,38
221-432-09-1	BRS - 232 x Orba	2	4201	15,96
221-134-05-1	Kinoshita x Conquista	3	4132	17,18
221-609-12-1	BRS - 232 x Orba	4	4032	13,94
221-137-10-1	IAC - 100 x Bing-Nan	5	3966	18,26
221-610-02-1	Shiranuí x Conquista	6	3898	18,56
221-438-02-4	IAC - 100 x Shiranuí	7	3895	12,48
221-125-08-1	Conquista x Orba	8	3879	15,69
221-430-06-1	Shiranuí x Conquista	9	3861	18,13
221-128-06-1	Kinoshita x Pintado	10	3779	13,68
221-302-11-1	Orba x BRS - 232	11	3699	13,67
221-434-11-2	BRS - 154 x Shiranuí	12	3695	19,33
221-404-06-1	Conquista x Shiranuí	13	3663	16,21
221-607-08-1	BRS - 154 x Kinoshita	14	3632	15,05
221-434-11-3	BRS - 154 x Shiranuí	15	3621	18,35
221-404-01-1	Conquista x Shiranuí	16	3616	16,33
221-430-04-3	Shiranuí x Conquista	17	3615	14,31
221-318-02-4	Shiranuí x Conquista	18	3592	16,69
221-301-09-1	Orba x Pintado	19	3572	13,70
221-528-08-5	IAC - 100 x Shiranuí	20	3525	10,05
221-609-06-1	BRS - 232 x Orba	21	3512	14,34
221-108-12-1	BRS - 232 x Orba	22	3493	17,37
221-527-11-1	Shiranuí x BRS - 154	23	3472	13,44
221-326-09-2	Bing-Nan x Conquista	24	3419	12,03
221-339-04-1	Kinoshita x Conquista	25	3416	14,76
221-637-05-1	BRS - 154 x Shiranuí	26	3412	16,95
221-506-05-4	Kinoshita x Conquista	27	3385	17,90
221-502-01-5	Kinoshita x IAC - 100	28	3375	9,94
221-302-11-2	Orba x BRS - 232	29	3372	15,58
221-502-01-2	Kinoshita x IAC - 100	30	3348	10,09

Tabela 8. Análise de variância individual para produtividade de grãos (PG, em kg ha⁻¹), altura de planta na maturidade (APM, em cm), número de dias para maturidade (NDM, em dias), acamamento (AC, em notas) e valor agrônômico (em notas), manejo 1, ano agrícola 2010/11

Fator de Variação	GL	QM PG	QM ALT	QM NDM	QM AC	QM VA
Conjunto/Bloco	8	205275 ns	135,3 ns	5,9 ns	2,99 *	1,02 ns
Bloco	1	6966521 *	8,8 ns	42,4 *	9,00 *	0,04 ns
Genótipo	263	737534 *	711,9 *	34,2 *	1,15 *	0,97 *
Linhagem	259	737696 *	664,8 *	31,1 *	1,11 *	0,94 *
Testemunha	3	661760 ns	4975,0 *	133,5 *	4,57 *	2,30 *
Linh. vs Test.	1	922876 *	137,4 ns	548,4 *	2,22 ns	6,47 *
Resíduo	287	345264	175,3	5,0	0,62	0,54
Média		2342	109,8	134,0	1,98	3,86
CV(%)		25,09	12,06	1,66	39,8	19,1

ns: Não significativo, * Significativo para o teste F a 5%;

Tabela 9. Análise de variância individual para produtividade de grãos (PG, em kg ha⁻¹), altura de planta na maturidade (APM, em cm), número de dias para maturidade (NDM, em dias), acamamento (AC, em notas) e valor agrônômico (em notas), manejo 2, ano agrícola 2010/11

Fator de Variação	GL	QM PG	QM ALT	QM NDM	QM AC	QM VA
Conjunto/Bloco	8	413074 *	125,33 ns	1,0 ns	1,16 ns	0,72 ns
Bloco	1	225335 ns	145,04 ns	20,1 *	0,00 ns	0,52 ns
Genótipo	263	614925 *	791,63 *	31,6 *	1,32 *	0,89 *
Linhagem	259	602961 *	755,84 *	29,6 *	1,32 *	0,89 *
Testemunha	3	995927 *	3925 *	89,1 *	1,76 *	0,57 ns
Linh. vs Test.	1	2570387 *	661,82 ns	373,1 *	0,19 ns	1,40 ns
Resíduo	287	208441	198,69	2,5	0,61	0,55
Média		1867	114,9	132,4	2,14	3,77
CV(%)		24,46	12,27	1,2	36,39	19,7

ns: Não significativo, * Significativo para o teste F a 5%;

Tabela 10. Análise de variância conjunta para produtividade de grãos (PG, em kg ha⁻¹), altura de planta na maturidade (APM, em cm), número de dias para maturidade (NDM, em dias), acamamento (AC, em notas) e valor agrônomo (em notas) para o ano agrícola 2011/12

Fator de Variação	GL	QM PG	QM APM	QM NDM	QM AC	QM VA
Conjunto/Bloco/Manejo	16	309174 ns	130,3 ns	3,5 ns	2,076 *	0,868 ns
Bloco/Manejo	2	3595928 *	76,9 ns	31,2 *	4,502 *	0,280 ns
Manejo	1	63149669 ns	7380,0 *	716,8 *	7,557 ns	2,414 ns
Genótipo	263	1019874 *	1299,8 *	58,5 *	1,890 *	1,381 *
Linhagem	259	1007739 *	1215,0 *	53,4 *	1,846 *	1,349 *
Testemunha	3	1311913 *	8816,7 *	216,8 *	5,713 *	2,233 *
Linhagem vs Testemunha	1	3286809 *	701,1 ns	913,0 *	1,847 ns	6,945 *
Genótipo x Manejo	263	332584 *	203,8 ns	7,3 *	0,577 ns	0,482 ns
Linhagem x Manejo	259	332918 *	205,6 ns	7,3 *	0,576 ns	0,479 ns
Testemunha x Manejo	3	345774 ns	83,3 ns	5,8 ns	0,613 ns	0,633 ns
(Linh. Vs Test.) x Manejo	1	206454 ns	98,1 ns	8,4 ns	0,556 ns	0,924 ns
Resíduo	574	276852	187,0	3,8	0,613	0,546
Média Testemunhas		2300 a	109,5 a	129,9 b	1,913 a	4,100 a
Média linhagens		2089 b	112,6 a	133,4 a	2,070 a	3,794 b
Média Manejo 1		2342 a	109,8 b	134,0 a	1,977 a	3,863 a
Média Manejo 2		1867 a	114,9 a	132,4 b	2,141 a	3,770 a
Média Geral		2104	112,4	133,2	2,059	3,816
CV %		25,01	12,17	1,45	38,02	19,36

ns: Não significativo, * Significativo para o teste F a 5%;

Média com mesmas letras na seção não diferem entre si ao teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 11. Correlação entre valores médios dos caracteres avaliados, ano agrícola 2011/12.

	PG	APM	NDM	AC	VA
VA	0,507 *	-0,271 *	-0,067 ns	-0,704 *	1
AC	-0,399 *	0,419 *	0,183 *	1	
NDM	0,257 *	0,317 *	1		
APM	0,095 ns	1			
PG	1				

ns: Não significativo, * Significativo para o teste t a 5%;

Tabela 12. Correlação entre efeito ferrugem (EF) dos caracteres avaliados, ano agrícola 2011/12.

	PG	APM	NDM	AC	VA
VA	0,187 *	-0,091 ns	0,067 ns	-0,362 *	1
AC	-0,205 *	0,213 *	0,041 ns	1	
NDM	0,059 ns	0,101 ns	1		
AMP	-0,005 ns	1			
PG	1				

ns: Não significativo, * Significativo para o teste t a 5%;

Tabela 13. Classificação das linhagens mais produtivas e tolerantes à ferrugem asiática da soja, ano agrícola 2011/12

Progênie	Cruzamento (♀ x ♂)	Classif.	PG	APM	NDM	AC	VA
221-209-03-3	BRS - 154 x Kinoshita	1	3434	113,8	130,8	2,0	3,8
221-430-04-3	Shiranuí x Conquista	2	3247	110,0	128,5	1,3	5,0
221-223-07-2	Shiranuí x Conquista	3	3053	100,0	130,0	1,5	4,0
221-230-02-4	IAC - 100 x Bing-Nan	4	2880	110,0	132,5	1,3	4,5
221-108-09-1	BRS - 232 x Orba	5	2874	91,3	130,5	1,0	4,5
221-506-05-4	Kinoshita x Conquista	6	2724	95,0	132,8	1,0	4,5
221-430-04-5	Shiranuí x Conquista	7	2714	106,3	127,3	1,5	4,0
221-108-12-1	BRS - 232 x Orba	8	2704	100,0	133,3	1,3	4,5
221-609-05-1	BRS - 232 x Orba	9	2653	115,0	131,3	2,5	2,8
221-528-08-5	IAC - 100 x Shiranuí	10	2640	100,0	130,5	2,5	4,5
221-521-07-1	BRS - 154 x Kinoshita	11	2614	117,5	132,5	1,0	4,3
221-212-07-2	BRS - 154 x Bing-Nan	12	2605	93,8	126,5	1,3	4,8
221-434-11-3	BRS - 154 x Shiranuí	13	2600	95,0	126,3	1,8	4,0
221-607-08-1	BRS - 154 x Kinoshita	14	2594	102,5	131,5	1,5	4,0
221-114-09-3	Shiranuí x Pintado	15	2564	107,5	133,3	1,8	4,5
221-118-09-1	BRS -154 x Orba	16	2500	85,0	129,8	1,5	3,8
221-438-10-1	IAC - 100 x Shiranuí	17	2484	105,0	132,3	2,3	4,0
221-119-07-4	BRS - 154 x Kinoshita	18	2480	116,3	132,3	2,3	3,5
221-430-04-2	Shiranuí x Conquista	19	2477	103,8	128,5	1,8	4,5
221-130-07-3	BRS - 154 x Bing-Nan	20	2457	116,3	133,0	2,3	3,8
221-223-08-2	Shiranuí x Conquista	21	2450	111,3	128,5	1,8	4,0
221-209-03-1	BRS - 154 x Kinoshita	22	2427	100,0	134,0	1,3	4,0
221-233-10-2	Orba x IAC - 100	23	2417	100,0	130,5	1,5	4,0
221-223-07-4	Shiranuí x Conquista	24	2387	113,8	131,8	1,8	4,3
221-226-03-4	Conquista x Shiranuí	25	2377	107,5	132,3	2,3	3,8
221-521-06-5	BRS - 154 x Kinoshita	26	2333	98,8	131,0	2,3	4,3
221-431-07-1	IAC - 100 x Kinoshita	27	2304	113,8	132,5	1,5	4,3
221-626-11-1	IAC - 100 x Kinoshita	28	2300	106,3	131,3	1,5	3,8

Tabela 14. Análise de variância individual para produtividade de grãos (PG, em kg ha⁻¹), altura de planta na maturidade (APM, em cm), número de dias para maturidade (NDM, em dias), acamamento (AC, em notas) e valor agrônomo (em notas) no experimento com genitores, manejo 1, ano agrícola 2011/12.

Fator de Variação	GL	QM PG	QM ALT	QM NDM	QM AC	QM VA
Bloco	3	292291 ns	142,0 ns	12,80 *	1,076 ns	0,056 ns
Genótipos	11	6418842 *	1505,4 *	71,88 *	4,021 *	5,152 *
Genitores	2	10951988 *	1904,3 *	53,67 *	4,736 *	5,757 *
Testemunhas	8	5328544 *	439,6 *	76,75 *	1,333 ns	1,750 *
Gen. vs Test.	1	6074934 *	445,7 ns	207,84 *	3,674 ns	7,111 *
Resíduo	33	366944	136,2	2,91	1,334	0,328
Média Test.		3382	102,1	130,8	1,92	4,25
Média Genitores		2560	95,0	135,6	2,56	3,36
Média		2765	96,8	134,4	2,40	3,58
CV(%)		21,90	12,05	1,27	48,21	15,99

ns: Não significativo, * Significativo para o teste F a 5%;

Tabela 15. Análise de variância individual para produtividade de grãos (PG, em kg ha⁻¹), altura de planta na maturidade (APM, em cm), número de dias para maturidade (NDM, em dias), acamamento (AC, em notas) e valor agrônomo (em notas) no experimento com genitores, manejo 2, ano agrícola 2011/12.

Fator de Variação	GL	QM PG	QM ALT	QM NDM	QM AC	QM VA
Bloco	3	583067 ns	161,6 ns	4,63 ns	0,667 ns	0,410 Ns
Genótipos	11	1749838 *	1844,8 *	91,93 *	3,000 *	2,612 *
Genitores	2	5229001 *	606,3 ns	68,08 *	3,424 *	2,688 *
Testemunhas	8	870411 *	2371,5 *	67,75 *	2,583 *	1,083 *
Gen. vs Test.	1	1826925 *	108,5 ns	333,06 *	0,444 ns	5,063 *
Resíduo	33	236552	276,4	4,60	0,545	0,228
Média Test.		2799	100,0	128,1	2,42	4,17
Média Genitores		2348	96,5	134,2	2,19	3,42
Média		2461	97,4	132,6	2,25	3,58
CV(%)		19,76	17,07	1,62	32,82	13,25

ns: Não significativo, * Significativo para o teste F a 5%;

Tabela 16. Análise de variância conjunta para produtividade de grãos (PG, em kg ha⁻¹), altura de planta na maturidade (APM, em cm), número de dias para maturidade (NDM, em dias), acamamento (AC, em notas) e valor agrônomo (em notas) no experimento com genitores, ano agrícola 2011/12.

Fator de Variação	GL	QM PG	QM APM	QM NDM	QM AC	QM VA
Bloco/Manejo	6	437679 *	129,1 ns	9,99 *	0,872 *	0,867 *
Manejo	1	2222098 ns	75,3 ns	60,17 *	0,510 ns	0,094 ns
Genótipo	11	6814697 *	3486,1 *	149,90 *	5,942 *	6,601 *
Genitor	8	5066456 *	4484,4 *	115,11 *	7,125 *	6,983 *
Testemunha	2	13573828 *	907,3 *	121,17 *	3,792 *	3,500 *
Gen. vs Test.	1	7282363 *	657,0 ns	485,68 *	0,781 ns	9,754 *
Genótipo x Manejo	11	1353982 *	78,7 ns	5,24 ns	1,079 ns	0,867 *
Genitor x Manejo	8	1132498 *	58,7 ns	6,32 ns	1,035 ns	1,149 *
Testemunha x Manejo	2	2607162 *	138,5 ns	2,17 ns	0,125 ns	0,167 ns
(Gen. vs Test.) x Man.	1	619496 ns	118,8 ns	2,72 ns	3,337 ns	0,004 ns
Resíduo	66	301748	236,3	3,50	0,940	0,383
Média Testemunhas		3090 a	101,0 a	129,7 b	2,17 a	4,13 a
Média Genitores		2454 b	95,0 a	134,9 a	2,38 a	3,39 b
Média Manejo 1		2765 a	95,6 a	134,4 a	2,40 a	3,54 a
Média Manejo 2		2461 a	97,4 a	132,8 b	2,25 a	3,60 a
Média		2613	96,5	133,6	2,32	3,57
CV(%)		21,02	15,93	1,40	41,73	17,32

ns: Não significativo, * Significativo para o teste F a 5%;

Média com mesmas letras na seção não diferem entre si ao teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 17. Médias dos genótipos do experimento com genitores para os caracteres produtividade de grãos (PG, em kg ha⁻¹), altura de planta na maturidade (APM, em cm), número de dias para maturidade (NDM, em dias), acamamento (AC, em notas) e valor agrônomo (em notas) e EF para caracteres PG e VA, ano agrícola 2011/12.

	PG			NDM		ALT		AC		VA	
	Média	EF		Média		Média		Média		Média	EF
ABURA	2918 bc	-1658 *		133,8 def		111,3 b		2,50 abcd		3,88 abcd	0,25 ns
Bing Nam	1997 cd	-137 ns		139,0 ab		101,3 bc		3,50 ab		2,75 ef	-0,50 ns
BRS 133	4470 a	-705 ns		129,3 g		90,0 bcde		1,38 d		4,88 a	-0,25 ns
BRS-154	2543 cd	-51 ns		130,8 fg		76,9 cde		1,88 bcd		4,25 abc	-0,50 ns
BRS-232	2095 cd	404 ns		129,0 gh		66,3 e		1,63 cd		3,25 cdef	-0,50 ns
Conquista	3691 ab	-1488 *		134,9 cde		105,6 b		1,50 cd		4,50 ab	-0,50 ns
IAC-100	3884 a	-1443 *		133,0 ef		94,4 bcd		1,38 d		4,88 a	0,25 ns
Kinoshita	1855 d	161 ns		137,3 bc		86,3 bcde		2,25 bcd		2,88 def	0,25 ns
M-SOY 6101	1882 d	615 ns		126,0 h		101,9 bc		2,63 abcd		3,63 bcde	0,25 ns
Orba	2255 cd	-179 ns		136,4 bcd		144,4 a		3,13 abc		3,25 cdef	-0,50 ns
Pintado	2104 cd	569 ns		140,5 a		107,5 b		4,00 a		2,25 f	1,00 ns
Shiranuí	1664 d	262 ns		133,0 ef		72,5 de		2,13 bcd		2,50 f	1,50 *
Média	2613	-304		133,6		96,5		2,32		3,57	0,06

ns: Não significativo, * Significativo para o teste t a 5%;

Média com mesmas letras na seção não diferem entre si ao teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 18. Análise de variância conjunta para produtividade de grãos (PG, em kg ha⁻¹) para os anos agrícolas 2010/11 e 2011/12

Fator de Variação	GL	QM PG	
Conjunto/Bloco/Manejo/Ano	30	223775	ns
Bloco/Manejo/Ano	2	3496749	*
Ano	1	107296494	*
Manejo	1	72651840	*
Manejo x Ano	1	2129955	ns
Genótipo	259	1204523	*
Linhagem	256	1187690	*
Testemunha	2	2453251	*
Linhagem vs Testemunha	1	3016270	*
Genótipo x Manejo	259	433965	*
Linhagem x Manejo	256	433674	*
Testemunha x Manejo	2	652889	ns
(Linh. Vs Test.) x Manejo	1	70531	ns
Genótipo x Ano	259	494554	*
Linhagem x Ano	256	485444	*
Testemunha x Ano	2	35744	ns
(Linh. Vs Test.) x Ano	1	3744298	*
Genótipo x Manejo x Ano	259	514847	*
Linhagem x Manejo x Ano	256	509685	*
Testemunha x Manejo x Ano	2	714046	ns
(Linh. Vs Test.) x Manejo x Ano	1	1437766	*
Resíduo	578	282315	
Média Testemunhas		2449	a
Média Linhagens		2276	b
Média Ano 2010/11		2645	a
Média Ano 2011/12		2103	b
Média Manejo 1		2497	a
Média Manejo 2		2078	b
Média Geral		2287	
CV %		23,23	

ns: Não significativo, * Significativo para o teste F a 5%;

Média com mesmas letras na seção não diferem entre si ao teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 19. Classificação das linhagens tolerantes para PG e mais produtivas, segundo análise conjunta, ano agrícola 2010/11 e 2011/12

Linhagem	Cruzamento (♀ x ♂)	Classif.	PG	EF PG
221-432-09-1	BRS - 232 x Orba	1	3618	-338
221-404-01-1	Conquista x Shiranuí	2	3471	311
221-430-04-3	Shiranuí x Conquista	3	3247	-342
221-610-02-1	Shiranuí x Conquista	4	3233	396
221-120-05-1	Shiranuí x Conquista	5	3211	120
221-519-05-1	Orba x BRS - 232	6	3131	769
221-120-07-1	Shiranuí x Conquista	7	3118	-156
221-209-03-3	BRS - 154 x Kinoshita	8	3116	178
221-234-10-1	Pintado x Kinoshita	9	3049	71
221-223-07-2	Shiranuí x Conquista	10	3024	467
221-108-09-1	BRS - 232 x Orba	11	2996	-462
221-506-05-4	Kinoshita x Conquista	12	2980	644
221-318-01-1	Kinoshita x Pintado	13	2960	258
221-213-04-1	IAC - 100 x Orba	14	2936	849
221-302-11-2	Orba x BRS - 232	15	2929	702
221-404-11-1	Shiranuí x Conquista	16	2896	591
221-230-02-4	IAC - 100 x Bing-Nan	17	2862	-151
221-528-08-5	IAC - 100 x Shiranuí	18	2860	271
221-432-10-1	BRS - 232 x Orba	19	2856	271
221-339-02-1	Kinoshita x Conquista	20	2833	-298
221-434-11-3	BRS - 154 x Shiranuí	21	2818	62
221-134-05-2	Kinoshita x Conquista	22	2784	-84
221-625-07-1	Orba x Conquista	23	2778	578
221-430-04-5	Shiranuí x Conquista	24	2758	-316
221-609-06-1	BRS - 232 x Orba	25	2756	187
221-521-07-1	BRS - 154 x Kinoshita	26	2740	-440
221-122-06-1	Conquista x Shiranuí	27	2729	489
221-605-10-1	Kinoshita x IAC - 100	28	2722	262
221-506-07-1	Kinoshita x Conquista	29	2693	-613
221-223-07-4	Shiranuí x Conquista	30	2680	-53
221-134-05-3	Kinoshita x Conquista	31	2664	724
221-325-04-1	Conquista x Orba	32	2664	742
221-609-05-1	BRS - 232 x Orba	33	2653	702
221-423-03-1	Orba x Pintado	34	2640	-676
221-130-07-3	BRS - 154 x Bing-Nan	35	2611	387
221-339-02-4	Kinoshita x Conquista	36	2611	707
221-302-11-1	Orba x BRS - 232	37	2598	-182
221-118-09-1	BRS - 154 x Orba	38	2596	658
221-617-12-1	Pintado x Kinoshita	39	2591	471
221-301-09-1	Orba x Pintado	40	2582	-213

Tabela 20. Capacidade média de combinação para produtividade média de grãos (PG, kg ha⁻¹) nos anos agrícolas 2010/11 e 2011/12, (os números da posição superior, central e inferior de cada box representam respectivamente os cruzamentos entre genitores exóticos como fêmeas e adaptados como machos, cruzamentos como fêmeas genitores adaptados e como machos genitores exóticos, e a média indiscriminada para recíprocos)

	Bing-Nan	Kinoshita	Orba	Shiranuí	Média
BRS-154	-	-	-	2404	2404
	2122	2473	2129	2135	2227
	2122	2473	2129	2202	2243
BRS-232	-	-	2448	-	2448
	-	-	2728	-	2728
	-	-	2629	-	2629
Conquista	2072	2594	2148	2689	2532
	-	-	2644	2496	2545
	2072	2594	2294	2593	2498
IAC-100	1869	2166	1542	2112	1984
	2068	2035	2022	2104	2067
	2036	2120	1814	2106	2036
Pintado	1793	2483	2188	2242	2171
	2513	2223	-	-	2359
	2181	2360	2188	2242	2238
Média	1909	2390	2087	2490	2297
	2173	2315	2366	2208	2260
	2100	2359	2221	2332	2276

Tabela 21. Capacidade média de combinação para efeito ferrugem para produtividade de grãos (EF PG, kg ha⁻¹) nos anos agrícolas 2010/11 e 2011/12, (os números da posição superior, central e inferior de cada box representam respectivamente os cruzamentos entre genitores exóticos como fêmeas e adaptados como machos, cruzamentos como fêmeas genitores adaptados e como machos genitores exóticos, e a média indiscriminada para recíprocos)

	Bing-Nan	Kinoshita	Orba	Shiranuí	Média
BRS-154	-	-	-	-705	-705
	-416	-512	-311	-216	-364
	-416	-512	-311	-338	-395
BRS-232	-	-	-269	-	-269
	-	-	-438	-	-438
	-	-	-378	-	-378
Conquista	-147	-502	-399	-335	-366
	-	-	-897	-426	-583
	-147	-502	-648	-363	-421
IAC-100	-182	-456	-37	-492	-339
	-358	-511	-343	-276	-352
	-331	-475	-212	-330	-347
Pintado	-403	-940	-331	-529	-519
	-973	-434	-	-	-686
	-710	-629	-331	-529	-578
Média	-264	-555	-259	-446	-410
	-497	-492	-442	-285	-421
	-433	-523	-366	-364	-416

Tabela 22. Caracteres avaliados para as linhagem tolerantes e com maior produtividade de grãos (PG em kg ha⁻¹, PCS em g, APM em cm, NDM em dias e AC e VA em notas)

Linhagem	Cruzamento (♀ x ♂)	PG	PCS	APM	NDM	AC	VA
221-432-09-1	BRS - 232 x Orba	3618	16,0	150	133,3	2,00	4,00
221-404-01-1	Conquista x Shiranuí	3471	16,3	125	142,8	1,50	4,25
221-430-04-3	Shiranuí x Conquista	3247	14,3	110	128,5	1,25	5,00
221-610-02-1	Shiranuí x Conquista	3233	18,6	105	137,8	1,75	4,75
221-506-05-4	Kinoshita x Conquista	2980	17,9	95	132,8	1,00	4,50
221-302-11-2	Orba x BRS - 232	2929	15,6	93	132,5	1,50	4,25
221-528-08-5	IAC - 100 x Shiranuí	2860	10,0	100	130,5	2,50	4,50
221-434-11-3	BRS - 154 x Shiranuí	2818	18,4	95	126,3	1,75	4,00
221-609-06-1	BRS - 232 x Orba	2756	14,3	105	137,3	1,00	4,25
221-302-11-1	Orba x BRS - 232	2598	13,7	151	133,0	2,00	4,25
221-301-09-1	Orba x Pintado	2582	13,7	145	132,0	3,75	2,50
221-430-06-1	Shiranuí x Conquista	2529	18,1	124	134,5	2,75	3,25
221-438-02-4	IAC - 100 x Shiranuí	2493	12,5	100	133,8	1,75	4,00
221-326-09-2	Bing-Nan x Conquista	2469	12,0	125	134,8	2,75	4,50